T.C

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EDİRNE'DE YETİŞTİRİLEN KARNABAHAR BİTKİSİNE TOPRAKTAN BAZI ESER ELEMENTLERİN TRANSFERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ŞULE MERTER ESER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYA ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. DİLEK BAKIRCIOĞLU

EDİRNE 2025

Şule MERTER ESER'in hazırladığı "Edirne'de Yetiştirilen Karnabahar Bitkisine Topraktan Bazı Eser Elementlerin Transferinin Değerlendirilmesi" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Kimya Anabilim Dalında bir Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Prof. Dr. Dilek BAKIRCIOĞLU	……
Prof. Dr. Cemile ÖZCAN	……
Dr. Öğr. Üyesi Kenan SEZER	……

Tez Savunma Tarihi: 19/06/2025

Bu tezin Yüksek Lisans olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Prof. Dr. Dilek BAKIRCIOĞLU
Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

……
Doç. Dr. Filiz UMAROĞULLARI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

19 / 06 / 2025
Şule MERTER ESER
İmza

Yüksek Lisans Tezi

Edirne'de Yetiştirilen Karnabahar Bitkisine Topraktan Bazı Eser Elementlerin Transferinin Değerlendirilmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışma, Edirne (Türkiye) karnabaharına topraktan bazı eser element transferinin değerlendirilmesi ve buna bağlı insanların tahmini günlük element alımının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

Edirne iline bağlı Karaağaç, Yolüstü Köyü ve Abalar Köyü olmak üzere üç bölgeden, toplamda 20 farklı karnabahar tarlasından örnek alınmıştır. Bu çalışmada Edirne'ye özgü karnabahar sebze örneklerine, esansiyel (Mn, Fe, Cu ve Zn) ve esansiyel olmayan/toksik eser elementlerin (Cr, Cd, Pb ve Ni) analizi için yaş yakma ile çözündürme prosedürü gerçekleştirilmiş ve ICP-OES cihazı kullanılarak element analizleri yapılmıştır. Numune konsantrasyonları, transfer faktörü, günlük metal alımı (DIM), tahmini günlük metal maruziyeti (EDEM) ve Sağlık Risk Endeksi (HRI) hesaplarına dayanarak, standart referans değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analiz sonucuna göre çıkan değerler sınır aralıkları ile karşılaştırılarak, tahmini olarak esansiyel ve esansiyel olmayan metallerin günlük alım miktarı durumları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak yapılan analizde, Edirne bölgesindeki toprak numunelerinde Cd metali bulunmamıştır. Aynı zamanda taç kısımda Cd, Cr ve Ni elementlerine rastlanmamıştır. HRI endeksine göre Cu, Fe, Mn, Pb ve Zn metalleri açısından sağlık riski oluşturmayacak düzeyde olduğu kanısına varılmıştır. Böylece bu çalışmayla, karnabahar yetiştirilen toprakların araştırılması, yapısında bulundurduğu elementlerin incelenmesi, insan sağlığına faydaları ve zararları konusunda bilgi

sunulması yanında bu çalışmanın bundan sonra yapılacak çalışmalar için de yol göstereceği düşünülmektedir.

Yıl : 2025

Sayfa Sayısı : 85

Anahtar Kelimeler : Karnabahar, Eser Element, ICP-OES, Günlük Alım Miktarı, Sağlık Risk Endeksi

Master's Thesis

Evaluation of the transfer of some trace elements from soil to cauliflower plant grown in Edirne

Trakya University Institute of Natural and Applied Sciences

Department of Chemistry

ABSTRACT

This study investigates the transfer of selected trace elements from soil to cauliflower cultivated in Edirne, Turkey, and assesses the associated estimated daily intake (EDI) of these elements by humans.

A total of 20 cauliflower field samples were collected from three distinct locations: Karaağaç, Yolüstü Köyü, and Abalar Köyü. The vegetable samples were subjected to wet digestion procedures, and concentrations of essential (Mn, Fe, Cu, Zn) and non-essential/toxic elements (Cr, Cd, Pb, Ni) were determined using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). Transfer factor (TF), daily intake of metals (DIM), estimated daily exposure to metals (EDEM), and Health Risk Index (HRI) were calculated and compared with internationally accepted reference values. The results revealed no detectable levels of cadmium (Cd) in the soil samples, and no traces of Cd, Cr, or Ni were found in the edible (inner) parts of the cauliflower. According to HRI evaluations, none of the analyzed metals (Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) posed a significant health risk. This study highlights the importance of assessing the elemental composition of agricultural soils and vegetables to evaluate potential health risks and benefits. The findings also provide a valuable reference for future research on metal contamination in food crops and soil-plant transfer dynamics.

Year : 2025

Number of Pages : 85

Keywords : Cauliflower, Trace elements, ICP-OES, Daily Intake, Health Risk Index

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, yüksek lisans eğitimim süresince edindiğim bilgi ve deneyimlerin bir ürünüdür. Çalışmam süresince bana yol gösteren, desteklerini esirgemeyen ve katkılarıyla çalışmama değer katan başta tez danışmanım Dilek Bakırcıoğlu olmak üzere tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca, araştırma sürecinde karşılaştığım zorlukları aşmamda moral ve motivasyon kaynağı olan eşim Serhat'a ve oğlum Rüzgar'a, ayrıca emeği geçen herkese minnettarım. Onların desteği ve inancı olmadan bu süreci başarıyla tamamlamam mümkün olmazdı.

Bu çalıma Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 2024/85.

Bu tez çalışmasının, ilgili alanda yapılacak olan çalışmalara katkı sunmasını ve konuya ilgi duyan araştırmacılar için faydalı bir kaynak olmasını temenni ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv
ABSTRACT vi
TEŞEKKÜR viii
İÇİNDEKİLER ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xi
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ xiv
BÖLÜM 1 1
1.1. Karnabahar Sebzesi 2
1.2. Bazı Eser Elementler 4
1.2.1. Metal Toksisitesi ve Biyolojik Birikim 4
1.2.2. Toksik Olmayan Bazı Eser Elementler 7
1.2.3. Bazı Eser Elementlerin İnsan Sağlığına Etkisi 8
BÖLÜM 2 14
MATERYAL ve METOT 14
2.1. Materyal 14
2.1.1. Kullanılan Cihazlar 14
2.1.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler 15
2.1.3. Çalışma Alanı ve Örnekleme Noktaları 15
2.1.4. Numunelerin Toplanması ve Hazırlanması 19
2.2. Metot ve Veri Analizi 19
2.2.1. Yaş Yakma ile Çözündürme 19
2.2.2. Transfer faktörü 20
2.2.3. Günlük Metal Alımı (DIM) 20

2.2.4. Metallere Tahmini Günlük Maruziyet (EDEM) 21
2.2.5. Eser Elementler İçin Sağlık Risk Endeksinin Hesaplanması 22
BÖLÜM 3 23
SONUÇLAR 23
3.1. Standart Referans Madde Analizi ve Sonuçları 23
3.2. Örneklerin Analiz Sonuçları 25
3.2.1. Toprak Analiz Sonuçları 25
3.2.2. Karnabahar Yaprak Analizi Sonuçları 27
3.2.3. Karnabahar Taç Kısmı Analiz Sonuçları 29
3.3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 31
3.3.1. Kadmiyum 31
3.3.2. Krom 31
3.3.3. Bakır 32
3.3.4. Demir 33
3.3.5. Mangan 35
3.3.6. Nikel 37
3.3.7. Kurşun 38
3.3.8. Çinko 40
3.4. Transfer Faktörüne Göre Metal Geçişi Değerlendirmesi 42
3.4.1. Topraktan Karnabahar Yaprağına ve Yenilebilir Taç Kısmına Metal Transferi Sonuçları ve Değerlendirilmesi 42
3.5. Günlük Metal Alımında (DIM) Risk Değerlendirmesi 45
3.6. Metallere Tahmini Günlük Maruziyet (EDEM) Risk Değerlendirmesi 48
3.7. Eser Elementler İçin Tehlike Katsayısına Göre Sağlık Risk Değerlendirmesi 51
BÖLÜM 4 53
TARTIŞMA VE ÖNERİ 53
KAYNAKLAR 60
ÖZGEÇMİŞ 70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

As:	Arsenik
Cd:	Kadmiyum
cm:	Santimetre
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
DIM	Daily Intake of Metal, Günlük metal alımı
EDEM	Estimated Daily Exposure to Metals, Metallere tahmini günlük maruziyet
FAO	Food and Agriculture Organization, Gıda ve Tarım Örgütü (GTÖ)
Fe	Demir
HRI	Health Risk Index, Sağlık risk endeksi
kg	Kilogram
mg	Miligram
Mo	Molibden
Mn	Mangan
N (rakam)	Numune numarası, adı
Ni	Nikel
Pb	Kurşun
Rfdo	Oral reference dose, Oral referans dozu
ROS	Reaktif oksijen türleri

UL	Tolerable upper intake level, Tolere edilebilir seviye
vd	Ve diğerleri
vs	Vesaire
WHO	World Health Organization, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)
Zn	Çinko

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Ağır metallerin insan sağlığına etkileri 10

Şekil 2.1. Edirne ili alınan örnek noktalar..... 16

Şekil 2.2. Karaağaç örnek alınan noktalar 17

Şekil 2.3. Yolüstü köyü örnek alınan noktalar 18

Şekil 2.4. Abalar köyü alınan örnek noktaları..... 18

Şekil 3.1. Toprak örneklerine ait Cr konsantrasyonları 32

Şekil 3.2. Karnabahar sebzesinin toprak, yaprak ve taç kısmına ait Cu konsantrasyonları. 32

Şekil 3.3. Karnabahar sebzesinin yaprak ve taç kısmı örneklerie ait Cu konsantrasyonları.… 33

Şekil 3.4. Toprak örneklerine ait Fe konsantrasyonları 34

Şekil 3.5. Karnabahar sebzesinin yaprak ve taç kısmı örneklerine ait Fe konsantrasyonları. 35

Şekil 3.6. Toprak örneklerine ait Mn konsantrasyonları..... 36

Şekil 3.7. Karnabahar sebzesinin yaprak ve taç kısmı örneklerine Mn konsantrasyonları 37

Şekil 3.8. Toprak örneklerine ait Ni konsantrasynları. 38

Şekil 3.9. Toprak örneklerine ait Pb konsantrasyonları. 39

Şekil 3.10. Karnabahar sebzesinin yaprak ve taç kısmı örneklerine ait Pb konsantrasyonları..... 40

Şekil 3.11. Toprakta örneklerine ait Zn konsantrasyonları. 41

Şekil 3.12. Yaprak ve taç kısmından alınan numunelerde Zn miktarı karşılaştırması ... 42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Metallerin toksisitelerine göre sınıflandırılması 4

Çizelge 1.2. Ağır metallerin insanlarda doğumdan önce ve sonra akut ve kronik etkileri. 12

Çizelge 2.1. Kullanılan cihazlar 14

Çizelge 2.2. ICP-OES cihaz parametreleri 14

Çizelge 2.3. ICP-OES çalışılan dalga boyları 15

Çizelge 2.4. Herbir metalin, yaşam boyu oral alım yoluyla maruz kalma güvenli seviyeleri, mg/kg.gün. 22

Çizelge 3.1. Standart referans materyallerinde Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn tayini için elde edilen sonuçları 24

Çizelge 3.2. Çeşitli bölgelerden alınan topraklarda Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn metallerinin miktarları (mg/kg). 26

Çizelge 3.3. Çeşitli bölgelerden alınan karnabahar yaprak örneklerine ait Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn miktarları (mg/kg). 28

Çizelge 3.4. Çeşitli bölgelerden alınan karnabahar taç örneklerine ait Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn miktarları (mg/kg). 30

Çizelge 3.5. Topraktan karnabahar yaprağına metal geçişi transfer faktörü 43

Çizelge 3.6. Topraktan karnabahar taç kısımlarına elementlerin transfer faktörleri. 44

Çizelge 3.7 Yetişkin ve çocuk için günlük tahmini metal alımı (DIM hesaplaması), mg/gün 46

Çizelge 3.8 Karnabahar taç/iç metallere tahmini günlük maruziyet EDEM (Estimated Daily Exposure to Metals) değerleri (yetişkin için mg/kg.gün) 49

Çizelge 3.9 Karnabahar taç yenilebilir kısmında oluşabilecek tahmini sağlık risk endeksleri (yetişkin için HRI değerleri) 52

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünya'da sebze üretimi ve tüketimi çok önemli bir yere sahiptir. Sebzeler, beslenmenin temel öğelerinden biridir. Tarımsal üretimde sebzelerin, çeşitlilik bakımından oldukça geniş bir yelpazesi olup, bununla birlikte yapılarında bulunan karbonhidrat, protein, vitamin, yağ ve mineraller açısından da insanlar için önem taşımaktadır. Sebzeler, besin öğesi taşıyan elementlerce de zengin olup vücudumuz için gerekli bileşenleri sağlamaktadır.

Bitkiler büyürken ve gelişirken, toprak üstü ve toprak altı kısımlarıyla çok sayıda elementi yapısına almaktadır. Bu elementler, sebzelerin yüzeyinde birikinti olarak mevcut olabilir veya köklerden alınarak dokusuna dâhil olabilmektedir.

Günümüze kadar yapılan birçok çalışma, sebzelerin insan sağlığı açısından gerekli olan ve fayda sağlayan elementlerce zenginliğinin yanı sıra, sebzelerde güvenli olmayan ve tehlikeli düzeylerde metaller bulunduğunu da ortaya koymuştur.

Sebzelerdeki eser elementlerin varlığı ve birikimi; toprak türüne, toprağın fizikokimyasal özellikleri (örneğin; sıcaklık, nem, pH, redoks potansiyeli, kil mineral içeriği, organik madde, Fe/Al oksitler, katyon değişim kapasitesi ve türleşme), bitkinin türü, büyüme koşulları, çevre ortamı ve diğer iyonların varlığı gibi birçok faktöre bağlı olabilmektedir. Bununla beraber, daha yüksek sulama sıklığı gerektiren bitkiler, daha az suya ihtiyaç duyan bitkilere göre daha az element biriktirebilir (Kerketta, Kumar, Powell, Sahoo, Kapoor & Mittal 2023). Biyolojik olarak parçalanamamaları, uzun yarı ömürlerine sahip olmaları, diğer organizmalar ve insanlar üzerindeki toksik etkileri nedeniyle sebzelerde eser metallerin varlığı önem taşımaktadır (Islam, Karim, Zheng & Li, 2018).

Sebzelerde belirli düzeylerde elemnt biyobirikimi insan sağlığı açısından tehlikeli olabilmektedir. Sebzelerin sık tüketilmesi göz önünde bulundurulduğunda, temel ihtiyaç olan beslenme yoluyla alınan elementlerin insan sağlığına etkisi ve risk değerlendirmesi yapılması önemli bir konudur. Bu nedenle son zamanlarda, sebzelerde kalite ölçümleri giderek artmaktadır. Gıdaların içerebileceği maksimum ağır metal değerleri sınırlandırılmış ve resmi kuruluşlar (Gıda ve Tarım Örgütü, GTÖ: Food and Agriculture Organization, FAO; Dünya Sağlık Örgütü, DSÖ: World Health Organization, WHO) tarafından düzenli olarak kontrol edilmesi zorunlu kılınmıştır. Eser elementlerin varlığı, potansiyel toksisitesi ve kalıcılığı insan sağlığı için tespit edilmesi gerekmektedir. Sebzelerde bulunan eser elementlerin, FAO ve WHO standartlarının izin verilen seviyesine göre hangi ölçüde alınması gerektiğine dayanarak, karnabahar sebzesinde hangi ölçüde bulunacağının ve hangi ölçüde alındığının belirlenmesi için analiz edilmesi önemlidir.

Bu çalışmada, farklı arazilerde yetiştirilmiş karnabaharın kalite ölçümleri; bitki ve toprak analizleri ile insan sağlığı açısından içerisinde bulundurduğu eser elementlerin günlük alıma dayalı etkileri araştırılmış olup, dikkatli tüketime ve daha kaliteli daha verimli karnabahar üretimine katkı sağlayacak verilerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

1.1. Karnabahar Sebzesi

Brokoli, Brüksel lahanası, karnabahar, lahana ve karalahana gibi Brassica sebzeler dünya çapında önemli ölçüde tüketilmektedir. Vitaminler, mineraller, fenolik bileşikler ve özellikle glukozinolatlar gibi fitokimyasalları içerdikleri için insan beslenmesi ve sağlığı açısından oldukça önemlidirler. Fenolik bileşikler, antioksidan aktivite, enzim regülasyonu, apoptoz ve hücre döngüsü kontrolü gibi çeşitli fizyolojik fonksiyonları indükler ancak bunlardan en önemlisi antioksidan aktiviteleridir (Girgin & El Sedef, 2015). Fenolik bileşikler ve C vitamini, yoğun içerikleri ve yüksek antioksidan aktiviteleri nedeniyle brassica sebzelerinin başlıca antioksidanlarıdır (Abul-fadl, 2012). Antioksidanlar, insan vücudundaki reaktif oksijen türlerinden (ROS) kaynaklanan oksidatif hasarı azaltan ve birçok kronik hastalığın ilerlemesini ve ayrıca lipit peroksidasyonunu geciktiren olası koruyucu ajanlar olarak kabul edilir (Köksal & Gülçin, 2008).

Genel bir ifadeyle sebzeleri yazlık ve kışlık olarak ayıracak olursak, kışlık sebzelerin başında, uzun yıllardır bilinen ve kabul görmüş bir sebze olan karnabahar gelmektedir. Besleyici özelliği ve zengin bir içeriğe sahip olması ile öne çıkan karnabaharın yetiştirilmesi, sonbahar ve kış aylarında yapılmaktadır.

Karnabahar (*Brassica oleracea var. botrytis*), Latince sap anlamına gelen "Caulis" ve çiçek anlamına gelen "Floris" sözcüklerinden türemiştir. Brassicaceae veya Cruciferae familyasına ait olup, Akdeniz kökenlidir. Tohumla üreyen ve büyük oranda kış mevsiminde yetişen önemli bir yıllık sebzedir. Besin bileşiminde %91'e kadar yüksek oranda su, %4,5 oranında şeker, %2,5 oranında protein, %1,8 oranında ham lif ve yalnızca %0,3 oranında yağ bulunur (Belbase & Bc, 2020).

Çin ve Hindistan karnabahar yetiştiren ülkelerin başında gelmektedir. Türkiye ise karnabahar yetiştiren ülkeler arasında 7. Sıradadır (Aksüt & Polatcı, 2022). Dünyada ve Türkiye'de karnabahar üretimi her yıl giderek artış göstermiştir. 2016 yılı verilerine göre ülkemizde 80 057 da alanda 195 248 ton karnabahar üretimi yapılmıştır (TÜİK'den aktaran Ulukapı & Şener, 2018). Türkiye'de son beş yılda karnabahar üretimi yaklaşık 35 007 ton artış göstermiş ve 2021 yılında 234 717 ton karnabahar üretilmiştir (TÜİK'den aktaran, Aksüt & Polatcı, 2022).

Karnabaharın sebze olarak tüketilen kısmı taç olarak isimlendirilmektedir. Karnabaharda taç çapı 10-25 cm, taç ağırlığı 0.250-5 kg arasında değişmektedir (Eşiyok & Eser, 1990). Tacın rengi genellikle beyazdır ancak karotenoidler, tokoferoller (e vitamini içeren yağlar) ve askorbik asit adı verilen fitokimyasalların özel kombinasyonu nedeniyle sarı, yeşil veya mor da olabilir (Belbase & Bc, 2020). Karnabaharlardaki tacın rengi sarı, kirli beyaz veyaz beyaz tonlarında olabilmektedir, büyüklüğü ise iklim ve yetiştirme koşulları, çevresel faktörler, ekim dikim zamanı, dikim mesafe aralığı ve çeşit özelliğine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Güneş ışınlarına maruz kalan ve hasat edilmeyen karnabahardaki tacın rengi sarıya dönüşür, bu da pazar değerinin azalması demektir. Soğuk olan bölgelerde de karnabaharın taç kısımları, don riski nedeniyle zarar görmektedir, bu nedenle yetiştiricilikte vejetasyon süresine dikkat edilmesi gerekmektedir.

Karnabahar, zengin bir diyet lifi kaynağı olarak kabul edilir ve hem antioksidan hem de antikarsinojenik özelliklere sahiptir (Abul-fadl, 2012). Aynı zamanda yüksek

kalitede protein içerir. Çeşitli besinler, vitaminler, A vitamini, B1 vitamini, C vitamini, karbonhidrat, yağ (diğerlerine göre daha az miktarda), kalsiyum, potasyum, magnezyum, sodyum, demir, fosfor, kükürt, bakır, karotenoidler ve β-karoten gibi mineraller açısından zengindir (Belbase & Bc, 2020). Besleyici bir ürün olduğundan, karnabaharın büyümesi ve daha yüksek verimi için makro besinlerin ve mikro besinlerin rolü kaçınılmazdır.

Karnabahar dâhil olmak üzere, Brassica sebzeler; lahana kurdu, yaprak örümcek, elmas sırtlı güve, kesme solucan, lahana yaprak bitleri ve lahana pire böceği gibi zararlıların tahribatından muzdariptir. Bu ürünlerde en yaygın haşere kontrolü yöntemi böcek ilaçlarının uygulanmasıdır. Bu ürünler her zaman bazı böcek ilacı kalıntılarını barındırdığından, bu tüketilebilir ürünlerin oluşturduğu potansiyel sağlık tehlikeleri, bunların içinde bulunan pestisit kalıntılarının miktarına bağlıdır (Sharma, Srivastava, Ram & Srivastava, 2007).

1.2. Bazı Eser Elementler

1.2.1. Metal Toksisitesi ve Biyolojik Birikim

Genel olarak toksisite gösteren ağır metal terimi, sağlık açısından toksisite gösteren tüm metaller için ortak olarak kullanılmaktadır. Yüksek yoğunluğa (4-6 g/cm^3) sahip olan Civa (Hg), Kadmiyum (Cd), Arsenik (As), Kurşun (Pb), Krom (Cr), Nikel (Ni), Kobalt (Co), Çinko (Zn) vb. gibi elementler genel olarak ağır metal olarak adlandırılır. Toksisite düzeylerine göre yüksek, ortalama ve düşük toksik metaller olarak Çizelge 1.1' de sınıflandırılmıştır (Manwani vd., 2023).

Çizelge 1.1. Metallerin toksisitelerine göre sınıflandırılması (Manwani vd., 2023)

Sıra No	Metaller	Toksisite Seviyesi	Referans
1	Ag, Cd, Hg, Sb, Pb, U, As	Yüksek toksisite	Kumar vd. (2020)
2	Ni, V, Co, W, Cu, Cr, Zn	Ortalama toksisite	Jaishankar vd. (2014)
3	Mo, Mn, Fe	Düşük toksisite	Tchounwou vd. (2012)

Ağır metaller; çinko (Zn), bakır (Cu), kurşun (Pb), kobalt (Co), magnezyum (Mg), mangan (Mn), kadmiyum (Cd), krom (Cr), arsenik (As), demir (Fe) ve gümüş

(Ag) gibi metal iyonları olup, kalıcı etkileri nedeniyle çevre sağlığı yönünden ve dolayısıyla canlı sistemleri için önem taşımaktadır. Belirli bir konsantrasyon sınırını aştığında da son derece toksik etki göstermektedir. Arsenik (As), kadmiyum (Cd), cıva (Hg) ve kurşun (Pb) gibi diğer eser elementler düşük konsantrasyonlarda bile toksiktirler.

Çevrede yaygın olarak bulunmaları ve parçalanamayan doğaları nedeniyle insan dokularında biyolojik olarak birikme eğilimindedirler. Esansiyel olmayan metaller olarak adlandırılan metallerden bazılarının (Cd, Pb, Hg ve As) vücutta herhangi bir anahtar görevi yoktur ve kolayca metabolize edilememektedirler. Mn, Fe, Co, Ni, Zn ve Cu gibi diğer metaller vücutta eser miktarlarda gereklidir ancak belirli sınırların ötesinde toksik hale gelmektedir. Öncelikle bu tür metalleri biriktirmiş olan toprakta büyüyen bitkilerde potansiyel olarak birikmekte ve bunları tüketen canlılar için bir tehdit haline gelmektedir (Negera, Bufebo & Abebe, 2023).

Ayrıca bitkilerdeki metal birikimi, bitki çeşitlerine/türlerine, metalleri alma yeteneklerine ve toprak-bitki alım faktörlerine bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterir. Örneğin, As'nin biyolojik birikimi indirgeyici koşullar altında önemli ölçüde artarken, Cd'nin biyobirikimi toprağın redoks potansiyeli düştüğünde çözünürlükteki değişikliklerden dolayı azalır (Kerketta vd., 2023).

Ağır metallerin, solunmasının yanı sıra içme suyu, toprak ve gıda tüketimi, (özellikle de sebzelerin), insanların toksik metallere maruz kalmasının ana kaynağı olduğu tespit edilmiştir (Iftikhar, Ahmed, Sharif, Ahmed & Ahmad, 2021). Sebzeler toplam metal alımının yaklaşık %90'ına katkıda bulunur ve insanlarda ağır metal toksisitesinin en yaygın kaynağıdır (Manwani vd., 2023).

Sebzelerin ağır metallerle kirlenmesi, kirli su ile sulama, metal bazlı pestisitler ve gübreler, endüstriyel emisyonlar, nakliye, hasat süreci ve depolamadan kaynaklanabilir. Ayrıca sebzelerin taşıma ve pazarlama sistemleri de, sebzelerin kalitesini tehdit edebilecek ağır metallerin kirletici seviyelerinin yükselmesinde önemli rol oynamaktadır (Khan, Arif & Homaidan, 2012).

Mahsullerdeki kirlenme, bitkilerin topraktan toprak üstü kısımlarına transferin verimliliğine bağlıdır. Besin zincirindeki ağır metallerin döngüsü çeşitli kaynaklarla başlar. Örnek olarak Cd, topraktan kökler yoluyla bitki gövdesine alınır. Pb, havadaki

tozdan bitkilere emilmektedir. Besin zincirinde bir bölümden diğerine geçiş sırasında bazı ağır metaller, en çok karaciğer, tüy, kas, böbrek ve diğer organlarda birikme eğilimindedir (Kumar vd., 2019). Bitkilerde zehirli metaller bitkiye yalnızca abiyotik ortamdan (çoğunlukla topraktan) aktarılırken, hayvanlarda metaller hem biyotik hem de abiyotik ortamlardan elde edilmektedir (Mehmood vd., 2019).

Toprakta bulunan ağır metaller sebzeler tarafından alınır. Toksik metallerin topraktan alımı, çözünebilir katyon ve anyonlara, toprak pH'ına, bitki türüne, pestisitlere, gübrelere ve toprak tipine bağlıdır. Kirleticilerin biyolojik olarak bozunması veya biyolojik olarak inert formlara dönüştürülmesi dokularında etkili bir şekilde meydana geldiğinde bitkinin hayatta kalması artar. Metallerin bir bölmeden hücre ve bitki parçalarının başka bir bölmesine mobilizasyonu ve aktarılması için çeşitli metal taşıyıcılar rol oynar (Kumar vd., 2019).

Cd, As ve Pb gibi elementler bitki büyümesi veya gelişimi için gerekli değildir ve oldukça toksiktir. Yeşil yapraklı sebzeler topraktan kadmiyum ve kromun iyi bir absorplayıcısı olarak kabul edilir. Bu ağır metaller biyolojik sistemdeki ligandlar için rekabet ederek bazı temel eser element konsantrasyonlarının fonksiyonel metabolizmasını değiştirebilir (Tejaswini vd., 2021). Cd, Pb, As, Cu ve Cr gibi eser elementler de toprak-bitki arayüzünde yüksek birikim oranları sergileme eğilimindedir. Bu tür eser elementler, benzer fizyokimyasal özellikler nedeniyle bitki ve sebzelerde çok daha büyük miktarlarda translokasyona uğramaktadır (Pandey vd., 2022).

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'na göre Pb, çevrede bulunan son derece toksik bir metaldir. Zararlı Pb konsantrasyonları, bitki dokularının düzgün çalışması için gereken toplam protein içeriğini azaltırken, bitkilerin enzimatik aktivitelerini engelleyebilir. Ayrıca, Cd toksisitesi tohum çimlenme sürecini azaltabilir ve bitkilerdeki besin içeriğini etkileyebilir. Pb ve Cd, topraktan bitki köklerine kadar yoğun hareketlilik ile translokasyon oranları gösterebilmektedir (Pandey vd., 2022).

Cu, redoks reaksiyonlarının dengelenmesi gibi bitki metabolik fonksiyonları için gerekli olan temel bir eser element olarak bilinir. Ancak Cu, bitkilerde potansiyel toksisite riski olduğu gösterilmiştir. Aşırı Cu, bitkilerde reaktif oksijen türlerini (ROS) indükleyebilir ve fotosentez sürecindeki fotosistemleri etkileyebilir. Ayrıca Cu toksisitesi bitkilerde kloroz ve toplam klorofil içeriğinin azalmasına neden olabilir.

Benzer şekilde Cr, bitki hücrelerinin biyokütlesini azaltabilir, toprak mikrobiyal popülasyonunu değiştirebilir ve besin asimilasyon sürecini ortadan kaldırabilir. Cr, düşük dozlarda bile kolaylıkla birikerek çevreye zararlı etkilere neden olabilir (Pandey vd., 2022).

Ağır metaller ve metaloidler doğada biyolojik olarak parçalanamazlar ve insan sağlığını doğrudan ve dolaylı olarak etkileyebilirler. Ağır metallere ve metaloidlere kronik maruz kalma, böbrekler, karaciğer, akciğer, beyin ve kemikler gibi çeşitli organlara zarar verebilir (Islam vd., 2018).

Son yıllarda sebzelerde, antropojenik faaliyetlere bağlı olarak ağır metal kirliliği artmıştır. Ağır metal kirliliği toprak, hava, suyoluyla yetişmekte olan sebzelerde depolanmakta ve dolayısıyla da soframıza gelmektedir. Ağır metallerin toprağa karışması durdurulduktan sonra bile kirlenme süresi yüzlerce hatta binlerce yıl olabilir (Mapanda vd., 2005).

1.2.2. Toksik Olmayan Bazı Eser Elementler

Eser elementler bitkilerde düşük miktarlarda gereklidir, ayrıca temel ve gerekli olmayan eser elementler olarak alt bölümlere ayrılabilir. Bitkilerde yüksek konsantrasyonlarda (>%0,1 kuru ağırlık) Ca, Mg, N ve P gibi makro elementlere ihtiyaç vardır. Ayrıca Zn, Mo, Fe, Ni, B, Cr ve Cu, bitki metabolizması ve gelişimi için gerekli olan temel eser elementlerin örnekleridir. Ancak esansiyel eser elementlerin konsantrasyonu kuru ağırlığın %0,1'ini aştığında çevrede toksik ve zararlı maddelere dönüşebilirler (Pandey vd., 2022).

Alınan besinlerde eser miktarda bulunan bakır (Cu), demir (Fe), kalay (Sn), çinko (Zn), antimon (Sb), alüminyum (Al), magnezyum (Mg), mangan (Mn), molibden (Mo), selenyum (Se) ve krom (Cr) gibi metaller belirli koşullar altında insanlar için toksik olmayan ve gerekli elementler arasında olabilmektedir. Fe, insan kanında (eritrositler) %65'e kadar hemoglobin olarak bulunur (Ahmed vd., 2017). Cu, insan vücudunun fizyolojik fonksiyonunda önemli bir role sahiptir (Iftikhar vd., 2021). Cu, redoks reaksiyonlarının dengelenmesi gibi bitki metabolik fonksiyonları için gerekli olan temel bir eser element olarak bilinir (Pandey vd., 2022). Canlı protein

metabolizmasında birçok enzimi aktive edebilir. Dolayısıyla tüm canlı organizmalar için önemli bir mikro besindir.

Zn, protein yapısına katkıda bulunur ve enzimatik aktiviteleri katalize eder (Elgammal, Khorshed & Ismail, 2019). Mn, karbonhidratların, kolesterolün ve amino asitlerin metabolizmasında önemli bir rol oynar (Iftikhar vd., 2021). Ayrıca Mn insanın gelişimi için gerekli olmakla birlikte aşırı konsantrasyonda manganizme neden olabilir (Islam vd., 2018). Kromun insan sağlığı üzerindeki etkisi oksidasyon durumuna bağlıdır çünkü; Cr (III) insan diyetinin önemli bir bileşenidir ve insan metabolizmasında önemli bir rol oynar (Bahadır, Bulut, Ozdes, Duran, Bektas & Soylak, 2014).

Bitki beslenmesi için gerekli olan Mn, Fe, Cu ve Zn gibi mikro besinler bitkilerin fizyolojik fonksiyonlarında önemli rol oynamakta ancak izin verilen limitlerin üzerinde mevcut olduklarında ciddi sağlık tehlikelerine neden olmaktadır (Iftikhar vd., 2021). Bakır (Cu), krom (Cr), flor (F), molibden (Mo), nikel (Ni), selenyum (Se) ve çinko (Zn) gibi bazı mikro besin elementleri gerekli eser elementler olduğu gibi yine yüksek konsantrasyonlarda hem hayvanlar hem de insanlar için toksik olabilmektedir. Bu metaller bitkilerde normal aralığın üzerinde alındıklarında makromoleküllerle kararlı kompleksler oluştururlar ve dolayısıyla kanserojen etkilere sahip olabilmektedirler (Iftikhar vd., 2021).

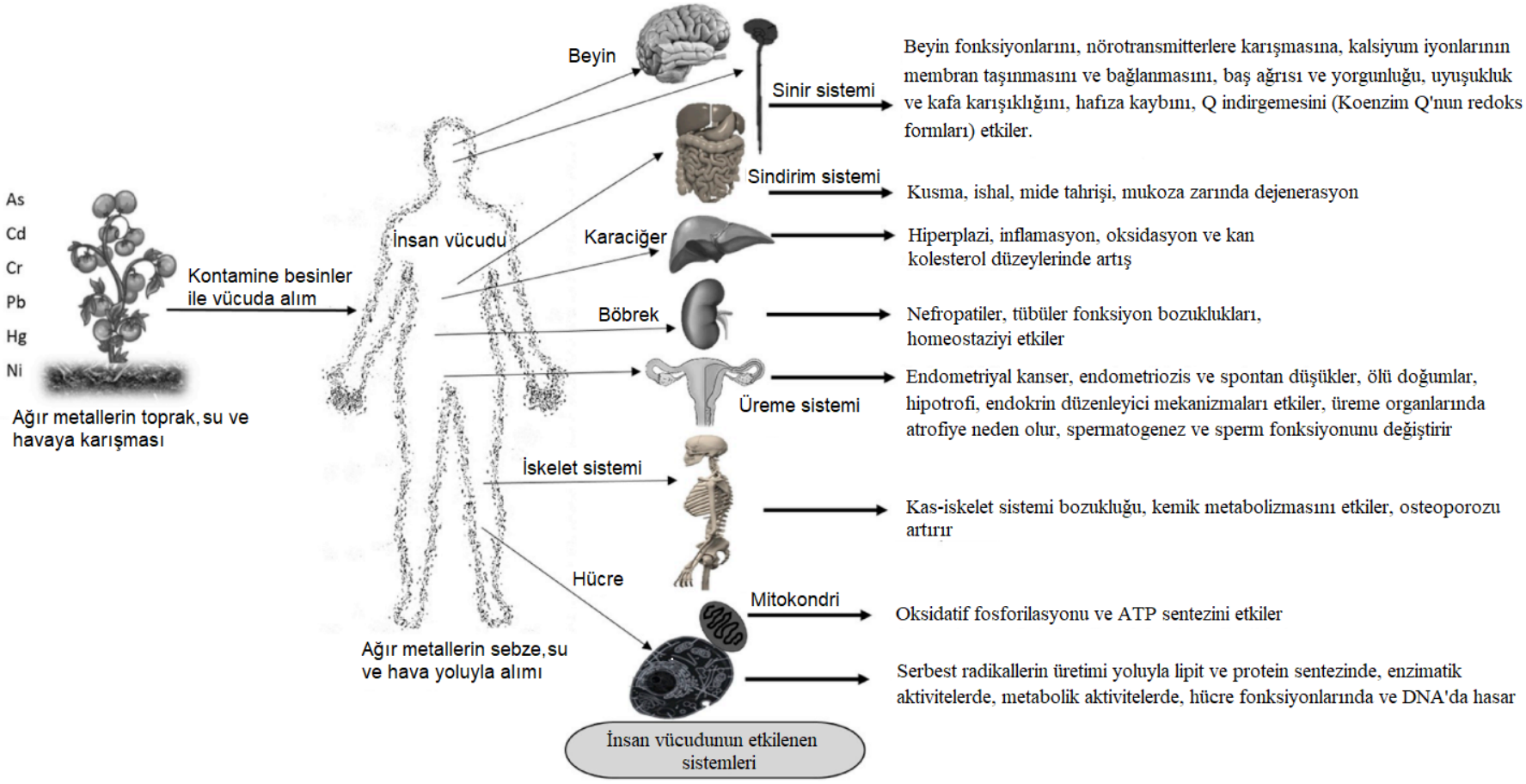
Yüksek eser element konsantrasyonu toprağı, bitkileri, gıda ürünlerini, insan sağlığını ve çevreyi olumsuz yönde etkileyebilir. Metallerin etkisi, konsantrasyonun yanı sıra elemntlerin canlı bünyelerine etkisi; elementin çeşidi, canlı türü ve elementin yapısına (çözünürlük değeri, redoks ve kompleks oluşturma yeteneği, kimyasal yapısı, vücuda alınış şekli, çevrede bulunma sıklığı, lokal pH değeri vb.) bağlı olabilmektedir.

1.2.3. Bazı Eser Elementlerin İnsan Sağlığına Etkisi

Ağır metallerin gıda maddelerinde güvenli olmayan konsantrasyonlarda uzun süre tüketilmesi, insan vücudunda çok sayıda biyolojik ve metabolik sürecin bozulmasına yol açabilir. Toksik metaller, mideye kontamine gıdalar yoluyla alındığında, asit ortamında stabil oksidasyon durumlarına dönüştürülür ve bazı proteinler ve enzimlerle birleşir. Stabilize edilmiş metalik bileşikler, amino asitlerdeki sisteinin sülfhidril grubu (-SH) ve metiyoninin sülfür atomları ($-SCH_3$) ile reaksiyona girerek protein

moleküllerinin dejenerasyonuna yol açar. Toksik elementlere doğrudan maruz kalma olmadığında, bu elementler besin zincirinde birikerek belirli bir bölgenin popülasyonu üzerinde zehirli etkiler yaratabilir (Kumar, vd., 2019).

Hücresel düzeyde toksik metal zehirlenmesinin oksidatif fosforilasyon ve ATP sentezi üzerinde zararlı etkileri olabilir. Ağır metallerin yetişkinlerde, hamile kadınlarda, fetüslerde ve küçük çocuklarda hem akut hem de kronik toksisite belirtileri Şekil 1.1' de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Ağır metallerin insan sağlığına etkileri (Kumar vd., 2019).

Demir, konsantrasyonu yüksekse Cu emilimini azaltabilir, bu da vücudun enerji seviyesini, ruh halini ve dikkat gücünü etkileyebilir (Ahmed, Khaleeq, Huma & Munir, 2017). Yüksek Fe miktarı merkezi sinir sistemine, pankreasa, kalbe, karaciğere ve tiroide zarar verir ve aynı zamanda tip II diyabetin, Alzheimer ve Parkinson hastalığının nedeni haline gelir (Ghuniem, Khorshed & Souaya, 2019). Cu, aşırı tüketimi insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Aşırı miktardaki Cu, bağırsak ve karaciğer üzerinde zararlı etkiler yaparak mideye zarar verir. Ancak aşırı miktarda alındığında Cu(II) bağırsak ve mide sistemlerine zarar verebilir (Iftikhar vd., 2021).

Zn, daha yüksek seviyelerde alınması halinde bağışıklık sistemi ve insan vücudunun lipoproteinleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Elgammal, Khorshed & Ismail, 2019). Zn'nin toksisitesi çocuklarda büyüme geriliği, cinsel olgunlaşmanın gecikmesi, enfeksiyon duyarlılığı ve ishale neden olur ve insandaki enzimatik aktiviteyi etkiler (Islam vd., 2018). Yüksek Mn konsantrasyonları erkek kısırlığı, nörolojik bozukluklar, doğum sakatlığı ve kemik defektleri gibi çeşitli etkilere neden olabilir (Iftikhar vd., 2021).

Cr, sadece oksidasyon durumunda insan sağlığı üzerinde etkilidir; Cr (VI) ise oldukça kanserojen olmasının yanı sıra kardiyovasküler ve karaciğer hastalıklarına da neden olur (Bahadır vd., 2014). Kandaki aşırı Pb miktarı hipertansiyona neden olabilir; iskelet, bağışıklık ve endokrin sistemine zarar verir, çocuklarda ve yetişkinlerde zeka potansiyelini azaltır ve ayrıca böbrek ve kalbin işleyişini etkiler (Iftikhar vd., 2021).

Genel olarak ağır metallerin insanlarda doğum öncesi (fetüs) ve doğum sonrası tüm yaş grupları için akut ve kronik etkileri Çizelge 1.2'de verilmektedir. Tüm bu nedenler göz önüne alındığında, sebzelerdeki bazı metal derşimlerinin ve buna bağlı sağlık risklerinin değerlendirilmesi önemlidir.

Çizelge 1.2. Ağır metallerin insanlarda doğumdan önce ve sonra akut ve kronik etkileri (Kumar vd., 2019)

Toksik Metal	Toksisite	Doğum Öncesi Etkileri	Doğum Sonrası Etkileri	Etkilenen sistem ve/veya organ	Referans
As	Akut	Beyin gelişimine nörotoksik ve davranış değişiklikleri yaratıyor	Zayıflık, uyuşukluk ve kafa karışıklığı, kas ağrısı, ciltte kızarma, kalp atışlarında anormal değişiklikler ve ellerde ve bacaklarda karıncalanma hissi	Akciğerler, karaciğer, mesane ve deri	Yang, Ma, Zhou, Song & Li (2018) Zocche vd. (2010)
	Kronik	Fetal kayıpta artış, embriyo üzerinde zararlı etkiler, mutajenez ve doğum ağırlığında azalma	Oksidatif fosforilasyonu ve ATP sentezini, eritrosit ve lökosit üretiminin azalmasını, cilt belirtilerini, pigmentasyonu ve keratozları, nörolojik bozuklukları ve kardiyovasküler hastalıkları etkiler.		
Cd	Akut	-	Akciğer ödemi ve mukoza zarının tahribatı, mide tahrişi, kusma, ishal ve yorgunluk	Böbrek	Lai, Lin, Liao, Chuang & Peng (2018); Salem, Eweida & Farag (2000); Trzcinka-Ochocka vd. (2010)
	Kronik	Embriyotoksik ve teratojenik, embriyonun boyutunun ve ağırlığının azalması	Ca^{+2} metabolizmasındaki bozukluklar, böbrek fonksiyon bozuklukları, böbrek taşı oluşumu ve hiperkalsiüri, mutajenik, kanserojen ve teratojenik		
Pb	Akut	Prematüre doğum riski ve düşük doğum ağırlıklı bebekler	Merkezi sinir sistemini ve gastrointestinal sistemi etkiler, iştah kaybı, böbrek hastalığı, kırılgan kemikler, böbrek fonksiyon bozukluğu ve karın ağrısı	Nöromüsküler sistem	Yan, Huang, Lung & Lin (2017); Salem vd. (2000); Iqbal (2012);
	Kronik	Çocukların bilişsel kapasitesinde azalma ve doğum kusurları	Zihinsel gerilik, otizm, doğum kusurları, alerji, psikoz, disleksi, kilo kaybı, hiperaktivite, felç, kas zayıflığı, beyin ve böbrek hasarı ve IQ azalması		
Cr	Akut	Fetüs gelişimi üzerindeki zararlı etkiler	Ülserler, saç dökülmesi, eritrosit glutatyon redüktazın inhibisyonu ve methemoglobinin hemoglobine dönüşümünün azalması	Sindirim kanalı	Salem vd. (2000); Matsumoto vd. (2006)
	Kronik	Embriyotoksik ve fetotoksik, düşük doğum ağırlığı ve preterm doğum ve konjenital malformasyonlar	Kromozomal anormallikler ve mutasyonlar, DNA sürecinin replikasyonu ve transkripsiyonunda değişiklikler		

Çizelge 1.2. Ağır metallerin insanlarda doğumdan önce ve sonra akut ve kronik etkileri (Kumar, vd., 2019)

Toksik Metal	**Toksisite**	**Doğumdan Önce Etkileri**	**Doğumdan Sonra Etkileri**	**Etkilenen sistem ve/veya organ**	**Referans**
Hg	Akut	Büyüme ve gelişmeyi etkiler	Anksiyete, depresyon, uyuşukluk, saç ve hafıza kaybı, denge güçlüğü, uykusuzluk, sinirlilik, hafıza kaybı, beyin, böbrek ve akciğerlerde hasar ve görme veya işitmede değişiklikler	Sinir sistemi	Zafarzadeh, Rahimzadeh & Mahvi (2018);
	Kronik	Doğmamış bebeklerde beyin ve sinir sistemi gelişimini etkiler	Akciğer hasarı, deri döküntüleri, kusma, ishal, mide bulantısı, kan basıncında artış		
Cu	Akut	Fetal büyümeyi etkiler, davranışsal değişikliklere neden olur ve nörotoksiktir.	Mide ve bağırsak tahrişi	Nörolojik ve enzimatik sistemler	Salem vd. (2000);
	Kronik	Yenidoğanda nörolojik değişiklikler ve annede preeklampsi	Beyin ve böbreklerde hasar, karaciğer sirozu ve kronik anemi		
Ni	Akut	-	Baş ağrısı, baş dönmesi, uykusuzluk, bulantı, kusma, sinirlilik, kaşıntı ve saç dökülmesi	Mitokondri	Rehman, Fatima, Waheed & Akash (2018); Salem vd. (2000); Khan, Ahmad & Rahman (2007); Mishra vd. (2010)
	Kronik	-	Hematotoksik, immünotoksik, nörotoksik, genotoksik, nefrotoksik ve hepatotoksik, akciğer ve burun kanseri ve solunum bozuklukları		
	Kronik	Kas-iskelet sistemi kusurları	Akciğer kanseri riski		

BÖLÜM 2

MATERYAL ve METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Kullanılan Cihazlar

Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) kullanılarak ölçülmüştür. Çalışma amacına uygun olarak kullanılan cihazlar Çizelge 2.1'de verilmiştir. ICP-OES cihazının çalışma şartları Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kullanılan cihazlar

Cihaz	Marka	Model
İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi - ICP OES	Varian	Viasta-MPX CCD simultaneous
Saf Su Cihazı	Elga	Purelab Option DV 25
Manyetik karıştırıcılı Isıtıcı	IKA	C-MAG HS 10

Çizelge 2.2. ICP-OES cihaz parametreleri

Cihaz Model	Varian Vista MPX CCD
RF güç	1.20kW
Plasma gaz akışı	15.0 L/dk
Yardımcı gaz akışı	1.5 L/dk
Nebulizatör akışı	0.9 L/dk
Tekrar	3
Pompa hızı	10 rpm

Çizelge 2.3. ICP-OES çalışılan dalga boyları

Element	Dalga Boyu nm
Cd	214.439
Cr	267.716
Cu	327.395
Fe	238.204
Mn	257.610
Ni	231.604
Pb	220.353
Zn	213.857

2.1.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Deneylerde kullanılan kimyasal maddelerin tümü analitik saflıktadır. Derişik HNO_3 (Merck) , Derişik HCl (Merck), H_2O_2 (Sigma Aldrich), ICP multi element standart çözeltisi IV (Sigma Aldrich) kimyasal maddeleri deneylerde kullanılmıştır.

Standart Referas Maddeler:

NIST 1515 (Elma Yaprağı) ve NIST 2710 (Montana Toprağı) sertifikalı Standart Referans Maddeler minör ve majör elementlerin belirlenmesinde, analitik yöntemleri doğrulamak amacıyla kullanılmaktadır.

2.1.3. Çalışma Alanı ve Örnekleme Noktaları

Çalışma alanı, Türkiye'nin Kuzeybatısında, Marmara bölgesinde yer alan Edirne ilidir. Edirne, 41°40′37″ Kuzey enlemleri, 26°33′20″ Doğu boylamları arasında yer almaktadır (Çevre Şehircilik, 2023).

Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan şehrin iklimi, Karadeniz, Ege ve Marmara denizlerinin etkileriyle yer yer ve zaman zaman farklı iklim özellikleri göstermektedir. Kışları, Akdeniz iklimi etkisinde ılık ve yağışlı, kara iklimi etkisi ile sert ve kar yağışlı geçmektedir. Genellikle bahar dönemleri yağışlı, yazlar ise sıcak ve kurak geçmektedir. Son yıllarda, Ocak ayı ortalama en düşük sıcaklık -0,5 C, yıllık ortalama en düşük sıcaklık 8,5 °C, Temmuz ayında en yüksek sıcaklık 44,1 °C olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama yağış miktarı 601.0 mm ve yıllık ortlama nispi nem %70'dir (MGM, 2024). Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen değerlere göre Edirne ili

genelinde ortalama rüzgar hızı 5,5-7 m/s seviyelerindedir (Trakya Kalkınma Ajansı, 2014).

Edirne şehri ve çevresinde mühendislik, kimya, ilaç, gıda, içki, tütün, tekstil, çimento gibi çok sayıda küçük, orta ve büyük ölçekli sanayi bulunmaktadır. Geniş düzlükler ve alçak tepelere sahip Edirne ili, %61 tarım alanı, %18 orman, %12 tarım dışı arazi ve %9 çayır mera arazilerinden oluşmaktadır. Meriç, Tunca ve birleşimi olan Ergene nehrinin de yakınlığı nedeniyle yeterli su kaynaklarına sahiptir. Her çeşit toprakta yetiştirilebilen karnabahar sebzesinin sıcaklık sevmesi nedeniyle iklim konusunda hassasiyeti bulunmaktadır. Karnabaharın, uygun sıcaklıklarda ekimi ve fide oluşumunun sağlanması, yetiştirilmesi ve gecikmeden uygun sıcaklıkta ve zamanda hasat edilmesi, tacın gövdeyle birleştiği yerden dikkatle kesilmesi, çabuk zedelendiği dolayısıyla kararma yaptığı için özenle kasalara yerleştirilmesi konularında da hassasiyeti bulunmaktadır.

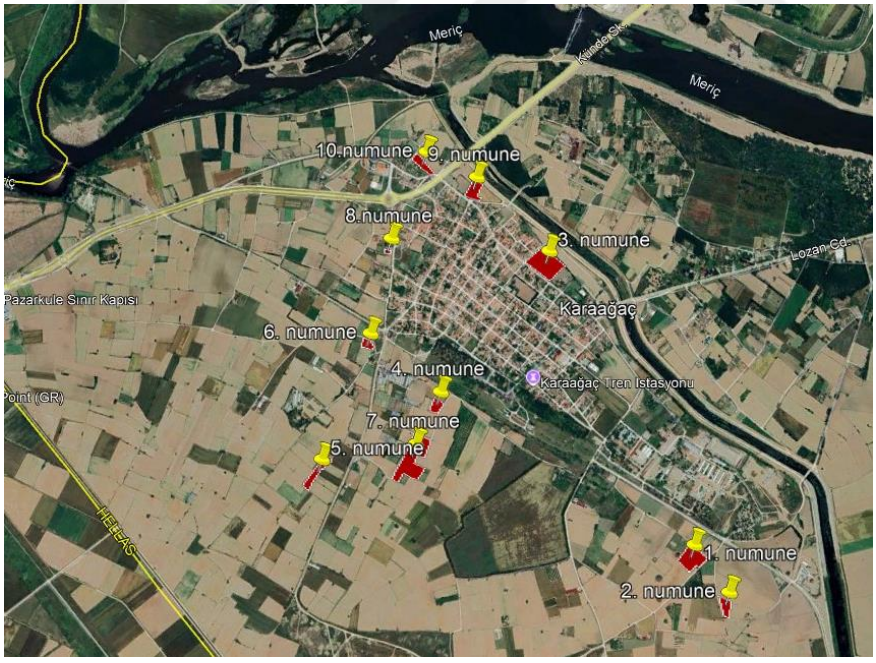


Şekil 2.1. Edirne ili alınan örnek noktaları (TKGM, 2024)

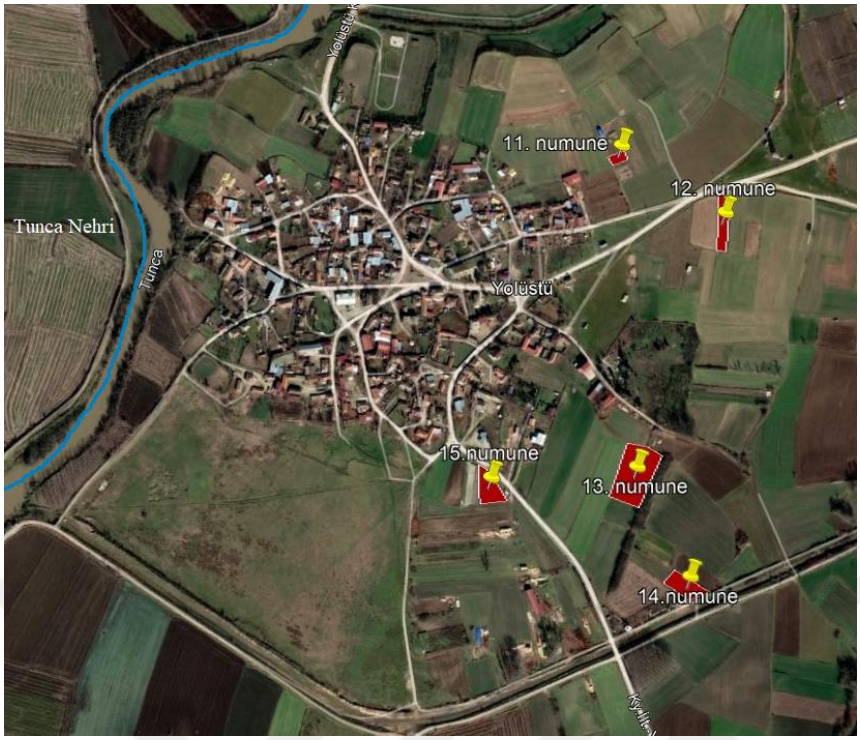
Bu çalışma için üç örnekleme istasyonu seçilmiştir. Edirne İl sınırı haritasında, alınan örnek konumları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

1) Karaağaç, Merkez.
2) Yolüstü köyü, Merkez.
3) Abalar köyü, Havsa.

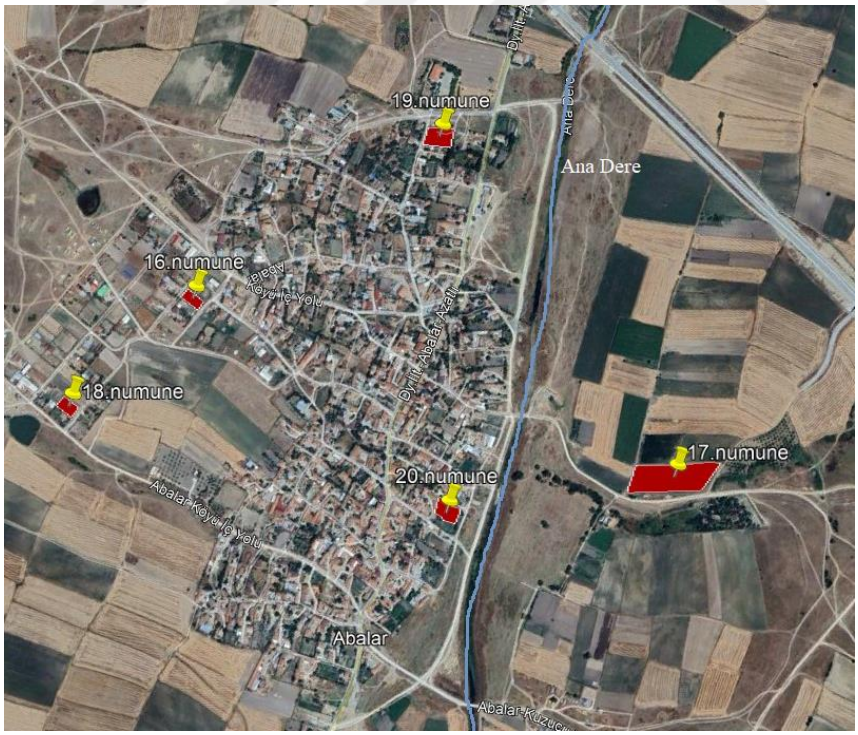
Karnabahar üretimi yoğunluklu olarak Karaağaç mevkiinde ekilmektedir, buradan market ve pazarlara ticari satışı yapılmaktadır. Aynı zamanda üretilen karnabahar Yolüstü köyü ve Abalar köyünden de köy pazarlarına ve marketlere satışı yapılmaktadır. Karaağaç'tan örnek alınan noktalar, numaralarıyla birlikte Şekil 2.2'de verilmiştir. Yolüstü köyü, Edirne'nin kuzeyinde, il merkezine 17 km uzaklıkta, Tunca nehri kenarında yer almaktadır. Yolüstü köyünde numune alınan noktalar Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Abalar köyü, Havsa ilçesinin batısında ve ilçe merkezine 8 km uzaklıkta, il merkezine ise 17 km uzaklıkta yer almaktadır. Abalar köyünde numune alınan noktalar, numaralandırılmış olarak Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Karaağaç örnek alınan noktalar (TKGM, 2024).



Şekil 2.3. Yolüstü köyü örnek alınan noktalar (TKGM, 2024).



Şekil 2.4. Abalar Köyü örnek alınan noktalar (TKGM, 2024).

2.1.4. Numunelerin Toplanması ve Hazırlanması

Çalışmada kullanılacak karnabahar toprağı, yaprak ve taç kısmı, Edirne iline ait Karaağaç mahallesinde 10 farklı noktadan hasat öncesi, Yolüstü köyünde 5 farklı noktadan/tarladan hasat öncesi, Abalar köyünde 5 farklı noktadan/tarladan hasat öncesi alınmıştır. Toprak örnekleri, yaprak ve taç kısmı alınan karnabahar köküne 70-90 cm uzaklıktaki noktalardan, 0-20 cm'lik yüzey toprağından plastik kürek kullanılarak alınmıştır. Alınan örnekler plastik kilitli torbaya konularak numaralandırılıp, laboratuvara güvenli bir şekilde ulaştırılmıştır. Alınan toprak örnekleri sonbahar mevsimine göre aldığı için bir süre açıkta bekletilerek hava kuru ağırlığa gelmeleri sağlanmıştır.

Karnabahar bitkisinden alınan yaprak ve taç kısmı, kesici alet kullanmadan, örnek alınmıştır. Karnabahar yaprak ve taç kısımları her biri tek bir karnabahar bitkisine ait olacak şekilde, ayrı kilitli torbalara konulmuş ve numaralandırılmıştır. Laboratuvarda derin dondurucuda analize kadar bekletilmiştir.

2.2. Metot ve Veri Analizi

2.2.1. Yaş Yakma ile Çözündürme

Toprak numunelerinin her birinden 1 gram alınarak, HNO_3:HCl (1:3) oranına uygun olarak 2 mL HNO_3, 6 mL HCl ilave edilerek 95°C sıcaklıkta 1 saat ısıtılarak çözünürleştirme işlemi yapıldı. Çözünürleştirilen numuneler oda sıcaklığına kadar soğutuldu, ardından süzülerek saf su ile 50 mL'ye tamamlandı. Blank deneyleri aynı prosedürle gerçekleştirildi (Amanuel, Kassegne 2022)

Karnabahar numunelerinin, yaprak ve taç kısmlarınada çözünürleştirme prosedürü uygulandı. Numunelerin her birinden 1 gram alınarak, 10 mL'lik asit karışımı; 8 mL HNO_3, 1 mL HCl, 1 mLH_2O_2 ile 115°C sıcaklıkta, 3 saat çözünürleştirme işlemi yapıldı. Çözünürletirilen numuneler oda sıcaklığına gelene kadar bekletildi. Çözelti, 50 mL'lik balon jojelerde 50 mL'ye saf su ile tamamlandı. Blank deneyleri aynı prosedürle gerçekleştirildi (USEPA 1996; Amanuel, Kassegne 2022)

2.2.2. Transfer faktörü

Topraktan sebzenin yenilebilir kısımlarına metallerin transfer faktörü (TF), bitki dokusundaki elemnt konsantrasyonunun topraktaki element konsantrasyonuna oranıdır (Bhatia, Singh & Kumar, 2015). Metallerin transfer faktörü, bitkilerin topraktan yenilebilir dokulara metal aktarma ve birikim potansiyelini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Yüksek transfer faktörüne sahip metaller, düşük transfer faktörüne sahip olanlara göre topraktan bitkilerin yenilebilir kısımlarına daha kolay transfer edilir. Elementlerin transfer faktörü elementlerin biyoyararlılığına bağlıdır, bu da elementlerin topraktaki konsantrasyonuna ve kimyasal formuna ve bitkilerin alım kapasitesine ve büyümesine bağlıdır (Bhatia, Singh & Kumar, 2015).

Transfer faktörü (TF), aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır Chabukdhara, Munjal, Nema, Gupta & Kaushal, 2016).

$$TF = C_{bitki} / C_{toprak} \quad (2.1)$$

Burada C_{bitki} ve C_{toprak} sırasıyla bitki dokularının (kök/yaprak/meyve/tahıl vb.) ve toprakların içeriğindeki element konsantrasyonunu temsil etmektedir. Topraktan bitkiye transfer faktörü, birikim faktörü, konsantrasyon faktörü veya alım faktörü olarak da adlandırılır, bir elementin topraktan bitkiye transfer potansiyelini değerlendirmek için bir endekstir (Zheng, Wang & Zheng, 2007). Farklı tarla tarım alanlarından toplanan karnabahar sebzesi için transfer faktörü formüle göre hesaplanmıştır.

2.2.3. Günlük Metal Alımı (DIM)

Sebzelerde eser metallerin bulunması veya bulunmaması gereken miktarı, FAO (Food and Agriculture Organization; Gıda ve Tarım Örgütü; GTÖ) ve WHO (World Health Organization; Dünya Sağlık Örgütü; DSÖ) tarafından belirlenen standartlar (izin verilen ve güvenli kabul edilen seviyeler) dünya çapında ölçüt olarak kabul edilmektedir. Günlük olarak tüketilen sebzelerden alınan eser metallerin miktarı, standartlara göre değerlendirilmektedir. Günlük sebzelerle alınan eser element miktarı, belirlenen ortalama verilere göre hesaplanmaktadır. Edirne karnabaharında hangi ölçüde bulunduğu ve hangi ölçüde alındığının değerlendirmesi yapılmıştır.

WHO Günlük Sebze ve Meyve Tüketimi Önerisi:

WHO, yetişkinler için günlük 400 gram sebze ve meyve tüketimini önermektedir. 6-12 yaş çocuklar için ise bu değer 300-400 gram iken 2-5 yaş çocuklarda 200-250 gramdır (Pem & Jeewon, 2015).

Günlük Metal Alımı (DIM, Daily Intake of Metal):

Bir kirleticinin sağlık riskinin değerlendirilmesi, hedef organizmaya maruz kalma düzeyinin ve yolunun belirlenmesini gerektirir. Hem yetişkinler hem de çocuklar için günlük metal alımı (DIM), bitki tüketimlerinin ortalaması olarak hesaplanmaktadır (Bhatia, Singh & Kumar 2015).

$$DIM = (D \times K \times I) \qquad (2.2)$$

Burada DIM (Daily Intake of Metals), sebzelerin yenilebilir kısımlarından günlük metal alımı (mg/gün) olarak; D; sebzedeki metal konsantrasyonunu (mg/kg taze ağırlık); K, metalin biyoyararlanımını temsil eden bir faktör (0,085); I, günlük sebze/meyve tüketimini (kg/gün) ifade etmektedir. WHO'ya göre günlük 400 gram sebze tüketimi önerildiğinden, Daily Intake of Metal (DIM) hesaplamasında bu değeri kullanarak hesaplama yapılmıştır (FAO, 2020).

2.2.4. Metallere Tahmini Günlük Maruziyet (EDEM)

EDEM (Estimated Daily Exposure to Metals), sebzeler ile alınan metallere tahmini günlük maruziyet, sebzelerdeki element konsantrasyonuna, günlük sebze tüketimine ve vücut ağırlığına bağlıdır. Literatür araştırmasına göre DIM (Günlük Metal Alımı) veya EDI (Estimated Daily Intake - Tahmini Günlük Alım) veya ADI (Average Daily Intake - Ortalama Günlük Alım) olarak da adlandırılmaktadır. EDEM, aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Bhatia, Singh & Kumar, 2015):

$$EDEM = DIM \,/\, W \qquad (2.3)$$

EDEM, bir kişinin günlük olarak aldığı metal miktarını hesaplamak için kullanılan bir formüldür. Sebzelerde bulunan metallerin günlük alımını hesaplamak ve değerlendirmek için kullanılmaktadır (Bhatia, Singh & Kumar, 2015). W (weight), kişinin vücut ağırlığıdır (kg). WHO'ya göre yetişkin ortalama vücut ağırlığı 70 kg (Mandal, Kaur, 2018) olarak önerildiğinden, EDEM (Estimated Daily Exposure to

Metals) hesaplamasında bu değer kullanarak tahmini hesaplama yapılmaktadır. Belirli bir EDEM değerinin karşılık gelen UL'yi (Tolore edilebilir seviye) aşması tüketiciler için potansiyel bir risk anlamına gelir. Bu formülde kişinin vücut ağırlığı dikkate alınarak, kişinin günlük olarak aldığı metal miktarı tahmini olarak hesaplanmaktadır.

2.2.5. Eser Elementler İçin Sağlık Risk Endeksinin Hesaplanması

Sebzelerdeki eser elementlerin tüketiminden kaynaklanan insan sağlığına yönelik potansiyel risk; sebze tüketimine bağlı sağlık riski (HRI; Health Risk Index), her bir metal için tahmini günlük metal alımı maruziyetinin (EDEM), oral referans doza (RfDo) oranı olarak aşağıdaki denklemle tanımlanmıştır (Bhatia, Singh & Kumar, 2015):

$$HRI = \frac{\text{EDEM}}{\text{RfDo}} \tag{2.4}$$

Burada RfDo, yaşam boyu oral alım yoluyla maruz kalmanın güvenli seviyelerini temsil eder (USEPA, 2002; Bhatia, Singh & Kumar, 2015). Seçili metallerin Rfdo değerleri Çizelge 2.4'de gösterilmiştir. EDEM metallere tahmini günlük maruziyet miktarıdır (mg/kg.gün). EDEM ve Rfdo değerlerinin her ikisi de mg/kg.gün olduğundan, HRI oranı birimsiz olmaktadır. Risk endeksi 1'den az ise, o zaman belirgin bir risk söz konusu değildir; risk endeksi 1'e eşit veya 1'den büyük ise, o zaman potansiyel bir sağlık riski vardır kabul edilir (Bhatia, Singh & Kumar, 2015). Bu değer genellikle araştırma altındaki sebzelerdeki metallerin potansiyel kanserojen olmayan riskini tahmin etmek için kullanılır. Bu yaklaşım baz alınarak, her örnekleme sahasının HRI değeri veya tehlike katsayısı, bir bireyin maruz kalabileceği metaller için hesaplanmıştır.

Çizelge 2.4. Herbir metalin, yaşam boyu oral alım yoluyla maruz kalma güvenli seviyeleri, mg/kg.gün (USEPA, 2014; Iftikhar vd., 2021).

Element	***RfDo* (mg/gün)**
Cadmium (Cd)	0,001
Chromium (Cr)	1,5
Bakır (Cu)	0,04
Demir (Fe)	0,7
Mangan (Mn)	0,14
Nikel (Ni)	0,02
Kurşun (Pb)	0.004
Çinko (Zn)	0,3
USEPA, 2014; Iftikhar vd., 2021	

BÖLÜM 3

SONUÇLAR

3.1. Standart Referans Madde Analizi ve Sonuçları

Çözünürleştirme yönteminin doğruluğu, NIST 2710a Montana toprağı ve NIST 1515 elma yaprağı dahil olmak üzere sertifikalı referans materyallerinin analizi ile tespit edilmiştir. Elde edilen ICP-OES sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu metaller için kullanılan yöntem için elde edilen % geri kazanımlar 104,5 - 97,6 olarak belirlenmiştir Çizelge 3.1'de özetlendiği gibi, yaş yakma çözünürleştirme yöntemini kullanarak bildirilen sonuçlar, çalışılan elementler için sertifikalı değerleriyle iyi bir uyum içindedir.

Çizelge 3.1. Standart referans maddelerdeki Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn sonuçları.

Element	SRM	Gerçek değer (mg/kg)	Bulunan değer (mg/kg)	%Geri Kazanım	%Bağıl standart sapma
Cd	Elma Yaprağı (NIST 1515)	0.0132 ± 0.0015	0.0140±0.0012	106±9	8.6
	Montana I Toprağı (NIST 2710a)	12.3 ± 0.3	11.9±0.9	96.7±5	7.6
Cr	Elma Yaprağı (NIST 1515)	0.3*	0.31±0.028	103±9	9.0
	Montana I Toprağı (NIST 2710a)	23 ± 6	24±2	104±6	8.3
Cu	Elma Yaprağı (NIST 1515)	5.69 ± 0.13	5.51±0.27	96.8±4	4.9
	Montana I Toprağı (NIST 2710a)	(0.342±0.005) **	(0.335±0.015) **	97.9±6	4.5
Fe	Elma Yaprağı (NIST 1515)	82.7 ± 2.6	81.4±4.1	98.4±3	5.0
	Montana I Toprağı (NIST 2710a)	(4.32 ± 0.08) **	(4.3±0.3) **	99.5±8	7.0
Mn	Elma Yaprağı (NIST 1515)	54.1 ± 1.1	53.6±4.7	99.1±4	8.8
	Montana I Toprağı (NIST 2710a)	(0.214 ± 0.006)**	(0.215±0.013) **	100.5±6	6.1
Ni	Elma Yaprağı (NIST 1515)	0.936 ± 0.094	0.942±0.051	101±5	5.4
	Montana I Toprağı (NIST 2710a)	8 ± 1	7.9±0.6	98.8±6	7.6
Pb	Elma Yaprağı (NIST 1515)	0.470 ± 0.024	0.466±0.04	99.1±4	8.6
	Montana I Toprağı (NIST 2710a)	(0.552 ± 0.03) **	(0.556±0.04) **	101±2	7.2
Zn	Elma Yaprağı (NIST 1515)	12.45 ± 0.43	13.19±1.1	106±7	8.3
	Montana I Toprağı (NIST 2710a)	(0.418 ± 0.015) **	(0.425±0.029) **	102±8	6.8

*bilgilendirilmiş değer (Informative value.)
**Değerler yüzde cinsindendir.

3.2. Örneklerin Analiz Sonuçları

3.2.1. Toprak Analiz Sonuçları

Toksik metallerin topraktan alımı, çözünebilir katyon ve anyonlara, toprak pH'ına, bitki türüne, pestisitlere, gübrelere ve toprak tipine bağlıdır (Kumar, vd., 2019). Bu çalışmada toplanan toprak numunelerindeki elementlerin (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) tayin sonuçları çeşitli bölgelere göre Çizelge 3.2'da verilmiştir. 20 farklı araziden alınan toprak numunelerden elde edilen sonuçlar mg/kg birimi olarak verilmiştir. Numunelerde bölgelere ait sıralama; Karaağaç 1-10 nolu numune aralığında, Yolüstü köyü 11-15 nolu numune aralığında, Abalar Köyü 16-20 nolu numune aralığında yer almaktadır.

Çizelge 3.2. Çeşitli bölgelerden alınan toprak örneklerine ait Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn miktarları (mg/kg).

Numune		Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Karağaç	1	nd	7,25 ± 0,33	4,19 ± 0,66	3176 ± 16	180 ± 3	6,00 ± 0,88	6,73 ± 0,15	8,11 ± 1,29
	2	nd	7,31 ± 0,61	3,81 ± 0,38	3179 ± 46	195 ± 5	6,49 ± 0,11	6,84 ± 0,10	8,05 ± 1,26
	3	nd	7,69 ± 0,19	6,37 ± 0,42	3192 ± 34	231 ± 3	7,07 ± 0,12	9,07 ± 0,16	17,5 ± 1,8
	4	nd	5,35 ± 0,76	2,95 ± 0,25	2526 ± 33	174 ± 2	4,37 ± 0,80	4,72 ± 0,72	6,09 ± 0,87
	5	nd	5,54 ± 0,92	3,05 ± 0,24	2590 ± 27	171 ± 2	4,60 ± 0,60	4,88 ± 0,30	6,42 ± 0,70
	6	nd	5,86 ± 0,64	3,41 ± 0,19	2835 ± 12	188 ± 2	4,87 ± 0,59	6,74 ± 0,77	7,98 ± 0,88
	7	nd	5,07 ± 0,92	3,30 ± 0,45	2496 ± 21	162 ± 6	4,02 ± 0,93	5,87 ± 0,83	7,22 ± 0,1
	8	nd	7,27 ± 0,27	5,20 ± 0,06	3131 ± 33	176 ± 1	5,80 ± 0,20	8,97 ± 0,20	12,2 ± 0,1
	9	nd	7,80 ± 0,14	5,04 ± 0,20	3196 ± 48	199 ± 6	7,41 ± 0,29	9,64 ± 0,12	16,0 ± 1,1
	10	nd	12,9 ± 2,3	9,61 ± 0,86	4680 ± 11	260 ± 8	11,27 ± 1,9	9,87 ± 3,6	24,5 ± 3,4
Yolüstü	11	nd	4,55 ± 0,95	2,37 ± 0,36	2275 ± 51	180 ± 4	2,82 ± 0,75	4,88 ± 0,50	4,80 ± 1,08
	12	nd	4,17 ± 0,33	2,16 ± 0,24	2303 ± 28	138 ± 2	3,52 ± 0,08	3,99 ± 0,13	5,16 ± 0,68
	13	nd	5,31 ± 0,43	3,26 ± 0,52	2563 ± 40	150 ± 3	4,45 ± 0,92	5,34 ± 0,77	6,68 ± 1,33
	14	nd	5,99 ± 0,81	4,17 ± 0,36	2864 ± 31	144 ± 2	3,62 ± 0,98	3,81 ± 0,23	8,62 ± 1,32
	15	nd	12,5 ± 1,1	6,55 ± 0,42	4551 ± 31	266 ± 3	9,85 ± 0,85	9,73 ± 2,4	23,1 ± 1,9
Abalar	16	nd	7,09 ± 0,57	3,70 ± 0,28	3042 ± 19	194 ± 2	5,80 ± 0,58	6,25 ± 0,60	8,44 ± 0,68
	17	nd	3,71 ± 0,38	3,93 ± 0,53	1948 ± 20	184 ± 1	2,55 ± 0,51	3,08 ± 0,24	13,8 ± 3,1
	18	nd	17,3 ± 1,24	7,51 ± 0,69	4167 ± 11	275 ± 3	13,70 ± 1,4	3,72 ± 0,30	13,5 ± 1,4
	19	nd	8,61 ± 0,16	4,05 ± 0,32	2950 ± 41	186 ± 8	12,25 ± 1,2	4,04 ± 0,36	9,76 ± 0,35
	20	nd	6,03 ± 0,79	3,40 ± 0,22	2737 ± 15	170 ± 5	4,59 ± 0,41	9,35 ± 0,49	21,3 ± 1,52

*nd:tayin edilemedi

3.2.2. Karnabahar Yaprak Analizi Sonuçları

Yaprak numunelerindeki Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyon değerleri Çizelge 3.3'de göstermektedir. 20 farklı toprakta yetişen karnabahar sebzesinin her birinin yaprağından alınarak elde edilen numune sonuçları mg/kg olarak verilmiştir. Numunelerde bölgelere ait sıralama; Karaağaç 1-10 nolu numune aralığını, Yolüstü köyü 11-15 nolu numune aralığını, Abalar Köyü 16-20 nolu numune aralığını temsil etmektedir.

Çizelge 3.3. Çeşitli bölgelerden alınan karnabahar yaprak örneklerine ait Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn miktarları (mg/kg).

Numune		Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Karağaç	1	nd	nd	0,26 ± 0,02	7,39 ± 0,93	1,89 ± 0,53	nd	0,89 ± 0,04	1,99 ± 0,04
	2	nd	nd	0,20 ± 0,01	4,76 ± 0,40	2,26 ± 0,12	nd	0,38 ± 0,01	0,79 ± 0,07
	3	nd	nd	0,19 ± 0,01	5,26 ± 0,10	3,46 ± 0,83	nd	0,37 ± 0,02	0,47 ± 0,04
	4	nd	nd	0,28 ± 0,01	4,29 ± 0,16	2,07 ± 0,21	nd	0,62 ± 0,02	1,17 ± 0,06
	5	nd	nd	0,17 ± 0,04	3,15 ± 0,45	2,25 ± 0,25	nd	0,47 ± 0,02	0,54 ± 0,08
	6	nd	nd	0,22 ± 0,01	5,86 ± 0,27	5,10 ± 0,39	nd	0,56 ± 0,02	1,37 ± 0,15
	7	nd	nd	0,25 ± 0,01	2,48 ± 0,09	1,39 ± 0,04	nd	0,44 ± 0,01	1,00 ± 0,17
	8	nd	nd	0,21 ± 0,07	4,20 ± 0,19	1,76 ± 0,03	nd	0,36 ± 0,03	0,79 ± 0,04
	9	nd	nd	0,18 ± 0,03	4,42 ± 0,04	3,39 ± 0,56	nd	0,60 ± 0,07	0,51 ± 0,05
	10	nd	nd	0,22 ± 0,03	4,52 ± 0,13	1,76 ± 0,15	nd	0,63 ± 0,07	0,54 ± 0,03
Yolüstü	11	nd	nd	0,29 ± 0,01	8,09 ± 0,53	5,91 ± 0,12	nd	0,54 ± 0,09	0,91 ± 0,05
	12	nd	nd	0,27 ± 0,02	5,19 ± 0,25	2,41 ± 0,26	nd	1,12 ± 0,07	1,20 ± 0,02
	13	nd	nd	0,16 ± 0,06	2,91 ± 0,11	1,78 ± 0,06	nd	0,65 ± 0,06	0,27 ± 0,03
	14	nd	nd	0,45 ± 0,07	6,65 ± 0,52	2,92 ± 0,25	nd	0,31 ± 0,02	1,56 ± 0,43
	15	nd	nd	0,26 ± 0,01	5,67 ± 0,14	1,61 ± 0,04	nd	0,56 ± 0,09	0,75 ± 0,01
Abalar	16	nd	nd	0,13 ± 0,02	2,68 ± 0,02	1,00 ± 0,09	nd	0,63 ± 0,01	0,64 ± 0,02
	17	nd	nd	0,16 ± 0,01	2,66 ± 0,24	1,98 ± 0,23	nd	0,56 ± 0,03	0,73 ± 0,07
	18	nd	nd	0,40 ± 0,04	6,53 ± 0,71	2,64 ± 0,13	nd	0,59 ± 0,05	1,69 ± 0,14
	19	nd	nd	0,21 ± 0,05	2,12 ± 0,07	1,18 ± 0,05	nd	0,58 ± 0,01	0,66 ± 0,05
	20	nd	nd	0,25 ± 0,07	5,15 ± 0,03	4,85 ± 0,27	nd	0,23 ± 0,04	0,71 ± 0,02

*nd:tayin edilemedi

3.2.3. Karnabahar Taç Kısmı Analiz Sonuçları

Toplanan karnabahar sebzelerinin taç kısımınlarından alınan numunelerindeki Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyon değerleri Çizelge 3.4'de göstermektedir. 20 farklı toprakta yetişen karnabahar sebzelerinin her biri aynı gövdeye ait yaprak ve taç alınarak örnekleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar mg/kg olarak verilmiştir. Numuneler her bir bölgeden ve araziden bir adet olacak şekilde rastgele toplanmış olup, numune sıralaması şu şekilde yapılmıştır; Karaağaç 1-10 nolu numune aralığında, Yolüstü köyü 11-15 nolu numune aralığında, Abalar Köyü 16-20 nolu numune aralığında yer almaktadır.

Çizelge 3.4. Çeşitli bölgelerden alınan karnabahar taç örneklerine ait Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn miktarları (mg/kg).

Numune		Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Karağaç	1	nd	nd	0,078 ± 0,001	7,92 ± 0,90	0,50 ± 0,05	nd	0,09 ± 0,03	0,45 ± 0,03
	2	nd	nd	0,023 ± 0,006	5,51 ± 0,65	0,46 ± 0,03	nd	0,30 ± 0,01	0,17 ± 0,01
	3	nd	nd	0,101 ± 0,004	4,59 ± 0,51	0,41 ± 0,01	nd	0,26 ± 0,02	0,29 ± 0,02
	4	nd	nd	0,048 ± 0,003	3,91 ± 0,45	0,32 ± 0,02	nd	0,42 ± 0,01	0,20 ± 0,01
	5	nd	nd	0,083 ± 0,006	3,84 ± 0,39	0,39 ± 0,01	nd	0,39 ± 0,03	0,69 ± 0,06
	6	nd	nd	0,078 ± 0,001	4,23 ± 0,41	0,41 ± 0,03	nd	0,50 ± 0,02	0,32 ± 0,01
	7	nd	nd	0,027 ± 0,004	2,87 ± 0,28	0,27 ± 0,06	nd	0,56 ± 0,05	0,59 ± 0,03
	8	nd	nd	0,127 ± 0,08	3,11 ± 0,20	0,22 ± 0,03	nd	0,41 ± 0,03	0,25 ± 0,02
	9	nd	nd	0,058 ± 0,003	3,14 ± 0,16	0,36 ± 0,03	nd	0,47 ± 0,02	0,75 ± 0,04
	10	nd	nd	0,049 ± 0,003	2,40 ± 0,15	0,41 ± 0,05	nd	0,24 ± 0,03	0,30 ± 0,01
Yolüstü	11	nd	nd	0,064 ± 0,006	2,81 ± 0,19	0,66 ± 0,08	nd	0,42 ± 0,02	0,51 ± 0,06
	12	nd	0.12 ±0.01	0,154 ± 0,005	2,96 ± 0,13	0,84 ± 0,19	nd	0,51 ± 0,08	0,82 ± 0,04
	13	nd	nd	0,061 ± 0,001	1,89 ± 0,84	0,37 ± 0,01	nd	0,21 ± 0,05	0,06 ± 0,01
	14	nd	nd	0,073 ± 0,002	2,21 ± 0,48	0,15 ± 0,05	nd	0,50 ± 0,02	1,03 ± 0,09
	15	nd	nd	0,061 ± 0,003	2,71 ± 0,36	0,20 ± 0,03	nd	0,34 ± 0,01	0,60 ± 0,09
Abalar	16	nd	nd	0,117 ± 0,02	2,45 ± 0,46	0,19 ± 0,01	nd	0,34 ± 0,04	0,32 ± 0,05
	17	nd	nd	0,114 ± 0,05	4,08 ± 0,31	0,87 ± 0,24	nd	0,28 ± 0,01	0,20 ± 0,07
	18	nd	nd	0,099 ± 0,03	2,20 ± 0,39	0,17 ± 0,04	nd	0,50 ± 0,05	0,16 ± 0,02
	19	nd	nd	0,124 ± 0,01	2,11 ± 0,50	0,34 ± 0,07	nd	0,66 ± 0,07	0,16 ± 0,02
	20	nd	nd	0,036 ± 0,005	1,92 ± 0,25	0,85 ± 0,22	nd	0,55 ± 0,02	0,16 ± 0,01

*nd:tayin edilmedi

3.3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3.3.1. Kadmiyum

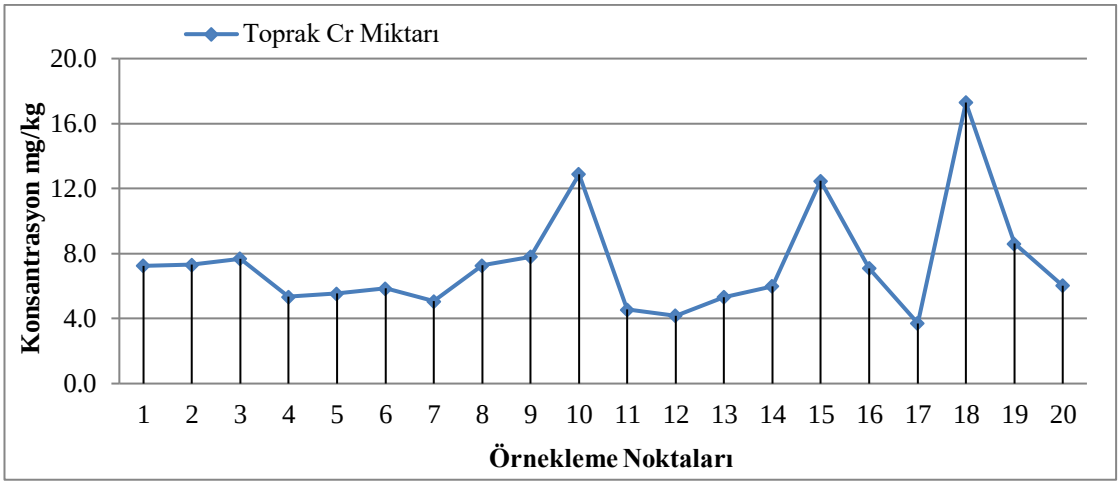
Ayrı bölgelerden alınan 20 adet toprak numunesinde yapılan analiz sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Toprak, yaprak ve taç kısım numune analiz tablolarındaki "nd" ölçüm sınırının altında olduğu ve anlamlı miktarın bulunmadığını göstermektedir. Buna göre Edirne bölgesinde analizi yapılan yerlerde yetişen karnabahar toprak, yaprak ve taç kısımlarında, Cd metali tayin edilememiştir.

3.3.2. Krom

Farklı bölgelerden alınan 20 adet toprak numunesinde element konsantrasyonları Şekil 3.1'e gösterilmektedir. Şekil 3.1'e göre en yüksek Cr konsantrasyonu Numune 18 (17,30 mg/kg) bulunmuştur. Krom konsantrasyonlarının toprak numunelerindeki sırası N18 > N10 > N15 > N19 > N9 > N13 >N2 > N8 > N1> N16 > N20 >N14 > N6 > N5 > N4 > N13 > N7 > N11 >N12 > N17 olarak bulunmuştur. En düşük Cr konsantrasyonuna sahip toprak numunesi ise, Numune 17'dir (3,71mgkg). Kabata-Pendias (2010) göre, dünyadaki yüzey topraklarında ortalama Cr içeriği 54 mg/kg olarak belirtmiştir.

Karnabahar yaprak numunelerinde ve taç yenilebilir kısımlardaki Cr konsantrasyonlarına bakıldığında, yaprak numune sonuçlarının ölçüm sınırının altında bulunmuştur. Numune 12'de, taç yenilebilir kısım numunesinde Cr değeri 0,12 mg/kg olarak bulunmuştur.

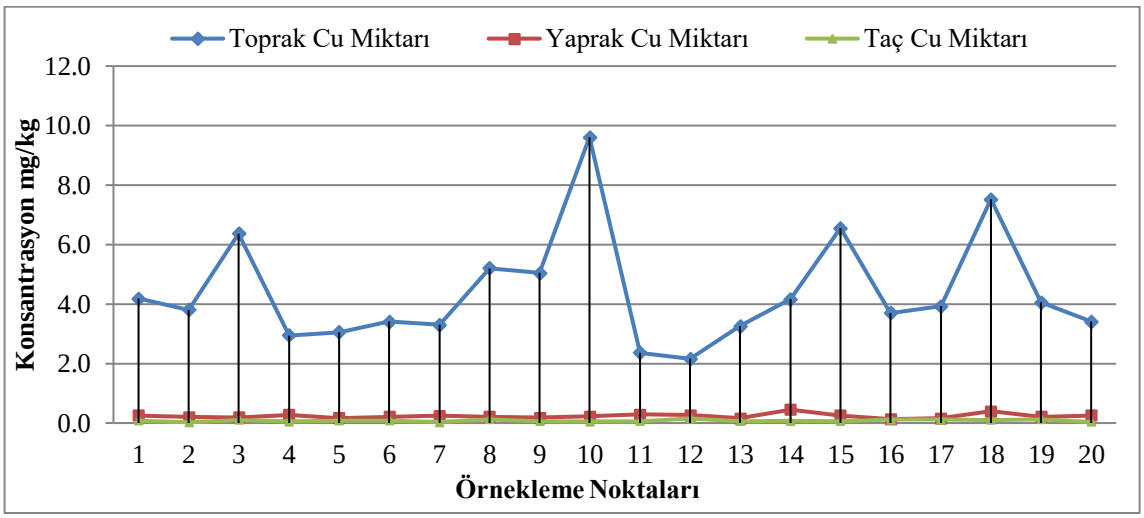
Şekil 3.1'deki toprak numunelerinde en düşük Cr konsantrasyonuna sahip Numune 12 (4,17 mg/kg) iken, yaprağında Cr metali bulunmamıştır. Fakat Numune 12, toprağının fiziksel ve kimyasal özelliklerine veya atmosferik (havadaki kirlilik) şartlara vs. bağlı olduğu düşünülerek taç yenilebilir kısmında Cr saptanmıştır (0,12 mg/kg).



Şekil 3.1. Toprak örneklerine ait Cr konsantrasyonları

3.3.3. Bakır

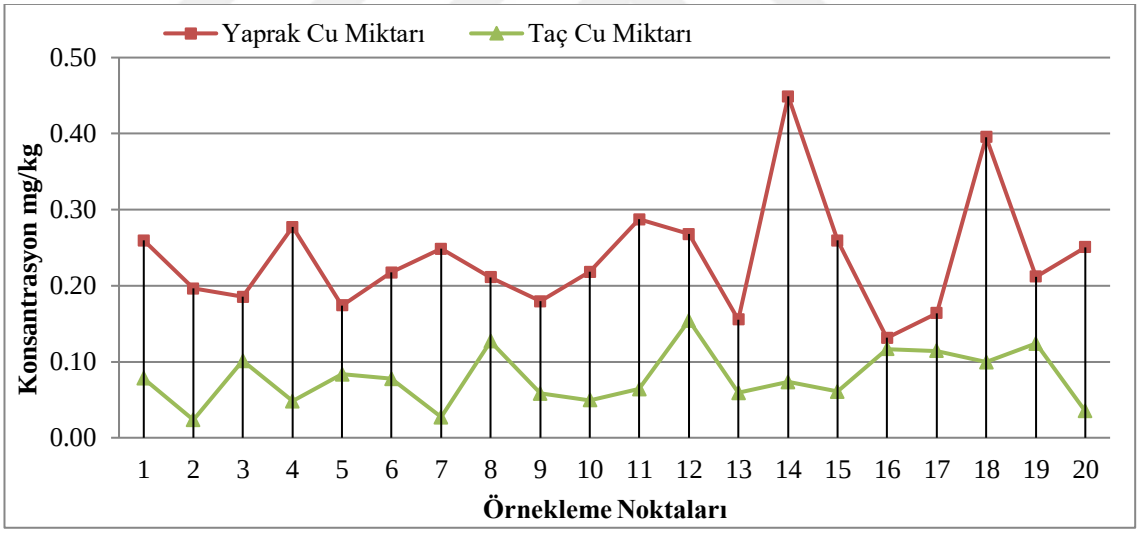
Analiz edilen toprak numunelerinde en yüksek Cu konsantrasyonuna sahip toprak numunesi 10 Nolu numunedir (9,61 mg/kg). Toprak numuneleri için verilen Cu konsantrasyon sıralaması: N10 > N18 > N15 > N3 > N8 > N9 > N1 > N14 > N19 > N17 > N2 > N16 > N6 > N20 > N7 > N13 > N5 > N4 > N11 > N12 şeklindedir (Şekil 3.2). En düşük Cu konsantrasyonu Numune 12'de bulunmuştur (2,16 mg/kg). Kaçar (2019), toplam Cu konsantrasyonlarının, toprakları oluşturan ana materyale, oluşum koşullarına ve işleme göre değiştiğini ve topraklarda genellikle ortalama 2 ile 200 mg/kg arasında olduğunu belirtmiştir.



Şekil 3.2. Karnabahar sebzesinin toprak, yaprak ve taç kısmına ait Cu konsantrasyonları

Analiz verileriyle oluşturulan Şekil 3.3'e göre, karnabahar sebzesinin taç kısmında Cu metali konsantrasyonu, en yüksek 0,154 mg/kg en düşük 0,023 mg/kg aralığında bulunmuştur. Karnabahar taç kısmında konsantrasyon sıralaması: N12 > N8 > N16=N19 > N17 > N18=N3 > N1=N5=N6 > N14 > N9=N11=N15=N13 > N4=N10 > N20 > N7 > N2 (0,023 mg/kg) şeklindedir.

Yaprak numunelerini konsantrasyon değerlerinin karşılaştırıldığı Şekil 3.3'e göre; en yüksek konsantrasyon 0,45 mg/kg Numune 14'de bulunmuştur. Toprak numune ölçümlerinin konsantrasyon aralığı 9,61 mg/kg 2,16 mg/kg iken, N14 toprak konsantrasyonu 4,17 mg/kg'dır. Yaprak numunelerinde ikinci yüksek değer 0,40 mg/kg Numune 18'de bulunmuştur. Yaprak numunelerinin konsantrasyon değerleri sırasıyla; N14 > N18 > N11> N4> N12> N1=N5> N20=N7> N10=N6> N8=N19> N2> N3> N9> N5> N17=N13> N16 (0,13 mg/kg) olduğu tespit edilmiştir. Yaprak numunelerinin konsantrasyon değerleri 0,45-0,13 mg/kg aralığındadır.

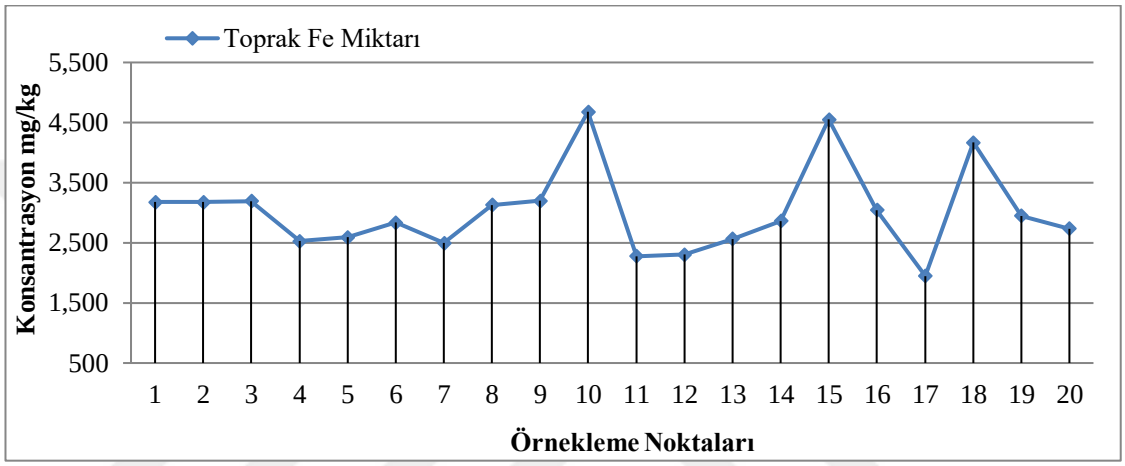


Şekil 3.3. Karnabahar sebzesinin yaprak ve taç kısmı örneklerie ait Cu konsantrasyonları.

3.3.4. Demir

Analizi yapılan toprak örnekleri arasında en yüksek Fe konsantrasyonu Numune 10'dur (4680 mg/kg). Şekil 3.4'ya göre; Numune 10, Cr ve Cu yönünden de en yüksek konsantrasyona sahip toprak numunesidir. İkinci sırada ise Numune 15 (4551 mg/kg) olduğu görülmektedir. Numune 15 aynı zamanda Cr konsantrasyonu yönünden de,

Numune 10'dan sonra üçüncü sırada yer almaktadır. Anlamlı farka sahip üçüncü yüksek değer Numune 18 (4167 mg/kg) ise Cr konstrasyonu yönünden en yüksek değerde ve ilk sıradadır. Demir değeri yüksek olan numunede, aynı zamanda Cr değeri de yüksek olduğu bulunmuştur. Toprak numunelerinde Fe konsantrasyonu sıralaması: N10 > N15 > N18 > N9 > N3 > N2 > N1 > N8> N16> N19> N14 > N6 > N20 > N13> N4> N7 > N12 > N11 > N17 (1948 mg/kg) şeklindedir.

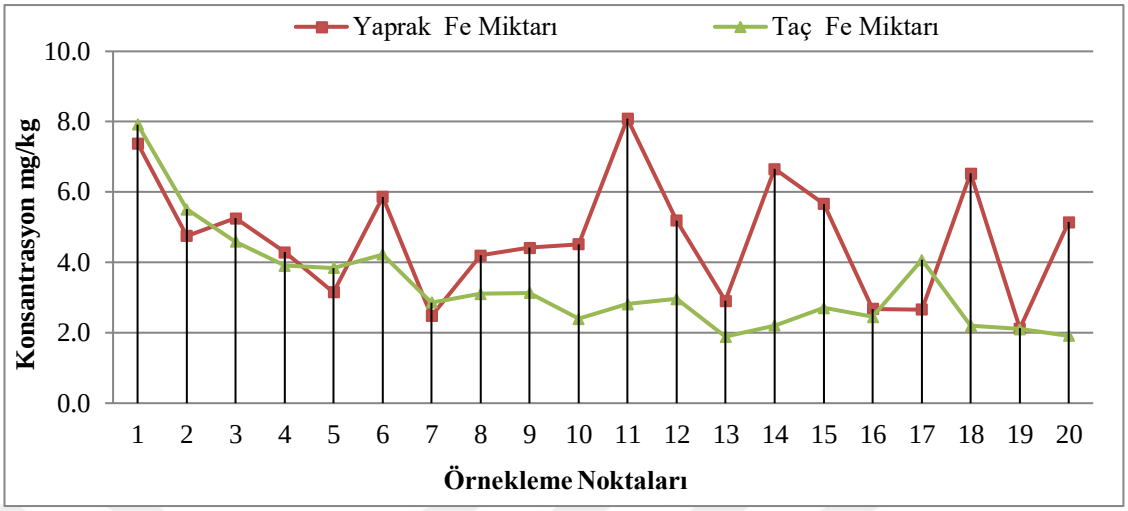


Şekil 3.4. Toprak örneklerine ait Fe konsantrasyonları.

Şekil 3.5'ya göre yaprak örneklerinde bulunan Fe değerleri en yüksekten en düşüğe; N11> N1 > N14 > N18 > N6 > N15 >N3 > N12 > N20 > N2 >N10 > N9> N4 > N8 > N5 > N13 >N16 > N17 > N7 > N19 (2,12 mg/kg) sıralanmıştır. Yaprak örneklerinde en yüksek Fe konsantrasyonu Numune 11'de (8,09 mg/kg) bulunmuştur.

Karnabahar sebzesi taç kısmında bulunan Fe konsantrasyonu değeri Numune 1 (7,92 mg/kg) olarak bulunmuştur (Şekil 3.5). Analiz sonuç sıralaması:N1> N2> N3> N6> N17> N4> N5> N9> N8> N12> N7> N15> N16> N10> N14> N18> N19> N20> N13 (1,89 mg/kg) şeklindedir. Sıralamaya göre, karnabahar sebzesinin taç kısmında en düşük Fe konsantrasyonu, 1,89 mg/kg olarak Numune 13'te tayin edilmiştir.

Sonuç olarak karnabahar taç kısmında bulunan Fe miktarı 7,92-1,89 mg/kg aralığında bulunmuştur. NIH (2024) referans değerlerine göre Fe konsantrasyonuna ait limit sebzelerde 20 mg/kg kadardır. Buna göre bulunan değerler, sınırının altında kalmaktadır.

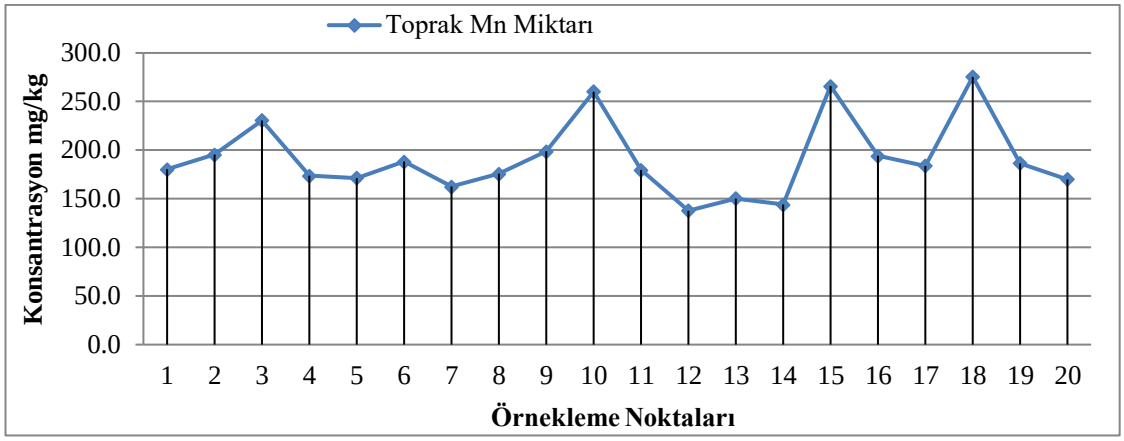


Şekil 3.5. Karnabahar sebzesinin yaprak ve taç kısmı örneklerine ait Fe konsantrasyonları.

3.3.5. Mangan

Karnabahar sebzesinin yetiştirildiği toprak numunelerinin analiz sonuçları Şekil 3.6'de verilmiştir. Grafk 3.6'a göre, en yüksek Mn konsantrasyonu Numune 18'de (275 mg/kg) bulunmuştur. 18 nolu toprak numunesi aynı zamanda en yüksek Cr konsantrasyonuna (17,3 mg/kg) sahiptir. İkinci yüksek Mn konsantrasyona sahip Numune 15'tir (266 mg/kg). Numune 15 de, Cr açısından yüksek konsantrasyona (12,5 mg/kg) sahiptir. Üçüncü yüksek Mn konsantrasyonu olan toprak Numune 10'dur (260 mg/kg) ve yine Cr açısından da zengindir (12,9 mg/kg). Kısacası, toprak numunelerinin analizinde, Mn konsantrasyonu yüksek olan numunelerin aynı zamanda Cr konsantrasyonları da yüksek olduğu görülmüştür.

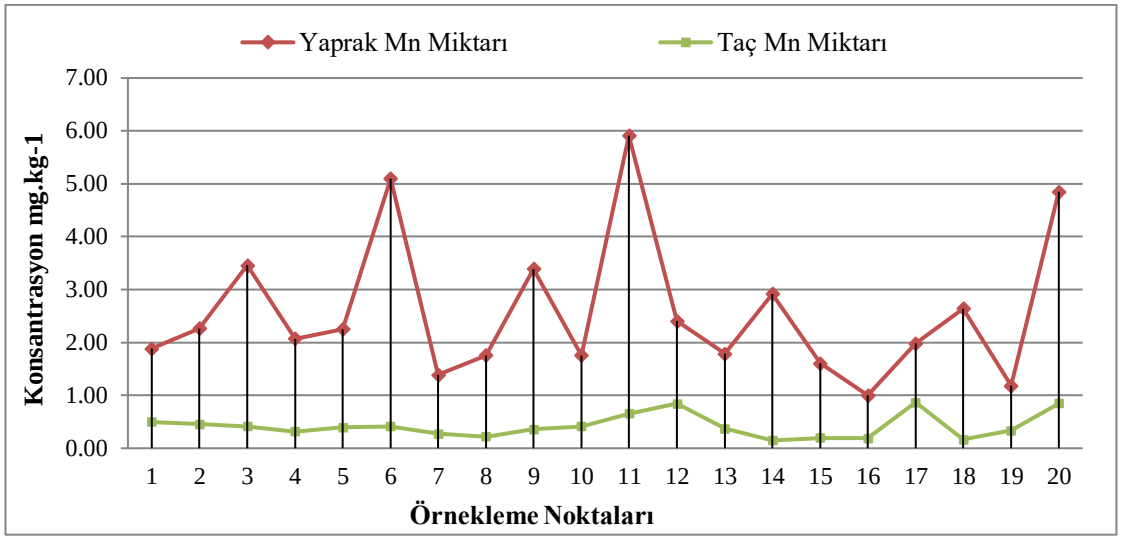
Toprak numunelerinde Mn miktar sıralaması: N18 > N15> N10> N3> N9> N2> N17> N6> N19> N17> N1> N11> N8> N4> N5> N20> N7> N13> N15> N12 (138 mg/kg) şeklindedir. Kaçar (2019), topraklarda Mn miktarının 20-3000 mg/kg arasında değiştiği, ortalama miktarının ise 600 mg/kg olduğu rapor etmiştir. Toprakta bulunan Mn bu değerler arasındadır.



Şekil 3.6. Toprak örneklerine ait Mn konsantrasyonları.

Karnabahar yaprak numuneleri analiz sonuçlarının Şekil 3.7'e göre sıralaması: N11> N6> N20> N3> N9> N14> N18> N12> N2> N5> N4> N17> N1> N13> N8=N10> N15> N7> N19> N16 (1,00 mg/kg) şeklindedir. Sıralamaya göre yaprakta bulunan en yüksek konsantrasyon Numune 11'dedir (5,91 mg/kg). Toprak numunelerinde Fe ve Mn konsantrasyonları ortalama değerlerde yer alırken, yaprak numunelerinde ilk sıralardadır. Sıralama ölçütlerine göre Numune 11'de, topraktan karnabahar yaprağına kolaylıkla Fe ve Mn geçişi olduğunu göstermiştir.

Taç kısmının analiz sonuçlarına göre (Şekil 3.7); en yüksek konsantrasyon Numune 17'dedir (0,87 mg/kg). Taç kısmı analiz verilerine göre Mn miktarı; N17> N20> N12> N11> N1> N2> N3=N6=N10> N5> N13> N9> N19> N4> N7> N8> N15> N16> N18> N14 (0,15 mg/kg) şeklinde sıralanmıştır. Karnabahar taç kısmında bulunan Mn miktarı, 0,87-0,15 mg/kg aralığında bulunmuştur. EFSA (2013) da belirlenen Mn konsantrasyonu ait limit sebzelerde 11 mg/kg şeklindedir. Bulunan konsantrasyonlar, limitin altındadır.



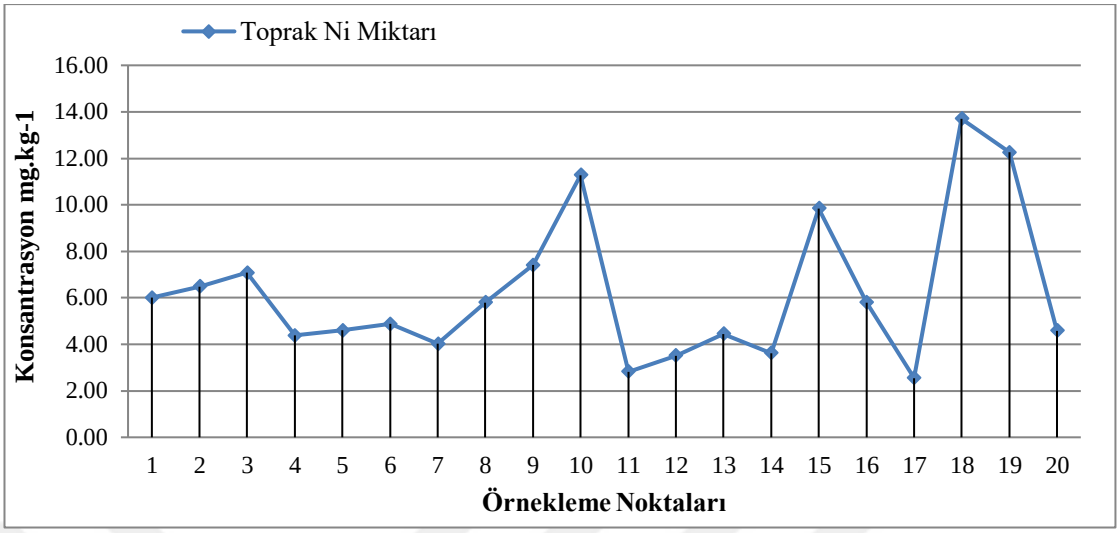
Şekil 3.7. Karnabahar sebzesinin yaprak ve taç kısmı örneklerine Mn konsantrasyonları.

3.3.6. Nikel

Ni'nin birincil kaynağı ultramafik kayaçlar ve bu kayaçlardan oluşan topraklardır. Ancak aynı zamanda farklı endüstriyel ve kimyasal proseslerde katalizör olarak da yaygın olarak kullanılır (Khan vd., 2015). Analiz edilen toprak numunelerinde bulunan Ni konsantrasyonları en yüksek Numune 18'de (13,7 mg/kg) bulunmuş olup Şekil 3.8'de verilmiştir. Numune 18 toprağı, Mn (275,38 mg/kg) ve Cr (17,30 mg/kg) açısından da en yüksek konsantrasyon değeriyle ilk sıradadır. İkinci yüksek değer Numune 19 (12,3 mg/kg) ve üçüncü ise Numune 10'dur (11,3 mg/kg). Numune 10, aynı zamanda Fe, Cu, Cr metal miktarları bakımından da zengindir.

Toprakta Ni miktarları sıralaması: N18> N19> N10> N15> N9> N3> N2> N1> N8=N16> N6> N5> N20> N13> N4> N7> N14> N12> N11> N17 (2,55 mg/kg) şeklindedir. Toprak numunelerinde Ni yönünden olduğu gibi, Cr (3,71mg/kg) ve Fe (1948 mg/kg) yönünden de en düşük konsantrasyonlara sahip toprak Numune 17'dir.

Kabata-Pendias (2010) göre, topraklarda Ni, ana materyale bağlı olarak değişmektedir ve yüzey topraklarında Ni miktarı, toprak oluşum süreçlerini ve kirlenme durumlarını göstermektedir. Dünyadaki topraklarda ortalama Ni içeriği 0.2- 450 mg/kg arasında değiştiğini vurgulamıştır. Analiz sonucuna göre, toprak numunelerinde bulunan Nikel konsatrasyonları, 13.7-2,55 mg/kg aralığındadır.



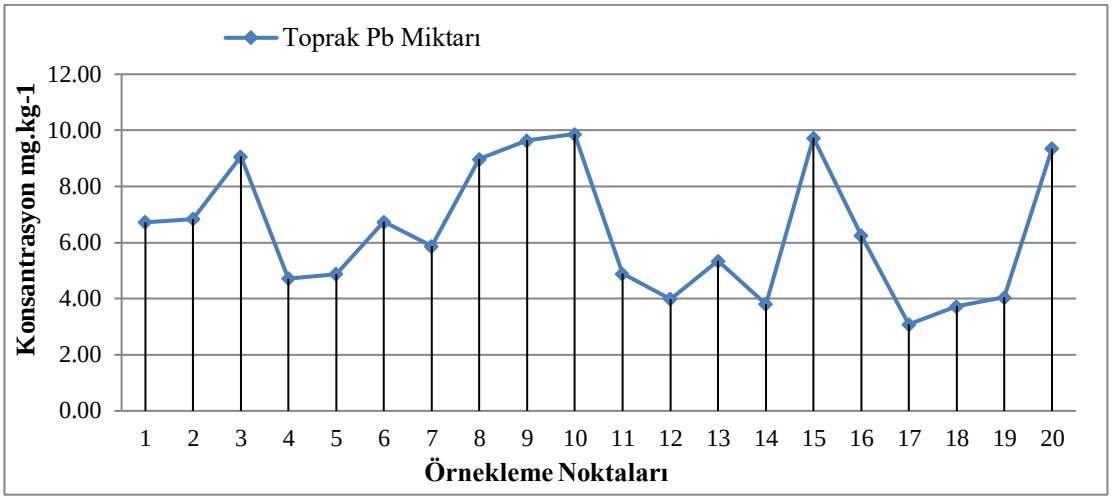
Şekil 3.8. Toprak örneklerine ait Ni konsantrasyonları.

3.3.7. Kurşun

Analiz edilen toprak numunelerinde en yüksek Pb konsantrasyonu Numune 10'da (7,87 mg/kg) bulunmuştur (Şekil 3.9). Toprak örnekleri arasında Numune 10, Fe (4680 mg/kg) ve Cu (9,61 mg/kg) konsantrasyonları bakımından da ilk sırada olup, Cr (12,9 mg/kg) bakımından da ikinci sırada yer almaktadır. İkinci sırada Numune 15 (9,73 mg/kg), üçüncü sırada Numune 9 (9,64 mg/kg) bulunmaktadır.

Toprak numunelerinde Pb konsantrasyon sıralaması; N10> N15>N9> N20> N3> N8> N2> N6> N1> N16> N7> N13> N5=N11> N4> N19> N12> N14> N18> N17 (3,08 mg/kg). Analizi yapılan topraklarda Pb konsantrasyonu 9,87-3,08 mg/kg aralığında yer almıştır. Toprak örnekleri arasında Numune 17, Cr (3,71mg/kg), Fe (1948 mg/kg) ve Ni (2,55 mg/kg) metalleri yönünden düşük konsantrasyonlara sahip olduğu gibi, Pb (3,08 mg/kg) metali açısından da düşük konsantrasyonda ve son sırada yer aldığı tespit edilmiştir.

Kabata-Pendias (2010), toprakların Pb içeriği, genel olarak 10-67 mg/kg aralığında ve ortalama 32 mg/kg değerinde olduğunu belirtmiştir.



Şekil 3.9. Toprak örneklerine ait Pb konsantrasyonları.

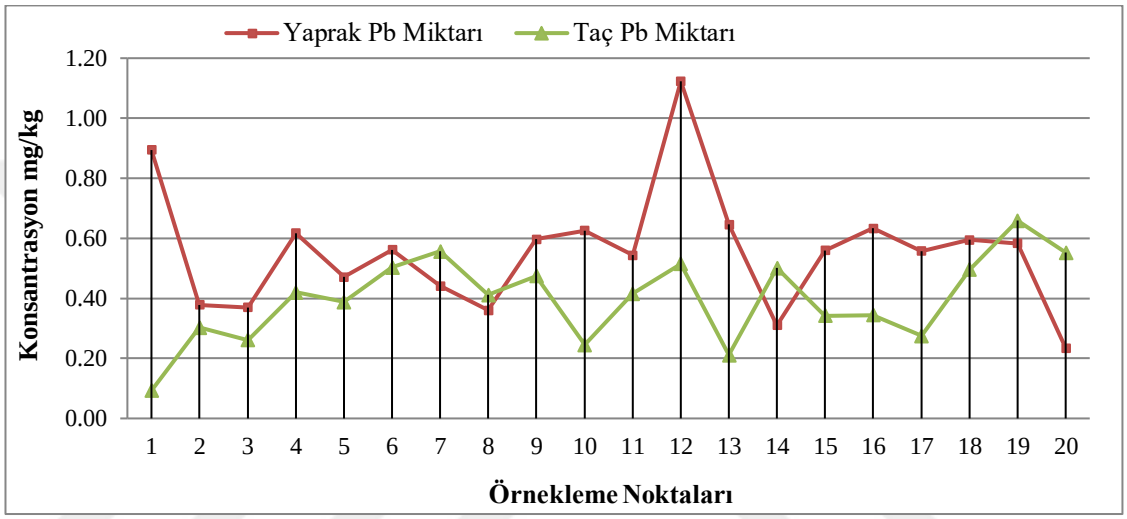
Şekil 3.10'daki yaprak numunelerinde en yüksek Pb konsantrasyonu 1,12 mg/kg olarak Numune 12'dedir. Yaprak örneklerinde bulunan Pb konsantrasyonları sıralaması; N12> N1> N13> N10=N16> N14> N9> N18> N19> N15=N17=N6> N11> N5> N7> N2> N3> N8> N14> N20 (0,23 mg/kg) şeklindedir. Yaprakta bulunan Pb metal konsantrasyonu 1,12 – 0,23 mg/kg aralığında bulunmuştur.

Taç kısmında en yüksek Pb konsantrasyonu 0,66 mg/kg olarak Numune 19'da bulunmuştur (Şekil 3.10). Toprak analizindeki verilere dayanan sıralama ölçütüne göre ortalarda yer alan Numune 19, taç kısmında ilk sırada yer almıştır. Analiz sonuçlarına göre taç kısmında Pb miktarı sıralaması; N19> N7> N20> N12> N6=N14=N18> N9> N4=N11> N8> N5> N15> N16> N2> N17> N3> N10> N13> N1 (0,09 mg/kg) şeklindedir.

Karnabahar toprağında Pb en yüksek konsantrasyona sahip Numune 10 (9,87 mg/kg), yaprakta yüksekten düşüğe sıralama ölçütüne göre, yüksek dördüncü sırada 0,63 mg/kg, taç kısmında ise düşük 0,24 mg/kg konsantrasyona sahip olarak onsekinci sırada yer almıştır. Karnabahar yaprağında en yüksek Pb miktarı bulunan Numune 12 (1,12 mg/kg), toprağında en düşük sırada (onyedinci) 3,99 mg/kg, taçında 0,51 mg/kg bulunmuştur. Karnabahar taç kısmında en yüksek Pb konsantrasyonu bulunan Numune 19 (0,66 mg/kg), toprağında 4,04 mg/kg (onaltıncı sırada), yaprağında 0,58 mg/kg (dokuzuncu sırada) bulunmuştur.

European Commission (2006), verilerine göre sebzelerde Pb konsantrasyonu limit değeri sebzelerde 0,1 mg/kg olarak kabul edilmektedir. Buna göre karnabahar taç kısmı

analiz sonuçlarına göre, Numune 1 (0,09 mg/kg) hariç, diğer numuneler ise limit değerini aşmaktadır. Karnabahar yaprağında bulunan Pb metal konsantrasyonu 1,12–0,23 mg/kg aralığında ve taç kısmında ise 0,66 – 0,09 mg/kg aralığında bulunmuştur (Şekil 3.10). Buna göre yapraklarında ve taç kısmında bulunan Pb metali, topraktan, atmosferik koşullardan, tarımsal faaliyetlerden veya endüstriyel atıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

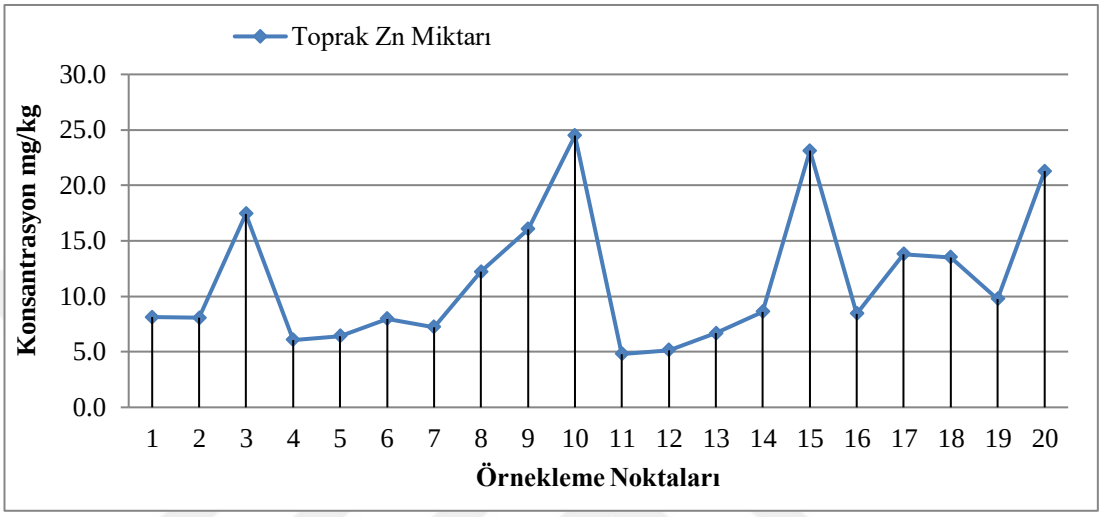


Şekil 3.10. Karnabahar sebzesinin yaprak ve taç kısmı örneklerine ait Pb konsantrasyonları

3.3.8. Çinko

Toprak numunelerinde tayin edilen sonuçlar arasında, en yüksek Zn konsantrasyonu 24,49 mg/kg olarak Numune 10'da bulunmuştur (Şekil 3.11). Numune 10, toprak yönünden Zn miktarında olduğu gibi, Cr (12,89 mg/kg), Cu (9,61 mg/kg), Fe (4680,12 mg/kg) ve Pb (9,87 mg/kg) metal miktarları da yüksek oranlarda ve ilk sırada bulunmuştur. Toprakta Zn miktarı yönünden, ikinci sırada Numune 15 (23,13 mg/kg), üçüncü sırada Numune 20 (21,28 mg/kg) bulunmaktadır. Toprakta analiz edilen Zn miktarı sıralaması şöyledir; N10> N15> N20> N3> N9> N17> N18> N8> N19> N14> N16> N1> N2> N6> N7> N13> N5> N4> N12> N11 (4,80 mg/kg). Numune 11, Mn bakımından ilk sırada (5,91 mg/kg) iken, Zn bakımından (4,80 mg/kg) son sırada ve düşük miktarda bulunmuştur.

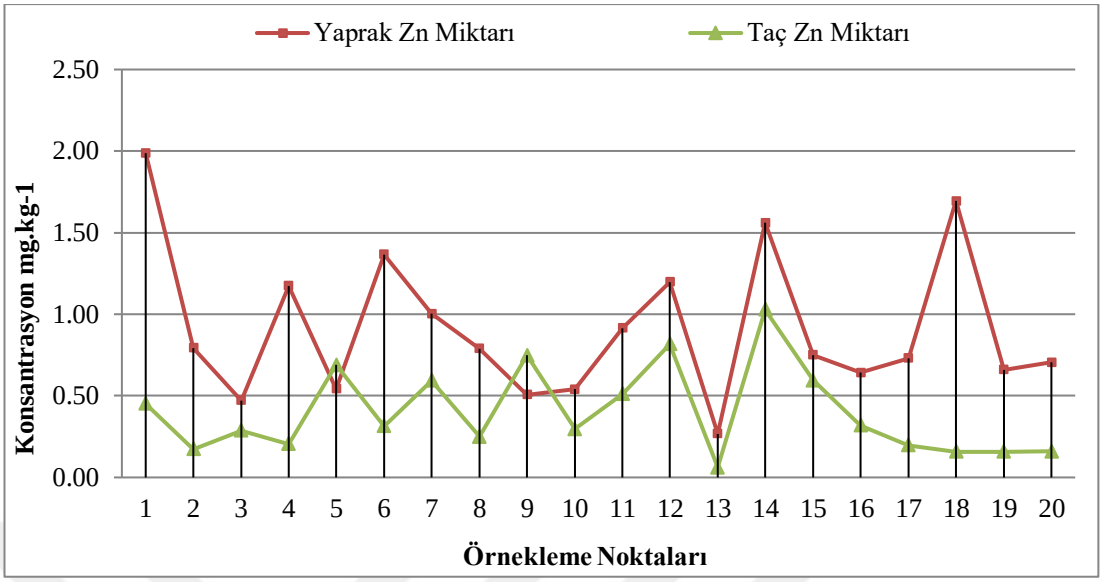
Kaçar (2019), kirlenmemiş tarımsal topraklarda Zn miktarının 17-160 mg/kg arasında değiştiğini ve tarım topraklarında ise Zn miktarının, 10-300 mg/kg arasında değişmekte olduğunu rapor etmiştir. Toprakta ortalama Zn miktarını, 50 mg/kg olarak belirtmiştir. Edirne toprak analizinde Zn konsantrasyonları, 24,49-4,80 mg/kg aralığında bulunmuştur (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Toprakta örneklerine ait Zn konsantrasyonları.

Yaprak kısmında en yüksek Zn değeri 1,99 mg/kg olarak Numune 1'de tayin edilmiş olup Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Zn konsantrasyonu sıralaması; N1> N18> N14> N6> N12> N4> N7> N11> N8=N2> N15> N17> N20> N19> N16> N5=N10> N9> N3> N13 (0,27 mg/kg) olarak bulunmuştur. Zn miktarı (1,69 mg/kg) ile ikinci sırada olan Numune 18, Cr (17,30 mg/kg), Mn (275,38 mg/kg) ve Ni (13,7 mg/kg) metali açısından da yüksek konsantrasyonda ve birinci sırada olduğu görülmüştür. En düşük Zn konsantrasyonu 0,27 mg/kg Numune 13'tedir.

Taç kısmında en yüksek Zn miktarı Numune 14'dedir (1,03 mg/kg). İkinci sırada Numune 12 (0,82 mg/kg) ve üçüncü sırada Numune 19 (0,75 mg/kg) olarak bulunmuştur (Şekil 3.12). Taç kısmında Zn konsantrasyonları sıralaması: N14> N12> N9> N5> N15> N7> N11> N1> N6=N16> N10> N3> N8> N4=N17> N2> N18=N19=N20 >N13 (0,06 mg/kg) şeklindedir. Karnabahar taç kısmında bulunan Zn metali konsantrasyonları 1,03– 0,06 mg/kg aralığında yer almıştır. Codex (1984), tarafından belirlenen Zn konsantrasyonlarına ait limit sebzelerde 50 mg/kg'dır. Buna göre analiz sonucu elde edilen Zn konsantrasyonları, limitin altında bulunmuştur.



Şekil 3.12. Yaprak ve taç kısmından alınan numunelerde Zn miktarı karşılaştırması

3.4. Transfer Faktörüne Göre Metal Geçişi Değerlendirmesi

3.4.1. Topraktan Karnabahar Yaprağına ve Yenilebilir Taç Kısmına Metal Transferi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Topraktan, karnabahar yaprağına tayin edilen metallerin geçiş miktarı, transfer faktörü (C_{bitki}/C_{toprak}) formülü üzerinden hesaplanarak sonuçlar Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Topraktan karnabahar yaprağına metal geçişi transfer faktörü

Numune		Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Karağaç	1	0,1	0,002	0,01	0,1	0,2
	2	0,1	0,001	0,01	0,1	0,1
	3	0,03	0,002	0,01	0,04	0,03
	4	0,1	0,002	0,01	0,1	0,2
	5	0,1	0,001	0,01	0,1	0,1
	6	0,1	0,002	0,03	0,1	0,2
	7	0,1	0,001	0,01	0,1	0,1
	8	0,04	0,001	0,01	0,04	0,1
	9	0,04	0,001	0,02	0,1	0,03
	10	0,02	0,001	0,01	0,06	0,02
Yolüstü	11	0,1	0,004	0,03	0,1	0,2
	12	0,1	0,002	0,02	0,3	0,2
	13	0,05	0,001	0,01	0,1	0,04
	14	0,1	0,002	0,02	0,1	0,2
	15	0,04	0,001	0,01	0,06	0,03
Abalar	16	0,04	0,001	0,01	0,1	0,1
	17	0,04	0,001	0,01	0,2	0,1
	18	0,1	0,002	0,01	0,2	0,1
	19	0,1	0,001	0,01	0,1	0,1
	20	0,1	0,002	0,03	0,03	0,03

Bakır metali için transfer faktörü (topraktan yaprağa Cu element geçişi), N1, N2, N4, N5, N6, N7, N11, N12, N14, N18, N19, N20 numunelerinde en yüksek değerde (0.1) olup, N10'da en düşük değerde (0,02) olarak bulunmuştur. Fe metali için tranfer faktörü, N11'de 0,004, N1, N3, N4, N6, N12, N14, N18 ve N20'de 0,002 olarak hesaplanmıştır. N2, N5, N7, N8, N9, N10, N13, N15, N16, N17 ve N19 numuneleri arasındaki geçiş en düşük 0,001 değerine sahiptir. Mn metali transfer faktörü en yüksek 0,03 değerinde N6, N11, N20 numunesinde bulunmuştur. Pb metali için transfer faktörü en yüksek değer 0,3 olarak N12 numunesinde ve en düşük 0,03 olarak N20 numunesinde bulunmuştur. Zn metali için transfer faktör değeri en yüksek 0,2 olarak N1, N4, N6, N11, N12 ve N14 nolu numunelerde bulunmuştur. Cd, Cr ve Ni metalleri yaprakta bulunamadığı için, topraktan yaprağa geçiş transfer faktörü de yoktur.

Karnabahar taç kısmına ait belirlenen metallerin geçiş miktarı, transfer faktörü (C_{bitki}/C_{toprak}) formülü ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 3.6'de verilmiştir.

Çizelge 3.6. Topraktan karnabahar taç kısımlarına elementlerin transfer faktörleri.

Numune		Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Karağaç	1	-	0,02	0,002	0,003	0,01	0,1
	2	-	0,01	0,002	0,002	0,04	0,02
	3	-	0,02	0,001	0,002	0,03	0,02
	4	-	0,02	0,002	0,002	0,1	0,03
	5	-	0,03	0,001	0,002	0,1	0,1
	6	-	0,02	0,001	0,002	0,1	0,04
	7	-	0,01	0,001	0,002	0,1	0,1
	8	-	0,02	0,001	0,001	0,05	0,02
	9	-	0,01	0,001	0,002	0,05	0,05
	10	-	0,01	0,001	0,002	0,02	0,01
Yolüstü	11	-	0,03	0,001	0,004	0,1	0,1
	12	0,03	0,07	0,001	0,006	0,1	0,2
	13	-	0,02	0,001	0,002	0,04	0,01
	14	-	0,02	0,001	0,001	0,1	0,1
	15	-	0,01	0,001	0,001	0,04	0,03
Abalar	16	-	0,03	0,001	0,001	0,1	0,04
	17	-	0,03	0,002	0,005	0,1	0,01
	18	-	0,01	0,001	0,001	0,1	0,01
	19	-	0,03	0,001	0,002	0,2	0,02
	20	-	0,01	0,001	0,005	0,1	0,01

Transfer faktörü değerleri, karnabahar yaprak-toprak vede taç-toprak tansfer potanseiyelleri hesaplanmıştır. Transfer faktörü, Cr metali için Numune 12'de yaprakta bulunmazken, taç kısmında, 0,03 değerinde geçiş olduğu tespit edilmiştir. Transfer faktörü topraktan taç bölgesine Cu elementi geçişi, N17 nolu numuned en yüksek değerde (0,07) vede N2, N7, N9, N10, N15, N18 ve N20 nolu numunelerde en düşük değerde (0.01) olarak bulunmuştur.

Fe metali için tranfer faktörü geçişi N1, N2, N4, N17 nolu numuneler için düşük değerdedir. Mn metali transfer faktörü en yüksek 0,006 değerinde N12, nolu numunede ve en düşük (0,001) N8, N 14, N15, N16, N18 nolu numunelerinde olmuştur. Pb metali için transfer faktörü en yüksek değer 0,2 olarak N19 nolu numunede ve en düşük değer 0,01 olarak N1 nolu numunededir. Zn metali için transfer faktör değeri en yüksek 0,2 olarak N12 nolu numunelerdedir. Faktör geçiş değeri en düşük 0,01 olup N10, N13,

N17, N18, N20 numunelerdedir. Cd ve Ni metali karnabahar taç/iç kısmında bulunamamıştır, dolayısıyla topraktan taç/iç kısma geçiş transfer faktörü yoktur.

3.5. Günlük Metal Alımında (DIM) Risk Değerlendirmesi

Ağır metallerin toksisite derecesi, hedeflenen organizmalara maruz kalma yollarına, besin zincirine ve son olarak günlük alımlarına bağlıdır. Edirne'de yetiştirilen karnabahar sebzesinin tüketimi yoluyla günlük ağır metal alımı, DIM hesaplama formülü üzerinden hesaplanmıştır. WHO'ya göre yetişkin ve çocuk için belirlenen değerler baz alınmıştır. Edirne yetiştirilen karnabaharlarda, yetişkin ve çocuk için günlük tahmini metal alımı Çizelge 3.7'de listelenmiştir.

Çizelge 3.7. Yetişkin ve çocuk için günlük tahmini metal alımı (DIM hesaplaması), mg/gün

Numune	YETİŞKİN Cr(mg/gün)	ÇOCUK Cu(mg/gün)	YETİŞKİN Cu(mg/gün)	ÇOCUK Cu(mg/gün)	YETİŞKİN Fe(mg/gün)	ÇOCUK Fe(mg/gün)	YETİŞKİN Mn(mg/gün)	ÇOCUK Mn(mg/gün)	YETİŞKİN Pb(mg/gün)	ÇOCUK Pb(mg/gün)	YETİŞKİN Zn(mg/gün)	ÇOCUK Zn(mg/gün)
1	-	-	0,003	0,002	0,269	0,156	0,017	0,010	0,003	0,002	0,015	0,009
2	-	-	0,00008	0,0005	0,187	0,109	0,015	0,009	0,010	0,006	0,006	0,0034
3	-	-	0,003	0,002	0,156	0,090	0,014	0,008	0,009	0,005	0,010	0,006
4	-	-	0,002	0,001	0,133	0,077	0,011	0,006	0,014	0,008	0,007	0,004
5	-	-	0,003	0,002	0,131	0,076	0,013	0,008	0,013	0,008	0,023	0,014
6	-	-	0,003	0,002	0,144	0,083	0,014	0,008	0,017	0,010	0,011	0,006
7	-	-	0,001	0,001	0,097	0,057	0,009	0,005	0,019	0,011	0,020	0,012
8	-	-	0,004	0,003	0,106	0,061	0,008	0,004	0,014	0,008	0,008	0,005
9	-	-	0,002	0,001	0,107	0,062	0,012	0,007	0,016	0,009	0,025	0,015
10	-	-	0,002	0,001	0,082	0,047	0,014	0,008	0,008	0,005	0,010	0,006
11	-	-	0,002	0,001	0,096	0,055	0,022	0,013	0,014	0,008	0,017	0,010
12	0,004	0,002	0,005	0,003	0,101	0,058	0,029	0,017	0,017	0,010	0,028	0,016
13	-	-	0,002	0,001	0,064	0,037	0,013	0,007	0,007	0,004	0,002	0,001
14	-	-	0,002	0,001	0,075	0,044	0,005	0,003	0,017	0,010	0,035	0,020
15	-	-	0,002	0,001	0,092	0,053	0,007	0,004	0,012	0,007	0,020	0,012
16	-	-	0,004	0,002	0,083	0,048	0,006	0,004	0,012	0,007	0,011	0,006
17	-	-	0,004	0,002	0,139	0,080	0,030	0,017	0,009	0,005	0,007	0,004
18	-	-	0,003	0,002	0,075	0,043	0,006	0,003	0,017	0,010	0,005	0,003
19	-	-	0,004	0,002	0,072	0,042	0,011	0,007	0,022	0,013	0,005	0,003
20	-	-	0,001	0,001	0,065	0,038	0,029	0,017	0,019	0,011	0,005	0,003

WHO'nun belirlediği tahmini günlük sebze tüketiminin çocuklar için 232 g (Khan, vd., 2015), yetişkinler için 400 g alındığı durumlarda, sadece karnabahar tüketiminden elde edilen günlük metal alım miktarı tahmin edilmiştir. 20 farklı örnekleme noktasondan alınan karnabahar sebzelerinin yenilebilir taç kısımlarında yetişkinler ve çocuklar için, ortalama DIM (Günlük Metal Alım) değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3.7'da verilmiştir. Çizelge 3.7'deki sonuçlara göre yetişkin ve çocuklar için numuneler arası karşılaştırma yapılarak, günlük tüketim sonucu en yüksek ve en düşük Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn metal miktarları yani DIM (Günlük Metal Alımı) değerleri karşılaştırılmıştır ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Cu metali için hesaplanan DIM değerleri (Çizelge 3.7), yetişkin bireyler için 0,005-0,8x10^{-4} mg/gün aralığında yer almıştır. Bakır için en yüksek DIM değeri yetişkinler için Numune 12'de (0,005 mg/gün), en düşük değer ise Numune 2'de (0,8x 10^{-4} mg/gün) bulunmuştur. Çocuk için Cu, DIM değerleri 0,003-0,5x10^{-3} mg/gün aralığında olup, yetişkinlerde olduğu gibi en yüksek Numune 12'de, en düşük Numune 2'de tespit edilmiştir. Cr metali için DIM değerleri sadece N12'de bulunup, yetişkin bireyler için, 0,004 mg/gün, çocuklar için 0,002 mg/gün olarak hesaplanmıştır.

Fe metali için en yüksek DIM değeri yetişkinlerde Numune 1 içerisinde 0,269 mg/gün olarak, en düşük Numune 19 içerisinde 0,072 mg/gün olarak tespit edilmiştir. Tüm numunelerin yetişkinler için DIM değerleri yani bir bireyin karnabahar sebzelerinden günlük Fe alım miktarı bu aralıkta yer alır. Çocuklar için de en yüksek Fe metali günlük alım miktarı 0,156 mg/gün (Numune 1), en düşük miktar 0,042 mg/gün (Numune 19) şeklinde bulunmuştur.

Mn elementi DIM değerlerinde yetişkinler için en yüksek Numune 17'den (0,030 mg/gün) ve en düşük alım Numune 14'de (0,005 mg/gün) olduğu görülmektedir. Çocuklar için de en yüksek Mn metali günlük alım değeri 0,017 mg/gün olup Numune 12, 17 ve 20'de aynı miktarda bulunduğu tespit edilmiştir. En düşük Mn metal alım (DIM değeri) 0,003 mg/gün miktarında Numune 14'te tayin edilmiştir.

Analizi yapılan karnabahar sebzeleri tüketildiğinde alınan günlük Pb metal miktarı yetişkinler için 0,022-0,003 mg/gün aralığında, çocuklar için ise 0,013 -0,002 mg/gün aralığındadır. Hem yetişkinler hem çocuklar için Pb tüketim miktarları arasında anlamlı farklılık yoktur ve yüksek alım değeri Numune 19'da (yetişkinler için 0,022

mg/gün ve çocuklar için 0,013 mg/gün), düşük alım değeri Numune 1'dedir (yetişkinler için 0,003 mg/gün ve çocuklar için 0,002 mg/gün).

Çizelge 3.7'a göre, Zn metali için en yüksek DIM değeri yetişkinlerde 0,035 mg/gün, çocuklarda 0,020 mg/gün olarak Numune 14'de, en düşük alım değeri ise yetişkinlerde 0,002 mg/gün, çocuklarda 0,001 mg/gün olarak Numune 13'de bulunmuştur. Numuneler ve bölgeler arası günlük Zn metali alım miktarında anlamlı farklılıklar bulunmamıştır.

Galal, Al-Sodany, Al-Yasi, Saleh, Hassan & Elawa (2023), yaptığı çalışmada; kirlenmiş ve kirlenmemiş alanda yetişen karnabahar sebzelerinde, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Fe, Mn, Zn, Co ve V elementlerinin analiz yapmış ve DIM verilerinin, kirli topraklarda yetişen sebzelerdeki metallerin diyetle alımının, kirlenmemiş alandan daha yüksek olduğunu saptamıştırlar. Kirlenmiş alandaki DIM değerleri, yetişkinler ve çocuklar için risksiz bulmuşlardır. Kirlenmemiş bitkilerden alınan DIM değerlerinde ise, yetişkinler ve çocuklar için Fe hariç (yüksek bulunmuştur) tüm tahmini mealler için bir dereceye kadar risksiz kabul etmişlerdir.

3.6. Metallere Tahmini Günlük Maruziyet (EDEM) Risk Değerlendirmesi

Bu çalışmada karnabahar yenilebilir taç/iç kısmından elde edilen analiz sonuçları, metallere tahmini olarak günlük ne kadar maruz kalındığı EDEM formülü ile hesaplanmıştır. Belirli bir EDEM değerinin, karşılık gelen referans değerlerini olan UL (tolere edilebilir seviye) aşması tüketiciler için potansiyel bir risk anlamına gelir. Edirne karnabaharının taç/iç kısmı analiz sonuçlarına göre, tahmini günlük metal maruziyeti Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Karnabahar taç/iç metallere tahmini günlük maruziyet EDEM (Estimated Daily Exposure to Metals) değerleri (yetişkin için mg/kg.gün)

Numune		Cr (mg/kg gün)	Cu (mg/kg gün)	Fe (mg/kg gün)	Mn (mg/kg gün)	Pb (mg/kg gün)	Zn (mg/kg gün)
Karağaç	1	-	0,00004	0,0038	0,00024	0,00005	0,00022
	2	-	0,000001	0,0027	0,00022	0,00015	0,00008
	3	-	0,00005	0,0022	0,00020	0,00013	0,00014
	4	-	0,00002	0,0019	0,00015	0,00020	0,00010
	5	-	0,00004	0,0019	0,00019	0,00019	0,00033
	6	-	0,00004	0,0021	0,00020	0,00024	0,00015
	7	-	0,00001	0,0014	0,00013	0,00027	0,00029
	8	-	0,00006	0,0015	0,00011	0,00020	0,00012
	9	-	0,00003	0,0015	0,00017	0,00023	0,00036
	10	-	0,00002	0,0012	0,00020	0,00012	0,00014
Yolüstü	11	-	0,00003	0,0014	0,00032	0,00020	0,00025
	12	0,00006	0,00007	0,0014	0,00041	0,00025	0,00040
	13	-	0,00003	0,0009	0,00018	0,00010	0,00003
	14	-	0,00004	0,0011	0,00007	0,00024	0,00050
	15	-	0,00003	0,0013	0,00009	0,00017	0,00029
Abalar	16	-	0,00006	0,0012	0,00009	0,00017	0,00015
	17	-	0,00006	0,0020	0,00042	0,00013	0,00010
	18	-	0,00005	0,0011	0,00008	0,00024	0,00008
	19	-	0,00006	0,0010	0,00016	0,00032	0,00008
	20	-	0,00002	0,0009	0,00041	0,00027	0,00008

EFSA (2009), Cd için tolere edilebilir (UL) değer 0,005 mg/kg.gün vücut ağırlığı olarak belirlenmiştir. Buna göre karnabahar numunelerinde Cd rastlanılmadığı için, bu bilgilerine göre tüketim açısından güvenli ve sorunsuzdur.

Çizelge 3.8'ye göre Cr için EDEM değeri, yetişkin bireylerde Numune 12 hariç, ölçüm sınırının altında çıkmıştır. USEPA, (2014), oral referans değeri 1,5 mg/kg.gün vücut ağırlığı (Iftikhar vd., 2021), olarak kabul edilmiştir. Numune 12'de Cr konsantrasyonu, 0,12 mg/kg, EDEM değeri ise $6x10^{-4}$ mg/kg.gün olarak bulunmuştur. Referans değerlerine göre güvenli sınırın altında kalmıştır. Buna göre analizi yapılan karnabahar sebzeleri, Cr referans ölçütleri bakımından uygundur.

Bakır'ın UL değeri yetişkin bireyler için 10 mg/kg.gün vücut ağırlığı (NIH, 2022), maksimum limit değeri (sebzelerde) 40 mg/kg'dır (European Commission, 2006). Bakır konsantrasyonu 0,154 - 0,023 mg/kg ralığında bulunmuştur ve EDEM değerlerinde Cu metali, yetişkin bireylerde $0,7x10^{-4}$– $0,1x10^{-5}$ mg/kg.gün aralığında bulunmuştur

(Çizelge 3.8). Aralık değerlerini oluşturan yüksek değer Numune 12, düşük değer Numune 2'ye aittir. Buna göre, analizi yapılan karnabaharlarda taç yenilebilir kısmında günlük alım miktarları hesaplanan Cu için, UL sınırının yani önerilen günlük alımın altında sonuçlar elde edilmiştir.

EDEM hesaplamalarına göre, Çizelge 3.8'de birey için Fe günlük alım değerleri; 0,0038 – 0,0009 mg/kg.gün aralığında elde edilirken, yüksek değer Numune 1 (0,0038 mg/kg.gün), düşük değer Numune 13 ve Numune 20'e (0,0009 mg/kg.gün) aittir. NIH (2024), referans değerlerine göre Fe için maksimum limit 20 mg/kg, EFSA (2015), referans değerlerine göre UL 45 mg/kg.gün (sebzelerde) şekildedir. Buna göre, analizi yapılan tüm numunelerin tüketimi günlük güvenli alım sınırının altında olup, güvenli kabul edilmiştir.

Çizelge 3.8'de bulunan Mn EDEM değerleri, $4{,}2x10^{-4}$-$0{,}7x10^{-4}$ mg/kg.gün aralığında olduğu tespit edilmiştir. Yüksek değer Numune 17'de bulunurken, Numune 12 ve Numune 20'de de yakın değerler ($4{,}1\ x10^{-4}$ mg/kg.gün) gözlemlenmiştir. Düşük değer ise Numune 14'de ($0{,}7x10^{-4}$ mg/kg.gün) bulunmaktadır. EFSA (2013), referans ölçütlerine göre tolere edilebilir seviye (UL) 11 mg/kg.gün'dür. Analiz sonuçlarından elde edilen EDEM değerlerine göre, karnabahar sebzelerinden günlük tüketim ile alınan Mn miktarı sınırın altındadır.

EDEM hesaplamalarında Çizelge 3.8 verilerine göre, Pb için en yüksek değer Numune 19 ($3{,}2x10^{-4}$ mg/kg.gün), en düşük değer Numune 1'de ($0{,}5x10^{-4}$ mg/kg.gün) bulunmuştur ve EDEM aralığı bu iki sonuç arasında yer almıştır. European Commission (2006) referans değerlerinde, sebzelerde izin verilen limit 0,1 mg/kg şeklindedir. USEPA (2014), oral referans doz değeri ise 0,004 mg/kg.gün'dür (Iftikhar vd., 2021). Referans değerine göre analiz sonucu hesaplanan EDEM değerleri sınırının altındadır.

Zn, EFSA (2014), referans bilgilerine göre UL 40 mg/kg.gün şeklindedir. Çizelge 3.8'deki Zn EDEM sonuçlarına göre, en yüksek Zn metali maruziyeti Numune 14'de (0,00050 mg/kg.gün), en düşük ($0{,}3x10^{-4}$ mg/kg.gün) Numune 13'de bulunmuştur. Numune 13'den sonra en düşük Zn EDEM değerleri N2, N18, N19, N20'de $0{,}8\ x10^{-4}$ mg/kg.gün olarak aynı ölçüde çıkmıştır. Hesaplanan değerler, referans sınırının altındadır

Karnabahar sebzesi yoluyla alınan metal miktarlarının güvenli ve kabul edilebilir seviyelerin altında olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, bu durumda karnabahar

sebzelerindeki metal seviyelerinin, tüketiciler için herhangi bir sağlık riski oluşturma olasılığı düşüktür.

3.7. Eser Elementler İçin Tehlike Katsayısına Göre Sağlık Risk Değerlendirmesi

Yetişkinler için 20 farklı yerden alınan numunede değerlendirilen, karnabahar sebze tüketimi yoluyla eser metallerin kanserojen olmayan riski için, tahmini tehlike katsayısı yani sağlık risk endeksleri (HRI) Çizelge 3.9'de sunulmaktadır. EDEM sebze tüketimi yoluyla eser metallerle ilişkili sağlık risklerini değerlendirmek için önemli bir araçtır. Sağlık riskini tahmin etmek için, tüketilen karnabahar sebzelerinin diyetle maruziyeti (EDEM) dikkate alınmıştır. Değerlendirilen ürün maruziyetinin (EDEM), referans oral dozuna (RfD) oranı hesaplanmıştır. Referans dozlar, Mn, Fe, Cu, Zn, Cr, Cd, and Pb için sırasıyla 0.14, 0.70, 0.04, 0.30, 1.5, 0.001 ve 0.004 mg/kg.gün olarak alınmıştır (USEPA, 2014; Iftikhar vd., 2021). Birden büyük HRI değeri insan sağlığı için bir tehlike oluştururken, 1 < HRI tüketiciler için sağlık riski oluşturmadığı kabul edilmiştir.

Analiz edilen tüm sebzelerin tüketiminden kaynaklanan ağır metallerin toplam EDEM ortalama değerleri verilmiş olup, olabilecek FAO ve WHO'nun izin verilen sınırların altında yani tolere edilebilir günlük alım miktarından (UL) düşük bulunmuştur. Buna bağlı olarak, EDEM üzerinden hesaplanan eser metallerin her birinin, yerel halk için potansiyel sağlık endeksi HRI değerleri<1 şekilde bulunmuştur ve güvenli sınırları geçmemiştir (Çizelge 3.9).

Özellikle karnabahar tac kısımlarında bulunan Pb konsantrasyonlarının (Numune 1 hariç; düşük), sebzelerde maximum limitin üzerinde seyrederken, bir bireyin günlük metal maruziyetinin (EDEM/EDI) referans limit değerinin altında çıkması ve HRI'larının da 1'den küçük olması ciddi risk taşımadığı sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Galal ve arkadaşları (2023), Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Fe, Mn, Zn, Co ve V metalleri için yaptığı çalışmada, kirlenmemiş alanda yetişen karnabahar sebzelerinde, Pb hariç (DIM değeri güvenli sınırlarda iken, HRI yüksek bulunmuştur yetişkinler 3.9345 mg/gün, çocuklarda 4.5229 mg/gün), HRI < 1 olarak bulmuştur. Kirlenmiş alanda yetişen karnabahar sebzelerinin Pb, Cd, Mn, Fe ve Ni için HRI > 1 bulunmuştur. DIM değerleri Fe hariç güvenli sınırlar içerisinde bulunurken, sağlık risk endeksleri (HRI) yüksek sonuç vermiştir. Kirlenmiş alanda yetişen karnabahar sebzelerinin tüketimi, Pb,

Cd, Mn, Fe ve Ni'nin yüksek diyet alımı nedeniyle sağlık komplikasyonlarına neden olabileceği, tüketiciler için tehlike oluşturduğunu ve dolayısıyla insan sağlığı için daha yüksek risk taşıdığını sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, mevcut çalışma incelenen karnabahar sebzelerinde Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn elementleri kirlenmiş olmadığını ortaya koymuştur. Edirne'de belirlenen bölgelerde yetişen karnabahar sebzelerinin tüketiminin, tüketiciler için olumsuz sağlık risklerine yol açamayacağını kanıtlanmıştır.

Çizelge 3.9. Karnabahar taç yenilebilir kısmında oluşabilecek tahmini sağlık risk endeksleri (yetişkin için HRI değerleri)

Numune		**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Pb**	**Zn**
Karağaç	1	-	0,001	0,005	0,002	0,01	0,001
	2	-	0,00003	0,004	0,002	0,04	0,0003
	3	-	0,001	0,003	0,001	0,03	0,0005
	4	-	0,001	0,003	0,001	0,05	0,0003
	5	-	0,001	0,003	0,001	0,05	0,001
	6	-	0,001	0,003	0,001	0,06	0,001
	7	-	0,0003	0,002	0,001	0,07	0,001
	8	-	0,002	0,002	0,001	0,05	0,0004
	9	-	0,001	0,002	0,001	0,06	0,001
	10	-	0,001	0,002	0,001	0,03	0,0005
Yolüstü	11	-	0,001	0,002	0,002	0,05	0,001
	12	0,00004	0,002	0,002	0,003	0,06	0,001
	13	-	0,001	0,001	0,001	0,03	0,0001
	14	-	0,001	0,002	0,001	0,06	0,002
	15	-	0,001	0,002	0,001	0,04	0,001
Abalar	16	-	0,001	0,002	0,001	0,04	0,001
	17	-	0,001	0,003	0,003	0,03	0,0003
	18	-	0,001	0,002	0,001	0,06	0,0003
	19	-	0,002	0,001	0,001	0,08	0,0003
	20	-	0,0004	0,001	0,003	0,07	0,0003

BÖLÜM 4

TARTIŞMA VE ÖNERİ

Ağır metaller, tarım topraklarında bulunan hem doğal (jeojenik) hem de antropojenik kaynaklar nedeniyle çevrede bulunabilir. Sanayi sektöründen kaynaklanan ve artan çevre kirliliği, canlı organizmalar ve tarım ürünleri üzerindeki toksik etkilerinden dolayı, araştırmaların başlıca sebebi olmuştur. Topraktaki ağır metal kirliliğinin başlıca kaynakları endüstriyel atık suları, kimyasal gübreler ve pestisitleri içermektedir. Toprakta yetişen, besin yoluyla alınan tarım ürünlerinin, ağır metallere maruz kalması, kontaminasyona uğramasına neden olur ve bu da besinlerin tüketimi açısından güvenli değildir.

Galal ve arkadaşları (2023), kirlenmiş topraklardaki element konsantrasyonlarını Fe > Zn > Pb > Mn > Cu > Cd > Cr > Co > Ni > V şeklinde bulmuştur. Analizi yapılan Edirne topraklarında yüksek konsantrasyonunda Fe içerdiği tespit edilmiştir.

Galal ve arkadaşları (2023), karnabahar sebzeleri topraktan ağır metalleri köklerinde biriktirebilir ve bir kısmını yenilebilir taç kısımlarına aktarılabilir olduğunu belirtmişlerddir. Kumar, Thakur & Kumar (2019), endüstriyel atık su ile sulanan topraklarda yetiştirilen karnabahar bitkisinin ağır metal birikimini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, karnabahar bitkisinin taç kısmı yerine, köklerinde Cr ve Co hariç diğer ağır metalleri yüksek oranda biriktirdiği tespit edilmişlerdir. Bu bulgular, karnabaharın belirli ağır metalleri biriktirme potansiyelini ortaya koymuştur. Jahangir, Kim, Choi & Verpoorte (2009) ve Kalisz, Sekara, Smolen, Grabowska, Gil, & Cebula (2018), karnabahar taç kısmındaki elementlerin alım ve birikim potansiyelindeki değişkenliği doğrulamıştır.

Galal ve arkadaşları (2023) tarafından, ağır metallerin, kirlenmiş tarlalarda yetişen karnabahar sebzesinin bir kısmının yer altı köklerinden, yer üstü taç kısımlarına

Cr > Co > Cu > Pb şeklinde taşındığı, kirlenmemiş tarlalarda ise Cu > Ni > Fe > Pb > V > Mn şeklinde taşındığı tespit edilmiştir.

Parlak, Everest ve Tunçay (2021), İzmir Torbalı ve Çanakkale Bayramiç ilçelerinde, pırasa ve yer fıstığı tarımı yapılan toprakların verimlilik durumlarını, ağır metal içerikleri araştırmışlardır. Buna göre yaptığı çalışmada, demir içerikleri yönünden topraklar arasında önemli farklılıklar bulmuş ve topraklarda toplam demir genelde yüksek olmasına karşın bitkiye yarayışlı Fe miktarı düşük olduğu tespit etmişlerdir. Kaçar (2019), pH yüksek olan topraklarda, Fe'nin yarayışlılığının azalmakta olduğunu ifade etmiştir. Bir diğer sınırlayıcı özellik de organik madde miktarıdır.

Albasel ve Cottonie (1985), demir ve mangan yarayışlılığı, bakır ve çinkoya göre ortamın pH'ına daha duyarlı olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çeltik bitkisinde Fe alımı toprağın pH 4,6'dan başlayarak, pH 6.8'e doğru arttırılmış, buna bağlı olarak Fe alımının yaklaşık üç kat azalmış olduğu sonucuna varmışlardır. Buna dayanarak, analiz sonuçlarına göre toprakta yüksek değerlerde seyreden demir konsantrasyonu, karnabahar sebzelerinin yaprak ve taç kısmında düşük miktarda olmasının, nedeni olarak pH etkisi ile açıklanabilir.

Kumar, Thakur ve Kumar (2019), Hindistan'ın Haridwar kentinin endüstriyel atık su ile sulanan topraklarda yetişen karnabaharın (*Brassica oleracea* var. botrytis) ağır metal alımını araştırmışlardır. Atık su ile sulanan topraklarda yetişen *B. oleracea* dokularındaki ağır metal içerikleri, kuyu suyu ile sulanan topraklarla karşılaştırıldığında daha yüksek birikime sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Kirlenmiş su kaynakları ile sulama yoluyla sebzelerde ve mahsullerde ağır metal birikimi, tüketici sağlığı üzerinde yıkıcı etkilere neden olan ciddi bir sorun olduğu sonucuna varmışlardır.

Khanal, Shah, Sah & Shriwastav (2014), göre, yüksek Cd ve Pb konsantasyonu, karnabahar tüketimi yoluyla insan sağlığı için potansiyel riskler olduğunu savunmuşlardır. Mor & Ceylan (2008), trafik alanlarında yetiştirilen sebzelerde, kırsal alanlara göre daha yüksek düzeyde Pb ve Cd gözlemlemişlerdir. Kirlenmiş bölgelerde yetiştirilen sebzeler toksik konsantrasyonlarda elementleri alıp biriktirebildiğini tespit etmişlerdir. Demirezen & Aksoy (2006), çeşitli sebzelerde Cd içeriği (0,24-0,97 mg/kg) bildirdiler ve insan tüketimi için uygun olmadığını öne sürmüşlerdir. Atık suyla sulanan tüm incelenen sebzelerde Cr da yüksek seviyede bulunmuştur.

Edirne karnabahar yetişen topraklarda Cd metaline rastlanılmamıştır, dolayısıyla karnabahar yaprak ve taç kısmı da Cd metali içermemektedir. Bununla birlikte toprakta Cr metaline rastlanmıştır ancak karnabahar yaprak ve taç kısımlarında Cr metali (Numune 12 taç kısmı hariç) bulunmamıştır. Topraktan yaprak ve taç kısmına geçiş olmadığı transfer faktörü hesaplamalarında da tespit edilmiştir. Sadece Numune 12'de (0,03) topraktan taç kısmına geçiş faktörü bulunmaktadır. Kabata-Pendias (2010), topraktaki Cr miktarının, ana materyalden kaynaklanabileceğini ve aynı zamanda çeşitli endüstriyel atıklardan (elektro kaplama çamurlama, tabakhane atıkları, deri imalat atıkları, krom pigment ve atık çamurlarından) kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Chatterjee ve Chatterjee (2000) karnabahar Cr veya Cu'ya maruz bırakıldığında, elementin büyük bir kısmı köklerde kalmış ve sadece küçük bir kısmı tepelere taşındığını tespit etmişlerdir. Cu alımı metabolik olarak aracılık edilen bir süreç olup ve element ya iki değerlikli katyon (Cu^{2+}) olarak ya da Cu şelatı olarak alındığı tespit etmişlerdir. Cu'nun kök değişim bölgelerinden birkaç iyonu yer değiştirmesi, bakırın kök serbest boşluklarda güçlü bir şekilde bağlı olması nedeniyle rapor edilmiştir. Bu gözlemler, köklerin diğer bitki dokularına göre sıklıkla daha yüksek Cu içeriğine sahip olması gerçeğini iyi açıklamıştır. Dolayısıyla karnabahar iç kısmındaki Cu miktarının düşük düzeylerde bulunması bu sebeplerden olabileceği düşünülmüştür.

Doğru, Altundağ & Dündar (2021), Ni metalinin düşük konsantrasyonda, bir mikroelement olarak işlev yaptığını ve birçok tarımsal bitkide büyümeyi ve gelişmeyi olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Nikelin bitkilerde birçok önemli rolünün oluğunu, Ni eksikliğinin, bitkilerde senesans (hücrelerin ölmeden kalıcı bir büyüme durmasına ulaşması), demir (Fe) alınımı ve azot (N) metabolizması gibi olaylarda aksaklıklara yol açtığının da bilgisini vermişlerdir. Yüksek konsantrasyonlarda Ni, bitkilerde kök ve gövdenin hem dallanma oranında hem de büyüme hızında azalmaya yol açtığını da ifade etmiştir. Analiz sonuçlarına göre, toprakta Ni konsantrasyonları, 13,7-2,55 mg/kg aralığında seyrederken, yenilebilir taç kısmında ölçüm sınırının altında kalmıştır.

Manwai vd. (2023), kurşunun dünya çapında çeşitli formlarda yaygın olarak dağılmış olduğunu belirtmiştir. Yetişkinlerin aksine çocuklar ve bebekler kurşun zehirlenmesine daha duyarlı olduğu görüşündedir. Kabata-Pendias (2010), kurşunun

antropojenik etkilerden de (motorlu taşıtlarda kullanılan benzin, katı ve sıvı yakıtların yakılması, kurşun elde etme fırınları, pirinç imalathaneleri) kaynaklandığını öne sürmüşlerdir.

Edirne topraklarında yetişen karnabahar sebzesindeki taç yenilebilir kısmında bulunan Pb konsantrasyonu 0,66–0,09 mg/kg aralığındadır. Pb'nin hem taç hem de yaprak kısımlarında bulunması; toprak kirliliği, atmosferik birikim, tarımsal ilaç ve gübre kullanımı veya endüstriyel kaynaklı kirleticiler gibi çeşitli çevresel faktörlerle ilişkilendirilebilir. Özellikle doğrudan tüketilen taç kısmında yüksek Pb bulunması, ürünlerin gıda güvenliği açısından düzenli izlenmesini zorunlu kılmaktadır. Buna rağmen, EDEM değerleri tolöre edilebilir limiti aşmamıştır ve sağlık risk endeksi (HRI) değerleri < 1 şekilden bulunmuştur. Buna göre Pb varlığı, limitini aşmasına rağmen, günlük alım değerleri açısından güvenli kabul edilmiştir.

Kaçar (2019), toprakların Zn içerikleri genelde; çevrenin iklimine, toprak tipine, uygulanan tarım tekniklerine, bitki çeşitlerine ve toprakta yetişen ürün miktarına bağlı olarak değiştiğini bildirmiştir. Bitkiler tarafından alınan Zn miktarının genelde düşük miktarda olduğunu da deneysel verilerle ortaya koymuştur. Edirne topraklarında yetişen topraklarda Zn konsantrasyonu 24,5–4,80 mg/kg aralığında bulunmuştur. Fakat karnabahar sebzelerinin yenilebilir taç bölgesinde konsantrasyonlar 1,03–0,06 mg/kg miktar aralığında yani sebzelerde maksimum limit (50 mg/kg) değerinin altında bulunmuştur. Dolayısıyla toprağın, çinko açısından zenginleştirilmesi gerekmektedir, böylece bitkiler yüksek konsantrasyonlarda olan elementleri kolaylıkla bünyesine çekebilir ve depolayabilir. Edirne karnabaharında Zn, EDEM değerleri ise (0,00050–$0{,}3x10^{-4}$ mg/kg.gün), günlük alım sınırının (UL; 40 mg/kg.gün, (EFSA, 2014)) altında olması nedeniyle sağlık riski taşımadığı gibi, sebzelerden alınan ihtiyacı da karşılamadığı düşünülmektedir.

Khan ve arkadaşları (2015), Zn elementinin, vücut bağışıklık sisteminin normal işlevini sürdürmesi için ihtiyaç duyulduğunu ve insanlar için toksiliğinin az ve temel element olarak kabul etmektedirler. Ayrıca günlük diyette çok fazla Zn alımı, eksikliğinden daha az zararlı olduğunu belirtmişlerdir.

Kaçar (2019), toprakta bulunan ve toprağa uygulanan gübrelerden, bitkiye yarayışlı manganın, oksidasyon-redüksiyon tepkimeleri sonucunda kısa süreçte

yararlanılamaz şekile dönüşmesi sebebiyle Mn noksanlığı, yaygın olarak tarım topraklarında görüldüğünü ve dolayısıyla bitkiye yarayışlı Mn'nın kısa sürede yararlığını kaybetmesi sebebiyle toprağa uygulanan gübrelerden de beklenen yararın çoğunlukla sağlanamadığını ifade etmiştir.

Kaçar (2019), Mangan'ın hayvan ve insanlarda gerekli bir mikro besin maddesi olduğunu savunmuştur ve Mn'ın doğada az bulunduğunu, yer kabuğunun yaklaşık %0,08 ini oluşturduğunu ifade etmiştir. Bitkiler tarafından çözünebilir Mn^{2+} şeklinde alındığını, fakat az da olsa organik ligandlar ve Mn komplekslerinin de alındığını öne sürmüştür. Mangan ve bitki için diğer mineral besin elementleri, genelde tohumda depo edildiğini, örnek olarak buğday tanelerinde bulduğunu ve çimlenmeye yardımcı olduğunu saptamıştır. Topraklarda çeşitli nedenlerden dolayı, Mn konsantrasyonunun yüksek olması Fe, Cu, Ca ve Mg alımına engel olduğu ve alınan elementlerin noksanlığına yol açtığı bilinmektedir. Underwood (1977) göre, normalde insanların tükettikleri besin maddelerinden absorbe ettikleri Mn miktarının az olduğunu ve fazla miktarda absorbe edilen Mn ise safradan veya idrar yoluyla kısa süreçte dışarı atıldığını belirtmiştir. Lucchini (2009), Mn fazlasının öncelikli olarak karaciğer işlev bozukluğu olmak üzere, diğer organlarda da olumsuz etki yaptığını ifade etmiştir.

Edirne karnabahar sebzelerinde Mn miktarı 0,87-0,15 mg/kg aralığında tespit edilmiştir. EFSA (2013) besin maddelerinden günlük alınan Mn 11 mg/kg.gün kadar, insanlarda toksik etki yapmadığı belirlenmiştir. Edirne karnabaharında ise en yüksek Mn EDEM değeri 0,00042 mg/kg.gün olarak bulunmuştur ve limit değerinin altında kalmıştır.

Herhangi bir kimyasal kirleticiye ilişkin risk olgusunu anlayabilmek için, kirleticinin hedef organizmaya maruz kalma yolunun ölçülmesi yoluyla (EDEM) fark edilmesi gereklidir. Literatür çalışmaları sonuçlarına göre, atık su ile sulanan sebzelerin tüketimi yoluyla çocuklar ve yetişkinler için tahmini DIM'in, kuyu suyuyla yetiştirilen sebzelere göre daha yüksek olduğunu ortaya çıkarmıştır. Aynı zamanda Khan ve arkadaşları (2015) tarafından, günlük metal alımının sebze türüne göre daha fazla bağımlı olduğu ve maksimum DIM eğilimi ıspanak > turp > karnabahar > marul > lahana olduğunu gözlemlemiştir.

Galal ve arkadaşları (2023), karnabaharın ağır metallerle kirlenmiş atık su ile sulanması sonucu, yenilebilir kısımlarında Cr, Co, Cu, Fe, Pb ve V gibi ağır metaller birikmekte ve bu durum halk sağlığını tehdit eden önemli riskler oluşturduğu sonucuna varmıştırlar. Karnabahar, çoğu metalin (Cr, Co, Cu, Fe, Pb ve V hariç) düşük TF'ye (Transfer Faktörü) sahip olduğundan fitostabilizasyon için potansiyel bir bitki olduğunu belirtmiştir. Ayrıca bu metaller için HRI değeri 1'den büyük bulmuşlardır. Kirlenmiş alanlarda yetişen karnabahar sebzelerinin tüketimi Pb, Cd, Mn, Fe ve Ni'nin yüksek alımı nedeniyle sağlık komplikasyonlarına neden olabileceği görüşündedirler.

Edirne karnabaharının analiz sonuçları karşılaştırıldığında, alınan DIM, EDEM ve HRI değerlerine göre, bireyler için tüm tahmini metal içeriği risksizdir. Aynı zamanda Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn elementlerinin çalışma kapsamında HRI'larının birden küçük bulunması, yerel halk sağlığı açısından güvenli kabul edilmiştir.

Alınan toprak numunelerinde yetiştirilen karnabahar sebzelerinde elementlerin yüksek konsantrasyonlarda seyretmemesi, özellikle Cd, Cr ve Ni metallerini içermemesi, yapılan sulamalarda kullanılan suların nispeten temiz ve arınmış olduğu düşünülmektedir.

Analizi yapılan karnabahar sebzelerinde, özellikle canlı organizması için gerekli ve esansiyel olan (Mn, Fe, Cu ve Zn) elementler açısından, düşük değerlerde bulunmasına karşın, besin değerlerini yükseltmek için bir yol izlenmesi gerekebilir. Kumar, Thakur & Kumar (2019), toprakta optimum düzeyde besin bileşeni bulunmuyorsa, çiftçilerin gübre ve toprak düzenleyiciler gibi dış kaynaklardan besinleri bünyesine katmaları gerektiğini savunmuşlardır.

Ağır metallerin gıda zincirine girmesini önlemek için ise, tarım arazilerindeki endüstriyel ve beşeri atıklarını, sulama sistemlerini ve olanaklarını, izlemek için çevre koruma yasaları uygulanmalıdır. Ayrıca, karnabahar taç kısımlarını su ve çeşitli ev kimyasal solüsyonlarıyla (karbonat, sirke, tuzlu su vs.) yıkamak, kir ve toz parçacıklarını giderebilir ve ağır metalleri dış yüzeyden azaltabilir.

Bu nedenle, mevcut çalışma kirlenmemiş alan ve sularda, sebze yetiştirmeyi önermekte ve tüm olanaklar dâhilinde sürdürülebilirliğini desteklemektedir. Yapılan çalışma, çalışılan alanın, iklim koşullarının elverişli olması, bulunduğu konum

açısından tarım ürünlerinin üretiminin uygun olması ve toprağının zengin olması nedeniyle, tarımsal bir sit alanı olarak değerlendirmekte ve sebze üretimini desteklemektedir.

KAYNAKLAR

Abul-Fadl, M.M. (2012). Nutritional and chemical evaluation of white cauliflower by products flour and the effect of its addition on beef sausage quality. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(2), 693-704.

Ahmed M., Khaleeq A., Huma, R., & Munir, S. (2017). Atomic absorption and inductively coupled plasma–optical emission spectroscopic method for determination of micronutrients and toxic metals in *Curcuma longa L*. to characterize human health toxicity. *Spectroscopy Letters*, 50(8), 432–439. https://doi.org/10.1080/00387010.2017.1352604.

Aksüt, B., & Polatcı, H. (2022). Karnabaharın (*Brassica oleracea L.*) model ve kantitatif renk kalite özelliklerine kurutma işlemlerinin etkisi. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 3(1), 170-180. https://doi.org/10.46592/turkager.1097272

Albasel, N., & Cottenie, A. (1985). Heavy metal contamination near major highways, industrial and urban areas in Belgian grassland. Water, Air, and Soil Pollution, 24(1), 103–109. https://doi.org/10.1007/BF00229522

Amanuel, Y.A.W., & Kassegne, A.B. (2022) Assessment of trace metals in soil and vegetable samples irrigated from Borkena river, South Wollo Zone, Amhara Region, Ethiopia, *Sustainable Environment, 8(1) , 1-12.* https://doi.org/10.1080/27658511.2022.2035045

Bahadır, Z., Bulut V. N., Ozdes, D., Duran, C., Bektas, H., & Soylak, M. (2014). Separation and preconcentration of lead, chromium and copper by using with the combination coprecipitation-flame atomic absorption spectrometric determination. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 20(3), 1030–1034. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.06.039

Belbase, P., & Bc, L. (2020). Effects of different fertilizers on yield and vitamin C content of cauliflower (*Brassica oleracea var. botrytis*)− A Review. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 6(4), 37-46. Doi: 10.9734/AJAHR/2020/v6i430083

Bhatia, A., Singh, S., & Kumar, A. (2015). Heavy metal contamination of soil, irrigation water and vegetables in peri-urban agricultural areas and markets of Delh. Water *Environment Research*, 87(11), 2027-2034. https://doi.org/10.2175/106143015X14362865226833

Chabukdhara, M., Munjal, A., Nema, A.K., Gupta S.K., & Kaushal, R. K. (2016). Heavy metal contamination in vegetables grown around peri-urban and urban-industrial clusters in Ghaziabad, India. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(3), 736-752. https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1105723

Chatterjee, J., & Chatterjee, C. (2000). Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. *Environmental Pollution*, 109(1) 69-74. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00238-9

Codex, (1984). Codex Alimentarius Commission Contaminants, *Joint FAO/WHO Food Standards Program, Codex Alimenturius*, first ed., Vol. XVII Rome, Italy.

Demirezen, D., & Aksoy, A. (2006). Heavy Metal Levels in Vegetables in Turkey Are within Safe Limits for Cu, Zn, Ni, and Exceeded for Ca and Pb. Journal of Food Quality, 29: 252-256. http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4557.2006.00072.x

Doğru, A., Altundağ, E., & Dündar, M.Ş. (2021). Gelişmiş bitkilerde nikel elementinin fizyolojik fonksiyonları ve nikel toksisitesi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 33(1), 1-19.

EFSA: European Food Safety Authority. (2009). *Scientific Opinion on Cadmium in Food*. EFSA Journal 2009; 7(1):980. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.980

EFSA: European Food Safety Authority. (2013). *Scientific Opinion on Dietary Reference Values for Manganese*. EFSA Journal 2013;11(11):3419. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3419

EFSA: European Food Safety Authority. (2014). *Scientific Opinion on Dietary Reference Values for Zinc.* EFSA Journal 2014;12(1):3525. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3525

EFSA: European Food Safety Authority. (2015). *Scientific Opinion on Dietary Reference Values for Iron.* EFSA Journal 2015;13(10):4254. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4254

Elgammal, S.M., Khorshed M.A., & Ismail E.H., (2019). Determination of heavy metal content in whey protein samples from markets in Giza, Egypt, using inductively coupled plasma optical emission spectrometry and graphite furnace atomic absorption spectrometry: a probabilistic risk assessment study. *Journal of Food Composition and Analysis*, 84,103300. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103300

Eşiyok, D. & Eser B. (1990). Ege Bölgesi koşullarında yeni karnabahar çeşitlerinin bitki ve verim özelliklerinin belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 111-118.

European Commission. (2006). *Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs*. Official Journal of the European Union, L 364, 5–24. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32006R1881

FAO & WHO. (2020). *Fruit and vegetables – your dietary essentials*. FAO. 11 Mart 2023 tarihinde https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/9d071dca-6b05-4730-b9f2-2a53c48a3c6c/content/src/html/good-for-you.html adresinden erişildi.

Galal, T. M., Al-Sodany, Y. M., Al-Yasi, H. M., Saleh, M. A., Hassan, L. M., & Elawa, O. E. (2023). Health risks of heavy metals uptake by the curds of cauliflower (*Brassica Oleracea Var. Botrytis*) grown in contaminated agricultural lands. *Applied Ecology and Environmental Research*, 21(2), 975-991. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/2102_975991

Ghuniem, M.M., Khorshed M.A., & Souaya E.R. (2019). Optimization and validation of an analytical method for the determination of some trace and toxic elements

in canned fruit juice using quadrupole inductively coupled plasma mass spectrometer. *Journal of AOAC International*, 102(1), 262–270. https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0022

Girgin, N., &El Sedef, N. (2015). Effects of cooking on in vitro sinigrin bioaccessibility, total phenols, antioxidant and antimutagenic activity of cauliflower (*Brassica oleraceae* L. var. *Botrytis*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 37, 119–127. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.04.013

Iftikhar-Ul-Haq, Ahmed, E., Sharif, A., Ahmed, M., & Ahmad, W. (2021). Optimization of ultrasound-assisted extraction of essential and non-essential/toxic trace metals in vegetables and their determination by FAAS and ICP-OES: An evaluation of human health risk. *Food Analytical Methods*, 14(11), 2262–2275. https://doi.org/10.1007/s12161-021-02062-9

Iqbal, M. P. (2012). Lead pollution - A risk factor for cardiovascular disease in Asian developing countries. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 25(1), 289–294.

Islam, M.M., Karim, M.R., Zheng, X., & Li, X. (2018). Heavy metal and metalloid pollution of soil, water and foods in Bangladesh: A critical review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 2825. https://doi.org/10.3390/ijerph15122825

Jahangir, M., Kim, H.K., Choi, Y.H., & Verpoorte, R. (2009). Health-affecting compounds in Brassicaceae. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *8*, 31–43. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2008.00065.x

Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B., & Beeregowda, K.N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72. https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009

Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants*. 4th Edition. Boca Raton, FL: CRC Press. DOI: https://doi.org/10.1201/b10158

Kaçar, B. (2019). *Sürdürülebilir Tarımda Mikro Besin Maddeleri*. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara. ISBN 978-605-7895-25-7.

Kalisz, A., Sekara, A., Smolen, S., Grabowska, A., Gil, J., & Cebula, S. (2018). Mineral composition of cauliflowers with differently coloured curds modified by the chilling of juvenile plants. *Scientia Horticulturae*, 232, 216-225. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.010

Kerketta A., Kumar H., Powell, M. A., Sahoo, P. K., Kapoor H. S., & Mittal S. (2023). Trace element occurrence in vegetable and cereal crops from parts of Asia: A Meta-data analysis of crop-wise diferences. *Current Pollution Reports*, 9(1), 1–21. https://doi.org/10.1007/s40726-023-00248-9

Khan, H. A., Arif, I. A., & Al Homaidan, A. A. (2012). Distribution pattern of eight heavy metals in the outer and inner tissues of ten commonly used vegetables. *International Journal of Food Properties*, 15(6), 1212-1219, https://doi.org/10.1080/10942912.2010.514643

Khan, M. A., Ahmad, I., & Ur Rahman, I. (2007). Effect of environmental pollution on heavy metals content of *Withania somnifera*. Journal of the Chinese Chemical Society, 54(2), 339–343. **https://doi.org/10.1002/jccs.200700049**

Khan, S. A., Liu, X. Y., Shah, B. R., Fan, W. T, Li, H., Khan, S. B., & Ahmad, Z. (2015). Metals uptake by wastewater irrigated vegetables and their daily dietary intake in Peshawar, Pakistan. *Ecological Chemistry and Engineering S-Chemia I Inzynıerıa Ekologiczna S,* 22(1), 125–139. https://doi.org/10.1515/eces-2015-0008

Khanal, B. R., Shah, S. C., Sah, S. K., Shriwastav, C. P., & Acharya, B.S. (2014). Heavy metals accumulation in cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) grown in brewery sludge amended sandy loam soil. *International Journal of Agricultural Science and Technology*, 2(3): 87-92. doi: 10.14355/ijast.2014.0203.01

Köksal, E., & Gülçin, İ. (2008). Antioxidant activity of cauliflower (*Brassica oleracea L.*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(1), 65–78.

Kumar, A., Kumar, A., Cabral-Pinto, M. M. S., Chaturvedi, A. K., Shabnam, A. A., Subrahmanyam, G., Mondal, R., Gupta, D. K., Malyan, S. K., Kumar, S. S., Khan, S. A., & Yadav, K. K. (2020). Lead toxicity: Health hazards, influence on

food chain, and sustainable remediation approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2179. https://doi.org/10.3390/ijerph17072179

Kumar, S., Prasad, S., Yadav, K. K., Shrivastava, M., Gupta, N., Nagar, S., Bach, Q. V., Kamyab, H., Khan, S. A., Yadav, S., & Malav, L. C. (2019). Hazardous heavy metals contamination of vegetables and food chain: Role of sustainable remediation approaches- A review. *Environmental Research*, 179, 108792. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108792

Kumar, V., Thakur, R. K., & Kumar, P. (2019). Assessment of heavy metals uptake by cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) grown in integrated industrial effluent irrigated soils: A prediction modeling study. *Scientia Horticulturae*, 257, 108682. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108682

Lai, C.H., Lin, C.H., Liao, C.C., Chuang, K.Y., & Peng, Y.P. (2018). Effects of heavy metals on health risk and characteristic in surrounding atmosphere of tire manufacturing plant, Taiwan. *RSC Advances*, 8, 3041–3050. https://doi.org/10.1039/C7RA10994F

Lucchini, R. G., Martin, C. J., & Doney, B. C. (2009). From manganism to manganese-induced parkinsonism: A conceptual model based on the evolution of exposure. *Neuromol Medicine*, 11(4), 311-321. https://doi.org/10.1007/s12017-009-8108-8

Mandal, R., Kaur, S. (2018). Impact of environmental pollution on trace elements in vegetables and associated potential risk to human health in industrial town Mandi-gobindgarh (India). *Chemosphere*, 219, 574-587

Manwani, S., Devi P., Singh T., Yadav C.S., Awasthi K.K., Bhoot N., & Awasthi G. (2023). Heavy metals in vegetables: a review of status, human health concerns, and management options. *Environmental Science and Pollution Research*, 30:71940–71956. https://doi.org/10.1007/s11356-022-22210-w .

Mapanda, F., Mangwayana E.N., Nyamangara J., & Gillera K.E. (2005). The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under

vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107, 151-165. https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.11.005

Matsumoto, S. T., Mantovani, M. S., Malagutti, M. I. A., Dias, A. U., Fonseca, I. C., & Marin-Morales, M. A. (2006). Genotoxicity and mutagenicity of water contaminated with tannery effluents, as evaluated by the micronucleus test and comet assay using the fish *Oreochromis niloticus* and chromosome aberrations in onion root-tips. *Genetics and Molecular Biology*, 29(1), 148–158. Doi: https://doi.org/10.1590/S1415-47572006000100023

Mehmood, A., Mirza, M. A., Choudhary, M. A., Kim, K. H., Raza, W., Raza, N., Lee, S. S., Zhang, M., Lee, J. H., & Sarfraz, M. (2019). Spatial distribution of heavy metals in crops in a wastewater irrigated zone and health risk assessment. *Environmental Research.* 168, 382–388. https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.020

MGM (2024). Meteoroloji Genel Müdürlüğü. 21 Aralık 2024 tarihinde https://www.mgm.gov.tr/ adresinden erişildi.

Mishra, S., Dwivedi, S. P., & Singh, R. B. (2010). A review on epigenetic effect of heavy metal carcinogenesis on human health. *Open Nutraceuticals Journal*, 3, 188–193. https://doi.org/10.2174/1876396001003020188

Mor, F., & Ceylan, S. (2008). Cadmium and lead contamination in vegetables collected from industrial, traffic and rural areas in Bursa Province, Turkey. Food Additives & Contaminants: Part A, 25(5), 611–618. https://doi.org/10.1080/02652030701691531

Negera M., Bufebo T., & Abebe D. (2023). Levels of selected trace metals in enset (*Ensete ventricosum (Welw.), Cheesman*) (Unprocessed and processed) and soil of siltie zone, Southern Ethiopia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 115, 104905. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104905

NIH (2022). National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. *Copper - Fact Sheet for Health Professionals.* https://ods.od.nih.gov/factsheets/Copper-HealthProfessional/

NIH (2024). National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. *Iron - Fact Sheet for Health Professionals*. https://ods.od.nih.gov/factsheets/Iron-HealthProfessional/

Pandey, M., Tirkey, A., Tiwari, A., Lee, S.S., Dubey, R., Kim, K.H., & Pandey, S.K. (2022). The environmental significance of contaminants of concern in the soil–vegetable interface: Sources, accumulation, health risks, and mitigation through biochar. *Sustainability*, 14, 14539. https://doi.org/10.3390/su142114539

Parlak, M., Everest, T., & Tunçay, T. (2021). Pırasa ve yerfıstığı yetiştirilen toprakların verimlilik durumları ile ağır metal içerikleri: İzmir-Torbalı ve Çanakkale-Bayramiç ilçeleri örnek çalışmaları. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 36(2), 200-211. https://doi.org/10.7161/omuanajas.827263

Pem, D., Jeewon, R. (2015). Fruit and Vegetable Intake: Benefits and Progress of Nutrition Education Interventions- Narrative Review Article. *Iranian Journal of Public Health*, 44(10), 1309-1321.

Rehman, K., Fatima, F., Waheed, I., & Akash, M. S. H. (2018). Prevalence of exposure to heavy metals and their impact on health consequences. Journal of Cellular Biochemistry, 119(1), 157–184. https://doi.org/10.1002/jcb.26234

Salem, H.M., Eweida, E.A., & Farag, A. (2000). Heavy Metals in Drinking Water and Their Environmental Impact on Human Health. *Proceedings of the International Conference for Environmental Hazards Mitigation*, Cairo University, Egypt, 542–556.

Sharma A., Srivastava A., Ram B., & Srivastava P.C. (2007). Dissipation behaviour of spinosad insecticide in soil, cabbage and cauliflower under subtropical conditions. *Pest Management Science*, 63:1141–1145. https://doi.org/10.1002/ps.1437

TKGM. (2023). Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü. Türkiye tapu ve kadastro sistemi parsel sorgulama. 02 Nisan 2023 tarihinde https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/ adresinden erişildi.

Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment (Ed). *Molecular, clinical and environmental toxicology*, Springer, 101, 133–164. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4

Tejaswini M., Jessen G., Prasad, V.G., & Swati B. (2021). Assessment of cadmium (Cd) and chromium (Cr) contamination in vegetables sold in local markets of Bangalore city, Karnataka, India. EQA - International Journal of Environmental Quality, 42(1-5), 2281-4485. https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/11418

Trakya Kalkınma Ajansı (2014). Edirne yatırım ortamı. Edirne Mevcut Durum Analizi. 3 Şubat 2023. https://www.trakyaka.org.tr/upload/Node/35520/xfiles/EDIRNE_YATIRIM_ORTAMI.pdf adresinden erişildi.

Trzcinka-Ochocka, M., Jakubowski, M., Szymczak, W., Janasik, B., & Brodzka, R., (2010). The effects of low environmental cadmium exposure on bone density. *Environmental Resarch*, 110, 286–293. https://doi.org/10.1016/j.envres.2009.12.003

TÜİK (2023). Türkiye İstatistik Kurumu. 5 Mart 2023 tarihinde http://www.tuik.gov.tr adresinden erişildi.

Ulukapı, K., & Şener, S. (2018). Effect of different organic fertilizers on plant growth and yield parameters of cauliflower grown in field and greenhouse conditions. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32(3), 510–515.

Underwood, E. J. (1977). *Trace elements in human and animal nutrition* (4. baskı). Academic Press.

USEPA (2014). US Environmental Protection Agency. “Integrated risk information system of the US Environmental Protection Agency”.

USEPA (2020). US Environmental Protection Agency. "National Primary Drinking Water Regulations". https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations.

Yang, J., Ma, S. L., Zhou, J. C., Song, Y. W., & Li, F. (2018). Heavy metal contamination in soils and vegetables and health risk assessment of inhabitants

in Daye, China. *Journal of International Medical Research*, 46(8), 3374–3387. https://doi.org/10.1177/0300060518758585

Yan, J. Y., Huang, C. C., Lung, S. C. C., Wang, W. C., Suo, G. L., Lin, Y. J., Lai, C. H., & Lin, C. H. (2017). ROCK inhibitor Y-27632 attenuated early endothelial dysfunction caused by occupational environmental concentrations of carbon black nanoparticles. *Environmental Science-Nano*, 4(7), 1525-1533 https://doi.org/10.1039/C7EN00123A

Zafarzadeh, A., Rahimzadeh, H., & Mahvi, A. H. (2018). Health risk assessment of heavy metals in vegetables in an endemic esophageal cancer region in Iran. Health Scope, 7(3), 12340. https://doi.org/10.5812/jhealthscope.12340

Zheng, N., Wang, Q. C., & Zheng, D. M. (2007). Health risk of Hg, Pb, Cd, Zn, and Cu to the inhabitants around Huludao Zinc Plant in China via consumption of vegetables. *Science of the Total Environment*, 383(1-3), 81–89. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.05.002

Zocche, J. J., Leffa, D. D., Damiani, A. P., Carvalho, F., Mendonça, R. A., dos Santos, C. E.I., Boufleur, L. A., Dias, J. F., & de Andrade, V. M. (2010). Heavy metals and DNA damage in blood cells of insectivore bats in coal mining areas of the Catarinense coal basin, Brazil. *Environmental Research*, 110(7), 684–691. https://doi.org/10.1016/j.envres.2010.06.003

ÖZGEÇMİŞ

80.Yıl Cumhuriyet Anadolu Lise'sinde okudu. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fatih Eğitim Fakültesi, Kimya Öğretmenliği bölümünden mezun oldu. 2019 Kimya Anabilim Dalında, Analitik Kimya bölümünde yüksek lisansa başladı. Sınav Temel Lisesi'nde Kimya öğretmeni olarak çalıştı. 2018 yılında evlendi ve bir çocuk annesi. Edirne'de ikamet ediyor.