



**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**BENZİNLE ÇALIŞAN MOTORLU ÇAY HASAT
MAKİNELERİNİN ÇAY BİTKİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Gülistan ARSLAN

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Şule GÜZEL İZMİRLİ**

**RİZE
2025**

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalında, Dr. Öğr. Üyesi Şule GÜZEL İZMİRLİ danışmanlığında, Gülistan ARSLAN tarafından hazırlanan *Benzinle Çalışan Motorlu Çay Hasat Makinelerinin Çay Bitkisi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması* adlı bu tez çalışması, 25/08/2025 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliğiyle/~~oy çokluğuyla~~ başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Ünvanı, Adı SOYADI	İmza
Başkan	: Dr. Öğr. Üyesi Şule GÜZEL İZMİRLİ	
Üye	: Prof. Dr. Özlem FAİZ	
Üye	: Doç. Dr. Rena MARALI	

ETİK BEYAN

Biyoloji Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Benzinle Çalışan Motorlu Çay Hasat Makinelerinin Çay Bitkisi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

25/08/2025

Gülistan ARSLAN

ÖN SÖZ

“Benzinle Çalışan Motorlu Çay Hasat Makinelerinin Çay Bitkisi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması” konulu bu çalışma 2024-2025 eğitim öğretim yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı’nda “Yüksek Lisans Tezi” olarak hazırlanmıştır.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardım ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve yönlendirmeleriyle ufkumuzu genişleten, öğrencilerine olan özverili ve anlayışlı yaklaşımı, karakteri ve eğitimci kişiliğiyle bizlere örnek olan lisans ve yüksek lisans tez çalışmalarım süresince danışmanım olan saygıdeğer Dr. Öğr. Üyesi Şule GÜZEL İZMİRLİ hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez jüri üyeliğini kabul ederek bizleri onurlandıran sayın Prof. Dr. Özlem FAİZ ve sayın Doç. Dr. Rena MARALI hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Emeği ve desteği için Rize Çay Araştırma ve Uygulama Merkezi (ÇAYMER) Genel Müdürü Teoman KÜÇÜKMUSTAFA’ya, Laboratuvar Müdürü Hacer GENC’e ve Laboratuvar çalışma arkadaşlarım olan Şafak CAM ve Vedat Mert CANSEVER’e teşekkürlerimi sunarım.

Tez süresince benden desteklerini esirgemeyen, uzakları yakın eden ve her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim. Hayatımın her aşamasında, tüm sıkıntılı anlarımda benim yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Döndü PEKER, Buse GÖKAY ve Semanur YILDIZ’a teşekkürlerimi sunarım.

“Bu çalışma Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Kördünatörlüğü birimince desteklenmiştir. Proje numarası: ÇİP-2022-1157 ve TÜBİTAK 123O604”

Gülistan ARSLAN
RİZE/2025

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
KISALTMALAR	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	XI
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	10
1.1. Ağır Metaller	10
1.1.1. Kurşun (Pb).....	10
1.1.2. Nikel (Ni)	11
1.1.3. Kobalt (Co)	12
1.1.4. Çinko (Zn).....	13
1.1.5. Mangan (Mn)	14
1.1.6. Krom (Cr).....	15
1.1.7. Bakır (Cu)	16
1.2. Çay Bitkisi (<i>Camellia sinensis</i> (L.). O. Kuntze)	17
1.3. Literatür Özeti	18
2. MATERYAL-METOT	27
2.1. Araştırma Alanı.....	27
2.2. Saha Örnekleme.....	28
2.3. Örneklerin Temini ve Analize Hazır Hale Getirilmesi	29
2.3.1. Yaş Çay Örneklerinin Temini ve Analize Hazır Hale Getirilmesi	29
2.3.2. Mamul Çay Örneklerinin Temini ve Analize Hazır Hale Getirilmesi	29
2.3.3. Toprak Örneklerinin Temini ve Analize Hazır Hale Getirilmesi.....	29
2.4. Kimyasallar ve Reaktifler	29
2.5. Numune Hazırlığı ve Çözündürme İşlemi	30

2.6. Kalibrasyon ve Ağır Metal Analizleri.....	30
2.7. Kalite Kontrol ve Güvence Prosedürleri	31
2.8. İstatistiksel Analiz.....	32
3. BULGULAR.....	34
3.1. Bitki Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri	34
3.1.1. Çay Toplama Araçlarına Göre Ağır Metal İçerikleri.....	34
3.1.1.1. Yaş Çay Örneklerinin (işlem görmemiş) Ağır Metal İçerikleri.....	34
3.1.1.2. Mamul Çay Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri.....	43
3.1.2. Sürgün Dönemlerine Göre Ağır Metal İçerikleri	53
3.1.2.1. Yaş Çay Örneklerinin (işlem görmemiş) Ağır Metal İçerikleri.....	53
3.1.2.2. Mamul Çay Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri.....	56
3.1.3. Çay Formlarına Göre Ağır Metal İçerikleri	59
3.2. Toprak Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri	68
3.2.1. Çay Toplama Araçlarına Göre Ağır Metal İçerikleri.....	68
3.2.2. Sürgün Dönemlerine Göre Ağır Metal İçerikleri.....	74
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	80
4.1. Çay Formlarının Ağır Metal İçerik Değerleri	80
4.2. Toprak Ağır Metal Konsantrasyonları	91
KAYNAKÇA.....	103

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : Biyoloji
Tez Türü : Yüksek Lisans Tezi
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Şule GÜZEL İZMİRLİ
Hazırlayan : Gülistan ARSLAN
Yıl : 2025
Sayfa Sayısı : 124

ÖZET

BENZİNLE ÇALIŞAN MOTORLU ÇAY HASAT MAKİNELERİNİN ÇAY BİTKİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Çay, Türkler arasında en çok tüketilen alkolsüz içecektir. Ancak, çay ekim sürecinde kimyasal ve organik gübrelerin uygulanması, çay plantasyonunun etrafındaki çevre kirliliği ve işlemede kullanılan aletler nedeniyle çayda ağır metal elementleri birikmekte ve bu da çay tüketicileri için sağlık riskleri oluşturmaktadır. Bu çalışma, çay bitkisinin ve yetiştigi topraklarının ağır metal içerikleri üzerine benzinli çay kesme motorlarının etkisini ortaya koymayı amaçlayan ilk çalışmadır. Bu çalışmada, 2023 yılında Rize ili Merkez ilçesinde belirlenen çay bahçelerinin toprak örnekleri birinci hasat dönemi öncesi ve üçüncü hasat dönemi sonrasında, yaş çay örnekleri ise üç hasat döneminde toplanmış ve toplanan yaş çay örneklerinden eş zamanlı olarak mamul çay örnekleri elde edilmiş olup toprak, yaş ve mamul çay örneklerindeki kurşun (Pb), nikel (Ni), kobalt (Co), krom (Cr), bakır (Cu), çinko (Zn) ve mangan (Mn) konsantrasyonları indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) ile tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada hem yaş hem de mamul çayların Mn ve Cu konsantrasyonları ile mamul çayların Cr konsantrasyonu Dünya Sağlık Örgütü tarafından önerilen seviyenin üzerinde bulunmuştur. Çay bahçelerinden elde edilen toprakların Co ve Cu ile kirlendiği ve bu seviyelerin Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğince belirlenen sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ve kirli alanda çay kesme makası ile toplanan gerek yaş çay ve yaş çay örneklerinden elde edilen mamul çay örneklerinde gerekse bu çayların yetiştigi topraklarda ağır metal konsantrasyonları yüksek çıkmıştır. En düşük seviyeler ise temiz alanda çay makası ile toplanan alanlarda tespit edilmiştir. Topraklarda ağır metal düzeyleri birinci sürgün öncesinde, yaş çaylarda üçüncü sürgünde en yüksek bulunmuştur. Mamul çaylarda Pb, Ni, Co ve Cu üçüncü, Cr ikinci, Zn ve Mn ise birinci sürgünde en yüksek seviyededir. Topraklarda ağır metal konsantrasyonu $Mn > Zn > Cu > Co > Pb > Cr > Ni$, yaş çaylarda $Mn > Zn > Cu > Ni > Co > Cr > Pb$, mamul çaylarda ise $Mn > Zn > Cu > Ni > Cr > Co > Pb$ şeklinde sıralanmıştır. Bu bulgular, farklı sürgün dönemleri ile çay toplama araçlarının, toprak, yaş çay ve mamul çaydaki ağır metal birikiminde belirleyici olduğunu ortaya koyarak, ürün güvenliği ve kalite yönetimi açısından önemli bir temel sağlamaktadır. Toprak ve çay (yaş ve mamul çay) örneklerinin trafikten ve benzin ile çalışan çay kesme motorundan salınan gazlardan etkilendiği, direkt ya da indirekt olarak kirliliğe maruz kaldığı (kalacağı) öngörüldü.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metal, Çay, Benzinli Çay Toplama Aracı, Trafik, Rize

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Biology
Thesis Type : Master Thesis
Supervisor : Asst. Prof. Dr. Şule GÜZEL İZMİRLİ
Author : Gülistan ARSLAN
Year : 2025
Pages : 124

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF GASOLINE-POWERED TEA
HARVESTERS ON TEA PLANT**

Tea is the most widely consumed non-alcoholic beverage among Turkish people. However, the application of chemical and organic fertilizers during tea cultivation, environmental pollution surrounding tea plantations, and the use of processing equipment lead to the accumulation of heavy metals in tea, posing potential health risks to consumers. This study is the first to investigate the effect of gasoline-powered tea leaf cutting machine on the heavy metal content of tea plants and the soils in which they are grown. In 2023, soil samples from selected tea gardens in the central district of Rize Province were collected before the first harvest period and after the third harvest period, while fresh tea leaf samples were collected during all three harvest periods. Processed tea samples were simultaneously obtained from the collected fresh tea leaves. Concentrations of lead (Pb), nickel (Ni), cobalt (Co), chromium (Cr), copper (Cu), zinc (Zn), and manganese (Mn) in soil, fresh tea, and processed tea samples were determined using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The results revealed that both fresh and processed teas had Mn and Cu concentrations, and processed teas had Cr concentrations exceeding the limits recommended by the World Health Organization. The soils from tea gardens were found to be contaminated with Co and Cu, with levels surpassing the threshold values established in the Regulation on the Control of Soil Pollution. Higher heavy metal concentrations were detected in both fresh and processed teas, as well as in their corresponding soils, when harvested using a gasoline-powered tea leaf cutting machine in clean areas and a tea shear in polluted areas. The lowest concentrations were found in areas harvested with tea shears in clean locations. Heavy metal levels in soils were highest before the first harvest period, while in fresh tea they were highest during the third harvest. In processed tea, Pb, Ni, Co, and Cu concentrations were highest in the third harvest, Cr in the second, and Zn and Mn in the first harvest. Based on average concentrations, heavy metals in soils were ranked as $Mn > Zn > Cu > Co > Pb > Cr > Ni$, in fresh tea as $Mn > Zn > Cu > Ni > Co > Cr > Pb$, and in processed tea as $Mn > Zn > Cu > Ni > Cr > Co > Pb$. These findings demonstrate that both harvest period and harvesting tools play a critical role in the accumulation of heavy metals in soil, fresh tea, and processed tea, providing a valuable foundation for ensuring product safety and quality management. It was predicted that the soil and tea (fresh leaf and manufactured tea) samples were affected by traffic and gases released from the gasoline-powered tea leaf cutting machine and were (and will remain) exposed to pollution directly or indirectly.

Keywords: Heavy metal, Tea, Gasoline-Powered Tea Leaf Cutting Machine, Traffic, Rize

KISALTMALAR

AB	:	Avrupa Birliği
Al	:	Alüminyum
As	:	Arsenik
Cd	:	Kadmiyum
Cr	:	Krom
Cu	:	Bakır
Fe	:	Demir
H ₂ O ₂	:	Hidrojen peroksit
HNO ₃	:	Nitrik asit
ICP-MS	:	İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi
ICP-OES	:	İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi
K	:	Potasyum
LOD	:	Tespit sınırı
LOQ	:	Miktar tayini sınırı
Mn	:	Mangan
Ni	:	Nikel
P	:	Fosfor
Pb	:	Kurşun
ppb	:	Milyarda Bir (nano)
ppm	:	Milyonda Bir (mikro)
RSD	:	Yüzdelik Bağlı Standart Sapma
WHO	:	Dünya Sağlık Örgütü
Zn	:	Çinko

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. ICP-MS cihazının çalışma koşulları.....	31
Tablo 2. IAEA-336 bitki sertifikalı referans materyaline ait ölçülen ve sertifikalı element konsantrasyonlarının karşılaştırılması ($\mu\text{g/kg}$, kuru ağırlık).....	32
Tablo 3. UME EnvCRM 03 toprak sertifikalı referans materyaline ait ölçülen ve sertifikalı element konsantrasyonlarının karşılaştırılması ($\mu\text{g/kg}$, kuru ağırlık)	32
Tablo 4. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları	34
Tablo 5. Çay toplama araçlarına göre birinci sürgün yaş çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm).....	36
Tablo 6. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları	37
Tablo 7. Çay toplama araçlarına göre ikinci sürgün yaş çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm).....	38
Tablo 8. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları	39
Tablo 9. Çay toplama araçlarına göre üçüncü sürgün yaş çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm).....	41
Tablo 10. Çay toplama araçlarına göre tüm yaş çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm).....	42
Tablo 11. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları	43
Tablo 12. Çay toplama araçlarına göre birinci sürgün mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)	45
Tablo 13. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları	46
Tablo 14. Çay toplama araçlarına göre ikinci sürgün mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)	48
Tablo 15. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları	49
Tablo 16. Çay toplama araçlarına göre üçüncü sürgün mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)	51
Tablo 17. Çay toplama araçlarına göre tüm mamul çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)	52
Tablo 18. Sürgün dönemlerine göre Kruskal-Wallis test sonuçları	53
Tablo 19. Sürgün dönemlerine göre yaş çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)	55

Tablo 20. Sürgün dönemlerine göre Kruskal-Wallis test sonuçları	56
Tablo 21. Sürgün dönemlerine göre mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)	58
Tablo 22. Çay formlarına göre Mann-Whitney U test sonuçları.....	59
Tablo 23. Çay formlarına göre Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)	60
Tablo 24. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları.....	68
Tablo 25. Çay toplama araçlarına göre birinci sürgün dönemi öncesi alınan toprakların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)	70
Tablo 26. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları.....	71
Tablo 27. Çay toplama araçlarına göre üçüncü sürgün dönemi sonrası alınan toprakların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm).....	73
Tablo 28. Çay toplama araçlarına göre tüm toprakların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)	74
Tablo 29. Sürgün dönemlerine göre Mann-Whitney U test sonuçları.....	75
Tablo 30. Sürgün dönemlerine göre toprakların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm).....	75

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Parametrelere göre çay formlarının Pb içeriği	61
Şekil 2. Parametrelere göre çay formlarının Ni içeriği.....	61
Şekil 3. Parametrelere göre çay formlarının Co içeriği	62
Şekil 4. Parametrelere göre çay formlarının Cr içeriği.....	62
Şekil 5. Parametrelere göre çay formlarının Cu içeriği	63
Şekil 6. Parametrelere göre çay formlarının Zn içeriği	63
Şekil 7. Parametrelere göre çay formlarının Mn içeriği	64
Şekil 8. Hasat dönemine göre çay formlarının Pb içeriği.....	64
Şekil 9. Hasat dönemine göre çay formlarının Ni içeriği	65
Şekil 10. Hasat dönemine göre çay formlarının Co içeriği	65
Şekil 11. Hasat dönemine göre çay formlarının Cr içeriği	66
Şekil 12. Hasat dönemine göre çay formlarının Cu içeriği	66
Şekil 13. Hasat dönemine göre çay formlarının Zn içeriği.....	67
Şekil 14. Hasat dönemine göre çay formlarının Mn içeriği	67
Şekil 15. Hasat dönemi ve parametrelere göre toprak Pb içeriği	76
Şekil 16. Hasat dönemi ve parametrelere göre toprak Ni içeriği.....	77
Şekil 17. Hasat dönemi ve parametrelere göre toprak Co içeriği.....	77
Şekil 18. Hasat dönemi ve parametrelere göre toprak Cr içeriği.....	78
Şekil 19. Hasat dönemi ve parametrelere göre toprak Cu içeriği.....	78
Şekil 20. Hasat dönemi ve parametrelere göre toprak Zn içeriği	79
Şekil 21. Hasat dönemi ve parametrelere göre toprak Mn içeriği	79

GİRİŞ

Türkiye, birbirinden farklı jeolojik yapı, iklim, bitki örtüsü ve topoğrafik yapısı itibarıyla bütün toprak gruplarına sahip ülkelerden biridir. İnsan aktiviteleri sonucu artan endüstri, tarımsal verimliliği artırma çabaları günümüzde toprak kirliliğinin temel kaynağıdır. Özellikle yirminci yüzyılın ortalarına doğru hızla artan nüfus ile birlikte, tarım ve diğer alanlarda sanayi ve teknolojinin hızlı gelişmesine paralel olarak toprak kirliliğinde de artma başlamıştır (Türkoğlu, 2006). Ayrıca tarımsal üretimin miktarını arttırmak maksadıyla bilinçsizce kullanılan ticari gübreler, pestisitler, kirli suların tarımsal sulamada kullanılması gibi faaliyetler sonucu da toprak kirliliği meydana gelmektedir (Türkoğlu, 2006). Bu nedenle günümüzde toprak kirliliği her geçen gün daha da ciddi boyutlara ulaşan önemli sorunlardan birisi olmuştur (Dilbilir, 2021).

Toprak, su ve havada değişik oranlarda bulunan ağır metaller belirli konsantrasyonun üzerinde kirliliğe yol açarlar. Ağır metallerin çevrede yaygın bir şekilde birikmesi, tüm canlılar için boyutları giderek artan bir tehlike oluşturmaktadır. Çevreyi kirleten bütün unsurlar bitkilerde strese neden olmaktadır. Stres ise bitkilerin fizyolojisini etkiler, onların genetik potansiyellerini değiştirir, verimliliklerini kısıtlar ve ölümlerine yol açarak büyük oranlarda ürün kayıpları oluşturur (Munzuroğlu ve Gür, 2000; Zengin ve Munzuroğlu, 2003). Her besin elementinin bitki beslenmesinde rolü farklıdır. Ve bunların dengeli bir şekilde bitkiye uygulanması gerekmektedir. Bitkiler tarımsal olarak büyük öneme sahiptirler ve besin elementlerini alırken dışarıdan gelen olumsuzluklarla karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu olumsuzluklar bitkinin yaşamını sürdürebilmesi için sınırlamalara sebep olmaktadır (Okcu vd., 2009).

Bitkilerin yaşamları için ihtiyaç duydukları elementlere, “Bitki Besin elementleri” denilmektedir. Bitki dokuları üzerinde yapılan analizlerde, doğada bulunan elementlerin hemen hemen hepsine rastlanılmıştır (Yıldız, 2003). Yeryüzünde yaşamı geliştirebilmek için bitki besleme önemli bir faktördür. Bitkiler optimum düzeyde büyüme ve gelişme için en az 17 adet bitki besin maddesi ya da elementine ihtiyaç duymaktadır (Fageria, 2009). Bitkiler bu elementleri genellikle havadan ve sudan almaktadır. Ve bu elementlerin mineral olmayan bitki besin elementleri

oldukları düşünülmektedir. Bitki besin elementleri bitki bünyesinin çok büyük bir kısmını oluşturmaktadırlar. Bu oranın %95 seviyelerinde olduğu bilinmektedir (Kacar ve Katkat, 2010). Bitkinin büyüme ve gelişmede ihtiyaç duyduğu bu elementlerin temel kaynakları kayalar, okyanus ve atmosferdir. Bitki yaşamı için gerekli olan bu elementlerden biri bile yeterli düzeylerde bulunmadığında ya da absorbe edilmesi zor ise, bu elementin eksikliğinden sebep bitki metabolizmasında bozulmalar oluşabilmektedir (Epstein ve Bloom, 2004).

Bitkiler, zorunlu 14 elementi topraktan doğrudan almaktadırlar. Elementler bitkiler tarafından anyon ve katyon olarak alınabildiği gibi moleküler olarak da alınabilmektedir. Çözülebilir durumdaki bu elementlerin oransal olarak miktarları farklıdır (Wild, 1993; Kantarcı, 2000; Gardiner ve Miller, 2008). Başka bir deyimle bitkilerde bulunan besin elementleri miktarları üzerinde bitkinin yaşı, türü, kök büyümesi, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, toprakta yarayışlı şekilde bulunan elementlerin cins ve miktarları, hava koşulları ve uygulanan tarımsal yöntemler gibi pek çok faktör etkilidir (Kacar ve Katkat, 2010).

Bitki besin elementleri toprağın yapısında tuzlar, organik ve anorganik yüzeylerde, kil minerallerinin ara tabakalarında, organik maddelerin içerisinde, toprak biyokütlesi içeriğinde, silikatların yapı taşı olarak hareketsiz halde, demir ve mangan oksitlerinin iç kısmında bağlanmış olarak bulunabilirler. Topraktaki besin elementlerinin kaybı ise bitkiler tarafından alınma, erozyon, yıkanma ve gaz halinde atmosfere karışma şeklinde olmaktadır (Özbek vd., 2001).

Bitkilerin ihtiyaçlarına göre besin elementleri mikro ve makro besin elementleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Makro besin elementlerine, mikro besin elementlerine göre daha fazla gereksinim duyulmaktadır. Bu yüzden mikro besin elementleri minör ya da iz element olarak da isimlendirilmektedir (Fageria, 2009; Kacar ve Katkat, 2010).

Mikro besin elementleri, bitkiler ve insanlar için hayati öneme sahiptirler. Mikro besin elementleri vücutta düşük miktarlarda bulunmalarına karşın biyolojik işlevler açısından fazla öneme sahip olan vitamin ve minerallerdir. Bitkilerdeki bu elementler büyüme, gelişme ve metabolik süreçlerde kritik bir rol oynamaktadır. İnsanların beslenmesinde bu besin elementleri bağışıklık sistemi fonksiyonları,

hücrel enerji üretimi, sinir iletimi ve kemik sağlığı gibi temel biyolojik işlemler için gerekli elementlerdir (Lambers vd., 2008).

Mikro besin elementleri, bitkilerde çeşitli enzimatik reaksiyonlarda kofaktör olarak görev almaktadır. Klorofil sentezi, fotosentez, solunum, azot fiksasyonu ve protein sentezi gibi bitki için önemli birçok hayati süreçte görev almaktadır. Örneğin, demir (Fe) mikro besin elementi klorofil sentezinde ve elektron taşıma zincirinde görev alırken, çinko mikro besin elementi enzim aktivitesinde ve hormon sentezinde görevlidir. Bakır mikro besin elementi ise lignin sentezinde ve oksidatif stresin azaltılmasında kritik öneme sahip bir elementtir (Bolat ve Kara, 2017).

Toprak özellikleri, pH düzeyi, organik madde içeriği ve diğer çevresel faktörler, mikro besin elementlerinin bitkiler tarafından alımını ve kullanılabilirliğini etkileyebilmektedir. Örneğin, yüksek pH değerine sahip olan topraklarda, özellikle mikro besin elementlerinin çözünürlüğü azalmakta ve bitkiler tarafından mikro besin elementlerinin alımı zorlaşmaktadır (Bolat ve Kara, 2017). Bu durum ise bitkilerde besin eksikliklerine ve buna bağlı olarak verim kayıplarına yol açmaktadır.

Çay bitkileri, dünya çapında Çin, Hindistan, Türkiye, Sri Lanka ve Kenya gibi 45 ülkede (Tao vd., 2021) ve Çin'de 2000 yılı aşkın süredir yetiştirilmektedir (Wu vd., 2022) ve küresel çay alanlarının %60'ını oluşturmaktadır (Zhu vd., 2023). Çay bitkilerinin yapraklarından yapılan çay, en popüler alkolsüz içeceklerden biridir. Çay, bol miktarda kafein, amino asit ve polifenol içerir ve serum kolesterolünü ve lipoprotein oksidasyonunu azaltan anti-inflamatuar ve antioksidan etkiler gösterebilir (Tao vd., 2021; Wu vd., 2022). Zn ve Se (Selenyum) gibi birçok eser element de çayda biriktiğinden, çay içmek kardiyovasküler hastalık ve diyabet riskini azaltarak insan sağlığına fayda sağlar (Tao vd., 2021; Ju vd., 2024). Bununla birlikte, çay bazı tehlikeli bileşenler de içerebilir ve çayın insan sağlığı üzerindeki gerçek etkisi hala tartışmalıdır (Grządka vd., 2024) ve aşırı miktarda temel eser element ve çok az miktarda temel olmayan ağır metal alımı zararlı etkilere neden olabilir (Uchimiya vd., 2020; Liu vd., 2021). Bu nedenle, çay yapraklarındaki ağır metaller ve çay güvenliği zamanla yaygın bir toplumsal ilgi odağı haline gelmiştir.

Çayın güvenliği ve sağlığı, çay plantasyonlarındaki toprak ortamı kalitesinden ayrı düşünülemez. Tarım topraklarındaki ağır metal kirliliği de çok önemli bir sorundur (Deng vd., 2019), çünkü petrokimya, madencilik ve endüstriyel atıklar çevreyi giderek

daha fazla kirlenmektedir (Echevarría vd., 2024). Aşırı ağır metaller, toprağın fizikokimyasal özelliklerini değiştirebilir, toprak verimliliğini azaltabilir ve çayın miktarını ve kalitesini düşürebilir; toksisiteleri, kalıcılıkları ve biyolojik olarak parçalanmamaları nedeniyle besin zincirlerine girip taşınarak insan sağlığı üzerinde uzun vadeli toksik bir etkiye neden olabilir (Shi vd., 2023; Korkanç vd., 2024). Arsenik (As), Cr ve Pb maruziyeti, kardiyovasküler ve sinir sistemi rahatsızlıkları da dahil olmak üzere birçok hastalıkla ilişkilendirilmiştir ve temel bir eser element olan aşırı Cu konsantrasyonları da insan sağlığını etkiler (Cai vd., 2018). Toprak ağır metal konsantrasyonları, çay yapraklarındaki ağır metal konsantrasyonlarını etkileyebilir; bu bağlamda, toprak kirliliği düzeyi ve potansiyel riskin değerlendirilmesinde ağır metal konsantrasyonlarının doğru bir şekilde tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Toprak kirliliği, özellikle ağır metallerin yaygın sızması ışığında, küresel çapta yaygın bir çevresel endişe olarak ortaya çıkmış ve önemli bir incelemeye konu olmuştur (Kutralam-Muniasamy vd., 2021). Ağır metallerin toprak kirliliği, doğal ve antropojenik olmak üzere iki temel nedene ayrılabilir. Doğal kaynaklı kirlilik, toprak oluşumuna özgü süreçlerden kaynaklanır ve mineral ayrışması ve arka plan kaynakları yoluyla elementlerin çözünmesini kapsar (Tapia-Gatica vd., 2022). Antropojenik kaynaklar, topraktaki ağır metal ortamını etkileyen dışsal etkenler olarak işlev görür. Endüstriyel kömür yakma, madencilik, metalurji, tarımsal gübre ve pestisit kullanımı, araç egzozlarından kaynaklanan emisyonlar ve elektronik ürünlerin atılması gibi insan faaliyetleri, toprakta çeşitli derecelerde ağır metal kirliliğine neden olabilir (Liu vd., 2022; Anaman vd., 2022). Bununla birlikte, ağır metal kirliliği, güçlü gizlenmesi, kalıcı varlığı ve biyobirikim eğilimiyle ayırt edilir ve topraktan arıtılmasını zorlu bir girişim haline getirir. Yüksek ağır metal konsantrasyonları, yalnızca topraktaki bitkilerin gelişimini engellemekle kalmaz, aynı zamanda ürün veriminin azalmasına ve tarımsal ürünlerin kalitesinin düşmesine de neden olur. Dahası, bu metalik elementler insan vücuduna çeşitli yollarla sızabilir ve doğrudan veya dolaylı olarak çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilir. Örneğin, bir araştırma, kentsel parklar, yol kenarı yeşillikleri ve bitişik yeşil alanlar dahil olmak üzere çeşitli yemyeşil alanlardaki topraklardaki ağır metallerin kirlilik durumunu ve mekansal özelliklerini incelemiştir. Bulgular, bu ağır metallerin kirlilik seviyelerini ortaya koymuş ve bunların tümü hafif kirlenme durumunu göstermektedir (Chen vd., 2005). Şanghay'daki çeşitli tip ve

bölgelerdeki topraklardaki Zn, Cr, Ni, Mn, Cu, Pb ve kadmiyum (Cd) konsantrasyonları değerlendirilmiş ve ortalama konsantrasyonlarının yerel toprak elementleri arka plan seviyelerini aştığı ortaya çıkmıştır (Wu vd., 2018).

Başka bir araştırma, Nanjing'deki sanayi bölgelerinde ve yoğun trafik koridorlarında toprak ağır metal kirliliğinin, konut ve park alanlarında gözlemlenen nispeten daha hafif kirlilik seviyelerinin aksine, nispeten ciddi bir profil sergilediğini ortaya koymuştur. Toprak ağır metal kirliliğine katkıda bulunan başlıca etkenler, araç emisyonları ve endüstriyel atıklardır (Zhou vd., 2009). Guangzhou'daki ana yollar, yerleşim alanları, parklar ve diğer sektörlerdeki toprak ağır metal kirliliğini inceleyen bir çalışma, toprak örneklerinin %61'inin orta ila şiddetli seviyelerde ağır metal kirliliği gösterdiğini ve insan faaliyetlerinin bu kirliliğin başlıca katalizörü olarak görüldüğünü ortaya koymuştur (Zhou vd., 2022). Xi'an'ın sanayi sektörleri, ulaşım merkezleri, ticari ve toplu taşımanın birleştiği bölgeler, yerleşim bölgeleri, kültürel alanlar ve park alanlarındaki topraklardaki ortalama ağır metal konsantrasyonları, Shaanxi Eyaleti'ndeki toprak elementlerinin temel değerlerini aşmaktadır (Chen ve Lu, 2021).

Çaydaki ağır metal konsantrasyonları, çay kalitesinin değerlendirilmesinde çok önemli göstergelerdir, çünkü çay infüzyonlarına aktarılabilir ve insan vücuduna girebilirler (Zhang vd., 2018). Çeşitli çalışmalarda, çay yapraklarındaki ağır metal konsantrasyonları ve As, Cr ve Pb gibi elementlerden kaynaklanan olası sağlık risklerinin yanı sıra, özellikle insan faaliyetlerinden etkilenen bazı bölgelerde standart sınırların aşılması olgusu bildirilmiştir (Huang vd., 2018; Wen vd., 2018; Zhang vd., 2020). Grządka vd. (2024), Polonya'ya ithal edilen test edilmiş çay örneklerinin ağır metal konsantrasyonlarının, menşe ülkelerinde yayınlanan yönetmeliklerde belirtilen sınırların altında olduğunu belirtmişlerdir. İnsanlar çay tüketimi yoluyla ağır metallere maruz kalabilir ve bu da potansiyel sağlık risklerine yol açabilir (Wu vd., 2022). Önceki çalışmalarda, çay tüketimi ile kandaki ağır metal konsantrasyonu arasında bir doz-tepki ilişkisi bulunduğu bildirilmiştir (Wu vd., 2022). Bu nedenle, ağır metallerin topraktan çay yapraklarına geçiş kabiliyeti ve çay tüketiminin neden olduğu sağlık riskleri dikkate alınmalıdır.

Çok sayıda çalışma, ağır metal kirliliğinin öncelikle pestisit ve ağır metal içeren kimyasal gübrelerin uygulanması gibi endüstriyel ve tarımsal faaliyetlere bağlı

olduğunu göstermiştir (Zhang vd., 2018). Toprağın fizikokimyasal özellikleri, toprak ve çay yapraklarının ağır metal konsantrasyonunu etkileyebilir (Zhang vd., 2020; Ju vd., 2024). Toprak ağır metal konsantrasyonları, toprak dokusu ve toprak partikül çapı (Qin vd., 2007), toprak H^+ aktivitesi (Zhang vd., 2005), toprak organik madde (Jin vd., 2005) ve pH (Ju vd., 2024) ile ilişkilendirilmiştir. Çay plantasyonlarının toprakları, çay bitkilerinin artmasıyla asitlenir ve bu da biyolojik olarak kullanılabilir, suda çözünür ve değiştirilebilir metallerin konsantrasyonlarının artmasına katkıda bulunur (MAPRC, 2012).

Toprak pH'sının, ağır metallerin topraktan bitkiye taşınmasında ve birikmesinde önemli bir etken faktör olduğu düşünülmektedir (Tao vd., 2021). Çay yapraklarındaki Cu konsantrasyonunun, toprağın H^+ aktivitesi ile yakından ilişkili olduğu bulunmuştur (Jin vd., 2008). Önceki çalışmalar, çay yapraklarındaki Cr ve Pb konsantrasyonlarının sırasıyla toprak Cr ve Pb konsantrasyonlarıyla negatif korelasyon gösterdiğini (Zhang vd., 2018a) ve topraktaki Pb ve Cr'nin çay yaprakları tarafından emilimi engellediğini göstermiştir. Çay yaprağı Cu ve As konsantrasyonları, toprak Cu ve As konsantrasyonlarıyla anlamlı bir ilişki göstermemiştir; bu da toprağın çay yaprağı Cu ve As'ın tek kaynağı olmadığını göstermektedir (Zhang vd., 2018a). Zhang vd. (2007) toprak asitlenmesinin ve çözünmüş organik maddenin çay yaprağı ağır metal konsantrasyonlarında hayati roller oynadığını bulmuşlardır (Zhang vd., 2007). Ayrıca, Jiang vd. (2016) çay yaprağı ağır metal konsantrasyonu ile toprak pH'sı ve toprak organik madde arasında anlamlı bir ilişki olmadığını bulmuşlardır. Bu tutarsız sonuçlar, toprak ve çay yaprağı ağır metal konsantrasyonları arasındaki ilişkilerin hala daha fazla incelenmesi gerektiğini göstermektedir.

Çay yapraklarında ağır metallerin taşınması ve birikimi, toprağın fizikokimyasal özelliklerine, toplam ağır metal konsantrasyonuna ve biyoyararlanımına bağlıdır ve bitkinin alım kapasitesine göre değişir. Özellikle çay yetiştirilen topraklar, ekim yaşları arttıkça giderek daha fazla asitlenir (Yang vd., 2018). Örneğin, 90 yıl boyunca çay ağacı dikildikten sonra toprak pH'sı 3,93'ten 3,50'ye düşmüştür (Yan vd., 2018). Çay plantasyonlarındaki toprak asitlenmesi, azotlu gübre uygulaması, baz katyonlarının sızması ve tükenmesi, köklerden sızan organik asitler (oksalat, malat ve süksinat) ve çay çöpünün ayrışması gibi çeşitli faktörlere atfedilmektedir (Li vd., 2019). Azalan pH, mineral kaybına ve ağır metallerin

biyoyararlanımının artmasına yol açarak, çay bitkilerinde daha fazla alım ve birikimlerine neden olur. Bu nedenle, toprak pH'ı ağır metallerin topraktan çay bitkilerine biyoyararlanımını ve transferini etkileyen önemli bir faktördür (Wen vd., 2018; Zhang vd., 2018a). Topraktaki ağır metal kirliliği giderek daha belirgin hale geldikçe, çay plantasyonlarındaki etkileri konusunda endişeler artmıştır (Han vd., 2006; Zhang ve Fang, 2007; Guo vd., 2008). Chen vd. (2007) çok yıllık, her dem yeşil bitkiler olan çay ağaçlarının, aynı koşullar altındaki diğer bitkilere kıyasla topraktaki ağır metalleri zenginleştirme ve kirleticilere karşı daha yüksek hassasiyete sahip olduğunu bulmuşlardır. Çay plantasyonlarındaki ağır metallerin süzülme kabiliyeti düşüktür ve mikroplar tarafından parçalanmaları zordur; bu nedenle genellikle çay plantasyonlarında birikerek daha yüksek toksisiteye sahip metil bileşiklerine dönüşebilirler (Huang vd., 2007).

Çay plantasyonlarındaki toprak ağır metal kirliliği esas olarak tarımsal üretim, gübre ve pestisitlerin yoğun kullanımı ve organik çamur ve hayvan gübresi uygulamasından kaynaklanmaktadır. Yonggang vd. (2002) uzun süreli gübre ve pestisit kullanımının çay plantasyon topraklarında farklı derecelerde Ni kirliliğine ve kök emilimi yoluyla çaydaki Ni konsantrasyonunun artmasına yol açtığını göstermiştir. Shi vd. (2004) son 10 yılda çaydaki Cd ve As konsantrasyonlarının, esas olarak kimyasal gübre ve pestisitlerin yoğun kullanımı nedeniyle neredeyse iki katına çıktığını göstermiştir. Yemane vd. (2008), çay plantasyonlarındaki ağır metal konsantrasyonları ile çay arasında doğrusal bir korelasyon olduğunu bulmuşlardır. Shammi vd. (2021) Bangladeş'in kuzeybatısındaki tarım arazilerinden toprak örnekleri toplayarak Zn, Cu, Pb, Cd, Cr ve diğerleri gibi ağır metallerin seviyelerini incelemişlerdir. Bölgenin tarım topraklarında çeşitli derecelerde ağır metal kirliliği olduğunu ortaya koymuşlardır.

Shi vd. (2019) Guizhou Eyaleti'nin dağlık bölgelerindeki nehir teraslarında bulunan çay plantasyonlarındaki ağır metal kirliliğinin boyutunu değerlendirmek için hem tek faktörlü endeks yöntemini hem de kapsamlı kirlilik endeksi yöntemini uygulamışlardır. Bu bölgedeki toprağın, özellikle Cd kontaminasyonundan kaynaklanan ciddi bir kirliliğe maruz kaldığını tespit etmişlerdir. Zhang vd. (2022) Qinghai Eyaleti'ndeki Huzhu ilçesindeki tarım arazisi topraklarına odaklanmışlardır. Toplam 120 toprak örneği toplanmış ve toprak pH'sının yanı sıra Cr, Cd, Pb, As ve Hg

gibi ağır metal seviyelerini de incelemişlerdir. Bulgular, bu bölgedeki tarım arazisi topraklarının ekolojik riskinin orta ila düşük bir aralıkta olduğunu ve özellikle Cr, As ve Pb'de belirgin bir kirlilik gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Çin'in başlıca çay üretim bölgelerindeki toprak çevresel kalitesi üzerine bazı akademisyenler tarafından yürütülen çalışmalar, bu birincil çay üretim bölgelerindeki topraklardaki ağır metal içeriğinin tipik olarak ulusal standartlar dahilinde kalmasına rağmen, toprağın ağır metal biriktirme kapasitesinin her çay plantasyonunda farklı düzeylerde ekolojik riskler yarattığını göstermektedir. Bu riskler, çay yapraklarının verimini ve kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir.

Zhang vd. (2020) Yibin Şehri, Pingshan İlçesindeki bir çay plantasyonunun toprağına odaklanarak, Cd'nin tüm çalışma alanı genelindeki potansiyel toksik element kirliliğinde kontrol edici bir rol oynadığını bulmuşlardır. He vd. (2020), yaptıkları araştırmada, Cd ve Hg'nin Güney Shaanxi'deki çay plantasyonlarındaki potansiyel ekolojik risklere birincil katkıda bulunan faktörler olduğunu belirlemişlerdir. Benzer şekilde, Yi vd. (2022) araştırmalarında, çay plantasyonlarının topraklarındaki ağır metal içeriği ile çay yapraklarındaki buna karşılık gelen ağır metal içeriği arasında önemli bir korelasyon olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle çay plantasyon topraklarında ağır metal içeriğinin araştırılması ve kirlilik değerlendirmesi yapılması çayın güvenliği ve kalitesinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Doğu Karadeniz Bölgesi ülkemiz çay üretimi ve ihracatı için önemli bir merkezdir. Çayın başkenti olarak bilinen Rize ili ülkenin başlıca çay üreten illeri arasında ilk sırada yer almaktadır. Çay endüstrisi, yerel kalkınma için önemli olan baskın bir tarım sektörüdür ve bu da toprak sağlığını ve çay kalitesini ağır metal kirliliğinden arındırmayı zorunlu kılar. Ancak çoğu çalışma, topraktaki ağır metal konsantrasyonlarına veya çay yapraklarındaki ağır metal içeriğine odaklanmış olup, her ikisini aynı anda ele alan çok az çalışma bulunmaktadır. Ayrıca ülkemizde son yıllarda çay toplama motoru olarak piyasada satılan ve benzinli olarak çalışan araçlarla çay toplanması sonucunda çay bitkisi üzerinde kalıntıların kalabilme olasılığı da gündeme gelmiştir. Çay tarımında hasat edilme yöntemleri arasına giren benzinli çay kesme motorlarından çıkan egzoz gazının çay bitkisinde kirlilik oluşturup oluşturmadığına dair literatürde herhangi bir veri yoktur. Aynı zamanda ilimizde faaliyet gösteren kuruluşların elinde de bu konu ile ilgili yapılmış ya da yapılmakta

olan herhangi bir çalışma yoktur. Bu çalışma, çay bitkisinin ve yetiştiği topraklarının ağır metal içerikleri üzerine benzinli çay kesme motorlarının etkisini ortaya koymayı amaçlayan ilk çalışmadır. Bu çalışmada, 2023 yılında Rize ili Merkez ilçesinde belirlenen çay bahçelerinin toprak örnekleri birinci hasat dönemi öncesinde ve üçüncü hasat dönemi sonrasında, yaş çay örnekleri ise üç hasat döneminde toplanmış ve toplanan yaş çay örneklerinden eş zamanlı olarak mamul çay örnekleri elde edilmiş olup toprak, yaş ve mamul çay örneklerindeki ağır metal konsantrasyonları çalışılmıştır. Bu kapsamda, farklı parametrelere ve alındıkları hasat dönemlerine göre toprak, yaş ve mamul çay rneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn konsantrasyonları tespit edilmiştir. Ayrıca yaş ve mamul çay örneklerinin ağır metal içerikleri karşılaştırılmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda yapılan bu çalışma mevcut bir eksikliği gidermenin yanında, çayın toplanma yöntemlerine yönelik ağır metal kirliliğinin ortaya konması yönünden de önem taşımaktadır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Ağır Metaller

Ağır metal, genel olarak vücudun gereksinimi olmayan endüstriyel ve sanayi ürünleriyle alınan toksik etkili elementler olarak ifade edilmektedir. Yoğunluğu 5 g/cm³'ten daha yüksek ve atom numarası 22'den 92'ye kadar olan elementler ağır metal olarak tanımlanmaktadır. Bakır, civa, çinko, demir, kadmiyum, krom, kobalt, kurşun ve nikel olmak üzere 60'tan fazla metal bu gruba girmektedir. Genellikle bu elementler yeryüzünde karbonat, oksit, silikat ve sülfürleri halinde stabil bileşik olarak veya silikatlar içinde hapsolmuş şekilde bulunmaktadır (Kılıçel vd., 2004; Mohajer vd., 2020). Ağır metaller genellikle eser element olarak adlandırılır. Ancak eser elementler canlılardaki düşük konsantrasyonlar için kullanılır. Ağır metaller, organizmalara gerekli olsun ya da olmasın yüksek konsantrasyonda toksik etkiler meydana getirir. Ağır metaller bu etkilerini, enzimlerle reaksiyona girerek veya membran yapısına bağlanarak gösterirler (Okcu vd., 2009).

Ağır metaller önemli çevresel kirleticilerdir; bunların toksisitesi ekolojik, evrimsel, beslenme ve çevresel nedenlerden dolayı giderek artan öneme sahip bir sorundur (Asati vd., 2016). Yakıt kullanımı, ulaşım ve metalürji ile diğer endüstri çalışmaları antropojenik kaynakların en önemlileri arasında yer almaktadır (Özyılmaz, 2000). Sadece topraklar üzerindeki kimyasal uygulamalar değil atmosfer ve sudaki kirlenmede topraklarda ve dolaylı olarak bitki ve toprak ekolojisinde çeşitli sorunların oluşmasına neden olur. Etkiler kısa ve uzun vadeli olarak farklı niteliklerde ortaya çıkabilirler. Örneğin atmosferik kirlenme oluşturan bazı gazlar kısa vadede (emisyon değerlerine bağlı olarak) bitki zararları oluştururken, uzun vadede toprak niteliğini etkileyebilir ve toprağın üretim potansiyelinde bozulmalar oluşabilir (Apaydın, 2005; Seven vd., 2018).

1.1.1. Kurşun (Pb)

Pb elementinin insan faaliyetleri sonucunda ekosisteme ciddi zararlar veren ilk metal olduğu bilinmektedir. Pb elementi atmosfere metal veya bileşik olarak yayılmaktadır. Bu yayılım toksik etki yaratmaktadır ve çevreye zarar vermektedir. Bu nedenle Pb elementi çevreye zarar veren en önemli ağır metallerden biri olarak

gösterilmektedir (Saygıdeğer, 1995). Doğada kurşun elementi hem organik hem de inorganik halde bulunabilmektedir. İnorganik kurşun atmosferde partikül halinde bulunmaktadır. Organik Pb ise uçucu yapıdadır ve çoğunlukla gıda maddelerine, içme suyuna karışmaktadır. Bu nedenle organik Pb inorganik Pb'ye göre canlı yaşamında daha fazla öneme sahiptir (De Jonghe ve Adams, 1982; Karademir ve Toker, 1995).

Toprağa geçen Pb elementi, çözünebilir formdayken topraktan yıkanabilmektedir ve yer altı sularına geçerek su kaynaklarının kirlenmesine sebep olmaktadır. Toprakta bulunan çözünebilir formdaki Pb elementi, mikroorganizmalar veya topraktaki diğer ağır metaller, organik maddeler ve bileşikler tarafından hareketsiz şekle dönüştürülebilmektedir. Pb elementinin bitkiler tarafından alınımını azaltmak için Ca ve P içerikli gübreler önerilmektedir (Yerli vd., 2020).

Pb miktarının yüksek olması durumunda bitki biyokütlesinde, protein içeriğinde, yaprak sayısında ve gövde uzunluğunda azalma gözlenmektedir. Pb toksisitesi hücre duvarı stabilitesini, hücre şişkinliğini, yaprak alanını, stomaların açılma ve kapanma döngülerini olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz etkiler bitkinin fotosentezini, besin ve su teminini azaltmaktadır. Yeterli su ve besin alamayan bitkilerde gelişim bozulmaktadır. Yapılan bir çalışmada, toprağa Pb uygulandığında bitki kök büyümesinin %40, sürgün büyümesinin ise %25 yavaşladığını ve köklerde sürgünlere göre neredeyse 3,5 kat daha fazla Pb biriktiğini bulmuşlardır (Tornabene ve Edwards, 1972; Kabir vd., 2009; Hussain vd., 2013).

1.1.2. Nikel (Ni)

Bitkilerin büyümesinde ve gelişmesinde Ni bitki besin elementine ihtiyaç duyulmaktadır (Fageria, 2009). Genellikle topraklardaki Ni elementi seviyeleri düşüktür. Fakat serpantinlerden oluşan topraklardaki Ni seviyeleri yüksektir. Toprak suyuna geçen Ni elementi, sızıntı suyu ile topraklardan uzaklaşmaktadır. Kurak bölgelerde ise topraklar yıkanmadığı için Ni elementi birikmektedir (Kantarci, 2000).

Bitkiler tarafından tohumun çimlenmesi safhasında Ni elementine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun yanı sıra Ni elementi, üreyi amonyuma ve karbondioksit'e dönüştüren bir katalaz enzimi olan üreaz enziminin ve pek çok hidrogenaz enzimlerin metal parçasını oluşturduğu bilinmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda Ni bitki besin elementi baklagillerde azot metabolizması için faydalı olduğu ve diğer bitkilerin

de metabolizmaları için önemli bir element olduğu bilinmektedir (Gerendas vd., 1999; Havlin vd., 1999; Gardiner ve Miller, 2008; Fageria, 2009; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010).

Bitkilerde genellikle Ni noksanlığı görülmemektedir. Bunun yanı sıra Ni noksanlığı çeken bitkiler, azalan üreaz aktivitesi nedeniyle, yaprak uçlarında toksik düzeyde üre biriktirmektedir. Ni noksanlığında bitkilerin topraküstü ve toprakaltı organlarında gelişme azalmaktadır, bitkilerdeki yeşil renk giderek kaybolmaktadır, yaprak damarları arasında ise kloroz ve nekrozların oluştuğu bilinmektedir (Güzel vd., 2004; Kacar ve Katkat, 2010). Ni toksisitesi ise kanalizasyon artıklarının kullanıldığı alanlarda daha sık görülmektedir. Yüksek miktarlarda Ni içeriğine sahip olan topraklarda yetişen bitkilerde ise zehirlenmeler görülmektedir (Kantarıcı, 2000; Kacar ve Katkat, 2010).

1.1.3 Kobalt (Co)

Co mikro besin elementi doğada yaygın olarak bulunmasına karşın, yer kabuğunun yalnızca %0,001'ini oluşturmaktadır. Kayalarda, toprakta, bitkilerde, hayvanlarda ve okyanus diplerindeki yumrulara düşük miktarlarda bulunduğu bilinmektedir. Metamorfik kayaçların oluşumu, Co elementi konsantrasyonuna bağlıdır. Bu nedenle, metamorfik kayaçlardaki kobalt seviyesi, esasen volkanik ya da tortul kayaçlardaki element miktarına dayanmaktadır. Co elementi, genellikle Cu, Ni, Ag (gümüş) gibi metallerin yanı sıra Au (altın), Pb ve Zn cevherlerinden madencilik yöntemleriyle yan ürün olarak elde edilmektedir. Co, dünyanın en önemli elementlerinden biridir. Saf halde kullanım alanı sınırlı olsa da alaşım elemanı ve kimyasalların kaynağı olarak büyük bir stratejik öneme sahiptir. Endüstriyel ve askeri uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır. Co, özellikle süper alaşımlarda ve roket endüstrisindeki özel çeliklerde, ayrıca mobil telefon ve dizüstü bilgisayar gibi taşınabilir elektronik cihazların şarj edilebilir bataryalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Co bileşenleri ise petrol ve seramik endüstrisinde katalizör olarak, boyalarda pigment, mürekkep ve verniklerde ise kurutucu madde olarak görev yapmaktadır (Okudan, 2009).

Havada toz halinde bulunan Co elementinin solunması ve kobalt tuzlarının deri ile temasında kobalt zehirlenmesi yaşanabilmektedir. Toz halindeki Co, akciğerlerde

    nerek idrara ve kana kar    maktadır. Uzun s  re Co tozlarına maruz kalınması alerjik tepkimelere ve kronik bron   ite neden olmaktadır (Kartal vd., 2004).

Co elementi k  lt  r bitkileri i  in zorunlu bir element de  ildir ve tarım topraklarında bulunmaması genellikle tercih edilmektedir. Ancak, tarım alanlarında a  ırsı miktarlarda bulunan Co, bitkilere toksik etki yapabilmektedir. Bu nedenle, toprakların     ltisinde bulunabilen Co miktarı, bitkiler a  ısından son derece   nemlidir (Carrigan ve Erwin, 1951).

1.1.4   inko (Zn)

Zn elementi toprakta silikat minerallerinde oksitler halinde, kil minerallerinde tutulmu   olarak veya organik maddede bulunmaktadır. Toprakta bulunan Zn zaman i  inde      nmez bile  iklere d  n   mektedir. Topraktaki Zn             , topra  ın pH'sı ile ters orantılıdır. Topra  ın yapısı asitle  tik  e, toprak b  nyesinde bulunan Zn bile  iklerinin              artmaktadır. Bitkiler ise Zn elementini suda      nebilir formda ve aktif halde almaktadır. Zn alınımında P, Cu, Fe, Mn ve Ca gibi elementlerin alınımında rekabet vardır. Bitki b  nyesinde Zn elementi Zn^{2+} iyon   eklinde ya da organik asitlere ba  lı olarak bitki ksilem dokusuna ta  ınmaktadır. Sınırlı olarak bitki ya  lı yapraklarından, gen   yapraklara Zn ta  ınımı olmaktadır (Kantar  ı, 2000;   zbek vd., 2001).

Zn noksanlı  ı en fazla bazık, kire  li ve   inkoya ihtiya   duyan bitkilerin yeti  ti  i topraklarda g  r  lmektedir (Gadriner ve Miller, 2008). A  ırsı fosforlu g  bre kullanımında Zn noksanlı  ı artmaktadır. Zn noksanlı  ında enzim aktivitesi azalmakta ve buna ba  lı olarak karbonhidratlar, proteinler ve b  y  me hormonu olan oksinler zarar g  rmektedir. Bitkilerdeki klorofil oranında olduk  a azalma g  r  lmektedir. Bitkilerin yapraklarındaki damarların arasında kloroz durumu ortaya   ıkmaktadır. Bitkilerde yaprak olu  umu olumsuz etkilenmekte ve yapraklar seyrekle  mektedir. Yapraklarda erkenden d  k  lme durumu g  r  lmektedir. Tomurcuk sayısında azalma ve tomurcukların a  ılma oranında azalma ya  anmaktadır (Kacar ve Katkat, 2010).

Bitkilerde Zn fazlalı  ı durumunda ise   inko zehirlenmesi durumu nadiren de olsa g  r  lmektedir. Maden yataklarına yakın yerlerde yeti  en bitkilerde Zn   ok y  ksek seviyelerde olabilmektedir. Topraklardaki Zn elementi fazlalı  ında ise bitkinin k  k ve

yapraklarının gelişimi önemli derecede azalmaktadır. Bitkinin demir ve fosfor elementi alımında azalma olmaktadır (Boşgelmez vd., 2001; Kacar ve Katkat, 2010).

1.1.5 Mangan (Mn)

Mn elementi çeşitli sekonder ve primer minerallerin yapısında bulunmaktadır. Primer kaynağının silikat mineralleri olduğu bilinmektedir. Topraklarda Mn elementinin güç çözünen 3 ve 4 değerlikli olan mangan oksitleri bulunmaktadır. Topraktaki Mn çözünürlüğü ise toprağın reaksiyonuna, mikroorganizma faaliyetlerine ve toprak suyunun özelliklerine göre değişiklikler göstermektedir (Kantarcı, 2000; Boşgelmez vd., 2001). Mn, Mn^{2+} formunda alınmaktadır. Toprak pH'sı ile Mn elementi elverişliliği arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Yüksek pH'lı topraklarda Mn alınabilirliği düşüktür. Bu sebeple kireçli topraklarda Mn eksikliği sık görülmektedir (Anonim, 2024).

Mn elementinin temel görevlerinden biri yaşamsal öneme sahip olan enzimlerin aktivasyonudur. Dekarboksilaz, dehidrogenaz ve oksidaz gibi enzimlerin aktivasyonunda görev almaktadır. Mn elementinin fotosentezdeki görevi ise suyun parçalanması olayıdır. Bunun yanı sıra azot metabolizmasında ve azot fiksasyonunda, Fe, Mg ve Ca elementlerinin absorpsiyonunda mangan elementi rol almaktadır. Klorofil oluşumunda ise Fe elementi ile birlikte görev almaktadır. Bitkilerin tohumlarının ve meyvelerinin olgunlaşmasını hızlandırdığı da bilinmektedir (Kacar ve Katkat, 2010).

Mn noksanlığında bitki normal olarak büyüyememe, tohum yapamama ve yapraklarında sararma gibi durumlar görülmektedir. Mn noksanlığında birçok bitki bodur kalmakta ve büyüyememektedir. Bodurlukla birlikte üst yapraklarda renk açılması ve yaprak lekeleri görülmektedir. Mn noksanlığında kloroplast oluşumu bozulmakta ve Mn eksikliği çeken bitkilerde hücreler küçülmektedir. Mn noksanlığı çoğunlukla kireçli ve yüksek pH'lı topraklarda görülmektedir. Mn noksanlığının en belirgin sonucu Fe elementinde olduğu gibi genç yapraklarda ortaya çıkan kloroz durumudur. Bu durum Mg noksanlığı ile benzerlik göstermektedir. Fakat aralarındaki fark Mg noksanlığında kloroz önce yaşlı yapraklarda başlamaktadır (Bolat ve Kara, 2017).

Mn fazlalığı durumunda ise bitkideki yaşlı yapraklarda mangan dioksit birikmektedir. Bu birikme sonucunda kahverengi lekeler oluşmaktadır ve bu lekelerin çevresinde kloroz görülmektedir. Zamanla bu lekelerin etrafında mantarlanma görülmektedir. Mn toksisitesi durumunda ise, bitkide büyümeyi düzenleyen oksin hormonunun oluşumu azalmaktadır ve bitkide gelişme oranında düşüş gözlenmektedir (Boşgelmez vd., 2001; Kacar ve Katkat, 2010).

1.1.6 Krom (Cr)

Cr elementi doğada her yerde bulunabilmektedir. İnsan vücudunda insülin hareketini sağlayıp, karbonhidrat, su ve proteinlerin metabolizmasını etkilemektedir. Pek çok toprakta az miktarlarda (2-60 mg/kg) bulunan Cr elementi, kirlenmemiş topraklarda ise 4 g/kg değerlerine çıktığı gözlenmiştir. Günümüzde Cr elementi alaşım elementi olarak adlandırılmaktadır (Kahveci vd., 2003).

Cr, kağıt endüstrisi, kimya sanayi, gübre üretimi, metal işleri, dökümhaneler, deri tabaklama ve enerji santralleri gibi geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Cr elementinin antropojenik kaynakları arasında, elektrikli fırınlardan, çelik üretiminden ve kömürle çalışan santrallerden kaynaklanan atmosfere yönelik birikimler yer almaktadır. Ayrıca, elektro kaplama, deri tabaklama, metal işleme, tekstil ve kürk boyama gibi çeşitli endüstriyel süreçler, kromla kirlenmiş atıksuların deşarjına yol açabilmektedir (Önder, 2012).

Serpantin ana maddesinden oluşan topraklar, Cr açısından zengin bir yapıya sahiptir. Bitkilerde Cr konsantrasyonunun artışı genellikle fazla görülmemektedir. Çoğu toprakta Cr elementinin hareketsiz hale geçmesi nedeniyle, suda çözünürlüğü yüksek olan Cr tuzlarının kullanılması durumunda bile genellikle zararlı etkiler gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte, Cr elementinin bitki bünyesindeki hareketliliği oldukça sınırlıdır. Ancak, çok yüksek düzeylerde uygulanan Cr, bitkilerde toksik etkilere yol açabilir. Cr zehirlenmesinin belirtileri arasında, bitki köklerinin küçük, yaprakların ise dar ve kahverengi-kırmızı bir renkte olması yer alır. Ayrıca, yapraklarda küçük yanık lekeleri de görülebilmektedir (Karaçağıl, 2013).

1.1.7 Bakır (Cu)

Cu elementi klorofil üretiminde, protein sentezinde ve solunum gibi olaylarda görev alan ve bitkiler tarafından ihtiyaç duyulan bir bitki besin elementidir. Birçok oksidaz enziminin aktivasyonunda ve çok sayıdaki elektron transferinde bakır elementi görev almaktadır. Protein ve karbonhidrat metabolizması üzerinde azotun etkisinin bulunduğu bilinmektedir (Boşgelmez vd., 2001). Cu elementinin aynı zamanda bitkilerin hastalıklara direnç göstermesinde ve bitkilerin neminin kontrol edilmesinde etkileri bulunmaktadır (Plaster, 1992).

Cu elementi toprakta genellikle Cu^{++} iyonu şeklinde bulunmaktadır ve elverişliliği ise organik maddelerle kompleks oluşturmaya bağlıdır. Cu elementi bitkilerce çok küçük miktarlarda alınmaktadır. Bitkiler Cu elementini Cu^{2+} iyonu olarak almaktadırlar. Cu besin elementi ile Fe, Mn, Zn ve Ni gibi diğer ağır metaller arasında rekabet söz konusudur. Bitkilerde Cu besin elementinin taşınması %99 oranında ksilem özsuyunda olmakta ve floem dokusunda bakır elementi taşınmamaktadır. Bu taşınma transpirasyon akımına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra Cu elementi az miktarlarda da olsa yaşlı yapraklardan genç yapraklara taşınabilmektedir (Anonim, 2024).

Cu elementi noksanlığı durumunda bitkide bulunan genç yapraklarda kloroz (sararma), bodur gelişme, geç olgunlaşma ve kahverengi renk lekeleri şeklinde semptomlar görülebilmektedir. Cu noksanlığında bazı bitkilerde mantar hastalıklarına karşı direnç düşmekte ve karbonhidrat içeriği azalmaktadır (Kacar ve Katkat, 2010). Cu elementi eksiklik belirtileri öncelikle genç yapraklarda görülmektedir. Grimsi yeşil renk, hatta beyazlaşma gibi renk değişimleri ve solma görülmektedir. Gelişme zayıflamaktadır. Meyve ağaçlarında dalların uç kısımlarında (apikal nokta) kurumalar oluşmaktadır. Bazı hallerde uç kurumalarının görülmesinden önce normalden büyük yapraklar oluşmaktadır (Anonim, 2024).

Topraklardaki Cu miktarlarının fazla olması durumunda ise toksik etkilerin ortaya çıktığı bilinmektedir. Fe alınımında güçleşme olmakta ve bundan sebep demir noksanlığına benzerlik gösteren kloroz durumu oluşmaktadır. Diğer olumsuz etkilerden biri ise kök ve sürgün gelişiminde zayıflamaların olmasıdır. Bunun yanı sıra bakır fazlalığında Mo (molibden) alınımı da zorlaşmaktadır (Boşgelmez vd., 2001; Güzel vd., 2004; Kacar ve Katkat, 2010).

1.2. ay Bitkisi (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze)

ay (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze), Ericales takımı Theaceae familyası, *Camellia* cinsine ait değerli bir kültür bitkisidir (Weisburger, 1997). 9 metreye kadar boylanabilen çalı veya küçük ağaçtır. Yapraklar kısa saplı, eliptikten dar eliptiğe kadar, dişli, dişler ise sivri ile yuvarlak arası, içe doğru kıvrık ve siyah uçlu, derimsidir. Yaprak ilk çıktığında alt yüzeyinde ince uzun yumuşak tüylü olup daha sonra tüysüz hale bürünür. Çiçekler 1-3 adet yaprak koltuğunda ve sarkık durumdadır. Sepaller 5-6 adet, eşit olmayan çok geniş ve 3-5 mm büyüklüğündedir. Petaller 7-8 adet, tabanda stamenlerle birleşik 15-20 mm büyüklüğünde beyaz renklidir. 3 kokuslu meyvenin her birinde 1-2 adet tohum bulunur, koyu kahverengi renkli ve siğilciklidir (Uzun, 2013). ay bitkisinde 2-3 sıralı yan kökler ve güçlü bir ana kök bulunur. Saçak köklerin gelişimin üçüncü yılında oluşmaya başlar. Köklerin hücrelerinde bol miktarda nişasta bulunur (Kaçar, 1984). ay çok yıllık bir bitki olup ömrü 100 yıl kadardır ve her dem yeşil kalan bitkidir.

ay bitkisinin anavatanı, genel kabul gören görüşe göre Güney ve Güneydoğu Asya'dır. Bu bitki, özellikle Güneydoğu Asya'nın yaklaşık 30° kuzey enleminin güneyinde kalan bölgelerinde doğal olarak yayılım göstermektedir (Nathaniel, 2008). Yabani ay türlerinin, Çin'in Yunnan bölgesi ile Hindistan'ın Assam eyaleti arasında yer alan dağlık kuşakta doğal olarak yetiştiği düşünülmektedir; ancak bu coğrafi kökenin kesinliği konusunda bilim dünyasında ortak bir görüş birliği bulunmamaktadır (Hasimoto, 2001). Son yıllarda yapılan genetik çalışmalar, kültüre alınmış çay türlerinin tek bir merkezden değil, birden fazla bağımsız genetik havzadan evrimleşmiş olabileceğini göstermektedir (Zhang vd., 2018b). Arkeolojik veriler ise çay bitkisinin yaklaşık altı bin yıl önce hem Çin'de hem de Hindistan'ın kuzeydoğusunda, özellikle Assam bölgesinde varlık gösterdiğine işaret etmektedir. Zamanla bu bitkinin kullanımı Asya kıtasından Japonya'ya, oradan da Avrupa'ya – zellikle Büyük Britanya'ya – ve nihayetinde dünya geneline yayılmıştır (Lanjekar, 2022). Yurdumuzda 3 varyete ile temsil edilir. Bunlar; Çin ayı olarak bilinen *C. sinensis* var. *sinensis* (L.) O. Kuntze, Assam ayı olarak bilinen *C. sinensis* var. *assamica* (J. W. Masters) Kitamura ve Kamboçya ayı olarak bilinen *C. sinensis* var. *lasiocalyx* (G. Watt) A. P. Das & C. Ghosh'dir (Saklı ve Abanoz, 2024). Ülkemizde %95'den daha fazla bir oranla *C. sinensis* var. *sinensis* varyetesi hakimdir.

1.3. Literatür Özeti

Yemane vd. (2008), Etiyopya'da yetiştirilen beş farklı çay bitkisinin yapraklarının ve topraklarının örneklerini inceleyerek bazı ağır metaller ve besin elementlerinin miktarlarını araştırmıştır. Yapılan analiz sonucunda, bitki yapraklarında ve toprakta en fazla bulunan makro besin elementi potasyum olmuştur. Makro besin elementinin düzeyi çay yaprakları ve toprakta benzer seviyelerde saptanmıştır. Çay yapraklarında en yüksek oranda bulunan element mangan olup, onu demir takip etmektedir. Bakır ve kobalt konsantrasyonları ise toprak ve yaprak örneklerinde daha düşük seviyededir. Kurşun ve kadmiyum gibi toksik etkileri olan ağır metallerin yapraklarda az miktarda bulunduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada belirtilen elementlerin çoğu, dünyanın diğer bölgelerinde üretilen çaylardaki besin elementleri ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar vermiştir.

Abanuz (2007), Türkiye'de çay yetiştirilen Doğu Karadeniz Bölgesi'nin topraklarının ve üretilen siyah çayın ağır metal içeriklerini tespit ederek Türk çayının ağır metal durumu hakkında gerçekleri ortaya koymayı ve çay bitkisindeki elementlerin dağılımını etkileyen faktörleri incelemiştir. Araştırma alanı, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde çay bitkileriyle kaplı ve jeolojik olarak farklılık gösteren altı bölgeyi kapsamaktadır. Doğu Karadeniz çayları, dünya genelindeki çaylarla karşılaştırıldığında iz elementlerin miktarları açısından farklılıklar göstermektedir.

Karak ve Bhagat (2010), çay tüketen insanların günlük ihtiyaçları olan makro ve mikro element miktarını çaydan karşılayabileceklerini ve çayda bulunan elementlerin de insan vücuduna faydalı olduğunu belirtmiştir. Yürütmüş olduğu çalışmada As, Al, Cr, Cd, F, Cu, Mn ve Ni elementlerini incelemiş ve analiz sonucunda bütün elementlerin konsantrasyonlarının izin verilen maksimum sınır değerlerde olduğunu ifade etmişlerdir.

Nath (2013b), Hindistan'ın Dibrugarh bölgesindeki çay bahçelerinde mikro element seviyelerini tespit etmek için bir araştırma gerçekleştirmiştir. 2007-2009 yılları arasında her yıl kasım ayında, çay tarımı yapılan 10 çay bahçesinden toprak ve yaprak örnekleri toplanmıştır. Araştırmanın sonuçları, çay yapraklarındaki mikro element düzeyinin topraktaki seviyeden daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Çalışmanın yapıldığı bahçelerde herhangi bir mikro element eksikliğinin olmadığı saptanmıştır.

Tokaloğlu ve Kartal (2004) yaptıkları araştırmada, geleneksel tarım uygulamalarının yürütüldüğü çaylıklardaki bitki yapraklarında mangan ve kadmiyum birikiminin meydana geldiğini ortaya koymuşlardır. Bunun yanı sıra, killi toprakların ağır metal alımının göreceli olarak daha düşük olduğunu da savunmuşlardır.

Demir vd. (2016) yürüttükleri çalışmada tarım yapılan ve yapılmayan alanlardaki toprakların ağır metal içeriklerini incelemişlerdir. Araştırmanın sonuçları, toprakların işlenme durumu ve derinliğinin ağır metal birikimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Ancak genel olarak, işlenen tarım topraklarındaki ağır metal konsantrasyonunun, işlenmeyen alanlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular doğrultusunda, besin elementi kaynağı olarak kullanılan organik materyallerin, uzun vadede toprakların verimlilik parametreleri üzerinde olumlu etkiler yarattığı sonucuna varılmıştır.

Adiloğlu ve Adiloğlu (2006), Karadeniz Bölgesi'ndeki çay bitkisinin beslenme durumunu belirlemek amacıyla bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmaları çerçevesinde 0-40 cm derinlikte 35 farklı toprak örneği ve çeşitli çay alanlarından 35 çay yaprağı örneği toplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, topraklar genel olarak killi ve killi tınlı, orta ve yüksek asitli, aynı zamanda organik madde oranı açısından zengin olarak tanımlanmıştır.

Taban vd. (2006) gerçekleştirdiği çalışmada, 1974-2005 yılları arasında çay üretimi sürecinde kullanılan gübrelerin, bu arazilerin toprak özelliklerinde yarattığı değişimler incelenmişlerdir. Araştırmacılar, çay tarımı yapılan topraklarda en önemli problemin toprak asitleşmesi olduğunu belirtmişlerdir.

Şendemirci ve Korkmaz (2008) Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki toprakların yarayışlı Fe, Cu, Zn ve Mn açısından genel durumunu değerlendirmiştir. Ayrıca, toprakların çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yarayışlı mikro element içerikleri ile ilişkilerini belirlemeyi hedeflemiştir. Araştırma bulgularına göre, Rize'den alınan toprak örneklerinin %50'sinin demir eksikliği açısından yüksek risk taşıdığı tespit edilmiştir.

Yokota vd. (2005) Japonya'nın birçok bölgesinde çay üretiminin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, bu alanlarda aşırı gübreleme nedeniyle toprakların

asitleştiğini ve verimliliğin azaldığını da vurgulamışlardır. Ayrıca, yoğun tarım uygulamalarının çay kalitesinde düşüslere yol açtığını ve bu durumun çayın nitrat içerikleriyle bağlantılı olduğunu ifade etmişlerdir.

Domagała ve Gastoł (2013) yürüttükleri çalışmada organik ve geleneksel ekim yöntemlerinin uygulandığı toprak parametreleri üzerine karşılaştırmalı bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, organik tarım topraklarının toplam organik madde içeriğini %2,02 bulurlarken, geleneksel toprakların toplam organik madde miktarını %1,75 olarak tespit etmişlerdir.

Kaçar vd. (1979), siyah çayın demirle kirlenmesine dair bir araştırma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, üç farklı sürgün döneminde çay bahçelerinden elde edilen taze yaş çay yaprakları ile fabrikalardan alınan siyah çay örneklerindeki demir seviyeleri karşılaştırılmıştır. Yaş çay yapraklarında, sürgün dönemine bağlı olarak demir miktarının 52 ppm ile 296 ppm arasında değiştiğini ve siyah çay örneklerine, işlenmesi sonunda elek altına geçen çayların ortalama demir miktarının, elek üstündekilere göre %52 daha fazla olduğu bulunmuştur. Bunun, yöresel faktörlerin dışında, çaydaki bulaşmalardan kaynaklı kirlenmelerin sebep olduğu bildirilmiştir.

Çayda ve çay deminde demir, bakır, kurşun ve cıva seviyeleri ile bunların demir geçme oranları üzerine incelemelerde bulunan Gürses ve Artık (1982), Türkiye'de farklı isimlerle satılan çayların demir içeriklerinin 58 ppm ile 617 ppm arasında değiştiğini ortaya koymuşlardır. Öte yandan, Ananthacumaraswamy ve Sivapalan (1990), inceledikleri Bangladeş çaylarındaki demir miktarının 128-256 ppm aralığında olduğunu ve çay tozunda demir seviyesinin 993 ppm ile en yüksek düzeyde olduğunu bildirmişlerdir.

Uzuner (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, çay yapraklarında trafik etkisi nedeniyle ağır metal birikiminin varlığının belirlenmesi hedeflenmiştir. Artvin-Kemalpaşa'dan başlayarak Giresun'un Tirebolu ilçesine kadar uzanan Karadeniz sahil yolu üzerindeki sekiz farklı yerden ve Karadeniz sahil yoluna uzak olan sekiz farklı lokalitelerden çay ve toprak örnekleri alınmıştır. ICP-OES cihazı kullanılarak Co, Pb, Ni, Cr, Cu, Fe, Zn ve Mn değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, Karadeniz sahil yolu kenarındaki ve trafikten uzak yerlerden toplanan örneklerde ağır metal içeriklerinin, trafikten uzak yerlerden alınanlarla karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak, toprak numunelerinin Pb, Cr, Cu, Ni ve Zn içeriklerinin

normal sınır değerler içerisinde yer aldığı ve oldukça düşük olduğu saptanmıştır. Yıkılmış yaprak örneklerinde ise Fe seviyesinin daha az bulunduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, trafiğin yoğun olduğu Karadeniz sahil yolu çevresindeki topraklarda ve çay bitkilerinde dolaylı olarak ağır metal birikimine yol açtığını göstermektedir.

Balcı vd. (2016), çay üretimi yapılan alanların dağılımını dikkate alarak Artvin, Rize, Trabzon ve Giresun illerinde eş zamanlı olarak toplam 532 toprak ve yaşlı çay yaprağı rneği toplamışlardır. Yapılan incelemede, çay tarımı için kullanılan topraklarda bitkilerin ihtiyaç duyduğu demir ve manganın yeteri kadar bulunduğu, ancak toprakların %11,1'inde bakır, %49,6'sında ise çinko elementlerinin eksik olduğuna rastlamışlardır. Ayrıca, ay yapraklarındaki mangan düzeyinin yeterli olduğunu saptarlarken, yaprak örneklerinin %98,9'unda toplam demir, %97,0'ında bakır, %97,6'sında çinko eksikliği bulunduğunu ortaya koymuşlardır.

Atasoy vd. (2019), Türkiye'deki çay ürünlerinde bulunan temel elementlerin ve toksik ağır metallerin konsantrasyonlarını belirlemek için dokuz farklı ticari Seylan ayı ve on bir ticari Türk ayı incelemişlerdir. Bu ayların demlenmesi sırasında Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb ve Zn gibi elementlerin konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Sağlık risklerini değerlendirmek amacıyla, çay tüketen yetişkinler ve çocuklar için Amerika Birleşik Devletleri evre Koruma Ajansı'nın kabul edilebilir günlük alım değerlerine dayanarak hesaplamalar yapmışlardır. Satın alınan tüm siyah çaylarda en yüksek konsantrasyonun K elementine ait olduğunu, bunun ardından ise Mg, Ca ve Al elementlerinin geldiğini belirtmişlerdir. Birkaç ay rneğinde Pb ve Mn oranlarının kabul edilebilir günlük alım seviyesinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Tao vd. (2021), Çin'in önde gelen çay üretim alanlarından biri olan Anhui bölgesinden ana materyal, toprak ve çay örnekleri toplamışlardır. aydaki ve topraktaki ağır metallerin dağılımını ve transferini etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla, dikim etkenleri, toprak özellikleri ve jeolojik arka plan değişkenlerini incelemişlerdir. Çayın büyümesi açısından asidik toprak koşullarının ağır metal salınımında önemli bir etkisinin olduğunu keşfetmişlerdir. Toprakta bulunan Cd, Hg, Pb ve Zn miktarının %75'ten fazlasının, yer kabuğu için belirlenen sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, çay örneklerindeki ağır metal seviyelerinin, Çin, WHO (Dünya Sağlık rgt) ve AB (Avrupa Birliği) normlarının altında kaldığı

saptanmıştır. Toprağın organik madde içeriği ve redoks potansiyelinin, As, Pb, Cd ve Hg'nin topraktan çaya dağılımını ve transferini etkilediği ifade edilmiştir. Çay tüketimi ile ilişkilendirilen kanserojenik olmayan ve kanser riskinin esasen Pb ve Cd'den kaynaklandığı belirtilmiştir. Çaydan kaynaklanabilecek sağlık risklerini azaltmak amacıyla organik ve/veya bileşik gübre kullanmanın, çay yetiştiriciliği için etkili bir yönetim yöntemi olduğuna dair düşünceler öne sürülmüştür.

Rahmani vd. (2022), İran'ın Meşhed kenti üzerinde satılan altı farklı ithal siyah çay markasının Cu, Zn, Pb ve Cd seviyelerini incelemişlerdir. Genel olarak, Cu, Zn, Pb ve Cd konsantrasyonlarını sırasıyla 6,81-35,21 mg/kg (ortalama = 15,87 mg/kg), 14,61-164,84 mg/kg (ortalama = 47,68 mg/kg), 0,038-1,62 mg/kg (ortalama = 0,72 mg/kg) ve 0,006-0,19 mg/kg (ortalama = 0,05 mg/kg) aralığında tespit etmişlerdir. Bazı markalarda Zn seviyelerinin İran ve WHO tarafından önerilen standartları aştığını belirlemişlerdir. Ayrıca, zarar endeksi tahminlerine göre, incelenen çay örneklerinin tüketiminde herhangi bir olumsuz sağlık etkisi bulunmadığını ifade etmişlerdir. Bunun yanı sıra Pb için hesapladıkları değer yaşam boyu kanser riskini limit değerlerinin üzerinde olduğunu ortaya koymuşlardır.

Acar (2019), insanların yoğun olarak tükettiği siyah çayın bazı öğeler elementlerce durumunu ve insan sağlığına olası etkilerini incelemeyi hedeflemiştir. Bu çalışmada, materyal olarak Şanlıurfa il merkezindeki marketlerden sağlanan ve çeşitli satış yerlerinden toplanan toplam 15 çay örneği kullanılmıştır; bunlar arasında 13 ithal çay ve 2 Rize çayı yer almaktadır. Çay örneklerinin ağır metal (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Mn, Pb, Zn) içeriği, kuru yakma yöntemi uygulanarak ICP-OES ile analiz edilmiştir. Ortalama değerlere dayanarak, siyah çay örneklerinde Al içeriği 403,3-1307,5, Cu içeriği 7,73-16,88, Cr içeriği 0,72-3,86, Fe içeriği 54,89-142,9, Mn içeriği 219,5-655, Co içeriği 0,03-0,16, Ni içeriği 4,06-1,35 ve Pb içeriği ise 4,02-12,66 arasında bulunmuştur. Araştırmanın sonuçlarına göre, çay örneklerinde 1 ve 12 numaralı örneklerin Pb içeriğinin belirlenen sınır değerini aştığı, diğer örneklerin ise bu değer altında olduğu belirlenmiştir. Cu içeriği ise, 8 ve 11 numaralı örnekler hariç, bildirilen sınır değerlerden daha yüksek seviyelerde bulunmuştur.

Ekmekyapar vd. (2012) Çorlu-Çerkezköy karayolu çevresinden 36 adet toprak ve bitki örneği toplamış ve bunları ağır metal içeriği açısından incelemişlerdir. Analiz sonuçları, çalışma yapılan bölgelerdeki toprakların Pb ile kirlenmiş olduğunu ortaya

koymuştur. Toprakta bulunan Pb konsantrasyonu $351\pm0,3$ mg/kg d zeyinde  l  lm ş olup, bu rakam toprak i in belirlenen maksimum izin verilen limitlerin  zerinde yer almaktadır.

 zkan (2017) tarafından ger ekleştirilen araştırmada; Antakya-Cilveg z  karayolu etrafındaki tarım arazilerinde ağır metal kirliliği ile karayolu mesafesinin toprakta ağır metal birikimi  zerindeki etkisi incelenmiştir. ICP-OES cihazı ile yapılan  l  mlerde, ağır metallerin d zeyleri ş yle kaydedilmiştir: Pb 0,130-0,780 mg/kg, Cd 0-0,265 mg/kg, Ni 0,370-3,97 mg/kg, Cr 0-0,120 mg/kg, Co 0-1,83 mg/kg, Al 0-0,700 mg/kg, Fe 1,45-22,8 mg/kg, Cu 0,385-5,43 mg/kg, Mn 1,96-27 mg/kg, Zn 0-4,26 mg/kg aralığında tespit edilmiştir. Topraktaki Fe d zeyinin, belirlenen sınır limitlerinin  st nde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, ağır metal konsantrasyonunun karayoluna olan mesafe ile orantılı olarak azaldığı anlaşılmıştır.

Varol ve Erdem (2020) tarafından ger ekleştirilen araştırmada;  zellikle sanayi aktivitelerinin yoğun olduğu b lgelerde, toprak kirliliği d zeyini tespit etmek amacıyla bir  alışma ger ekleştirilmiştir. ICP MS cihazı ile yapılan  l  mlerde baryum (Ba) 135,5-389,7 mg/kg aralığında tespit edilmiştir ve bu değerlerin mevzuatta belirlenen limitlerin  zerinde olduğu g r lm ştir. Ni, Co ve Cr gibi elementlerin ise mevzuatta belirtilen limitlerin altında değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

 zkul (2019) tarafından ger ekleştirilen araştırmada, K tahya ilindeki  ocuk oyun parklarındaki toprakların ağır metal d zeyleri incelenmiştir. K tahya'nın merkez yerleşim b lgesinden 19  ocuk parkından 0-10 cm derinlikten toprak  rnekleri alınmış ve burada bulunan Cd, As, Hg, Cu, Cr, Zn, Pb ve Ni ağır metallerinin analizi ICP-MS y ntemiyle yapılmıştır. As değerleri 9,60-260,90 mg/kg, Cd 0,07-1,24 mg/kg, Cr 16,10-55,50 mg/kg, Cu 9,13-65,23 mg/kg, Hg 0,02-0,60 mg/kg, Ni 24,70-121,30 mg/kg, Pb 13,06-113,60 mg/kg ve Zn 28,70-252,90 mg/kg aralığında ağır metal konsantrasyonlarına rastlandığı belirlenmiştir.

Tekirdağ ilinde ger ekleştirilen bir araştırmada, sanayinin yoğun olduğu 7 ayrı b lgeden alınan toprak  rnekleri, alevli atomik absorpsiyon spektrometresi kullanılarak Cd, Pb, Ni, Zn, Fe, Co, Mn, Cr ve Cu elementlerinin yoğunlukları tespit edilmiştir. Bir b lgede Ni, Cd, Cr ve Zn metallerinin miktarlarının, Toprak Kirliliği Kontrol Y netmeliği'nde belirtilen  st limitleri aştığı g zlemlenmiştir (D kmeci vd., 2017).

Bayburt ilinde gerçekleştirilen araştırmada on farklı alandan toprak örnekleri toplanmış ve ICP-MS yöntemi ile Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Cd ve Mg gibi ağır metallerin konsantrasyonları belirlenmiştir. Tüm rnekler arasında en yüksek konsantrasyonun Mg metalinde olduğu gözlemlenmiştir. Metal derişimlerinin $Mg > Fe > Mn > Ni > Cr > Pb > Cu > Co > Zn > Cd$ şeklinde sıralandığı tespit edilmiştir. Bazı alanlarda ise sınır değerlerin üzerinde sonuçlar elde edilmiştir (Kul vd., 2021).

Çin'de gerçekleştirilen bir araştırmaya dayanarak, maden sahalarına yakın bölgelerde ve çevresinde kadmiyum, kurşun, çinko, civa, arsenik ve nikel gibi ağır metallere bağlı toprak kirliliğinin, özellikle çocuklar için ve en yüksek kirlilik seviyesine sahip alanlarda yaşayan insanlar için yüksek kanserojen ve kanserojen olmayan riskler yarattığı belirtilmiştir (Li vd., 2014).

Khan vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada, çayın insan sağlığına olan olumlu etkileri vurgulanmış, özellikle kanser ve kardiyovasküler hastalıklara faydalı olduğuna dikkat çekilmiştir.

Karak ve Bhagat (2010) ise çayda bulunan elementlerin insan vücudu için gerekli olduğunu ve insanların günlük ihtiyaç duyduğu makro ve mikro besinlerin çay aracılığıyla karşılanabileceğini ifade etmiştir. Araştırmalarında Al, As, Cd, Cr, Cu, F, Mn ve Ni elementlerini tespit etmişlerdir. Araştırmalarında belirledikleri tüm elementlerin konsantrasyonlarının izin verilen maksimum sınır değerleri içinde olduğu belirlenmiştir.

Karimi ve Mohammadi (2018), Kashan'daki mağazalardan alınan 29 markaya ait kuru çay örneğinde çeşitli ağır metal düzeylerini (demir, çinko, bakır, kurşun, nikel, krom, kadmiyum, arsenik) incelemişlerdir. Bu ağır metallerin analizi ICP-OES spektrometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Demlenmiş ayın bütün örneklerinde bakır, çinko ve arsenik miktarlarının standart sınırların altında olduğunu, fakat bazı örneklerde kurşun, krom, kadmiyum ve nikel seviyelerinin yanı sıra tüm örneklerde demir seviyesinin İran Ulusal Standartları ve WHO'nun belirlediği maksimum izin verilen sınırları aştığını belirlemişlerdir. Buna ek olarak, risk değerlendirme analizi neticesinde, günde ortalama 1 litre siyah çay tüketiminin, çay iicilerinin sağlığı üzerinde olumsuz bir etkisinin bulunmadığını ortaya koymuşlardır. Araştırmanın bulguları, incelenen siyah çayın günde ortalama 1 litre tüketiminin çay kullanıcılarının

sağlığına zararlı bir etkisi olmadığını göstermektedir. Ayrıca, siyah çay örneklerinde ağır metal düzeylerinin düzenli olarak takip edilmesinin önemine vurgu yapmışlardır.

Karataglis (1987) ve Geeson vd. (1998) yaptıkları araştırmalarına göre, egzoz gazları kaynaklı ağır metal kirliliği, organizmalarda birikim yaparak ve gıda zincirinde rol alarak uzun vadeli sorunlara yol açmaktadır. Bu elementlerin yağmur suları aracılığıyla toprağa ulaşması, daha sonra yer altı sularına ve akarsulara karışması, kirli akarsuların sulama için kullanılması ve bu durumun aşırı kullanımdan dolayı toprakta birikmesi, sonuç olarak ürünlere geçerek canlıların yaşamını tehdit etmektedir. İçme ve sulama suyunda bu elementlerin belirli oranlarda bulunması, doğal bir olgu olarak değerlendirilebilir. Ancak bu maddelerin canlı sağlığı açısından kabul edilebilir seviyeleri bulunmaktadır. Bu seviyelerin aşılması durumunda, toksik etkiler bitkilerde hem morfolojik hem de fizyolojik bozulmalara yol açabilmektedir. Bu metaller, biyolojik süreçler içinde bitkilere entegre olup kök, tomurcuk ve yapraklar gibi farklı bitki bölgelerine taşınarak gıda zincirine dahil olmaktadır (Erdoğan, 2005).

Araçların egzozundan salınan ağır metaller, toprağa hava aracılığıyla taşınmaktadır. Bu ağır metallerin havada bulunma oranları, taşıt sayısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Hava içindeki ağır metal yoğunlukları, şehirlerle kırsal bölgeler arasında belirgin farklılıklar arz etmektedir. Şehirlerdeki yoğunluk, kırsal alanlara göre oldukça fazladır. Şehirlerin yoğun caddelerinde kurşun seviyesi, metreküp başına 71 mikrogram olarak saptanmıştır. Bu değer, kırsal bölgelerde önemli ölçüde daha düşük seyretmektedir. Kirlenme kaynağından uzaklaştıkça kurşun düzeyinin azaldığı gözlemlenmiştir (Bingöl, 1992).

Suchodoller (1967), arpa ve mısır ile gerçekleştirdiği bir araştırmada, yol kenarındaki kurşun yoğunluğunun 147 ppm (kuru ağırlık) seviyesine ulaştığını belirtmiş ve mesafe arttıkça belirgin bir azalma gözlemlendiğini, yoldan 30-40 metre mesafede trafik etkisinin hissedilmediğini rapor etmiştir (Türkan, 1982). Havadaki kurşun miktarı, yoldan uzaklaştıkça hızla düşmektedir (Suchodoller, 1967). Lagerwerf (1971) ise, yolun 30 metre ilerisinde kurşun seviyesinin oldukça yüksek olduğunu söylemiştir. Ayrıca, kurşunun 100 kilometreye kadar uzak mesafelere taşınabildiği, yapılan araştırmalarla ortaya konmuş ve yüzlerce kilometre uzakta bile izlerine rastlanmıştır. Hatta, kutuplarda buzul katmanları üzerinde yapılan incelemelerde, araç

egzozlarından kaynaklanan yoğun kurşun birikintilerine ulaşılmıştır (Bingöl vd., 2010).

Küçük çaplara sahip olan ağır metaller çabuk çökelmezler ve yükselen hava ile uzaklaşıp etrafa yayılmaktadırlar. Havada asılı halde bulunan partikülleri çökeltme mekanizma yağmurdur (Bingöl, 1992; Bingöl vd., 2008). Kirli havadaki Pb ve Ni gibi ağır metaller çökme yoluyla bitkilere etki etmektedirler. Ağır metal partikülleri genellikle bitkilerin yüzeyine bulaşmaktadırlar. Suchodoller (1967) yaptığı çalışmada trafik yoğunluğu, rüzgar şiddeti ve yönüyle birlikte diğer atmosferik faktörlerin havadaki Pb ve Ni miktarına etki ettiğini tespit etmiştir. Bitkilerin ise ağır metal kirlenmesinden etkilenme düzeyleri de yine bu faktörlerin etkisi altında olduğunu vurgulamıştır (Türkan, 1982; Bingöl 1992; Bingöl vd., 2008).

Egzoz gazları, yanma süreci sonucunda oluşan ve geri dönüşümü mümkün olmayan gaz formundaki atık maddelerdir. Motorların yanma işlemi sonucu ortaya çıkan egzoz gazları; karbondioksit, azotdioksit, kükürtdioksit ve su buharı gibi zararsız bileşenlerle birlikte, insan sağlığı ve çevre için risk taşıyan hidrokarbonlar, karbonmonoksit ve azotoksit gibi maddeleri de içermektedir. Bu zararlı bileşenler, modern bir motordan yayılan toplam emisyonlarının yalnızca küçük bir bölümünü teşkil etmektedir. Dizel motorlarda bu oran %0,2, benzin motorlarında ise %1,1'dir. Egzoz gazlarının büyük bir kısmı, azot, su ve karbondioksitten meydana gelmektedir. Bu zararlı bileşenlerin önemli bir kısmını azaltmak amacıyla üç yollu katalizatörlerin kullanımı yaygınlaşmıştır (Cihangir, 2019).

Motorlu araçların egzozundan yayılan toksik metaller hem toprak hem de bitki örtüsü üzerinde ciddi kirlenme sorunlarına yol açmaktadır (Odoh vd., 2011). Yıpranmış tekerlek lastikleri, yakılan yakıt ürünleri, korozyona uğramış aküler, yağ sızıntıları ve radyatör gibi metal parçalar, Cd, Pb, Ni, Cu ve Zn gibi metallerin yol kenarındaki bitkilerin kirlenmesine neden olmaktadır. Hızla gelişen teknoloji, hızlı nüfus artışı ve egzoz gazlarının yayılma hızı, çevre kirliliği gibi daha büyük sorunları ortaya çıkarmış ve bu durum çevredeki yaşam kalitesinin hızla düşmesine sebep olmuştur. Diğer insan faaliyetleri ve kaynakları nedeniyle, son on yıl içinde bu metallerin seviyelerinde kayda değer bir artış gözlemlenmiştir ve bu durum insan sağlığını tehdit eder hale gelmiştir (Cihangir, 2019).

2. MATERYAL-METOT

2.1. Araştırma Alanı

Rize ili, 40° 21' ve 41° 25' doğu boylamları ile 40° 33' ve 41° 20' kuzey enlemleri arasında yer almakta olup yaklaşık 3920 km² yüzölçümüne sahiptir ve Türkiye yüzölçümünün %0,5'ini oluşturur. Rize ilinin 11 (Ardeşen, Güneysu, Hemşin, Çamlıhemşin, Çayeli, Fındıklı, İkizdere, İyidere, Merkez, Kalkandere, Pazar) ilçesi bulunmaktadır.

Deniz seviyesinden yüksekliği 0 ile 3782 m arasında değişen Rize ilinin kuzey kesimindeki arazilerin büyük kısmı dağlık olup, engebeli bir topografyaya ve dik yamaçlara (> %45 eğim) sahiptir. Dik ve çok dik yamaçlar yaygın olarak dağılmıştır. Öte yandan, kıyı şeridine yakın araziler, akarsuların taşıdığı alüvyonlardan oluşan alçak eğimli ovalardan oluşmaktadır.

Rize bölgesinde Karadeniz iklimi hakimdir. Karadeniz iklimi, serin yazlar, ılıman kışlar ve her mevsim yağışlı bir iklime sahiptir. Bunda en büyük etken, kıyıya paralel uzanan dağlardır. Rize'de ortalama yıllık sıcaklık 14 °C'dir. Rize, 2300 mm'nin üzerinde yıllık yağış miktarıyla Türkiye'nin en fazla yağış alan bölgesidir. Rize'deki yağış miktarı her mevsim dengelidir ve bölgede kurak mevsim yoktur. En az yağış ilkbaharda, en fazla yağış ise sonbaharda görülür.

Eski Amerikan toprak sınıflandırma sistemine (GDRS, 1984) göre Rize ilinde yedi farklı büyük toprak grubu bulunmaktadır ve bu toprakların %60,83'ü gri-kahverengi podzolik topraklar ve kırmızı-sarı podzolik topraklardan oluşmaktadır. Bunları kahverengi orman toprakları takip etmektedir. Gri-kahverengi podzolik topraklar ve kırmızı-sarı podzolik topraklar asitli topraklar olarak da tanımlanabilir ve çoğunlukla pH değerleri 5,0'ın altındadır ve bu da ağır metallerin çözünürlüğünü veya dinamiğini etkiler. CORINE arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıflandırmasına göre, ilin yaklaşık %24,2'si çayır ve mera alanları ile seyrek bitki örtüsü alanlarından oluşurken, toplam alanın %45,0'ı ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Tarım alanı toplam alanın yalnızca %20,3'ünü kaplamaktadır. Genel olarak, bu alanın büyük bir kısmı 50 yılı aşkın süredir sürekli olarak çay tarımı için kullanılmaktadır. Ayrıca, sürekli kentsel yapı, kırsal alan, ayırık şehir, endüstriyel veya ticari birimler, maden

ıkarma sahaları, limanlar, inşaat alanları gibi yapay arazi türleri de ilin %0,4'n kaplar.

ay yetiştirilen alanlarda bitki gelişimi için uygun pH değeri ve fosforlu gübre elde etmek amacıyla, genellikle bitki beslenmesi ve gelişimi için gerekli olan temel elementlerin yanı sıra Cd gibi eser metal safsızlıklarını da içeren kireç ve süperfosfat veya dominium fosfat gübreleri kullanılmıştır. Bořković-Rakoević vd. (2017), sperfosfatın Cd içeriğini 38-40 mg/kg olarak bildirirken, Bogdanovic vd. (1999) 2,08-7,50 mg/kg içeren süperfosfat uygulamış, mono amonyum fosfattaki Cd seviyesi ise 144 mg/kg olarak bulunmuştur (Jiao vd., 2004). Ayrıca, alışma alanının jeolojik özellikleri arasında bazaltik, dasitik, granitik ve andezitik volkanikler gibi magmatik kayaların büyük miktarda jeolojik materyali ve küçük kısımlarında ise alüvyonlu tortul, kireç taşı, kum-çamur taşı ve kil taşı gibi tortul materyaller yer almaktadır (Bayraklı ve Dengiz, 2020).

2.2. Saha rneklemesi

Rize'nin Merkez ilçesinde belirlenen dokuz farklı çay bahçelerinden yaş çay örnekleri 2023 yılı birinci, ikinci ve üçüncü sürgün dönemlerinin ilk haftasında alındı. Toprak rnekleri ise birinci sürgün döneminden önce ve üçüncü sürgün döneminden sonra olacak şekilde temin edildi. ay ve toprak rnekleri;

- 1) Temiz alanda (araç ile gidilmeyen) ay kesme makası ile toplanan çay bahçelerinden (parametre 1),
- 2) Temiz alanda (araç ile gidilmeyen) benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay bahçelerinden (parametre 2),
- 3) Kirli alanda (otoyola yakın) ay kesme makası ile toplanan çay bahçelerinden (parametre 3) toplandı.

Temiz alanların seçiminde trafik, fabrika gibi kaynaklı kirlilikten uzaklık kıstas olarak belirlenirken, kirli alanın seçimi ise tam tersi özellikler ile belirlendi. Belirlenen ay bahçelerinden kontrollü bir şekilde alınan çay yaprağı ile toprak numuneleri laboratuvara getirildi.

2.3. Örneklerin Temini ve Analize Hazır Hale Getirilmesi

2.3.1. Yaş Çay Örneklerinin Temini ve Analize Hazır Hale Getirilmesi

Çay yaprakları seçilirken çay toplama dönemlerinde toplanan ve 2,5 yaprak adı verilen en uçtaki taze sürgünlerden örnekler alındı. Alınan çay örnekleri müstahsil ile eş zamanlı olarak (müstahsilin çayını topladığı an çay bahçelerine girildi ve örnekler alındı) gerçekleştirildi. Her hasat döneminde aynı çay plantasyonlarından yaprak numuneleri toplandı. Toplanan çay bitkisi örnekleri ağır metal analizleri için etüvde 70 °C’de iki gün boyunca sabit ağırlığa ulaşana dek kurutulduktan sonra toz haline gelinceye kadar öğütücüde öğütüldü.

2.3.2. Mamul Çay Örneklerinin Temini ve Analize Hazır Hale Getirilmesi

Araziden hasat edilen 2,5 yaprak standardında toplanmış 500-750 g civarı yaş yaprak, Atatürk Çay ve Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü Teknoloji Üretim Laboratuvarında bir gece doğal soldurmaya bırakıldıktan sonra CTC (parçalama (crushing), özsuyn çıkarılması (tearing) ve kıvrırma (curling)) tipi üretim ile mamul çay haline getirildi. CTC üretimde; bir gece doğal soldurma sonrasında çay yaprakları CTC makinesinden geçirildi. 26-30 °C sıcaklık ve %90-95 nispi rutubet altında 2,5-3 saat kadar oksidasyona bırakıldı. Oksidasyon sonrası çaylar 80-90 °C’de kurutma fırınında kurutulduktan sonra bariyerli alüminyum kilitli poşetlerde muhafaza edildi.

2.3.3. Toprak Örneklerinin Temini ve Analize Hazır Hale Getirilmesi

Toprağın üst kısmında bulunan atıklar uzaklaştırıldıktan sonra 0-30 cm arası derinlikten yaklaşık 1 kg toprak örneği alındı ve laboratuvara getirildi. Bu örnekler, açık havada kurutulduktan sonra dövüldü, 2 mm’lik elekten geçirilip kimyasal analizler için hazır hale getirildi.

2.4. Kimyasallar ve Reaktifler

Bu çalışmada kullanılan analitik saflıktaki kimyasallar ve reaktifler, Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edildi. Tüm çözelti ve seyreltmelerin hazırlanmasında 18,2 MΩ·cm direnç değerine sahip ultra saf su (Human Corporation Zeneer Power-I) kullanıldı. Laboratuvar ekipmanları, analiz öncesinde %20’lik HNO₃

(nitrik asit) çözeltisinde 24 saat süreyle bekletilerek dekontaminasyon işlemi uygulandı ve sonrasında ultra saf su ile durulanarak temiz hava ortamında kurutuldu. Kalibrasyon için kullanılan standart çözeltiler, Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn elementlerini içeren ve 1000 ppm konsantrasyonundaki Agilent 8500–6940 2A stok standart çözeltisinin uygun oranlarda seyreltilmesiyle hazırlandı.

2.5. Numune Hazırlığı ve Çözündürme İşlemi

Homojen hale getirilen ve 0,2 g-0,5 g aralığında tartılan bitki numuneleri, her biri 7 mL suprapur %65 HNO₃ ve 1 mL suprapur %30 H₂O₂ (hidrojen peroksit) içeren teflon kaplara alındı. 0,5 g ağırlığında tartılan toprak numuneleri ise 9 mL suprapur %30 HCl (hidroklorik asit) ve 3 mL suprapur %65 HNO₃ içeren teflon kaplara alındı. Numuneler, Milestone SK10 mikrodalga çözündürme ünitesinde çözündürüldü. Çözündürme işlemi sırasında sıcaklık, ilk 15 dakika içerisinde oda sıcaklığından 200 °C'ye yükseltildi, ardından 200 °C'de 15 dakika süreyle sabit tutuldu. Bu aşamayı takiben, numuneler yaklaşık bir saatlik süre zarfında oda sıcaklığına soğutuldu. Elde edilen çözeltiler 50 mL hacmindeki polipropilen falcon tüplere aktarıldı ve ultra saf su ile 50 mL'ye tamamlanarak analiz için hazır hale getirildi. Kontrol amacıyla hazırlanan blank (kör) çözelti de örneklerle aynı prosedürler izlenerek hazırlandı.

2.6. Kalibrasyon ve Ağır Metal Analizleri

Kalibrasyon çözeltileri, analiz edilen Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn elementlerini içeren Agilent 8500–6940 2A kodlu 27 element karışımından hazırlanan 1000 ppm'lik stok çözeltilerin uygun seyreltmeleri ile oluşturuldu. Ağır metal konsantrasyonları, ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi) ile analiz edildi. ICP-MS, düşük tespit limitleri ve çoklu element analizi avantajı nedeniyle çevresel ve biyolojik örneklerde ağır metal analizlerinde tercih edilmektedir (Jarvis vd., 1992).

Bitki numunelerindeki element konsantrasyonlarının tayini, ICP-MS (Agilent 7700X) kullanılarak gerçekleştirildi. Her numune üç kez analiz edilerek ölçümler tekrarlandı. ICP-MS cihazında uygulanan analiz koşullarına ilişkin detaylı bilgiler Tablo 1'de sunuldu. Analizlerde kullanılan standart çözeltiler (27 element içeren karışımlar: 8500-6940 2A ve 8500-6940 Hg), Agilent firmasından temin edildi ve

kalibrasyon eğrilerinin oluşturulmasında kullanıldı. Ölçümlerin doğruluğunu sağlamak amacıyla kalibrasyon eğrilerinin doğrusallığı, tespit sınırı (LOD) ve miktar tayini sınırı (LOQ) gibi metrikler değerlendirmeye alındı. Çalışmada incelenen ağır metallerle ait kalibrasyon eğrileri yüksek derecede doğrusallık göstermiş olup, korelasyon katsayıları (R) 0,9996 ile 1,0000 arasında bulundu. Elde edilen eğri denklemleri ve korelasyon katsayıları yöntemin doğrusal yanıt verdiğini ortaya koymuştur. LOD, kör (blank) çözeltilerle yapılan on ölçümün standart sapmasının üç katının, kalibrasyon eğrisinin eğimine bölünmesiyle hesaplandı. LOQ ise LOD değerinin üç katı olarak tanımlandı. Yöntemin hassasiyeti, bu LOD ve LOQ değerlerinin hesaplanmasıyla değerlendirildi ve sonuçlar Tablo 2’de sunuldu.

Tablo 1. ICP-MS cihazının çalışma koşulları

Cihaz	Agilent 7700 x ICP-MS
RF Gücü	1550 W
RF Uyumu	2,1 V
Örnek Derinliği	8,0 mm
Örnek Alım Hızı	0,1 mL min ⁻¹
Plazma Gaz Akış Hızı	15 L min ⁻¹
Yardımcı Gaz Akış Hızı	1,0 L min ⁻¹
Taşıyıcı Gaz Akış Hızı	0,95 L min ⁻¹
He Gaz Akış Hızı	4,3 mL min ⁻¹
Sprey Odası	Yumuşak Çift Geçişli Tip
Sprey Odası Sıcaklığı	2 °C
Meşale	Kuvarz Meşale

2.7. Kalite Kontrol ve Güvence Prosedürleri

Analizlerin güvenilirliğini ve doğruluğunu değerlendirmek amacıyla kalite kontrol uygulamaları üçlü tekrarlarla gerçekleştirildi. Kalibrasyon ve ölçüm doğruluğunu sağlamak için uluslararası geçerliliğe sahip sertifikalı referans materyaller kullanıldı. Bu kapsamda, çay bitkileri için IAEA-336 kodlu liken ve topraklar için UME EnvCRM 03 kodlu toprak referans materyalleri sertifikalı referans materyal (CRM) olarak tercih edildi. ICP-MS ile yapılan analizlerde, tüm hedef elementler için %90’ın üzerinde ölçüm doğruluğu elde edildi. Sertifikalı değerler ile ICP-MS aracılığıyla belirlenen konsantrasyonlar arasındaki karşılaştırmalı sonuçlar Tablo 2 ve 3’de sunuldu. Bu çalışmada, çoklu element analizleri için ABD Çevre Koruma Ajansı’nın (EPA) belirlediği EPA 6020 standardı esas alındı. Numune analiz sürecinde 1 ppm konsantrasyonundaki iç standart çözeltisi (ISTD; Agilent 5188-

6525), her örnekle birlikte sürekli olarak sisteme verildi ve sinyal düzeltmesi amacıyla kullanıldı. Bu uygulama, analiz sırasında olası matris etkilerini ve cihaz kaynaklı varyasyonları minimize etmeyi amaçlamıştır.

Tablo 2. IAEA-336 bitki sertifikalı referans materyaline ait ölçülen ve sertifikalı element konsantrasyonlarının karşılaştırılması ($\mu\text{g/kg}$, kuru ağırlık)

Elementler	Liken		Geri Kazanım Yüzdesi (%)	R^2	%RSD	LOD	LOQ
	Sertifikalı Değerler	Ölçülen Değerler					
Cr	1060	1048	98,85	0,9999	2,07	0,029	0,087
Cu	3600	3540	98,34	1,0000	1,23	0,125	0,375
Mn	63000	62024	98,45	0,9999	0,71	0,035	0,105
Ni	1070	1075	100,50	0,9999	1,73	0,026	0,078
Pb	4900	4812	98,20	1,0000	2,70	0,038	0,114
Zn	30400	31838	104,73	0,9997	0,63	1,673	5,019
Co	290	293	101,11	1,0000	2,41	0,003	0,009

%RSD: Yüzdelik bağıl standart sapma; LOD: Dedeksiyon limiti; LOQ: Kantifikasyon Limiti

Tablo 3. UME EnvCRM 03 toprak sertifikalı referans materyaline ait ölçülen ve sertifikalı element konsantrasyonlarının karşılaştırılması ($\mu\text{g/kg}$, kuru ağırlık)

Elementler	Toprak		Geri Kazanım Yüzdesi (%)	R^2	%RSD	LOD	LOQ
	Sertifikalı Değerler	Ölçülen Değerler					
Cr	56400	56663,23	100,47	1,0000	0,99	0,079	0,237
Cu	67300	67042,36	99,62	0,9999	0,93	0,039	0,117
Mn	520000	522810,99	100,54	0,9998	0,93	0,060	0,180
Ni	48900	48831,41	99,86	0,9999	0,69	0,032	0,096
Pb	63100	63896,45	101,26	0,9998	1,09	0,027	0,081
Zn	128500	128177,94	99,75	0,9996	1,15	1,351	4,053
Co	41700	41718,43	100,04	0,9999	0,79	0,016	0,048

%RSD: Yüzdelik bağıl standart sapma; LOD: Dedeksiyon limiti; LOQ: Kantifikasyon Limiti

2.8. İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada elde edilen verilerin istatistiksel analizleri, IBM SPSS Statistics Version 29.0 (IBM Corp., Armonk, NY, ABD) yazılımı aracılığıyla gerçekleştirildi. Verilerin dağılım özelliklerini değerlendirmek amacıyla, Kolmogorov-Smirnov normallik testi uygulandı. Normallik varsayımını karşılamayan veri setleri üzerinde, gruplar arasındaki farklılıkları belirlemek için parametrik olmayan Kruskal-Wallis ve

Mann-Whitney U testleri uygulandı. Tüm istatistiksel değerlendirmelerde anlamlılık düzeyi $P < 0.05$ olarak kabul edildi. Deneyler üç tekrarlı olarak gerçekleştirildi.



3. BULGULAR

3.1. Bitki Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri

3.1.1. Çay Toplama Araçlarına Göre Ağır Metal İçerikleri

3.1.1.1. Yaş Çay Örneklerinin (işlem görmemiş) Ağır Metal İçerikleri

2023 yılı birinci sürgün döneminde toplanan yaş çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri üzerine çay toplama araçlarının etkisi Tablo 4'te verilmiştir. Çay toplama araçlarına göre yaş çay bitkisi örneklerinin ağır metal içerikleri Kruskal Wallis H testi ile değerlendirildiğinde istatistiksel olarak Cr elementi $P=0,002$ seviyesinde, geriye kalan tüm elementler ise $P < 0,001$ seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları

	n	Sıra Ortalaması	df	χ^2	P
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	26,06	2	20,373	<0,001
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	42,06			
Çay Makası (Kirli)	27	54,89			
<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	19,78	2	36,161	<0,001
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	57,33			
Çay Makası (Kirli)	27	45,89			
<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	26,74	2	19,746	<0,001
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	55,19			
Çay Makası (Kirli)	27	41,07			
<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	28,20	2	12,166	0,002
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	46,06			
Çay Makası (Kirli)	27	48,74			
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	22,96	2	33,827	<0,001
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	39,89			
Çay Makası (Kirli)	27	60,15			
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	23,52	2	27,407	<0,001
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	42,56			
Çay Makası (Kirli)	27	56,93			
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	21,63	2	50,464	<0,001
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	66,04			
Çay Makası (Kirli)	27	35,33			

Parametreler arasında herhangi bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için Mann Withney U testi uygulanmıştır. Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=204,500$; $z=-2,770$; $U=62,000$; $z=-5,235$; $U=127,000$; $z=-4,111$; $U=195,500$; $z=-2,926$; $U=177,000$; $z=-3,245$; $U=173,000$; $z=-3,314$ ve $U=2,000$; $z=-6,274$; Pb için $P=0,006$; Cr için $P=0,003$; Cu için $P=0,001$, diğer elementler için $P < 0,001$). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içerikleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=121,000$; $z=-4,215$; $U=94,000$; $z=-4,681$; $U=217,000$; $z=-2,553$; $U=188,000$; $z=-3,055$; $U=65,000$; $z=-5,183$; $U=84,000$; $z=-4,854$ ve $U=204,000$; $z=-2,778$; Co için $P=0,011$; Cr için $P=0,002$; Mn için $P=0,005$; diğer elementler için $P < 0,001$). Kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içerikleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında Cr elementi hariç ($P=0,574$) anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=233,000$; $z=-2,276$; $U=226,000$; $z=-2,397$; $U=219,000$; $z=-2,519$; $U=332,000$; $z=-0,563$; $U=147,000$; $z=-3,764$; $U=215,000$; $z=-2,587$ ve $U=51,000$; $z=-5,425$; Pb için $P=0,023$; Ni için $P=0,017$; Co için $P=0,012$; Zn için $P=0,010$; Cu ve Mn için $P < 0,001$). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin Ni, Co ve Mn içerikleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içeriklerinden daha yüksektir. Pb, Cr, Cu ve Zn içerikleri ise kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinde daha yüksektir.

En yüksek Ni, Co ve Mn değerleri (ppm) temiz alanda benzinli çay motoru ile toplanan çay örneklerinde, en yüksek Pb, Cr, Cu ve Zn değerleri kirli alanda çay kesme

makası ile toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük değerler ise temiz alanda çay makası ile toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Çay toplama araçlarına göre birinci sürgün yaş çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	0,14	0,002	0,11	0,17
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,16	0,006	0,11	0,27
Çay Makası (Kirli)	27	0,20	0,013	0,12	0,34
Toplam	81	0,17	0,005	0,11	0,34
<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	1,66	0,073	0,81	2,22
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	2,94	0,150	1,62	4,07
Çay Makası (Kirli)	27	2,39	0,110	1,19	3,67
Toplam	81	2,33	0,088	0,81	4,07
<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	0,27	0,010	0,18	0,37
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,40	0,024	0,20	0,70
Çay Makası (Kirli)	27	0,32	0,014	0,23	0,46
Toplam	81	0,33	0,011	0,18	0,70
<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	0,20	0,004	0,12	0,24
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,24	0,010	0,17	0,34
Çay Makası (Kirli)	27	0,25	0,017	0,10	0,42
Toplam	81	0,23	0,007	0,10	0,42
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	5,77	0,164	3,96	7,67
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	6,42	0,103	5,69	7,36
Çay Makası (Kirli)	27	7,26	0,151	5,86	8,69
Toplam	81	6,48	0,105	3,96	8,69
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	15,43	0,369	10,42	18,00
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	17,40	0,454	13,61	23,74
Çay Makası (Kirli)	27	19,08	0,397	15,82	21,81
Toplam	81	17,30	0,286	10,42	23,74
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	668,46	50,131	106,65	1260,72
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	1652,15	40,276	1134,22	1986,56
Çay Makası (Kirli)	27	917,07	73,129	359,61	1708,68
Toplam	81	1079,23	56,636	106,65	1986,56

2023 yılı ikinci sürgün döneminde toplanan yaş çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri üzerine çay toplama araçlarının etkisi Tablo 6'da verilmiştir. Çay toplama araçlarına göre yaş çay bitkisi örneklerinin ağır metal

içerikleri Kruskal Wallis H testi ile değerlendirildiğinde istatistiksel olarak tüm elementler $P < 0,001$ seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları

	n	Sıra Ortalaması	df	χ^2	P
Pb					
Çay Makası (Temiz)	27	16,22			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	47,87	2	47,933	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	58,91			
Ni					
Çay Makası (Temiz)	27	23,37			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	65,37	2	46,365	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	34,26			
Co					
Çay Makası (Temiz)	27	19,15			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	54,15	2	35,433	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	49,70			
Cr					
Çay Makası (Temiz)	27	19,70			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	50,37	2	33,371	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	52,93			
Cu					
Çay Makası (Temiz)	27	23,07			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	40,44	2	32,362	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	59,48			
Zn					
Çay Makası (Temiz)	27	17,78			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	44,44	2	45,980	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	60,78			
Mn					
Çay Makası (Temiz)	27	19,48			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	67,85	2	59,165	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	35,67			

Parametreler arasında herhangi bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için Mann Withney U testi uygulanmıştır. Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=38,000$; $z=-5,653$; $U=19,000$; $z=-5,979$; $U=79,000$; $z=-4,941$; $U=79,000$; $z=-4,942$; $U=160,000$; $z=-3,539$; $U=102,000$; $z=-4,543$ ve $U=0,000$; $z=-6,308$; tüm elementler için $P < 0,001$). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içerikleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=22,000$; $z=-5,930$; $U=234,000$; $z=-2,258$; $U=60,000$; $z=-5,270$; $U=75,000$; $z=-5,011$; $U=85,000$; $z=-4,837$; $U=0,000$; $z=-6,308$ ve $U=148,000$; $z=-3,747$; Ni için $P=0,024$; diğer elementler için $P < 0,001$). Kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içerikleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında Co ($P=0,229$) ve Cr elementleri hariç ($P=0,574$) anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=223,500$; $z=-2,440$; $U=52,000$; $z=-5,408$; $U=295,000$; $z=-1,203$; $U=332,000$; $z=-0,563$; $U=145,000$; $z=-3,799$; $U=195,000$; $z=-2,933$ ve $U=4,000$; $z=-6,239$; Pb için $P=0,015$; Zn için $P=0,003$; Ni, Cu ve Mn için $P < 0,001$). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin Ni, Co ve Mn içerikleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içeriklerinden daha yüksektir. Pb, Cr, Cu ve Zn içerikleri ise kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinde daha yüksektir.

En yüksek Ni, Co ve Mn değerleri (ppm) temiz alanda benzinli çay motoru ile toplanan çay örneklerinde, en yüksek Pb, Cr, Cu ve Zn değerleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük değerler ise temiz alanda çay makası ile toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir (Tablo 7).

Tablo 7. Çay toplama araçlarına göre ikinci sürgün yaş çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	0,06	0,002	0,04	0,08
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,11	0,007	0,06	0,19
Çay Makası (Kirli)	27	0,13	0,007	0,07	0,20
Toplam	81	0,10	0,004	0,04	0,20

Tablo 7 (Devam). Çay toplama araçlarına göre ikinci sürgün yaş çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	2,22	0,083	1,38	2,93
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	3,44	0,098	2,35	4,39
Çay Makası (Kirli)	27	2,53	0,068	2,03	3,20
Toplam	81	2,73	0,075	1,38	4,39
<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	0,36	0,023	0,16	0,61
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,59	0,025	0,35	0,83
Çay Makası (Kirli)	27	0,54	0,014	0,41	0,71
Toplam	81	0,50	0,016	0,16	0,83
<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	0,08	0,006	0,06	0,16
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,15	0,007	0,08	0,22
Çay Makası (Kirli)	27	0,17	0,010	0,08	0,29
Toplam	81	0,13	0,006	0,06	0,29
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	8,99	0,112	8,02	10,19
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	10,08	0,258	8,30	14,09
Çay Makası (Kirli)	27	11,68	0,311	7,88	13,72
Toplam	81	10,25	0,185	7,88	14,09
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	13,46	0,249	11,85	15,67
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	23,31	4,101	12,01	96,30
Çay Makası (Kirli)	27	20,39	0,378	17,01	23,48
Toplam	81	19,05	1,434	11,85	96,30
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	912,67	51,759	463,08	1256,78
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	2365,50	42,804	2067,92	2768,93
Çay Makası (Kirli)	27	1324,53	67,632	961,14	2093,91
Toplam	81	1534,23	75,209	463,08	2768,93

2023 yılı üçüncü sürgün döneminde toplanan yaş çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri üzerine çay toplama araçlarının etkisi Tablo 8’de verilmiştir. Çay toplama araçlarına göre yaş çay bitkisi örneklerinin ağır metal içerikleri Kruskal Wallis H testi ile değerlendirildiğinde istatistiksel olarak tüm elementler $P < 0,001$ seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları

	n	Sıra Ortalaması	df	χ^2	P
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	20,43	2	34,126	<0,001
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	45,61			
Çay Makası (Kirli)	27	56,96			

Tablo 8(Devam). Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları

<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	22,52			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	67,19	2	53,014	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	33,30			
<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	21,46			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	37,28	2	45,693	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	64,26			
<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	25,37			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	60,74	2	31,760	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	36,89			
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	19,85			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	58,96	2	38,060	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	44,19			
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	20,04			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	47,26	2	33,903	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	55,70			
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	16,44			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	67,63	2	64,228	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	38,93			

Parametreler arasında herhangi bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için Mann Withney U testi uygulanmıştır. Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; U=107,000; z=-4,456; U=5,000; z=-6,220; U=183,500; z=-3,132; U=51,500; z=-5,416; U=35,000; z=-5,702; U=84,000; z=-4,853 ve U=0,000; z=-6,307; Co için P=0,002; diğer tüm elementler için P < 0,001). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içerikleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında Cr elementi hariç (P=0,059) anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; U=66,500; z=-5,156; U=225,000; z=-2,414; U=18,000; z=-5,995; U=255,500; z=-1,886; U=123,000; z=-4,179; U=79,000; z=-4,939 ve U=66,000; z=-5,165; Ni için P=0,016; diğer elementler için P < 0,001). Kirli

alandaki çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içerikleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında Zn elementi hariç ($P=0,054$) anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=231,500$; $z=-2,302$; $U=17,000$; $z=-6,012$; $U=83,000$; $z=-4,870$; $U=144,500$; $z=-3,807$; $U=209,000$; $z=-2,691$; $U=253,000$; $z=-1,930$ ve $U=10,000$; $z=-6,134$; Pb için $P=0,021$; Cu için $P=0,007$; diğer tüm elementler için $P < 0,001$). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin Ni, Cr, Cu ve Mn içerikleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin ağır metal içeriklerinden daha yüksektir. Pb, Co ve Zn içerikleri ise kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinde daha yüksektir.

En yüksek Ni, Cr, Cu ve Mn değerleri (ppm) temiz alanda benzinli çay motoru ile toplanan çay örneklerinde, en yüksek Pb, Co ve Zn değerleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük değerler ise temiz alanda çay makası ile toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. Çay toplama araçlarına göre üçüncü sürgün yaş çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
Pb					
Çay Makası (Temiz)	27	0,32	0,013	0,20	0,45
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,41	0,009	0,31	0,48
Çay Makası (Kirli)	27	0,45	0,013	0,33	0,59
Toplam	81	0,40	0,009	0,20	0,59
Ni					
Çay Makası (Temiz)	27	2,98	0,120	1,78	3,96
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	5,52	0,201	3,80	6,62
Çay Makası (Kirli)	27	3,44	0,086	2,81	4,63
Toplam	81	3,98	0,148	1,78	6,62
Co					
Çay Makası (Temiz)	27	0,62	0,048	0,33	1,16
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,85	0,051	0,48	1,36
Çay Makası (Kirli)	27	1,53	0,078	0,95	2,35
Toplam	81	1,00	0,055	0,33	2,35

Tablo 9 (Devam). Çay toplama araçlarına göre üçüncü sürgün yaş çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	0,22	0,011	0,14	0,35
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,46	0,036	0,25	0,77
Çay Makası (Kirlili)	27	0,27	0,020	0,15	0,56
Toplam	81	0,32	0,018	0,14	0,77
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	11,25	0,197	9,84	14,27
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	13,88	0,183	12,25	15,96
Çay Makası (Kirlili)	27	12,80	0,30	10,98	15,95
Toplam	81	12,65	0,179	9,84	15,96
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	19,89	0,852	16,76	40,88
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	22,56	0,426	19,35	28,23
Çay Makası (Kirlili)	27	23,97	0,580	17,76	29,37
Toplam	81	22,14	0,413	16,76	40,88
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	890,20	35,281	518,34	1188,33
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	2491,11	58,448	2047,43	2961,87
Çay Makası (Kirlili)	27	1388,09	69,239	960,27	2124,65
Toplam	81	1589,80	81,351	518,34	2961,87

Tüm yaş çay örneklerinin en yüksek Ni, Cr ve Mn değerleri (ppm) temiz alanda benzinli çay motoru ile toplanan çay örneklerinde, en yüksek Pb, Co, Cu ve Zn değerleri kirlili alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük değerler ise temiz alanda çay makası ile toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir (Tablo 10).

Tablo 10. Çay toplama araçlarına göre tüm yaş çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	81	0,17	0,013	0,04	0,45
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	81	0,22	0,153	0,06	0,48
Çay Makası (Kirlili)	81	0,26	0,017	0,07	0,55
Toplam	243	0,22	0,009	0,04	0,55
<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	81	2,28	0,081	0,81	3,96
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	81	3,97	0,153	1,62	6,62
Çay Makası (Kirlili)	81	2,78	0,073	1,19	4,63
Toplam	243	3,01	0,078	0,81	6,62

Tablo 10 (Devam). Çay toplama araçlarına göre tüm yaş çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	81	0,42	0,024	0,16	1,16
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	81	0,61	0,029	0,20	1,36
Çay Makası (Kirli)	81	0,80	0,064	0,23	2,35
Toplam	243	0,61	0,027	0,16	2,35
<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	81	0,17	0,008	0,06	0,35
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	81	0,28	0,019	0,08	0,77
Çay Makası (Kirli)	81	0,23	0,011	0,08	0,56
Toplam	243	0,23	0,008	0,06	0,77
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	81	8,67	0,268	3,96	14,27
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	81	10,13	0,358	5,69	15,96
Çay Makası (Kirli)	81	10,58	0,307	5,86	15,95
Toplam	243	9,79	0,187	3,96	15,96
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	81	16,26	0,437	10,42	40,88
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	81	21,09	1,397	12,01	96,30
Çay Makası (Kirli)	81	21,14	0,350	15,82	29,37
Toplam	243	19,50	0,521	10,42	96,30
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	81	823,78	29,141	106,65	1260,72
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	81	2169,59	49,503	1134,22	2961,87
Çay Makası (Kirli)	81	1209,90	46,245	359,61	2124,65
Toplam	243	1401,09	43,843	106,65	2961,87

3.1.1.2. Mamul Çay Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri

2023 yılı birinci sürgün döneminde toplanan çay bitkisi örneklerinden elde edilen mamul çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri üzerine çay toplama araçlarının etkisi Tablo 11’de verilmiştir. Çay toplama araçlarına göre mamul çayların ağır metal içerikleri Kruskal Wallis H testi ile değerlendirildiğinde istatistiksel olarak tüm elementler $P < 0,001$ seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 11).

Tablo 11. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları

	n	Sıra Ortalaması	df	x ²	P
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	14,83	2	54,991	<0,001
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	61,15			
Çay Makası (Kirli)	27	47,02			
<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	18,30	2	46,540	<0,001
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	61,85			
Çay Makası (Kirli)	27	42,85			

Tablo 11 (Devam). Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları

<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	18,04			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	58,89	2	42,603	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	46,07			
<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	18,56			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	55,70	2	38,055	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	48,74			
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	16,44			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	48,33	2	46,519	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	58,22			
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	17,74			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	46,07	2	43,791	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	59,19			
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	17,30			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	68,00	2	63,518	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	37,70			

Parametreler arasında herhangi bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için Mann Withney U testi uygulanmıştır. Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; U=8,000; z=-6,170; U=43,000; z=-5,564; U=44,000; z=-5,547; U=51,000; z=-5,426; U=30,000; z=-5,789; U=58,000; z=-5,304 ve U=0,000; z=-6,308; tüm elementler için $P < 0,001$). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içerikleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; U=14,500; z=-6,058; U=73,000; z=-5,045; U=65,000; z=-5,183; U=72,000; z=-5,062; U=36,000; z=-5,685; U=43,000; z=-5,564 ve U=89,000; z=-4,768; tüm elementler için $P < 0,001$). Kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen

mamul çayların ağır metal içerikleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında Cr elementi hariç ($P=0,148$) anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=177,000$; $z=-3,245$; $U=123,000$; $z=-4,180$; $U=202,000$; $z=-2,812$; $U=281,000$; $z=-1,445$; $U=228,000$; $z=-2,362$; $U=195,000$; $z=-2,933$ ve $U=0,000$; $z=-6,308$; Pb için $P=0,001$; Co için $P=0,005$; Cu için $P=0,018$; Zn için $P=0,003$; Ni ve Mn için $P < 0,001$). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr ve Mn içerikleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir. Sadece Cu ve Zn içerikleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda daha yüksektir.

En yüksek Pb, Ni, Co, Cr ve Mn değerleri (ppm) temiz alanda benzinli çay motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda, en yüksek Cu ve Zn değerleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda tespit edilmiştir. En düşük değerler ise temiz alanda çay makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda tespit edilmiştir (Tablo 12).

Tablo 12. Çay toplama araçlarına göre birinci sürgün mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
Pb					
Çay Makası (Temiz)	27	0,12	0,014	0,05	0,37
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,42	0,012	0,30	0,51
Çay Makası (Kirli)	27	0,36	0,008	0,26	0,42
Toplam	81	0,30	0,015	0,05	0,51
Ni					
Çay Makası (Temiz)	27	2,14	0,222	1,47	6,43
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	5,43	0,359	3,10	8,49
Çay Makası (Kirli)	27	3,32	0,151	2,12	4,93
Toplam	81	3,63	0,212	1,47	8,49

Tablo 12 (Devam). Çay toplama araçlarına göre birinci sürgün mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	0,27	0,036	0,16	0,98
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,77	0,040	0,50	1,09
Çay Makası (Kirli)	27	0,58	0,022	0,36	0,77
Toplam	81	0,54	0,029	0,16	1,09
<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	0,25	0,027	0,07	0,71
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,51	0,011	0,40	0,62
Çay Makası (Kirli)	27	0,48	0,020	0,30	0,70
Toplam	81	0,41	0,017	0,07	0,71
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	5,98	0,648	3,80	19,09
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	13,65	0,163	12,24	16,23
Çay Makası (Kirli)	27	14,46	0,371	10,92	17,86
Toplam	81	11,37	0,496	3,80	19,09
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	17,33	1,763	11,48	53,12
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	34,50	0,534	29,69	40,68
Çay Makası (Kirli)	27	38,50	1,035	30,09	46,87
Toplam	81	30,11	1,240	11,48	53,12
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	851,92	89,353	374,66	2214,31
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	3223,01	73,239	2611,23	4430,09
Çay Makası (Kirli)	27	1679,64	107,54	902,85	2537,76
Toplam	81	1918,19	121,520	374,66	4430,09

2023 yılı ikinci sürgün döneminde toplanan çay bitkisi örneklerinden elde edilen mamul çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri üzerine çay toplama araçlarının etkisi Tablo 13'te verilmiştir. Çay toplama araçlarına göre mamul çayların ağır metal içerikleri Kruskal Wallis H testi ile değerlendirildiğinde istatistiksel olarak tüm elementler $P < 0,001$ seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 13).

Tablo 13. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları

	n	Sıra Ortalaması	df	x ²	P
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	22,91	2	29,998	<0,001
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	57,91			
Çay Makası (Kirli)	27	42,19			
<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	20,44	2	33,421	<0,001
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	56,33			
Çay Makası (Kirli)	27	46,22			

Tablo 13 (Devam). Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları

<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	19,33			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	56,96	2	36,928	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	46,70			
<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	14,56			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	50,37	2	52,634	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	58,07			
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	26,11			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	40,04	2	23,124	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	56,85			
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	21,30			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	41,63	2	36,716	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	60,07			
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	18,07			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	67,19	2	59,622	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	37,74			

Parametreler arasında herhangi bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için Mann Withney U testi uygulanmıştır. Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; U=101,500; z=-4,552; U=40,000; z=-5,616; U=51,000; z=-5,425; U=0,000; z=-6,308; U=207,000; z=-2,726; U=156,000; z=-3,608 ve U=0,000; z=-6,308; Cu için P=0,006; diğer tüm elementler için P < 0,001). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içerikleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; U=139,000; z=-3,903; U=134,000; z=-3,989; U=93,000; z=-4,699; U=15,000; z=-6,049; U=120,000; z=-4,231; U=41,000; z=-5,598 ve U=110,000; z=-4,404; tüm elementler için P < 0,001). Kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde

edilen mamul çayların ağır metal içerikleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında Ni ($P=0,121$) ve Cr elementleri ($P=0,054$) hariç anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=171,000$; $z=-3,349$; $U=275,000$; $z=-1,549$; $U=247,000$; $z=-2,033$; $U=253,000$; $z=-1,930$; $U=181,000$; $z=-3,176$; $U=173,000$; $z=-3,314$ ve $U=22,000$; $z=-5,927$; Co için $P=0,042$; Cu için $P=0,001$; Pb, Zn ve Mn için $P < 0,001$). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co ve Mn içerikleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir. Cr, Cu ve Zn içerikleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda daha yüksektir.

En yüksek Pb, Ni, Co ve Mn değerleri (ppm) temiz alanda benzinli çay motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda, en yüksek Cr, Cu ve Zn değerleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda tespit edilmiştir. En düşük değerler ise temiz alanda çay makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda tespit edilmiştir (Tablo 14).

Tablo 14. Çay toplama araçlarına göre ikinci sürgün mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	0,14	0,027	0,08	0,85
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,19	0,009	0,09	0,27
Çay Makası (Kirli)	27	0,16	0,005	0,11	0,25
Toplam	81	0,16	0,010	0,08	0,85
<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	2,64	0,102	1,82	3,37
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	4,26	0,169	3,00	5,81
Çay Makası (Kirli)	27	3,87	0,225	2,35	6,38
Toplam	81	3,59	0,125	1,816	6,38
<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	0,40	0,025	0,20	0,67
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,68	0,029	0,45	0,98
Çay Makası (Kirli)	27	0,59	0,022	0,41	0,79
Toplam	81	0,55	0,019	0,20	0,98

Tablo 14 (Devam). Çay toplama araçlarına göre ikinci sürgün mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	1,98	0,143	0,76	3,28
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	4,80	0,246	3,36	8,19
Çay Makası (Kirli)	27	8,13	1,026	2,08	20,84
Toplam	81	4,97	0,449	0,76	20,84
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	10,43	0,213	8,62	13,30
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	11,00	0,129	10,08	12,20
Çay Makası (Kirli)	27	11,97	0,250	9,86	15,70
Toplam	81	11,14	0,136	8,62	15,70
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	14,98	0,382	11,87	18,96
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	17,28	0,345	14,43	21,16
Çay Makası (Kirli)	27	19,19	0,391	17,19	26,38
Toplam	81	17,15	0,286	11,87	26,38
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	1014,18	42,444	725,31	1464,71
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	2350,25	75,771	1911,66	2983,22
Çay Makası (Kirli)	27	1428,16	64,545	968,34	2064,57
Toplam	81	1597,53	71,879	725,31	2983,22

2023 yılı üçüncü sürgün döneminde toplanan çay bitkisi örneklerinden elde edilen mamul çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri üzerine çay toplama araçlarının etkisi Tablo 15’te verilmiştir. Çay toplama araçlarına göre mamul çayların ağır metal içerikleri Kruskal Wallis H testi ile değerlendirildiğinde istatistiksel olarak tüm elementler $P < 0,001$ seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 15).

Tablo 15. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları

	n	Sıra Ortalaması	df	χ^2	P
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	21,74	2	40,106	<0,001
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	62,15			
Çay Makası (Kirli)	27	39,11			
<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	18,94	2	49,503	<0,001
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	63,96			
Çay Makası (Kirli)	27	40,09			
<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	17,43	2	45,570	<0,001
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	59,87			
Çay Makası (Kirli)	27	45,70			

Tablo 15 (Devam). Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları

<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	18,30			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	61,24	2	45,434	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	43,46			
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	23,13			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	59,81	2	32,898	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	40,06			
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	26,28			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	57,11	2	23,334	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	39,61			
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	14,33			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	68,00	2	70,272	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	40,67			

Parametreler arasında herhangi bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için Mann Withney U testi uygulanmıştır. Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; U=46,000; z=-5,512; U=24,000; z=-5,891; U=18,000; z=-5,996; U=38,000; z=-5,649; U=37,000; z=-5,666; U=84,000; z=-4,853 ve U=0,000; z=-6,308; tüm elementler için $P < 0,001$). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içerikleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; U=163,000; z=-3,487; U=109,500; z=-4,413; U=74,500; z=-5,018; U=78,000; z=-4,958; U=209,500; z=-2,682; U=247,500; z=-2,025 ve U=9,000; z=-6,152; Cu için $P=0,007$; Zn için $P=0,043$; diğer tüm elementler için $P < 0,001$). Kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içerikleri temiz

alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir (sırasıyla; U=112,000; z=-4,371; U=85,000; z=-4,836; U=201,500; z=-2,821; U=144,500; z=-3,806; U=184,000; z=-3,123; U=210,000; z=-2,674 ve U=0,000; z=-6,307; Co için P=0,005; Cu için P=0,002; Zn için P=0,008; Pb, Ni, Cr ve Mn için P < 0,001). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

En yüksek Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm) temiz alanda benzinli çay motoru ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda, en düşük değerler ise temiz alanda çay makası ile toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda tespit edilmiştir (Tablo 16).

Tablo 16. Çay toplama araçlarına göre üçüncü sürgün mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	0,35	0,011	0,26	0,45
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	0,49	0,014	0,37	0,63
Çay Makası (Kirli)	27	0,41	0,008	0,35	0,52
Toplam	81	0,42	0,009	0,26	0,63
<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	3,47	0,116	2,65	4,97
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	5,54	0,212	4,04	6,87
Çay Makası (Kirli)	27	4,14	0,069	3,68	5,30
Toplam	81	4,38	0,127	2,65	6,87
<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	0,70	0,033	0,43	1,11
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	1,49	0,080	0,91	2,14
Çay Makası (Kirli)	27	1,14	0,055	0,52	1,76
Toplam	81	1,11	0,049	0,43	2,14

Tablo 16 (Devam). Çay toplama araçlarına göre üçüncü sürgün mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	2,10	0,099	1,24	3,16
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	4,47	0,235	1,8	7,24
Çay Makası (Kirli)	27	3,22	0,163	1,98	5,41
Toplam	81	3,26	0,147	1,24	7,24
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	12,31	0,130	11,23	14,54
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	13,63	0,119	12,49	14,79
Çay Makası (Kirli)	27	12,92	0,162	11,66	14,54
Toplam	81	12,96	0,099	11,23	14,79
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	20,67	0,382	17,25	26,09
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	23,90	0,484	21,05	31,52
Çay Makası (Kirli)	27	21,90	0,483	18,18	26,70
Toplam	81	22,16	0,297	17,25	31,52
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	820,90	31,857	489,64	987,04
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	2086,66	47,894	1839,33	2764,51
Çay Makası (Kirli)	27	1339,52	47,944	955,86	1758,96
Toplam	81	1415,69	63,099	489,64	2764,51

Tüm mamul çay örneklerinin en yüksek Pb, Ni, Co, Cr ve Mn değerleri (ppm) temiz alanda benzinli çay motoru ile toplanan çay örneklerinde, en yüksek Cu ve Zn değerleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük değerler ise temiz alanda çay makası ile toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir (Tablo 17).

Tablo 17. Çay toplama araçlarına göre tüm mamul çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	81	0,21	0,016	0,05	0,85
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	81	0,37	0,016	0,09	0,63
Çay Makası (Kirli)	81	0,31	0,013	0,11	0,51
Toplam	243	0,29	0,010	0,05	0,85
<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	81	2,75	0,108	1,47	6,43
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	81	5,08	0,162	3,00	8,49
Çay Makası (Kirli)	81	3,78	0,100	2,12	6,38
Toplam	243	3,87	0,095	1,47	8,49
<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	81	0,46	0,027	0,16	1,11
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	81	0,98	0,051	0,45	2,14
Çay Makası (Kirli)	81	0,77	0,036	0,36	1,76
Toplam	243	0,74	0,026	0,16	2,14

Tablo 17 (Devam). Çay toplama araçlarına göre tüm mamul çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	81	1,44	0,111	0,07	3,29
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	81	3,26	0,246	0,40	8,19
Çay Makası (Kirlili)	81	3,94	0,492	0,30	20,84
Toplam	243	2,88	0,198	0,07	20,84
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	81	9,57	0,375	3,80	19,09
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	81	12,76	0,160	10,08	16,23
Çay Makası (Kirlili)	81	13,12	0,195	9,86	17,86
Toplam	243	11,82	0,182	3,80	19,09
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	81	17,66	0,661	11,48	53,12
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	81	25,23	0,835	14,43	40,68
Çay Makası (Kirlili)	81	26,53	1,034	17,19	46,87
Toplam	243	23,14	0,553	11,48	53,12
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	81	895,67	35,494	374,66	2214,31
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	81	2553,31	66,329	1839,33	4430,09
Çay Makası (Kirlili)	81	1482,44	47,039	902,85	2537,76
Toplam	243	1643,80	53,044	374,66	4430,09

3.1.2. Sürgün Dönemlerine Göre Ağır Metal İçerikleri

3.1.2.1. Yaş Çay Örneklerinin (işlem görmemiş) Ağır Metal İçerikleri

2023 yılı birinci, ikinci ve üçüncü sürgün dönemlerinde toplanan yaş çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri üzerine sürgün dönemlerinin etkisi Tablo 18’de verilmiştir. Sürgün dönemlerine göre yaş çay bitkisi örneklerinin ağır metal içerikleri Kruskal-Wallis H testi ile değerlendirildiğinde istatistiksel olarak tüm elementler ise $P < 0,001$ seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 18).

Tablo 18. Sürgün dönemlerine göre Kruskal-Wallis test sonuçları

	n	Sıra Ortalaması	df	χ^2	P
<i>Pb</i>					
Birinci Sürgün	81	110,88			
İkinci Sürgün	81	53,40	2	183,390	<0,001
Üçüncü Sürgün	81	201,72			
<i>Ni</i>					
Birinci Sürgün	81	79,10			
İkinci Sürgün	81	110,36	2	81,167	<0,001
Üçüncü Sürgün	81	176,54			

Tablo 18 (Devam). Sürgün dönemlerine göre Kruskal-Wallis test sonuçları

<i>Co</i>					
Birinci Sürgün	81	59,09			
İkinci Sürgün	81	121,07	2	131,720	<0,001
Üçüncü Sürgün	81	185,84			
<i>Cr</i>					
Birinci Sürgün	81	138,74			
İkinci Sürgün	81	57,99	2	108,390	<0,001
Üçüncü Sürgün	81	169,27			
<i>Cu</i>					
Birinci Sürgün	81	41,86			
İkinci Sürgün	81	134,38	2	183,048	<0,001
Üçüncü Sürgün	81	189,75			
<i>Zn</i>					
Birinci Sürgün	81	92,83			
İkinci Sürgün	81	95,75	2	75,597	<0,001
Üçüncü Sürgün	81	177,42			
<i>Mn</i>					
Birinci Sürgün	81	89,79			
İkinci Sürgün	81	137,26	2	25,536	<0,001
Üçüncü Sürgün	81	138,95			

Parametreler arasında herhangi bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için Mann Withney U testi uygulanmıştır. Birinci sürgün döneminde toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile ikinci sürgün döneminde toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında Zn elementi ($P=0,671$) hariç anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=1004,000$; $z=-7,627$; $U=2197,000$; $z=-3,630$; $U=1173,000$; $z=-7,060$; $U=890,000$; $z=-8,008$; $U=70,000$; $z=-10,755$; $U=3153,500$; $z=-0,425$ ve $U=2010,000$; $z=-4,256$; diğer tüm elementler için $P < 0,001$). Pb, Cr ve Zn içerikleri birinci sürgün döneminde yüksek iken, Ni, Co, Cu ve Mn içerikleri ise ikinci sürgün döneminde daha yüksektir.

Birinci sürgün döneminde toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile üçüncü sürgün döneminde toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=103,500$; $z=-10,643$; $U=889,000$; $z=-8,011$; $U=292,000$; $z=-10,011$; $U=2246,000$; $z=-3,466$; $U=0,000$; $z=-10,989$; $U=791,000$; $z=-8,340$ ve $U=1942,000$; $z=-4,484$; tüm elementler için $P < 0,001$). Üçüncü sürgün döneminde toplanan çay örneklerinin ağır metal içerikleri birinci sürgün döneminde toplanan çay örneklerinin ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

İkinci sürgün döneminde toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile üçüncü sürgün döneminde toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında Mn elementi hariç ($P=0,908$) anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=0,000$; $z=-10,990$; $U=1254,000$; $z=-6,788$; $U=1098,000$; $z=-7,311$; $U=486,500$; $z=-9,360$; $U=1073,000$; $z=-7,395$; $U=1281,000$; $z=-6,698$ ve $U=3246,000$; $z=-0,116$; diğer tüm elementler için $P < 0,001$). Üçüncü sürgün döneminde toplanan çay örneklerinin ağır metal içerikleri ikinci sürgün döneminde toplanan çay örneklerinin ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

En yüksek Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm) üçüncü sürgün döneminde toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük Pb ve Cr değerleri ikinci sürgün döneminde, Ni, Co, Cu, Zn ve Mn değerleri ise birinci sürgün döneminde toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir (Tablo 19).

Tablo 19. Sürgün dönemlerine göre yaş çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
<i>Pb</i>					
Birinci Sürgün Dönemi	81	0,17	0,005	0,11	0,34
İkinci Sürgün Dönemi	81	0,10	0,004	0,04	0,20
Üçüncü Sürgün Dönemi	81	0,40	0,009	0,20	0,55
Toplam	243	0,22	0,009	0,04	0,55
<i>Ni</i>					
Birinci Sürgün Dönemi	81	2,33	0,088	0,81	4,07
İkinci Sürgün Dönemi	81	2,73	0,075	1,38	4,39
Üçüncü Sürgün Dönemi	81	3,98	0,148	1,78	6,62
Toplam	243	3,01	0,077	0,81	6,62
<i>Co</i>					
Birinci Sürgün Dönemi	81	0,33	0,011	0,18	0,70
İkinci Sürgün Dönemi	81	0,50	0,016	0,16	0,83
Üçüncü Sürgün Dönemi	81	1,00	0,055	0,33	2,35
Toplam	243	0,61	0,026	0,16	2,35
<i>Cr</i>					
Birinci Sürgün Dönemi	81	0,23	0,007	0,10	0,42
İkinci Sürgün Dönemi	81	0,13	0,006	0,06	0,29
Üçüncü Sürgün Dönemi	81	0,32	0,018	0,14	0,77
Toplam	243	0,23	0,008	0,06	0,77
<i>Cu</i>					
Birinci Sürgün Dönemi	81	6,48	0,105	3,96	8,69
İkinci Sürgün Dönemi	81	10,25	0,185	7,88	14,09
Üçüncü Sürgün Dönemi	81	12,65	0,179	9,84	15,96
Toplam	243	9,79280	0,187	3,96	15,96

Tablo 19 (Devam). Sürgün dönemlerine göre yaş çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

<i>Zn</i>					
Birinci Sürgün Dönemi	81	17,30	0,286	10,42	23,74
İkinci Sürgün Dönemi	81	19,05	1,434	11,85	96,30
Üçüncü Sürgün Dönemi	81	22,14	0,413	16,76	40,88
Toplam	243	19,50	0,520	10,42	96,30
<i>Mn</i>					
Birinci Sürgün Dönemi	81	1079,23	56,636	106,65	1986,56
İkinci Sürgün Dönemi	81	1534,23	75,209	463,08	2768,93
Üçüncü Sürgün Dönemi	81	1589,80	81,351	518,34	2961,87
Toplam	243	1401,09	43,842	106,65	2961,87

3.1.2.2. Mamul Çay Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri

2023 yılı birinci, ikinci ve üçüncü sürgün dönemlerinde toplanan yaş çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri üzerine sürgün dönemlerinin etkisi Tablo 20’de verilmiştir. Sürgün dönemlerine göre yaş çay bitkisi örneklerinin ağır metal içerikleri Kruskal-Wallis H testi ile değerlendirildiğinde istatistiksel olarak Mn elementi $P=0,018$, diğer tüm elementler ise $P < 0,001$ seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 20).

Tablo 20. Sürgün dönemlerine göre Kruskal-Wallis test sonuçları

	n	Sıra Ortalaması	df	χ^2	P
<i>Pb</i>					
Birinci Sürgün	81	122,99	2	112,759	<0,001
İkinci Sürgün	81	62,87			
Üçüncü Sürgün	81	180,14			
<i>Ni</i>					
Birinci Sürgün	81	100,98	2	26,749	<0,001
İkinci Sürgün	81	110,51			
Üçüncü Sürgün	81	154,52			
<i>Co</i>					
Birinci Sürgün	81	90,51	2	93,028	<0,001
İkinci Sürgün	81	91,99			
Üçüncü Sürgün	81	183,50			
<i>Cr</i>					
Birinci Sürgün	81	41,00	2	164,141	<0,001
İkinci Sürgün	81	171,74			
Üçüncü Sürgün	81	153,26			
<i>Cu</i>					
Birinci Sürgün	81	135,69	2	50,324	<0,001
İkinci Sürgün	81	77,81			
Üçüncü Sürgün	81	152,49			

Tablo 20 (Devam). Sürgün dönemlerine göre Kruskal-Wallis test sonuçları

<i>Zn</i>					
Birinci Sürgün	81	159,53			
İkinci Sürgün	81	66,25	2	79,495	<0,001
Üçüncü Sürgün	81	140,22			
<i>Mn</i>					
Birinci Sürgün	81	137,41			
İkinci Sürgün	81	122,54	2	8,068	0,018
Üçüncü Sürgün	81	106,05			

Parametreler arasında herhangi bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için Mann Withney U testi uygulanmıştır. Birinci sürgün döneminde toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile ikinci sürgün döneminde toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında Ni ($P=0,247$), Co ($P=0,635$) ve Mn ($P=0,110$) elementleri hariç anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=1688,500$; $z=-5,333$; $U=2935,000$; $z=-1,157$; $U=3139,000$; $z=-0,474$; $U=0,000$; $z=-10,989$; $U=2261,000$; $z=-3,415$; $U=1574,500$; $z=-5,717$ ve $U=2804,000$; $z=-1,596$; diğer tüm elementler için $P < 0,001$). Pb, Cu, Zn ve Mn içerikleri birinci sürgün döneminde yüksek iken, Ni, Co ve Cr içerikleri ise ikinci sürgün döneminde daha yüksektir.

Birinci sürgün döneminde toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile üçüncü sürgün döneminde toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında Cu elementi ($P=0,764$) hariç anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=1768,500$; $z=-5,065$; $U=1923,000$; $z=-4,547$; $U=871,500$; $z=-8,070$; $U=0,000$; $z=-10,989$; $U=3191,000$; $z=-0,300$; $U=1947,000$; $z=-4,467$ ve $U=2509,000$; $z=-2,584$; Mn için $P=0,010$, diğer tüm elementler için $P < 0,001$). Pb, Ni, Co ve Cr içerikleri üçüncü sürgün döneminde toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda, Cu, Zn ve Mn içerikleri birinci sürgün döneminde toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda daha yüksektir.

İkinci sürgün döneminde toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile üçüncü sürgün döneminde toplanan çay örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında Mn elementi hariç ($P=0,081$) anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=83,000$; $z=-10,712$; $U=2004,000$; $z=-4,276$; $U=708,000$; $z=-8,618$; $U=2532,000$; $z=-2,507$; $U=721,000$; $z=-8,574$; $U=471,000$; $z=-9,411$ ve

$U=2760,000$; $z=-1,744$; Cr için $P=0,012$, diğer tüm elementler için $P < 0,001$). Cr ve Mn elementleri hariç üçüncü sürgün döneminde toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içerikleri ikinci sürgün döneminde toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

En yüksek Zn ve Mn değerleri birinci sürgün, Cr değeri ikinci sürgün, Pb, Ni, Co ve Cu değerleri (ppm) üçüncü sürgün döneminde toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda tespit edilmiştir. En düşük Co ve Cr değerleri birinci, Pb, Ni, Cu ve Zn değerleri ikinci, Mn değeri ise üçüncü sürgün döneminde toplanan çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda tespit edilmiştir (Tablo 21).

Tablo 21. Sürgün dönemlerine göre mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
<i>Pb</i>					
Birinci Sürgün Dönemi	81	0,30	0,015	0,05	0,51
İkinci Sürgün Dönemi	81	0,16	0,010	0,08	0,85
Üçüncü Sürgün Dönemi	81	0,42	0,009	0,26	0,63
Toplam	243	0,29	0,009	0,05	0,85
<i>Ni</i>					
Birinci Sürgün Dönemi	81	3,63	0,212	1,47	8,49
İkinci Sürgün Dönemi	81	3,59	0,125	1,82	6,38
Üçüncü Sürgün Dönemi	81	4,38	0,127	2,65	6,87
Toplam	243	3,87	0,095	1,47	8,49
<i>Co</i>					
Birinci Sürgün Dönemi	81	0,54	0,029	0,16	1,09
İkinci Sürgün Dönemi	81	0,55	0,019	0,20	0,98
Üçüncü Sürgün Dönemi	81	1,11	0,049	0,43	2,14
Toplam	243	0,74	0,026	0,16	2,14
<i>Cr</i>					
Birinci Sürgün Dönemi	81	0,41	0,017	0,07	0,71
İkinci Sürgün Dönemi	81	4,97	0,449	0,76	20,84
Üçüncü Sürgün Dönemi	81	3,26	0,147	1,24	7,24
Toplam	243	2,88	0,198	0,07	20,84
<i>Cu</i>					
Birinci Sürgün Dönemi	81	11,37	0,496	3,80	19,09
İkinci Sürgün Dönemi	81	11,14	0,136	8,62	15,70
Üçüncü Sürgün Dönemi	81	12,96	0,099	11,23	14,79
Toplam	243	11,82	0,181	3,80	19,09
<i>Zn</i>					
Birinci Sürgün Dönemi	81	30,11	1,240	11,48	53,12
İkinci Sürgün Dönemi	81	17,15	0,286	11,87	26,38
Üçüncü Sürgün Dönemi	81	22,16	0,297	17,25	31,52
Toplam	243	23,14	0,553	11,48	53,12

Tablo 21 (Devam). Sürgün dönemlerine göre mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

<i>Mn</i>					
Birinci Sürgün Dönemi	81	1918,19	121,520	374,66	4430,09
İkinci Sürgün Dönemi	81	1597,53	71,879	725,31	2983,22
Üçüncü Sürgün Dönemi	81	1415,69	63,099	489,64	2764,51
Toplam	243	1643,80	53,043	374,66	4430,09

3.1.3. Çay Formlarına Göre Ağır Metal İçerikleri

2023 yılı birinci, ikinci ve üçüncü sürgün dönemlerinde toplanan yaş çay örnekleri ile bu çay örneklerinden elde edilen mamul çayların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri üzerine çay formlarının (yaş çay ve mamul çay) etkisi Tablo 22’de verilmiştir. Çay formlarına göre ağır metal içerikleri Mann-Whitney U testi ile değerlendirildiğinde istatistiksel olarak Mn elementi $P=0,003$, diğer tüm elementler $P < 0,001$ seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 22).

Tablo 22. Çay formlarına göre Mann-Whitney U test sonuçları

	n	Sıra Ortalaması	U	z	P
<i>Pb</i>					
Yaş Çay	243	209,59	21285,500	-5,322	<0,001
Mamul Çay	243	277,41			
<i>Ni</i>					
Yaş Çay	243	198,07	18484,500	-7,132	0,001
Mamul Çay	243	288,93			
<i>Co</i>					
Yaş Çay	243	212,47	21985,000	-4,870	<0,001
Mamul Çay	243	274,53			
<i>Cr</i>					
Yaş Çay	243	137,48	3761,500	-16,643	<0,001
Mamul Çay	243	349,52			
<i>Cu</i>					
Yaş Çay	243	195,47	17854,000	-7,539	<0,001
Mamul Çay	243	291,53			
<i>Zn</i>					
Yaş Çay	243	214,15	22391,500	-4,608	<0,001
Mamul Çay	243	272,85			
<i>Mn</i>					
Yaş Çay	243	224,77	24972,000	-2,941	0,003
Mamul Çay	243	262,23			

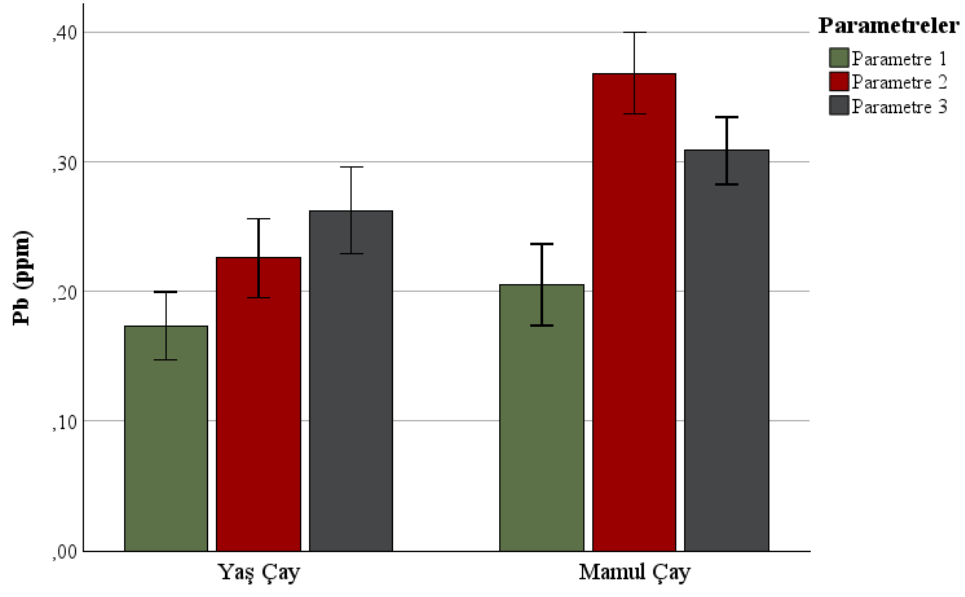
Birinci, ikinci ve üçüncü sürgün dönemlerinde toplanan yaş çay örneklerinden elde edilen mamul çayların ağır metal içerikleri yaş çay örneklerinin ağır metal içeriklerinden daha yüksektir. En yüksek Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

tüm sürgün dönemlerinde toplanan yaş çaylardan elde edilen mamul çaylarda tespit edilmiştir (Tablo 23).

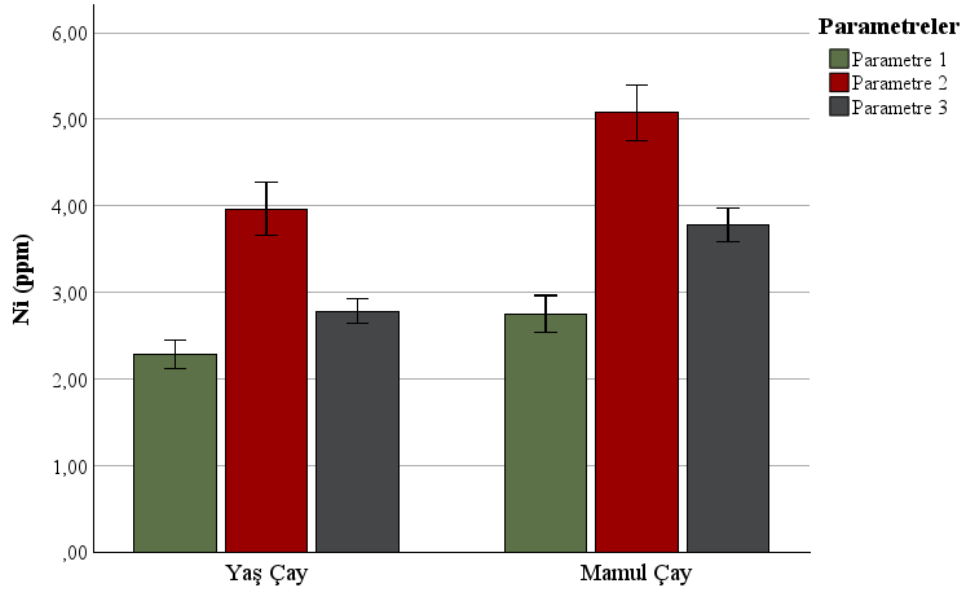
Tablo 23. Çay formlarına göre Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
<i>Pb</i>					
Yaş Çay	243	0,22	0,01	0,04	0,55
Mamul Çay	243	0,29	0,01	0,05	0,85
Toplam	486	0,26	0,01	0,04	0,85
<i>Ni</i>					
Yaş Çay	243	3,01	0,08	0,81	6,62
Mamul Çay	243	3,87	0,10	1,47	8,49
Toplam	486	3,44	0,06	0,81	8,49
<i>Co</i>					
Yaş Çay	243	0,61	0,03	0,16	2,35
Mamul Çay	243	0,74	0,03	0,16	2,19
Toplam	486	0,67	0,02	0,16	2,35
<i>Cr</i>					
Yaş Çay	243	0,23	0,01	0,06	0,77
Mamul Çay	243	2,88	0,20	0,07	20,84
Toplam	486	1,55	0,12	0,06	20,84
<i>Cu</i>					
Yaş Çay	243	9,79	0,19	3,96	15,96
Mamul Çay	243	11,82	0,18	3,80	19,09
Toplam	486	10,81	0,14	3,80	19,09
<i>Zn</i>					
Yaş Çay	243	19,50	0,52	10,42	96,30
Mamul Çay	243	23,14	0,55	11,48	53,12
Toplam	486	21,32	0,39	10,42	96,30
<i>Mn</i>					
Yaş Çay	243	1401,09	43,84	106,65	2961,87
Mamul Çay	243	1643,80	53,04	374,66	4430,09
Toplam	486	1522,45	34,81	106,65	2961,87

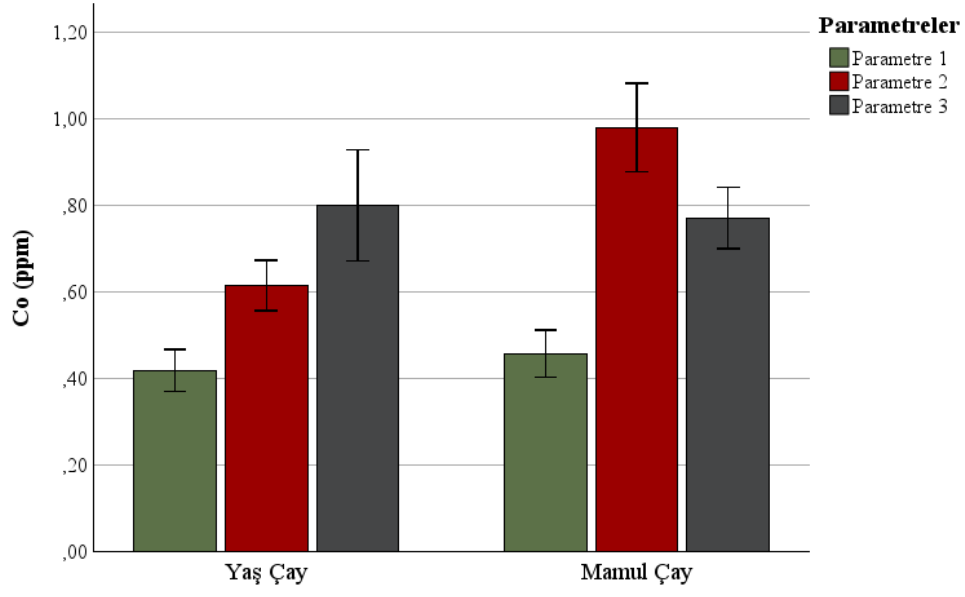
Parametrelere göre çay formlarının Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn, Mn içerikleri (ppm) şekil 1-7’de verilmiştir.



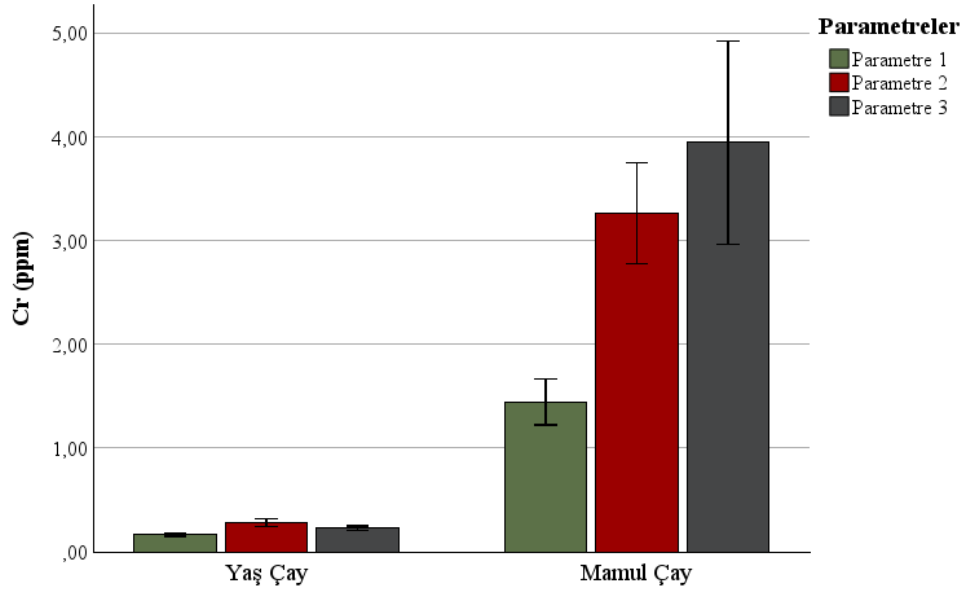
Şekil 1. Parametrelere göre çay formlarının Pb içeriği



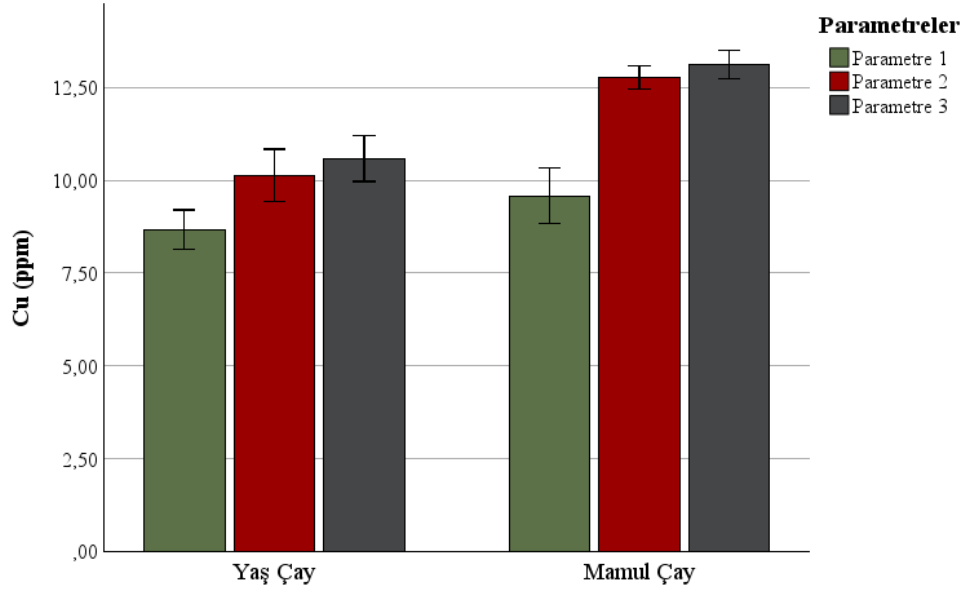
Şekil 2. Parametrelere göre çay formlarının Ni içeriği



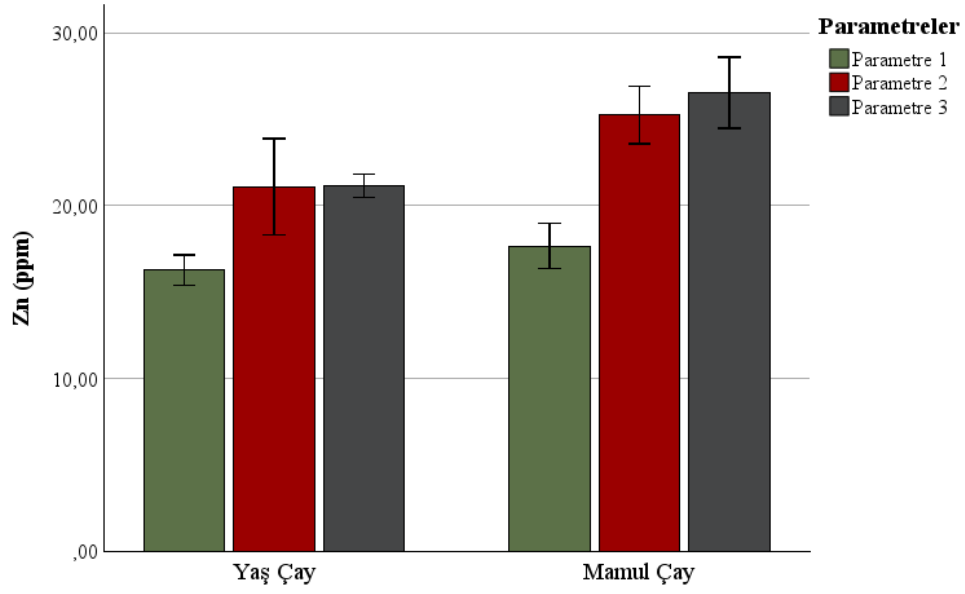
Şekil 3. Parametrelere göre çay formlarının Co içeriği



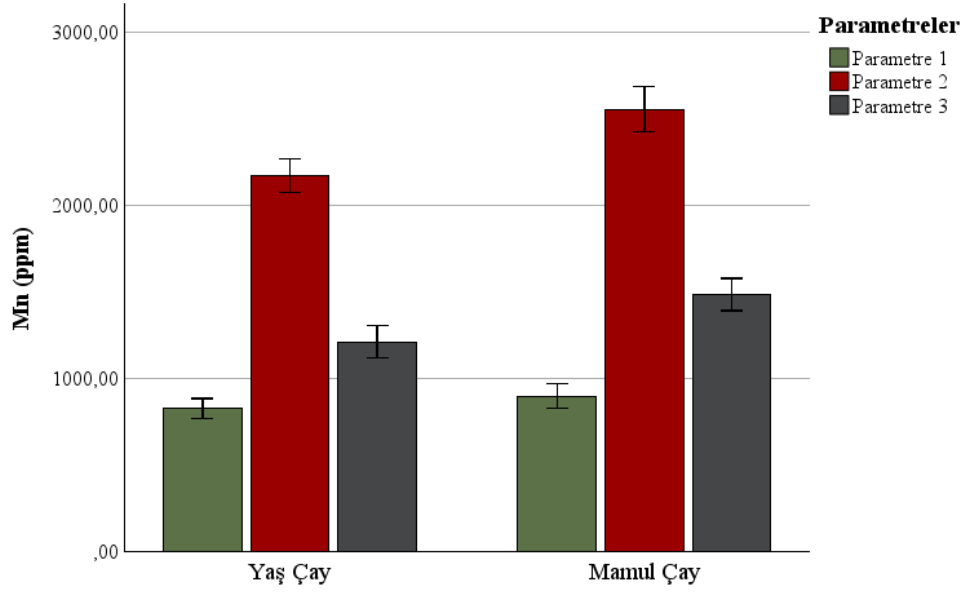
Şekil 4. Parametrelere göre çay formlarının Cr içeriği



Şekil 5. Parametrelere göre çay formlarının Cu içeriği

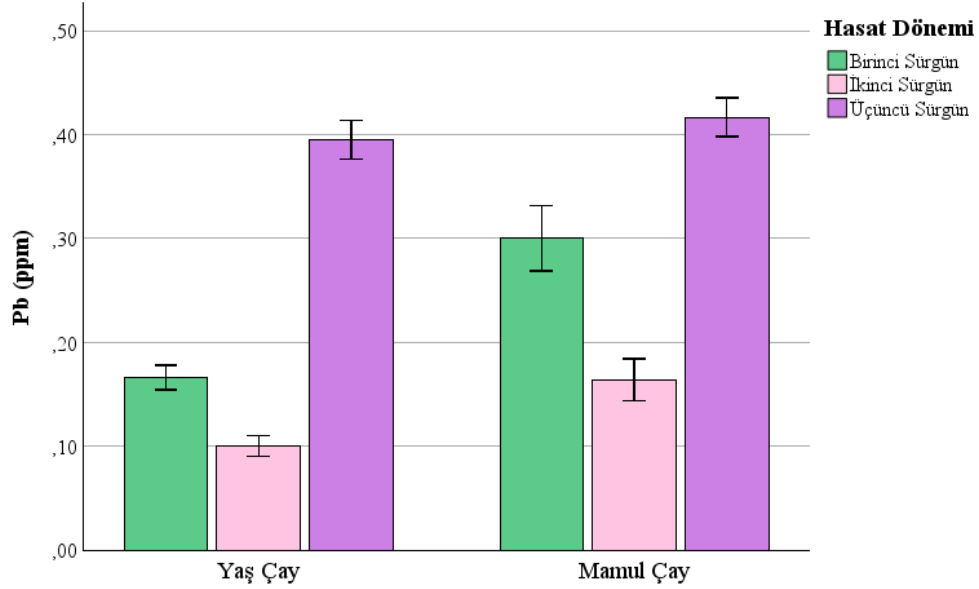


Şekil 6. Parametrelere göre çay formlarının Zn içeriği

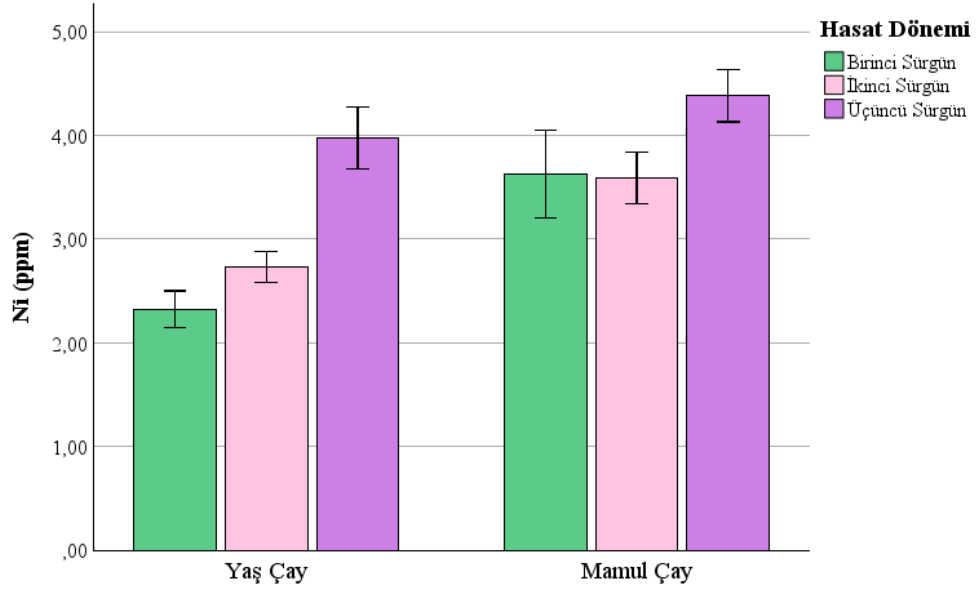


Şekil 7. Parametrelere göre çay formlarının Mn içeriği

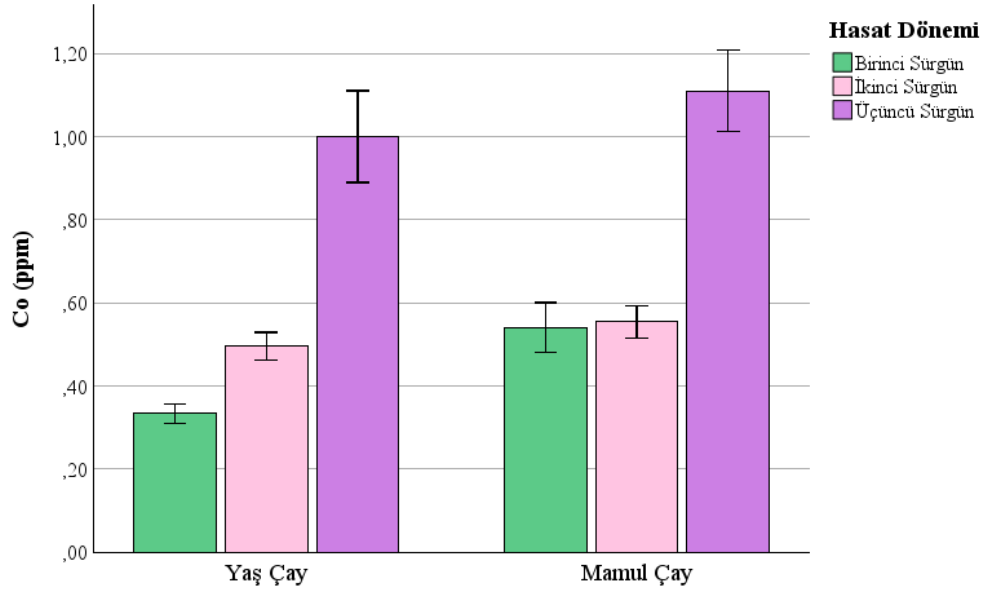
Hasat dönemine göre çay formlarının Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn, Mn içerikleri (ppm) şekil 8-14’ de verilmiştir.



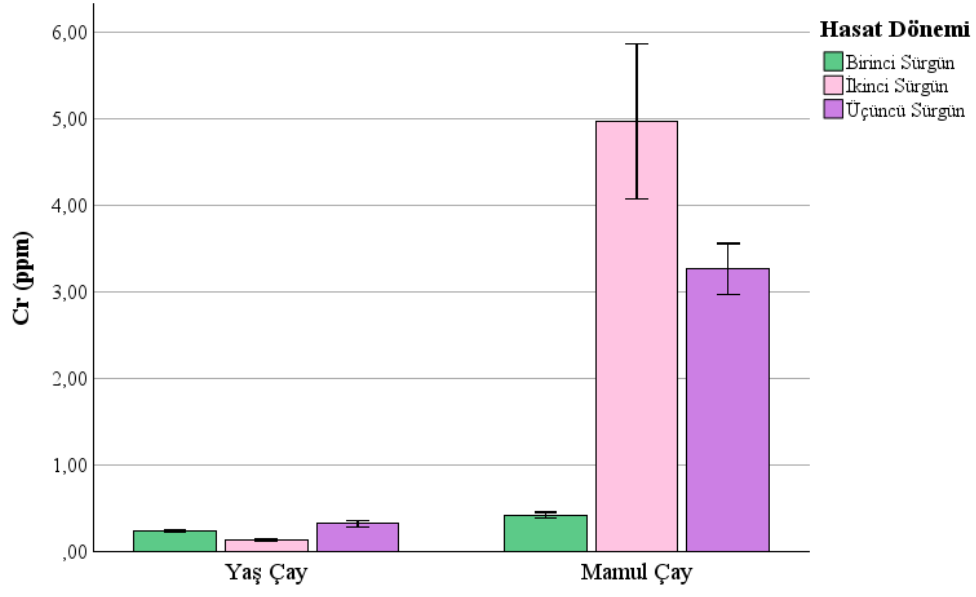
Şekil 8. Hasat dönemine göre çay formlarının Pb içeriği



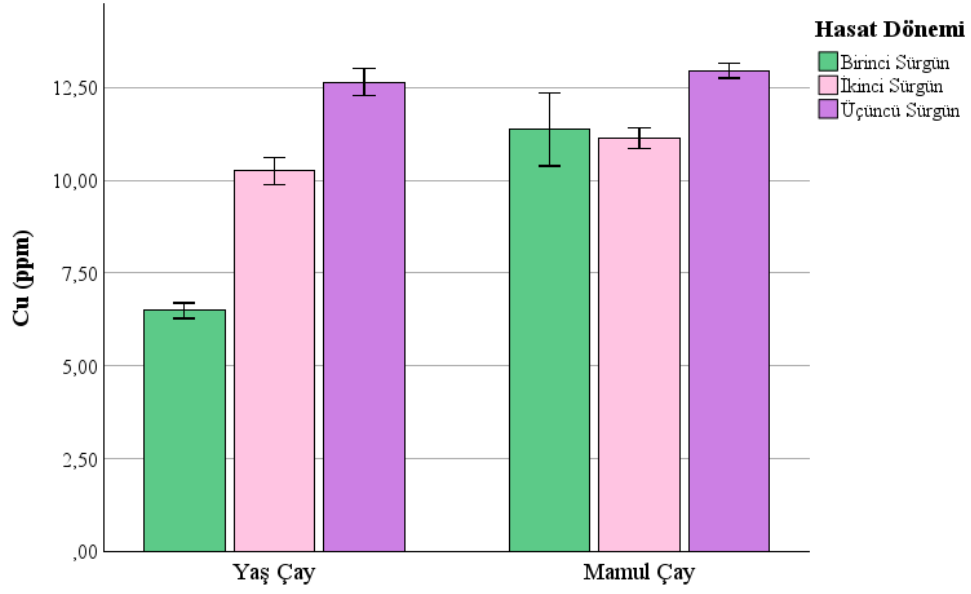
Şekil 9. Hasat dönemine göre çay formlarının Ni içeriği



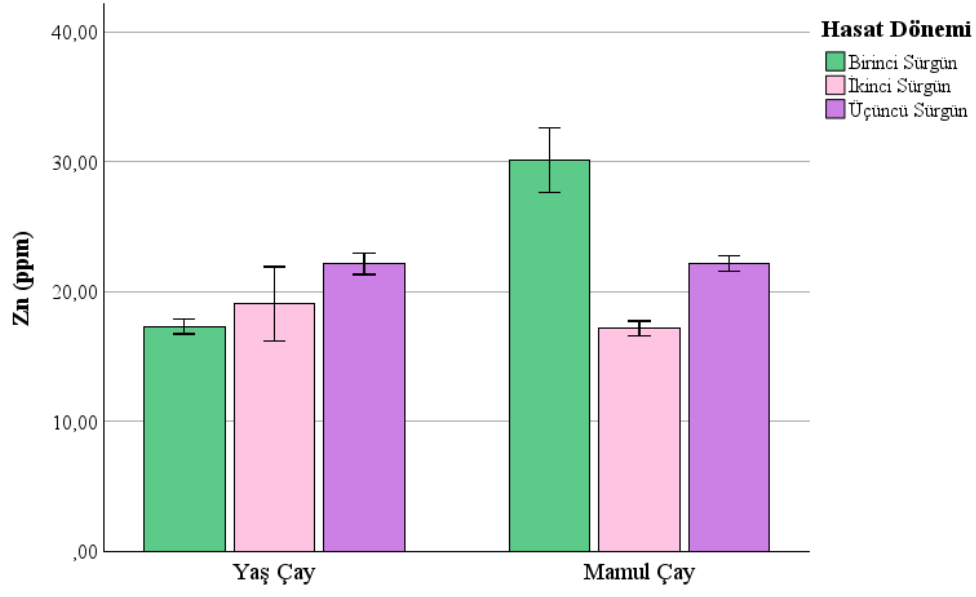
Şekil 10. Hasat dönemine göre çay formlarının Co içeriği



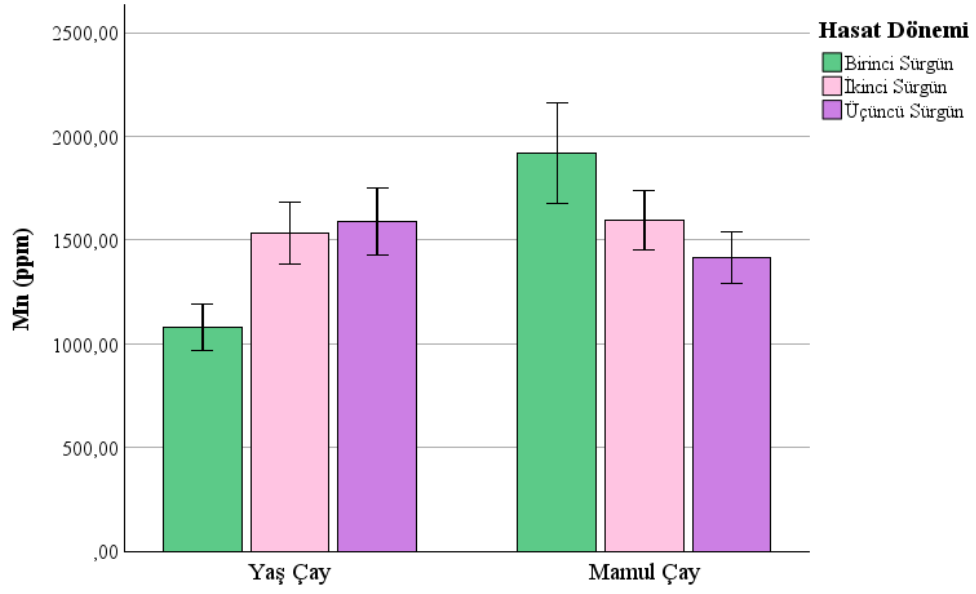
Şekil 11. Hasat dönemine göre çay formlarının Cr içeriği



Şekil 12. Hasat dönemine göre çay formlarının Cu içeriği



Şekil 13. Hasat dönemine göre çay formlarının Zn içeriği



Şekil 14. Hasat dönemine göre çay formlarının Mn içeriği

3.2. Toprak Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri

3.2.1. Çay Toplama Araçlarına Göre Ağır Metal İçerikleri

2023 yılı birinci sürgün döneminden önce alınan toprak örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri üzerine çay toplama araçlarının etkisi Tablo 24'te verilmiştir. Çay toplama araçlarına göre toprak örneklerinin ağır metal içerikleri Kruskal Wallis H testi ile değerlendirildiğinde istatistiksel olarak tüm elementler $P < 0,001$ seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 24).

Tablo 24. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları

	n	Sıra Ortalaması	df	χ^2	P
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	19,48			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	54,22	2	34,484	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	49,30			
<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	19,78			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	57,93	2	36,856	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	45,30			
<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	17,19			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	49,07	2	42,945	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	56,74			
<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	17,85			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	55,85	2	40,272	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	49,30			
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	18,41			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	63,81	2	50,308	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	40,78			
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	23,41			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	54,00	2	24,378	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	45,59			
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	20,11			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	57,26	2	35,237	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	45,63			

Parametreler arasında herhangi bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için Mann Withney U testi uygulanmıştır. Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarının Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarının

Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=19,000$; $z=-5,979$; $U=42,000$; $z=-5,581$; $U=27,000$; $z=-5,841$; $U=55,000$; $z=-5,356$; $U=10,000$; $z=-6,135$; $U=104,000$; $z=-4,508$ ve $U=60,000$; $z=-5,270$; tüm elementler için $P < 0,001$). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği toprakların ağır metal içerikleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği toprakların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarının Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarının Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=129,000$; $z=-4,076$; $U=114,000$; $z=-4,335$; $U=59,000$; $z=-5,287$; $U=49,000$; $z=-5,461$; $U=109,000$; $z=-4,422$; $U=150,000$; $z=-3,712$ ve $U=105,000$; $z=-4,491$; tüm elementler için $P < 0,001$). Kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği toprakların ağır metal içerikleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği toprakların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarının Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarının Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında Pb ($P=0,842$), Cr ($P=0,113$) ve Zn ($P=0,117$) elementleri hariç anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=353,000$; $z=-0,199$; $U=230,000$; $z=-2,328$; $U=245,000$; $z=-2,068$; $U=273,000$; $z=-1,584$; $U=103,000$; $z=-4,525$; $U=274,000$; $z=-1,566$ ve $U=230,000$; $z=-2,328$; Ni için $P=0,020$; Co için $P=0,039$; Mn için $P=0,020$; Cu için $P < 0,001$). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarının Pb, Ni, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarının ağır metal içeriklerinden daha yüksektir. Sadece Co içerikleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarda daha yüksektir.

En yüksek Pb, Ni, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm) temiz alanda benzinli çay motoru ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarda, en yüksek Co değerleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarda tespit

edilmiştir. En düşük değerler ise temiz alanda çay makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştği topraklarda tespit edilmiştir (Tablo 25).

Tablo 25. Çay toplama araçlarına göre birinci sürgün dönemi öncesi alınan toprakların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	34,35	0,938	26,42	42,86
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	47,33	1,069	38,57	61,81
Çay Makası (Kirli)	27	51,40	4,344	29,79	121,84
Toplam	81	44,36	1,710	26,42	121,84
<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	29,63	0,926	20,22	35,56
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	46,98	2,377	26,66	80,38
Çay Makası (Kirli)	27	38,81	1,353	24,19	49,82
Toplam	81	38,47	1,237	20,22	80,38
<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	47,89	1,109	39,56	60,19
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	67,46	2,310	51,52	89,20
Çay Makası (Kirli)	27	75,51	2,994	44,44	101,08
Toplam	81	63,62	1,834	39,56	101,08
<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	30,22	1,434	18,37	40,77
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	53,22	2,863	31,26	93,61
Çay Makası (Kirli)	27	48,19	1,830	34,07	64,43
Toplam	81	43,88	1,640	18,37	93,61
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	98,65	5,892	60,59	141,85
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	156,57	3,097	137,24	190,59
Çay Makası (Kirli)	27	136,18	2,632	116,61	182,66
Toplam	81	130,47	3,570	60,59	190,59
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	197,66	5,545	163,71	270,24
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	243,95	9,776	184,73	365,24
Çay Makası (Kirli)	27	231,90	9,172	189,88	389,09
Toplam	81	224,50	5,254	163,71	389,09
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	1575,46	96,244	932,68	2633,57
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	2773,41	116,480	1916,17	4186,38
Çay Makası (Kirli)	27	2393,06	116,725	1580,41	3456,81
Toplam	81	2247,31	84,094	932,68	4186,38

2023 yılı üçüncü sürgün döneminden sonra alınan toprak örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri üzerine çay toplama araçlarının etkisi Tablo 26’da verilmiştir. Çay toplama araçlarına göre toprak örneklerinin ağır metal içerikleri

Kruskal Wallis H testi ile değerlendirildiğinde istatistiksel olarak tüm elementler $P < 0,001$ seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 26).

Tablo 26. Çay toplama araçlarına göre Kruskal-Wallis test sonuçları

	n	Sıra Ortalaması	df	χ^2	P
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	22,65			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	57,24	2	29,520	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	43,11			
<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	21,85			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	62,07	2	39,740	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	39,07			
<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	20,43			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	41,02	2	41,266	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	61,56			
<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	22,54			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	58,07	2	30,951	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	42,39			
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	17,96			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	56,81	2	40,643	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	48,22			
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	23,56			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	62,13	2	37,294	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	37,31			
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	20,26			
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	40,22	2	43,611	<0,001
Çay Makası (Kirli)	27	62,52			

Parametreler arasında herhangi bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için Mann Withney U testi uygulanmıştır. Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarının Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarının Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=74,500$; $z=-5,018$; $U=57,500$; $z=-5,312$; $U=149,500$; $z=-3,720$; $U=91,000$; $z=-4,733$; $U=57,500$; $z=-5,312$; $U=42,000$; $z=-5,580$ ve $U=138,000$; $z=-3,919$; tüm elementler için $P < 0,001$). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği toprakların ağır metal içerikleri temiz alanda çay

kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştği toprakların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştği topraklarının Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştği topraklarının Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=159,000$; $z=-3,556$; $U=154,500$; $z=-3,634$; $U=24,000$; $z=-5,891$; $U=139,500$; $z=-3,893$; $U=49,500$; $z=-5,451$; $U=216,000$; $z=-2,570$ ve $U=31,000$; $z=-5,771$; Zn için $P=0,010$; diğer tüm elementler için $P < 0,001$). Kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştği toprakların ağır metal içerikleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştği toprakların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir.

Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin yetiştği topraklarının Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri ile kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştği topraklarının Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir (sırasıyla; $U=216,000$; $z=-2,570$; $U=102,500$; $z=-4,533$; $U=150,000$; $z=-3,711$; $U=177,000$; $z=-3,244$; $U=244,500$; $z=-2,076$; $U=116,500$; $z=-4,291$ ve $U=117,000$; $z=-4,283$; Pb için $P=0,010$; Cr için $P=0,001$; Cu için $P=0,038$; Ni, Co, Zn ve Mn için $P < 0,001$). Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin yetiştği topraklarının Pb, Ni, Cr, Cu ve Zn içerikleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştği topraklarının ağır metal içeriklerinden daha yüksektir. Sadece Co ve Mn içerikleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştği topraklarda daha yüksektir.

En yüksek Pb, Ni, Cr, Cu ve Zn değerleri (ppm) temiz alanda benzinli çay motoru ile toplanan çay örneklerinin yetiştği topraklarda, en yüksek Co ve Mn değerleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştği topraklarda tespit edilmiştir. En düşük değerler ise temiz alanda çay makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştği topraklarda tespit edilmiştir (Tablo 27).

Tablo 27. Çay toplama araçlarına göre üçüncü sürgün dönemi sonrası alınan toprakların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	31,58	1,283	24,05	50,11
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	42,74	1,247	34,18	56,26
Çay Makası (Kirli)	27	37,82	1,192	27,17	50,11
Toplam	81	37,38	0,872	24,05	56,26
<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	26,97	1,210	20,88	40,70
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	40,43	1,491	29,25	56,37
Çay Makası (Kirli)	27	31,53	0,646	27,36	37,27
Toplam	81	32,98	0,913	20,88	56,37
<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	36,56	1,321	26,18	49,95
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	45,78	1,664	29,79	58,79
Çay Makası (Kirli)	27	54,86	1,331	40,26	66,64
Toplam	81	45,73	1,174	26,18	66,64
<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	20,91	0,753	13,55	25,89
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	36,32	2,147	20,27	57,13
Çay Makası (Kirli)	27	25,83	0,803	19,67	38,93
Toplam	81	27,69	1,070	13,55	57,13
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	85,46	3,706	60,85	112,80
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	129,54	4,405	97,08	182,86
Çay Makası (Kirli)	27	116,94	2,119	102,48	145,64
Toplam	81	110,64	2,893	60,85	182,86
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	117,80	2,394	95,07	138,65
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	172,12	5,701	116,06	234,92
Çay Makası (Kirli)	27	132,58	4,223	96,79	187,53
Toplam	81	140,83	3,556	95,07	234,92
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	27	872,07	51,975	510,92	1424,84
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	27	1254,30	53,798	610,92	1708,78
Çay Makası (Kirli)	27	1625,40	52,240	1016,62	2078,03
Toplam	81	1250,59	45,653	510,92	2078,03

Tüm toprak örneklerinin en yüksek Pb, Ni, Cr, Cu ve Zn değerleri (ppm) temiz alanda benzinli çay motoru ile toplanan çay örneklerinde, en yüksek Co ve Mn değerleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük değerler ise temiz alanda çay makası ile toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir (Tablo 28).

Tablo 28. Çay toplama araçlarına göre tüm toprakların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
<i>Pb</i>					
Çay Makası (Temiz)	54	32,97	0,810	24,05	50,11
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	54	45,03	0,873	34,18	61,81
Çay Makası (Kirli)	54	44,61	2,419	27,17	121,84
Toplam	162	40,87	0,996	24,05	121,84
<i>Ni</i>					
Çay Makası (Temiz)	54	28,30	0,777	20,22	40,70
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	54	43,70	1,461	26,66	80,38
Çay Makası (Kirli)	54	35,16	0,896	24,19	49,82
Toplam	162	35,72	0,797	20,22	80,38
<i>Co</i>					
Çay Makası (Temiz)	54	42,22	1,156	26,18	60,19
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	54	56,61	2,051	29,79	89,20
Çay Makası (Kirli)	54	65,18	2,155	40,26	101,08
Toplam	162	54,58	1,294	26,18	101,08
<i>Cr</i>					
Çay Makası (Temiz)	54	25,57	1,026	13,55	40,77
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	54	44,70	2,119	20,27	93,61
Çay Makası (Kirli)	54	37,01	1,827	19,67	64,43
Toplam	162	35,78	1,167	13,55	93,61
<i>Cu</i>					
Çay Makası (Temiz)	54	92,05	3,565	60,59	141,85
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	54	143,05	3,250	97,08	190,59
Çay Makası (Kirli)	54	126,56	2,133	102,48	182,66
Toplam	162	120,56	2,420	60,59	190,59
<i>Zn</i>					
Çay Makası (Temiz)	54	157,73	6,248	95,07	270,24
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	54	208,03	7,467	116,06	365,24
Çay Makası (Kirli)	54	182,24	8,459	96,79	389,09
Toplam	162	182,67	4,569	95,07	389,09
<i>Mn</i>					
Çay Makası (Temiz)	54	1223,76	72,584	510,92	2633,57
Benzinli Çay Motoru (Temiz)	54	2013,85	122,160	610,92	4186,38
Çay Makası (Kirli)	54	2009,23	82,408	1016,62	3456,81
Toplam	162	1748,95	61,785	510,92	4186,38

3.2.2. Sürgün Dönemlerine Göre Ağır Metal İçerikleri

2023 yılı birinci sürgün döneminden önce ve üçüncü sürgün döneminden sonra alınan toprak örneklerinin Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn içerikleri üzerine sürgün dönemlerinin etkisi Tablo 29’da verilmiştir. Sürgün dönemlerine göre toprak örneklerinin ağır metal içerikleri Mann-Whitney U testi ile değerlendirildiğinde istatistiksel olarak Ni elementi $P=0,001$, diğer tüm elementler $P < 0,001$ seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 29).

Tablo 29. Sürgün dönemlerine göre Mann-Whitney U test sonuçları

	n	Sıra Ortalaması	U	z	P
<i>Pb</i>					
Birinci Sürgün Dönemi Öncesi	81	94,68	2213,000	-3,576	<0,001
Üçüncü Sürgün Dönemi Sonrası	81	68,32			
<i>Ni</i>					
Birinci Sürgün Dönemi Öncesi	81	93,31	2324,000	-3,204	0,001
Üçüncü Sürgün Dönemi Sonrası	81	69,69			
<i>Co</i>					
Birinci Sürgün Dönemi Öncesi	81	105,81	1311,000	-6,598	<0,001
Üçüncü Sürgün Dönemi Sonrası	81	57,19			
<i>Cr</i>					
Birinci Sürgün Dönemi Öncesi	81	107,53	1172,000	-7,063	<0,001
Üçüncü Sürgün Dönemi Sonrası	81	55,47			
<i>Cu</i>					
Birinci Sürgün Dönemi Öncesi	81	100,27	1760,000	-5,093	<0,001
Üçüncü Sürgün Dönemi Sonrası	81	62,73			
<i>Zn</i>					
Birinci Sürgün Dönemi Öncesi	81	117,94	329,000	-9,887	<0,001
Üçüncü Sürgün Dönemi Sonrası	81	45,06			
<i>Mn</i>					
Birinci Sürgün Dönemi Öncesi	81	110,68	917,000	-7,917	<0,001
Üçüncü Sürgün Dönemi Sonrası	81	52,32			

Birinci sürgün döneminden önce toplanan toprakların ağır metal içerikleri üçüncü sürgün döneminden sonra toplanan toprakların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir. En yüksek Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm) birinci sürgün döneminden önce toplanan topraklarda tespit edilmiştir (Tablo 30).

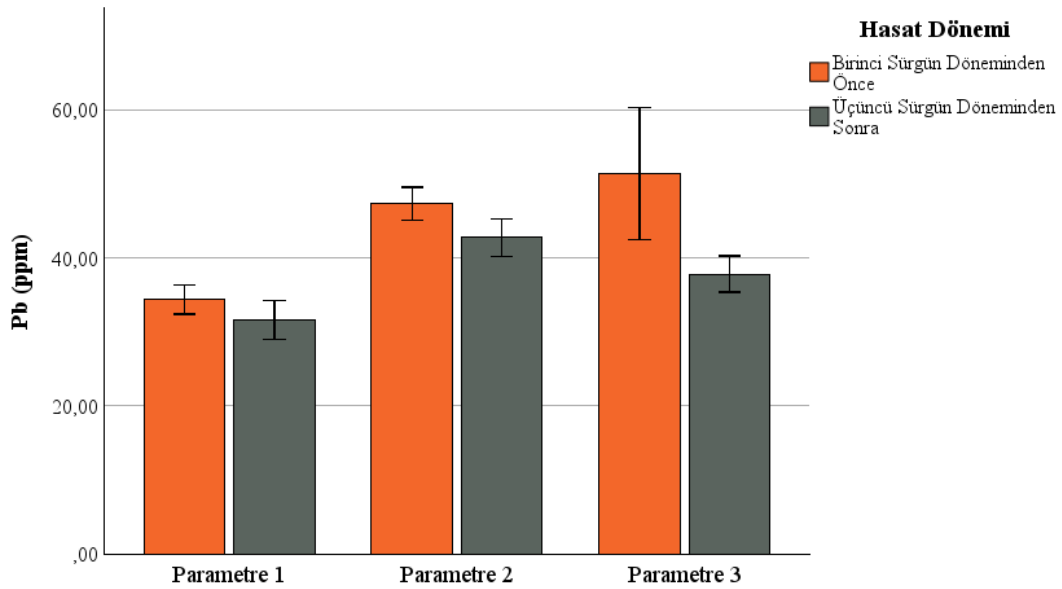
Tablo 30. Sürgün dönemlerine göre toprakların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

	n	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
<i>Pb</i>					
Birinci Sürgün Dönemi Öncesi	81	44,36	1,710	26,42	121,84
Üçüncü Sürgün Dönemi Sonrası	81	37,38	0,872	24,05	56,26
Toplam	162	40,87	0,995	24,05	121,84
<i>Ni</i>					
Birinci Sürgün Dönemi Öncesi	81	38,47	1,237	20,22	80,38
Üçüncü Sürgün Dönemi Sonrası	81	32,98	0,913	20,88	56,37
Toplam	162	35,72	0,796	20,22	80,38
<i>Co</i>					
Birinci Sürgün Dönemi Öncesi	81	63,62	1,834	39,56	101,08
Üçüncü Sürgün Dönemi Sonrası	81	45,73	1,174	26,18	66,64
Toplam	162	54,68	1,294	26,18	101,08

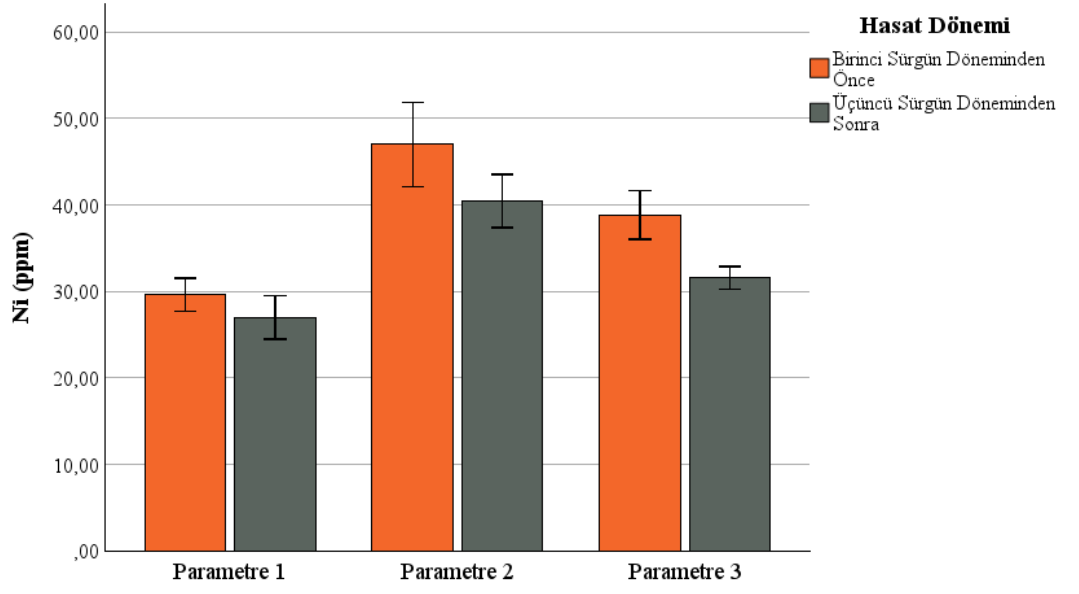
Tablo 30 (Devam). Sürgün dönemlerine göre toprakların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri (ppm)

<i>Cr</i>					
Birinci Sürgün Dönemi Öncesi	81	43,88	1,640	18,37	93,61
Üçüncü Sürgün Dönemi Sonrası	81	27,69	1,070	13,55	57,13
Toplam	162	35,78	1,166	13,55	93,61
<i>Cu</i>					
Birinci Sürgün Dönemi Öncesi	81	130,47	3,570	60,59	190,59
Üçüncü Sürgün Dönemi Sonrası	81	110,64	2,893	60,85	182,86
Toplam	162	120,56	2,420	60,59	190,59
<i>Zn</i>					
Birinci Sürgün Dönemi Öncesi	81	224,50	5,254	163,71	389,09
Üçüncü Sürgün Dönemi Sonrası	81	140,83	3,556	95,07	234,92
Toplam	162	182,67	4,568	95,07	389,09
<i>Mn</i>					
Birinci Sürgün Dönemi Öncesi	81	2247,31	84,094	932,68	4186,38
Üçüncü Sürgün Dönemi Sonrası	81	1250,59	45,653	510,92	2078,03
Toplam	162	1748,95	61,785	510,92	4186,38

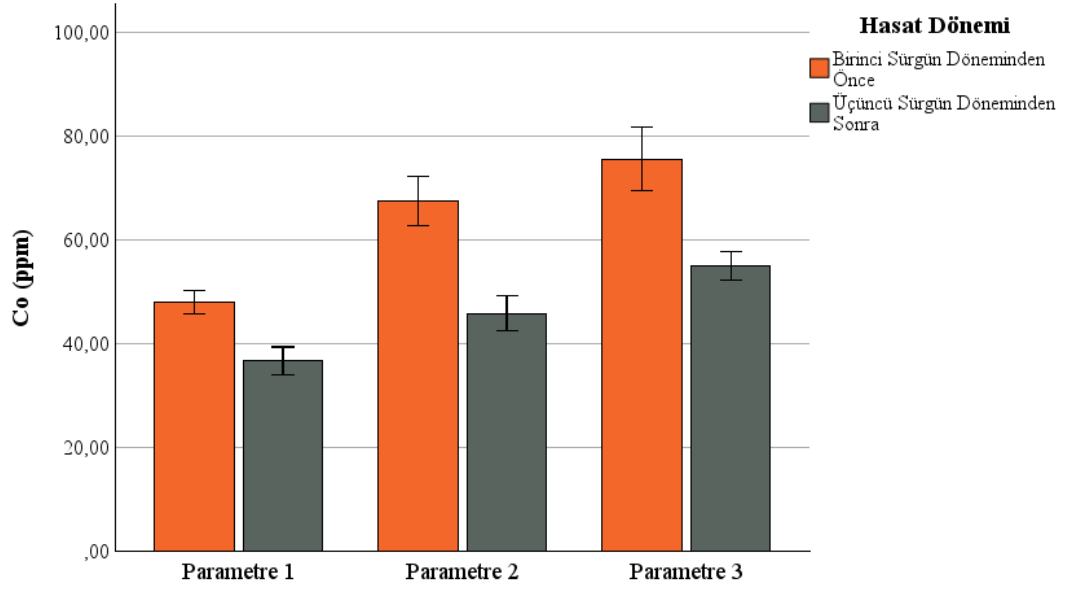
Hasat dönemi ve parametrelere göre toprakların Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn, Mn içerikleri (ppm) şekil 15-21’de verilmiştir.



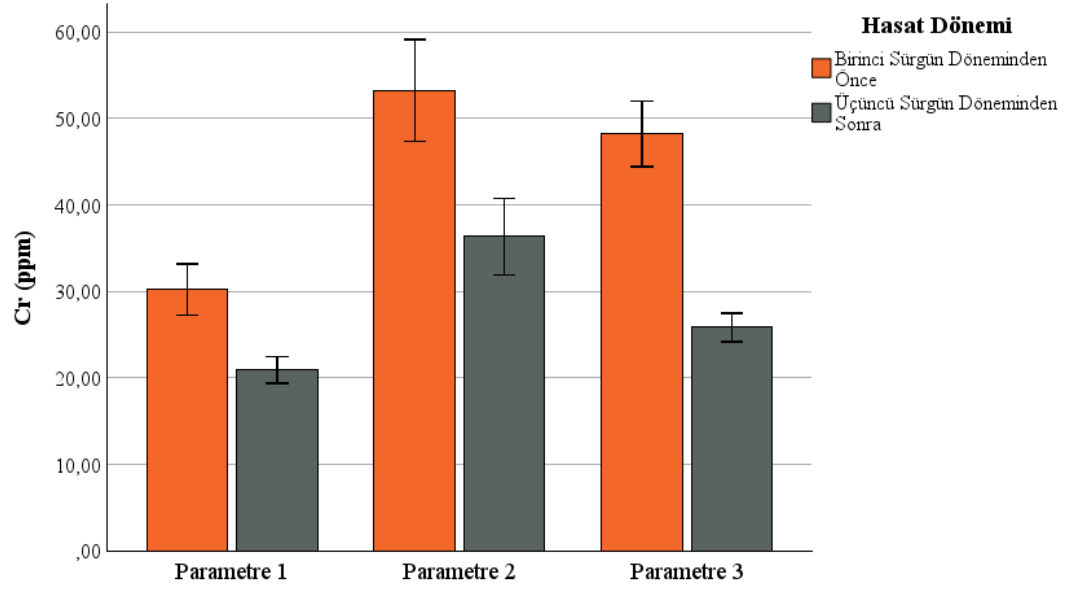
Şekil 15. Hasat dönemi ve parametrelere göre toprak Pb içeriği



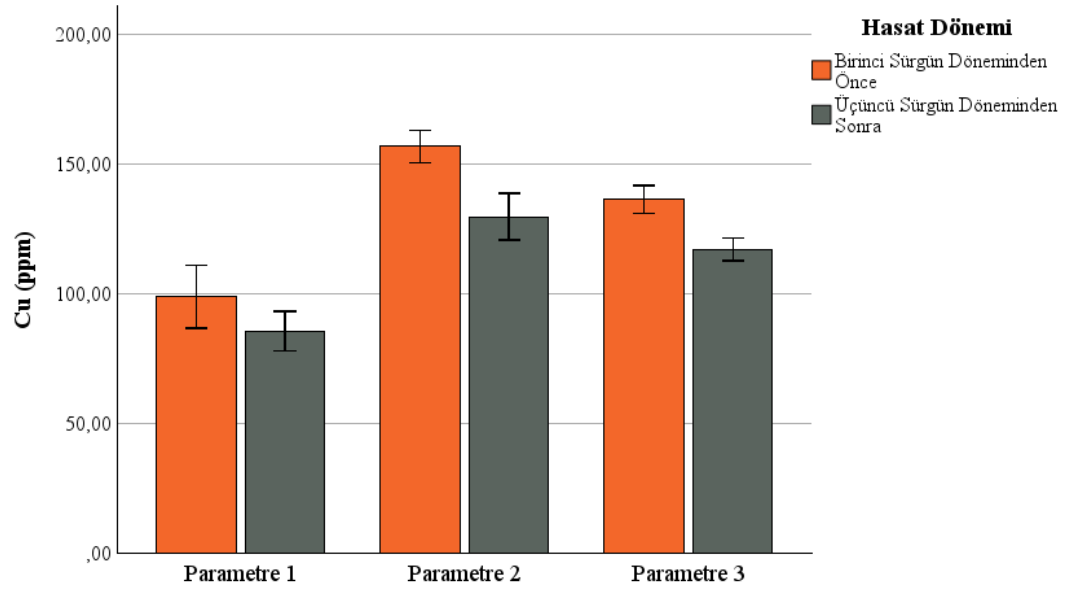
Şekil 16. Hasat dönemi ve parametrelere göre toprak Ni içeriği



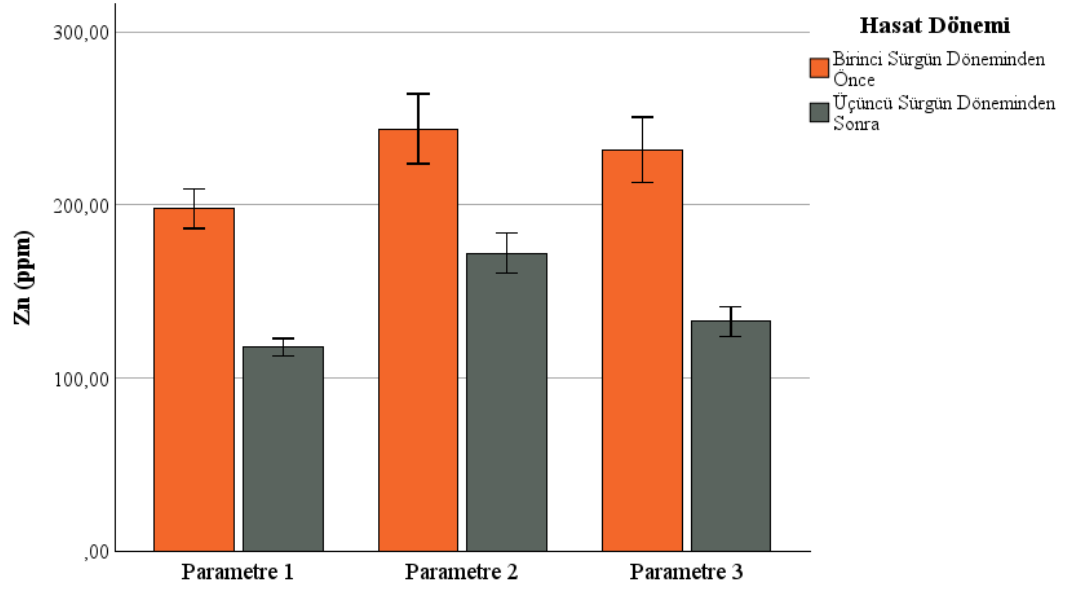
Şekil 17. Hasat dönemi ve parametrelere göre toprak Co içeriği



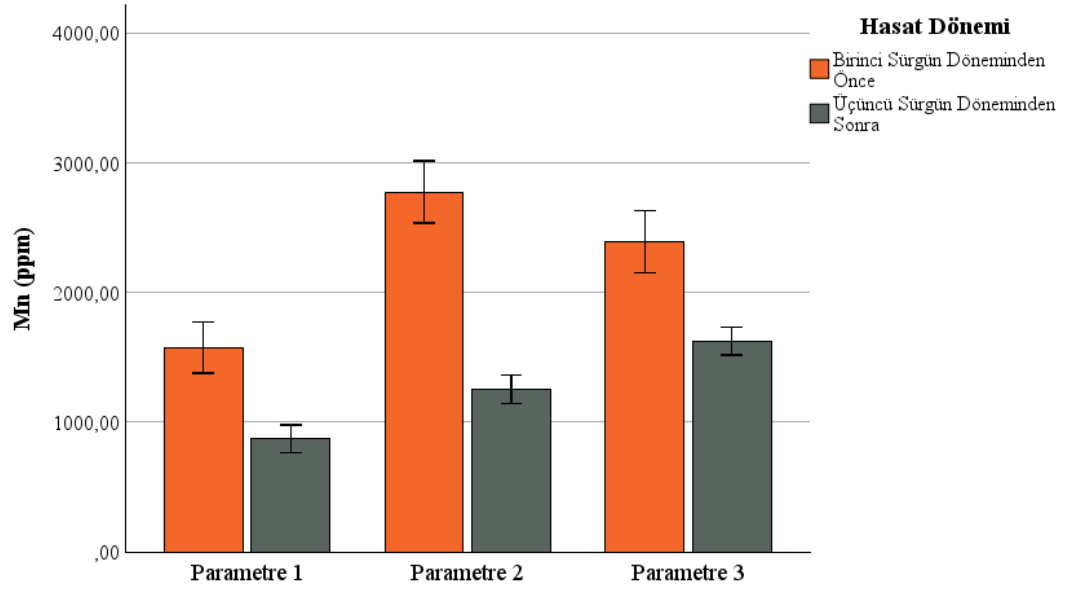
Şekil 18. Hasat dönemi ve parametrelere göre toprak Cr içeriği



Şekil 19. Hasat dönemi ve parametrelere göre toprak Cu içeriği



Şekil 20. Hasat dönemi ve parametrelere göre toprak Zn içeriği



Şekil 21. Hasat dönemi ve parametrelere göre toprak Mn içeriği

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, çay bitkisinin ve yetiştiği topraklarının ağır metal içerikleri üzerine benzinli çay kesme motorlarının etkisini ortaya çıkaran ilk çalışmadır. Son yıllarda çay tarımında hasat edilme yöntemleri arasına giren benzinli çay kesme motorlarından çıkan egzoz gazının çay bitkisinde kirlilik oluşturup oluşturmadığına dair literatürde herhangi bir veri yoktur. Aynı zamanda ilimizde faaliyet gösteren kuruluşların elinde de bu konu ile ilgili yapılmış ya da yapılmakta olan herhangi bir çalışma yoktur. Bu bilgiler doğrultusunda yapılan bu çalışma mevcut bir eksikliği gidermenin yanında, çayın toplanma yöntemlerine yönelik ağır metal kirliliğinin ortaya konması yönünden de önem taşımaktadır. Benzinli çay kesme motorunun çay bitkisi üzerinde ağır metal tehdidi oluşturup oluşturmadığının ortaya konulduğu bu çalışmanın sonuçları literatür ışığında değerlendirilerek tartışılmıştır.

4.1. Çay Formlarının Ağır Metal İçerik Değerleri

Bitkiler toprak çözeltisinde iyon halinde bulunan ağır metalleri genellikle kökleri ile alırlar. Ancak bazı araştırmalarda atmosferde bulunan ağır metallerin yapraklar aracılığı ile de alınabildiği gösterilmiştir. Ağır metaller küresel kirlilik faktörleri olarak insan ve tüm canlı yaşamında tehlike ve risk oluşturmaktadır (Harrison ve Laxen, 1980; Marschner, 1995). Trafik yoğunluğu çevre kirliliğine neden olan önemli bir faktördür. Bu nedenle özellikle karayollarının kenarlarında yetişen ve gıda maddesi olarak tüketilen bitkilerde ağır metal içeriklerinin takip edilmesi önem arz etmektedir. Taze çay yapraklarında Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn gibi ağır metallerin analizi önemlidir çünkü bunlar toksiktir ve besin zinciri yoluyla insanlara ve hayvanlara taşınabilir. Kabata-Pendias ve Piotrowska (1984) bitkilerde ortalama Pb konsantrasyonunun 10 ppm'den az olduğunu, Allen vd. (1986) bitkiler için normal doğal seviyenin 3 ppm'den daha düşük bir değer olduğunu belirtmişlerken, Yıldız ve Şekeroğlu (2013) çalıştıkları bitkilerde maksimum Pb içeriğinin 10 ppm olduğunu ifade etmişlerdir. Aktarlarda satılan ve halk tarafından tüketilen 28 farklı bitkide Pb konsantrasyonunun 2,624-32,757 ppm aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Dwivedi ve Dey 2002; Yıldız ve Şekeroğlu, 2013). Hindistan'da çay üzerinde yapılan bir çalışmada çay fabrikalarının bulunduğu bölgelerden numuneler alınmış ve Pb

konsantrasyonunun 0,14-1,36 ppm aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Seenivasan vd., 2008b). zbek ve Aksoy (1978), farklı sanayilerde üretilen siyah çay örnekleri üzerinde yaptıkları araştırmada, Türkiye'nin siyah çaylarında Pb miktarının 0,17 ila 0,56 ppm arasında değiştiğini, ortalamanın ise 0,34 ppm olduğunu belirtmişlerdir. Tüfekçi (1989), yeşil çay yaprağındaki Pb miktarının 0,48 ppm olduğunu açıklamıştır. Yeşil ay yaprağında birinci sürgün döneminde diğer sürgün dönemlerine kıyasla çay filizi tepe tomurcuğunda daha yüksek miktarda Pb konsantrasyonu gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada ticari ayların Pb miktarlarının 0,51 ppm olduğu tespit edilmiştir. Türk çaylarında bazı toksik metallerin (Pb, Hg, Cd) araştırılması adlı doktora tezinde, Pb değer 0,21 ila 1,16 ppm aralığında tespit edilmiştir. Çin'in Yunnan eyaletinden 17 çay örneğindeki Pb konsantrasyonları 0,06-2,46 mg/kg arasında değişmiştir (Cao vd., 2010). Dünya Sağlık rgt'ne göre bitkilerde izin verilen Pb sınırı 10 mg/kg'dir (Dabanovic vd., 2016). Bu çalışmadaki yaş çay ve mamul ayların Pb içerikleri sırasıyla 0,22 ve 0,29 ppm olup analiz edilen tüm çay rneklerinin Pb değerleri maksimum izin verilebilir limitin altında yer aldığı için sağlık açısından tehlikesizdir.

Co gerekli bir mikro besin olmasına rağmen fazla miktarda bitkiler tarafından alındığında toksik etki oluşturacak bir elementtir (Nagajyoti vd., 2010). Kobaltın yapraklar için toksik sınırı yaklaşık 0,5 ppm'dir (Kabata-Pendias ve Pendias, 1992). Bununla birlikte, Macnicol ve Beckett (1985) Co için normal ağır metal içeriğinin 30-40 mg/kg arasında değiştiğini bildirmiştir. Uzuner (2015) ay yapraklarındaki Co değerlerinin ortalama olarak 0,425-1,665 ppm değerleri arasında değiştiğini belirtmiştir. Abanuz ve Tüysüz (2012) ay bitkisinde Co içeriğinin genç yaprakta 0,25 ppm, yaşlı yaprakta ise 0,06 ppm olduğunu ifade etmiştir. Vural (2014), akasya filizlerindeki Co seviyelerinin 0,46-0,94 mg/kg arasında olduğunu tespit etmiştir. Marcos vd. (1998), yaptıkları analizler sonucunda Co içeriğini 0,2 ppm şeklinde rapor etmişlerdir. Ashraf vd. (2008), inceledikleri 17 farklı çay rneğinde Co konsantrasyonunu 4,5-17,4 ppm aralığında tespit etmişlerdir. Ancak Co'nun en yüksek değer arin vd. (2004) tarafından yapılan analizde 30,2 ppm olarak bildirilmiştir. Dünya Sağlık rgt'ne göre bitkilerde izin verilen Co sınırı 1,5 mg/kg'dir (Dabanovic vd., 2016). Çalışmada analiz edilen tüm çay rneklerinin Co değerleri (yaş çay için 0,61 ppm, mamul çay için 0,74 ppm) maksimum izin verilebilir limitin altında yer aldığı için sağlık açısından tehlikesizdir.

Kromun bitki ve hayvanlara zarar verebilecek toksik bir metal olduğu bilinmektedir. Kromun neden olduğu oksidatif stres, bitkilerde hücre zarlarında ciddi hasara neden olan lipid peroksidasyonunun indüklenmesini içerir (Asati vd., 2016). Cao vd. (2001) bitkilerin normal Cr değerlerinin 0,2-8,4 mg/kg arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Kul vd. (2021) Cr konsantrasyonlarını bitkilerde 0,19-1,76 mg/kg arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Güven (2019) Cr içeriklerini ayvada (0,33 mg/kg), armutta (0,10 mg/kg), mandalinada (0,17 mg/kg) ve çilekte (0,17 mg/kg) olarak tespit etmiştir. Falahi ve Hedaïati (2013), İran çayında gerçekleştirdikleri bir çalışmada 8,2 ppm Cr tespit ettiklerini bildirmiştir. Seenivasan vd. (2008b), Hindistan'da çay üzerinde yaptıkları çalışmada Cr konsantrasyonunu 1,1 ile 21,2 ppm aralığında değiştiğini ifade etmişlerdir. Ashraf ve Mian (2008), gerçekleştirdikleri çalışmada 17 farklı çay örneğini incelemişlerdir. Bu analiz sonucunda ortalama Cr değeri 9,8 ppm olarak belirlenmiştir. Ferrara vd. (2001) gerçekleştirdiği çalışmada dünyanın çeşitli ülkelerinden alınan çay örneklerinin incelenmesinde bulunmuşlardır ve sonuç olarak Cr miktarının 17,9-115,4 ppm aralığında olduğunu belirtmişlerdir. Güney Nijerya'daki Yenagoa'dan alınan 28 çay örneğinin Cr değerleri 0,39-7,61 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Patrick-Iwuanyanwu ve Udowelle, 2017). Cr ağır metalinin neden olduğu kontaminasyon, Japon, Çin, İran ve Japon yeşil çaylarında sırasıyla 0,024, 0,14, 0,05 ve 0,06 µg/g olarak bildirilmiştir (Cabrera vd., 2003; Limmatvapirat vd., 2012). Cr'nin insanlarda, özellikle bronşiyal ve akciğer kanserlerine neden olduğu bildirilmiştir (Kim vd., 2008). Hindistan, Çin, Sri Lanka ve Türkiye'den gelen siyah çaylardaki Cr konsantrasyonları sırasıyla 0,371, 0,155, 0,050 ve 3,000 µg/g olarak bildirilmiştir (Cabrera vd., 2003; Kim vd., 2008). Dünya Sağlık Örgütü'ne göre bitkilerde izin verilen Cr sınırı 1,3 mg/kg'dır (Dabanovic vd., 2016). Çalışmada analiz edilen yaş çay örneklerinin Cr içerikleri maksimum izin verilen limitin altında iken, tüm mamul çay örneklerinin Cr içerikleri (genel ortalama 2,88 ppm) limitin üzerinde yer almıştır ve sağlık açısından tehlikelidir. Otoyol kenarına yakın olan kirli bahçelerin taşıt egzozlarına maruz kalması ve benzin ile çalışan çay kesme motorundan salınan gazların çay örneklerindeki Cr kirliliğine sebep olacağı düşünülmektedir. Cr içeren minerallerin endüstriyel oksidasyonu ve fosil yakıtların, ağaç ve kâğıt ürünlerin yanması sonucunda doğada altı değerlikli Cr oluşmaktadır. Okside krom havada ve saf

suda nispeten kararlı iken ekosistemdeki organik yapılarda, toprakta ve suda üç değeri geri redüklenir (Okcu vd., 2009).

Cu, bitkiler için bir iz elementtir ve bitkilerde biyokimyasal işlemlerde önemli değışikliklere neden olabilir (Huseyinova vd., 2009). Bitkilerde Cu konsantrasyonu, 4 ppm'den daha az ve 20 ppm'den daha fazla olduğunda büyüme gerilemesine neden olmaktadır (Yılmaz vd., 2006). Bitkilerdeki normal Cu konsantrasyonları 2-20 ppm arasında değışmektedir, ancak birçok bitkide normal Cu konsantrasyonları 4-12 ppm aralığında gözlenmiştir (Huseyinova vd., 2009). Li vd. (2001) bitkilerin ağır metal içeriğinin geniş sınırlar içinde olduğunu ve Cu konsantrasyonlarının 2,9 ila 27,2 ppm arasında değıştiğini belirtmiştir. Güven (2019) sebze ve meyvelerle yapmış olduğu çalışmada Cu içeriklerinin 1,75 ila 25,05 mg/kg arasında değıştiğini ifade etmişlerdir. Kul vd. (2021) Cu konsantrasyonlarını bitkilerde 6.92-15.38 mg/kg aralığında değıştiğini ifade etmişlerdir. Cu için Türk Gıda Kodeksindeki sınır değerler 0,01-50 mg/kg aralığında değışmektedir (Anonymous, 2002). Leblebici vd. (2012) yaptıkları çalışmada *Camellia sinensis*'te Cu değerini 7,04 ppm olarak tespit etmişlerdir. Michie ve Dixon (1977) 20 yabancı çay örneğinde, nemli ağırlıkta 14 ila 40 ppm arasında Cu bulunduğunu, aynı zamanda toz çayda ise 22 ila 69 ppm arasında Cu tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Özyazıcı vd. (2011) Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yetiştirilen çay bitkisi yaprak örneklerinde toplam Cu konsantrasyonunun 4,5-73,9 mg/kg arasında değıştiğini; Nath (2013b) Hindistan'ın Dibrugarh bölgesinde yetiştirilen çay bitkisi yapraklarında toplam Cu konsantrasyonunun 14,3-29,8 mg/kg arasında olduğunu; Nejatolahı vd. (2014) tarafından Kuzey İran'daki çaylıkların çay yapraklarında Cu konsantrasyonunun 55,4-127 mg/kg arasında olduğunu bildirmişlerdir. Balcı vd. (2016) çay tarımı yapılan topraklardan aldığı örneklerde Cu ağır metalinin 0,62-25,7 mg/kg arasında değıştiğini, ortalama Cu değerlerinin 7,66 mg/kg olduğunu ifade etmişlerdir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre bitkilerde izin verilen Cu sınırı 10 mg/kg'dir (Dabanovic vd., 2016). Çalışmada analiz edilen temiz alanda çay kesme makası ile toplanan yaş çay ve mamul çaylar hariç tüm çay örneklerinin tamamında Cu konsantrasyonunun, Dünya Sağlık Örgütü tarafından maksimum izin verilebilir limitin üzerinde yer aldığı ve sağlık açısından tehlikeli olduğu sonucuna varıldı. Otoyol kenarına yakın olan kirli bahçelerin taşıt egzozlarına maruz kalması çay örneklerindeki Cu kirliliğine sebep olacağı düşünülmektedir. Benzer şekilde

Erdem (2018) yaptığı çalışmasında trafik yoğunluğuna bağlı olarak Cu'nun arttığını bildirmiştir. Divrikli vd. (2006) arabaların metalik kısımlarının aşınması ile Schäfer vd. (1998) ise egzoz emisyonlarından bakırın çevreye yayıldığını ifade etmişlerdir. Cu elementi taşıtlardan, boya ve metal endüstrilerinden ve de fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere karışmaktadır (Özkan, 2009).

Mn toksisitesi diğer mikro besin toksisitesine kıyasla nispeten yaygın bir sorundur. Normalde pH'sı 5,5 veya daha düşük olan topraklarla ilişkilidir, ancak toprağın pH'sı 6,0'ın altında olduğunda ortaya çıkabilir (Asati vd., 2016). Kabata-Pendias ve Pendias (1994) tarafından çoğu bitkide kritik Mn değeri olarak 200-300 mg/kg rapor edilmiştir. Ayrıca Gerber vd. (2002), bitkilerde Mn için normal değer 1-700 mg/kg arasında olduğunu bildirmiştir. Mn için Türk Gıda Kodeksinde herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir (Anonymous, 2002). Erdoğan vd. (2005) ortalama Mn miktarını patatesten 0,37 ppm, havuçta 0,18 ppm, ıspanakta 0,59 ppm olarak tespit etmişlerdir. Bulunan bu değerlere göre sebzelerin içerdiği mangan miktarının düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Özyazıcı vd. (2011) Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yetiştirilen çay bitkisi yaprak örneklerinde toplam Mn konsantrasyonunun 141-2767 mg/kg arasında değiştiğini; Nath (2013b) Hindistan'ın Dibrugarh bölgesinde yetiştirilen çay bitkisi yapraklarında toplam Mn, konsantrasyonunun 24,3-58,3 mg/kg arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Balcı vd. (2016) çay yapraklarında toplam Mn değerlerinin 146-5013 mg/kg arasında değiştiğini, ortalama Mn değerlerinin 1608 mg/kg olduğunu ifade etmişlerdir. Kumar vd. (2005) Hindistan'dan alınan çay türlerinde Mn miktarının 371-758 mg/kg aralığında ve ortalama konsantrasyonunun 575 ± 96 mg/kg olduğunu belirtmişlerdir. Amerika'dan alınan çaylarda ise Mn miktarının 79-768 mg/kg arasında değiştiğini ve ortalama konsantrasyonunun 329 ± 231 mg/kg olduğunu ifade etmişlerdir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre bitkilerde izin verilen Mn sınırı 200 mg/kg'dır (Dabanovic vd., 2016). Çalışmada analiz edilen tüm yaş ve mamul çay örneklerinin Mn değerleri maksimum izin verilebilir limitin çok üzerinde yer aldığı için sağlık açısından çok tehlikelidir. Sims ve Patrick (1978)'e göre mangandaki değişkenliğin önemli sebeplerinden biri toprakların pH-Eh değerleriyle ilgili olabilmektedir. Araştırma bölgesindeki yağış fazlalığı sebebiyle topraktaki hava azalmakta buna bağlı olarak Eh azalmakta ve Mn çözünürlüğü artmaktadır. Uzuner

(2015), toprakta Mn çözünürlüğü arttıkça bitkinin bünyesine elementi çok daha kolay alabilmekte olduğunu bildirmiştir

Ni bitkiler için gerekli bir besindir. Ancak bitkilerin normal büyümesi için gerekli olan Ni miktarı oldukça düşüktür. Bu nedenle, çevredeki Ni kirliliğinin seviyesi arttıkça, Ni'nin bitkilerdeki fonksiyonel rollerinin ve toksik etkilerinin anlaşılması büyük önem taşımaktadır (Asati vd., 2016). Bitkilerin normal koşullarda Ni kapsamları kuru madde üzerinden 0,1-5 mg/kg arasında olup 1 mg/kg'ı geçmemektedir. Bitkilerdeki optimum Ni sınırı 0,02-5 mg/kg olarak bildirilmektedir (Kabata-Pendias, 2001). Ansari vd. (2007) İran'da siyah çay üzerinde yaptıkları araştırmada Ni konsantrasyonunu tespit edilebilir sınırların altında olduğunu bildirmişlerdir. Seenivasan vd. (2008b), Hindistan'da yetişen siyah çayda ağır metal birikimlerinin araştırılması sonucunda Ni konsantrasyonun 1,1 ile 5,3 ppm değerleri arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Soud ve Al-Oud (2003) çalışmasında siyah çay yapraklarında Ni değerinin 3,30-8,90 µg/g arasında değiştiğini bildirmiştir. Nookabkaew vd. (2006), Tayland'daki siyah çayların analizinde Ni seviyesinin 2,28-9,19 ppm arasında olduğunu bildirmişlerdir. Soylak vd. (2007), 10 farklı çay çeşidinde Ni içeriklerinin 3,1-5,7 mg/kg arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Uzuner (2015) yapraklardaki Ni değerlerinin 2,257-8,954 ppm aralığında değiştiğini ifade etmişlerdir. Ghale Askari vd. (2022), İran'da yaptıkları çalışmada çay yapraklarındaki ortalama Ni değerlerinin 3,68 mg/kg olduğunu ifade etmişlerdir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre bitkilerde izin verilen Ni sınırı 10 mg/kg'dır (Dabanovic vd., 2016). Çalışmada analiz edilen tüm yaş ve mamul çay örneklerinin Ni değerleri maksimum izin verilebilir limitin altında yer aldığı için sağlık açısından tehlikesizdir.

Zn bitkiler için gerekli bir element olup yüksek konsantrasyonlarda toksik etkiler gösterebilmektedir. Özyazıcı vd. (2011) Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yetiştirilen çay bitkisi yaprak örneklerinde toplam Zn konsantrasyonlarının 5,6-46,3 mg/kg arasında değiştiğini; Nath (2013b) Hindistan'ın Dibrugarh bölgesinde yetiştirilen çay bitkisi yapraklarında toplam Zn konsantrasyonunun 24,3-58,3 mg/kg arasında olduğunu ve Nejatolahı vd. (2014) Kuzey İran'daki çaylıkların yapraklarında Zn konsantrasyonunun 55,4-127 mg/kg olduğunu bildirmişlerdir. Balcı vd. (2016) çay yapraklarından aldığı örneklerde Zn değerlerinin 0,98-53,5 mg/kg arasında değiştiğini, ortalama Zn değerlerinin 12,7 mg/kg olduğunu ifade etmişlerdir. Ashraf vd. (2008)

tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada incelenen 17 farklı çay örneğinde, Zn seviyelerinin 23,7-122,4 ppm değerleri arasında değiştiği tespit edilmiştir. Marcos vd. (1998) siyah çay üzerinde yaptıkları analizde ortalama Zn miktarını 28,2 ppm olarak rapor etmişlerdir. Özyazıcı vd. (2011), Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yetiştirilen çay bitkisi yapraklarının toplam Zn düzeylerinin 5,6-46,3 ppm arasında olduğunu bildirmişlerdir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre bitkilerde izin verilen Zn sınırı 50 mg/kg'dir (Dabanovic vd., 2016). Çalışmada analiz edilen tüm yaş ve mamul çay örneklerinin Zn değerleri maksimum izin verilebilir limitin altında yer aldığı için sağlık açısından tehlikesizdir.

Mevcut çalışmadaki mamul çayların ağır metal içerikleri, yaş çayların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir. Yaş ve mamul çayların Cu ve Mn içerikleri Dünya Sağlık Örgütü'ne göre bitkilerde izin verilen değer çok üstündedir. Aynı olarak sadece mamul çayın Cr konsantrasyonları maksimum sınır değer üzerindedir. İşlenmiş siyah çayın, taze yapraklara kıyasla farklı konsantrasyon aralıkları gösterdiği Rashid vd. (2016) tarafından rapor edilmiştir. Rashid vd. (2016) taze çay yapraklarındaki Pb konsantrasyon aralığını 0,05-1,14 µg/g olarak tespit etmişler ve bu değer Dünya Sağlık Örgütü tarafından önerilen limitin altında olduğunu ifade etmişlerdir. İşlenmiş çayda ise Cr ve Pb değerlerinin sırasıyla 0,45-10,73 ve 0,07-1,03 µg/g aralığında değiştiğini ve bu değerlerin limitin üstünde olduğunu bildirmişlerdir. Bazı çalışmalarda bu kadar yüksek Cr, Pb ve Cu konsantrasyonlarının nedeni, çayın daha taze görünmesini sağlamak ve çay işleme amacıyla tüccar tarafından kurşun krom yeşili eklenmesinin olabileceği şeklinde ifade edilmiştir (Seenivasan vd., 2008a). Üretim süreçleri nihai konsantrasyonları etkileyebilir (Rashid vd., 2016). Bangladeş'te siyah çayın önemli işleme adımlarından biri olan fermantasyon sürecinde Cr kontaminasyonunun meydana gelmiş olması muhtemeldir. Özellikle, siyah çay üretiminde kullanılan CTC haddeleme adımları sırasında meydana gelebilir. Ancak, bu bulgu, Bangladeş'ten gelen bazı çay örneklerinde daha önce bildirilen Cr konsantrasyonundan (32,87 µg/g) daha düşüktür (Marcos Ana vd., 1998) ve bu durum, kullanılan farklı çay örneklerinin yanı sıra çay bahçesindeki toprak tipindeki farklılıklara da bağlı olabilir. Türkiye'den elde edilen çay yapraklarının Pb içeriği 17,90 µg/g (Narin vd., 2004), Hindistan, Çin, Japonya ve İtalya'dan elde edilen çay yapraklarının Pb içeriği sırasıyla 1,86 µg/g, 1,49 µg/g, 1,55 µg/g ve 0,23 µg/g olarak

tespit edilmiştir (Melucci vd., 2013). Chang vd. (2024) yapmış oldukları çalışmalarında çay yapraklarındaki ağır metal birikiminin $Cu > Pb > Cr$ şeklinde sıralandığını ve çalışmış oldukları dokuz bölge arasında Cr konsantrasyonunda anlamlı bir fark bulamadıklarını belirtmişlerdir. Çay yapraklarındaki Cu konsantrasyonu ortalama değerlerinin dokuz bölge için 4,24-9,81 mg/kg, ortalama Pb konsantrasyonun ise 549-2738 mg/kg arasında değiştiği ifade edilmiştir. Ju vd. (2024) çay yapraklarındaki Pb ve Cr konsantrasyonlarını sırasıyla 0,24-4,1 ve 0,8-56,7 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Cr değerinin Çin Ulusal Gıda Güvenliği Standardının sınır değerlerinin (5 mg/kg) dışında olduğunu ve bu durumun topraklardaki yüksek Cr içeriği ile tutarlılık gösterdiğini ve topraktaki toplam Cr konsantrasyonundan incelenen çay yapraklarındaki birikimin öngörülebileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca Pb içeriğinin sınır değerler dahilinde olduğunu ve çay yapraklarındaki Pb birikiminin hem topraktaki toplam Pb konsantrasyonuna hem de biyoyararlılığa bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Çay yapraklarındaki ağır metallerin ortalama Cu ve Pb konsantrasyonları 15,19 µg/g 0,41 µg/g olarak bulunmuştur. Cu ve Pb'nin ortalama konsantrasyonları Dünya Sağlık Örgütü ve FAO tarafından belirlenen güvenlik standardı sınır değerinin altında bulunmuştur (Mazunga ve Kamanyola, 2021). Farklı numunelerin ağır metal içeriklerindeki farklılıklar, coğrafi konum, çevre koşulları, mevsimsel değişiklikler, yetiştirme bölgelerinin fizikokimyasal özellikleri ve matristen matrise transferdeki farklılıklardan kaynaklanabilir (Rashid vd., 2016).

Bu çalışmadaki Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn konsantrasyonları, incelenen yaş çay ve mamul çay örnekleri arasında heterojenliğe sahiptir. Yaş çay örneklerinin en yüksek Pb, Co, Cu ve Zn içerikleri kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinde, Ni, Cr ve Mn içerikleri ise temiz alanda benzinli çay motoru ile toplanan çay örneklerinde belirlenmiştir. Mamul çay örneklerinin en yüksek Pb, Ni, Co, Cr ve Mn içerikleri temiz alanda benzinli çay motoru ile toplanan çay örneklerinde, Cu ve Zn içerikleri ise kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinde tespit edilmiştir. Tüm elementlerin en düşük değerleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan yaş ve mamul çay örneklerindedir (Şekil 1-7). Nikel gibi ağır metaller çökeltme ile en çok yol kenarında yetişen bitkileri etkilemektedir (Bingöl vd., 2010). Nikel yakıtların yanması, madencilik, kentsel atıkların yakılması ile atmosfere yayılmaktadır. Bunun yanı sıra lağım çamuru karışmış toprakta ve sigarada (0-0,51

$\mu\text{g/sigara}$) bulunmaktadır (Özkan, 2009). Önceki çalışmalar (Sun vd., 2020), çaydaki Pb'nin esas olarak atmosferik birikimden kaynaklandığını ve genç çay yapraklarındaki otomobil egzoz emisyonlarının Pb katkı oranının yaklaşık %80, yaşlı çay yapraklarındaki Pb katkı oranının ise yaklaşık %60 olduğunu göstermiştir. Önceki çalışmalara (Khalid vd., 2017) göre, arıtılmamış atık su ile mahsullerin sulanması toprakta ağır metal birikimine yol açabilir, bu nedenle sanayileşme devam ettikçe, endüstriyel atık su arıtımı da sıkı bir şekilde kontrol edilmelidir. Benzinli motorlar, egzoz emisyonları ve yakıt yanması yoluyla özellikle kurşun, çinko ve bakır olmak üzere ağır metal kirliliğine katkıda bulunur. Bu kirlilik, Selanik'teki *Taraxacum* (Karahindiba) türlerinde de gözlemlendiği gibi, bitkilerin ağır metal içeriğini önemli ölçüde etkiler ve trafik yoğunluğu ve toprak kirliliğiyle ilişkilidir. Selanik'teki topraklarda ve karahindiba bitkilerinde Pb, Zn, Cu ve Cd kaynaklı ağır metal kirliliği incelendiği çalışmada toprak ve bitkilerdeki metal konsantrasyonlarının trafik yoğunluğu ve araç emisyonlarıyla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Cook vd., 1994). Wyszowski ve Kordala (2022) yapmış oldukları çalışmalarında petrole toprak kirliliğinin mısırdaki ağır metal içeriğini, özellikle Cr ve Mn içeriğini önemli ölçüde artırdığını ve biyokütle verimini olumsuz etkilediğini rapor etmişlerdir. Benzinli motorların topraktaki ağır metal içeriği üzerindeki etkisi, öncelikle emisyonlar ve işletme yan ürünleri nedeniyle önemlidir. Benzinin yanması ve ilgili faaliyetler, Pb, Cd, Cu ve Zn gibi ağır metalleri çevreye salarak toprak kirliliğine yol açar. Bu kirlilik, araç emisyonları ve yakıt dökülmeleri nedeniyle ağır metallerin biriktiği yollar ve benzin istasyonları yakınlarında daha da kötüleşir. Çalışmalar, benzinle kirlenmiş toprakların, kirlenmemiş topraklara kıyasla daha yüksek seviyelerde ağır metal içerdiğini, özellikle Cd, Cu, Fe, Zn ve Pb elementlerinin yaygın olduğunu göstermektedir (Khan vd., 2013). Çay işleme sırasında kullanılan standart altı makinelerin de çaydaki ağır metal içeriğini etkilediği gösterilmiştir. Ana yollara yakın çay yaprakları, otomobil egzozundan ve tozdan kaynaklanan döküntüler yoluyla Pb ve Cd alabilir (Michie ve Dixon, 1977). Çay sulamaları da sulama suyunda yüksek düzeyde ağır metal bulunuyorsa, ağır metal içeriğine katkıda bulunabilir (Nyaboke, 2017). Çeşitli çalışmalar, fosfatlı gübrelerin yüksek konsantrasyonda ağır metal içerdiğini göstermiştir (Semu ve Singh, 1995; Moseti, 2013; Simon vd., 2016) ve bu nedenle, plantasyonlarda uzun süreli kullanımın toprak ve bitki yapraklarındaki ağır

metal konsantrasyonlarını artırdığı bilinmektedir (Simon vd., 2016; Juma, 2018). Juma (2018) tarafından Tanga, Amani'deki fosfatlı gübre kullanan çay plantasyonunda yürütülen bir çalışma, çay yapraklarındaki en yüksek ağır metal konsantrasyonlarının sırasıyla As (60,0 µg/g), Pb (45,0 µg/g), Cr (15,0 µg/g) ve Cd (5,0 µg/g) olduğunu göstermiştir. Tüm durumlarda, konsantrasyon değerleri belirtilen izin verilen sınırların üzerindedir. Bir diğer olası neden ise çay bitkilerindeki ağır metal birikiminin çay çeşitlerine bağlı olması (Tao vd., 2021) ve farklı çay türlerinin farklı ağır metaller için farklı fizyolojik emilim mekanizmalarına sahip olabilmesidir (Zhang vd., 2020). Ağır metal kontaminasyonunun başlıca kaynakları, pestisit uygulaması, kanalizasyon sulama, yem katkı maddelerinin yanlış kullanımı vb. gibi tarımsal faaliyetlerdir (Kersten vd., 2017). Öte yandan, ulaşım kirliliği de toprakta ağır metal birikimine katkıda bulunan önemli bir faktördür ve barit, atmosferik birikim süreçleriyle birikir (Xu vd., 2021).

Bu çalışmada yaş çayların en yüksek Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri 3. sürgün döneminde alınan örneklerde tespit edilmiştir. Mamul çayların en yüksek Pb, Ni, Co ve Cu değerleri 3. sürgün döneminde, en yüksek Cr değeri 2. sürgün döneminde, en yüksek Zn ve Mn değerleri ise 1. sürgün döneminde alınan yaş çaylardan elde edilen mamul aylarda tespit edilmiştir (Şekil 8-14). Ağır metal konsantrasyonlarının farklı sürgün dönemleri ve hasat mevsimlerinde nasıl değiştiğini anlamak, çay kalite kontrolü ve risk değerlendirmesi için çok önemlidir. Çok sayıda çalışma, ağır metal konsantrasyonlarında belirgin mevsimsel farklılıklar olduğunu göstermektedir. Peng vd. (2018) çay bitkisindeki ağır metal içeriklerinin sürgün dönemine göre değişiklik gösterdiğini, sonbahar ve yaz çaylarında Al, Mn, Pb ve Cd düzeylerinin ilkbahar çayına kıyasla önemli ölçüde daha yüksek bulunduğunu, Cu düzeylerinde ise küçük farklılıklar görüldüğünü rapor etmişlerdir. Ayrıca, toprak koşulları ve bitki faktörlerinin çay yapraklarındaki metal konsantrasyonlarını etkilediğini de vurgulamışlardır. Bu durum, sürgünlerde daha fazla metal birikmesine olanak tanıyan daha uzun büyüme dönemlerine atfedilmektedir (Zhao, 2006). Rize ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nden alınan örneklerde, birinci sürgün döneminde N, P ve Fe miktarlarının daha fazla olduğu, buna karşılık Cu, Zn ve Mg gibi bazı mikro elementlerin ikinci sürgünde arttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, 1. sürgün dönemi ile 2. ve 3. sürgün dönemleri karşılaştırılmıştır. 2. ve 3. sürgün döneminde elde edilen

kuru çaylardaki element düzeylerinin farklı olduğu tespit edilmiştir. 1. sürgün ile 2. sürgün arasında N, P ve Fe seviyelerinde düşüş gözlemlenirken, K, Co, Mg, Zn ve Cu düzeylerinin ikinci hasatta arttığı, ayrıca 3. hasatta ise azalma eğiliminde olduğu görülmüştür (Horuz ve Korkmaz, 2006). Horuz ve Korkmaz (2006) sürgün dönemleriyle ilgili yaptıkları analizlerde, birinci sürgünde toplanan çay bitkisinde N, Ca, Mg ve Zn elementlerinin yeterli miktarlarda bulunduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, P, Fe ve Zn eksiklik gösterirken, K oldukça yetersiz olarak bulunmuştur. İkinci sürgün döneminde ise N, P ve Fe elementlerinde eksiklik devam ederken, K'da orta seviyede bir eksiklik gözlemlenmiştir; Ca, Mg, Zn ve Cu değerlerinin ise yeterli seviyede olduğu bildirilmiştir. Üçüncü sürgün çay yapraklarında da benzer sonuçlar görülmüştür: N, P ve Fe eksik, K orta düzeyde yetersizken, Ca, Mg, Zn ve Cu yeterli olarak belirlenmiştir. Genel olarak, çay bitkisinin topraktan besin maddelerini alma sıralaması $N > Ca > K > Mg > P > Zn > Fe > Cu$ şeklindedir. Bu durum, özellikle ikinci ve üçüncü sürgün dönemlerinde, besin elementlerinin dengeli bir şekilde alınabilmesi için toprağın takviye edilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, sürgün dönemlerinin ilerlemesiyle birlikte bazı mikro ve makro elementlerin bitkideki seviyelerinde azalma gözlemlenmesi, çayın kalite ölçütlerini ve infüzyon değerlerini doğrudan etkileyebilecek önemli bir unsur olarak görülmektedir. Vural (2017) gerçekleştirdiği araştırmada, Rize Cumhuriyet Çay Fabrikası'ndan temin edilen birinci ve ikinci sürgün örneklerinde özellikle Cu, Al (alüminyum) ve Mn düzeylerinin yüksek olduğu, ikinci sürgünde ise Zn ve Mg artışının belirgin bir şekilde görüldüğü bildirilmiştir. Zaman vd. (2024) *Camellia sinensis* çeşitlerinin genç ve olgun yapraklarında büyüme mevsimleri boyunca ağır metal ve mineral içeriklerindeki değişimlere odaklanmışlardır. Ağır metal içeriklerinde önemli farklılıkların olduğunu ve ağır metal içeriklerinin çeşide ve mevsime göre değişiklik gösterdiğini ifade etmişlerdir. Analiz edilen tüm besin maddelerinin içeriğinin olgun yapraklarda genç yapraklara göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Yapılan bir çalışmada, siyah çay yapraklarındaki Cu, Cd ve Pb içeriklerinin ortalamalarının ilkbahar ve yaz aylarında ölçüldüğü ve hasat mevsimleri arasında önemli bir fark olmadığı, Cu, Cd ve Pb seviyelerinin mevsime göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, bazı metallerin İran'ın standart eşik değerlerini aştığı ve bu nedenle kontrol önlemlerinin alınması gerektiği belirtilmiştir (Karimzadeh vd., 2011). Pb konsantrasyonlarını

inceleyen bir çalışma, yaz aylarında hasat edilen yeni sürgünlerin en kısa büyüme dönemine sahip olduğunu, sonbahar sürgünlerinin ise orta düzeyde bir büyüme dönemine sahip olduğunu ve daha uzun büyüme dönemlerinin daha fazla kurşun birikimine olanak sağladığını ortaya koymuştur (Zhao, 2006). Ağır metal içeriği üzerindeki mevsimsel etki elemente göre değişmekte olup, bazı metaller diğerlerinden daha belirgin mevsimsel farklılıklar göstermektedir (Zaman vd., 2024). Çay sürgünlerindeki Pb konsantrasyonu mevsimsel olarak değişmekte olup, Nisan-Haziran ayları arasında en yüksek, Temmuz ayında ise en düşük seviyeye ulaşmaktadır. Yaşlı çay bitkilerinin sürgünlerinde genellikle daha yüksek Pb konsantrasyonları bulunur; bu da olgunluk ile ağır metal birikimi arasında bir korelasyon olduğunu göstermektedir. Mevsimsel değişikliğin ve olgunluğun sürgün ve yapraklardaki Pb konsantrasyonu üzerine etkisinin olduğu rapor edilmiştir (Han vd., 2009). Taze çay ve siyah çaydaki ağır metal konsantrasyonları, filizlenme dönemi/hasat mevsimine göre önemli ölçüde değişiklik gösterir; olgun yapraklar genellikle genç yapraklardan daha yüksek konsantrasyonlar içerir ve mevsimsel farklılıklar sonbahar/yaz çaylarında ilkbahar çayına kıyasla daha yüksek seviyeler gösterir.

4.2. Toprak Ağır Metal Konsantrasyonları

Bitkilerde ağır metallerin alımı ve birikimi, toprağın fizikokimyasal özelliklerine ve toplam ağır metal konsantrasyonuna ve biyoyararlanımına bağlıdır (Ju vd., 2024). Çay üretimi için önemli bir ortam olan toprak, çay yapraklarının verimini ve kalitesini belirler. Toprağın ağır metallerle kirlenmesi, gizlenme, geri döndürülemezlik, gecikme ve uzun vadeli sonuçlar gibi özellikleri göz önüne alındığında, yalnızca ürün verimini ve kalitesini doğrudan etkilemekle kalmaz, aynı zamanda besin zincirinde biyolojik birikim süreci yoluyla insan sağlığı için potansiyel bir tehlike de oluşturur. Birçok araştırmacı, tarım topraklarındaki ağır metallerin analizlerini ve değerlendirmelerini gerçekleştirmiştir. Günümüzde bu alana yönelik literatürde yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Niu vd. (2024) Shangluo çay bahçesi toprağındaki ağır metallerin ortalama konsantrasyonlarını Pb için 18,99 mg/kg, Cr için 67,03 mg/kg olarak tespit etmiş olup, bu değerlerin bölge için belirlenen arka plan seviyelerinin altında olduğunu ifade etmişlerdir. Ju vd. (2024) çay topraklarındaki ağır metallerin toplam konsantrasyonlarını Pb için 15,2-153 ve Cr için

3,8-409 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Rashid vd. (2016) genel olarak çay plantasyon topraklarının ortalama Pb seviyesinin 19,43 µg/g olduğunu bildirmişlerdir. Jean-Philippe vd. (2012) Amerika Birleşik Devletleri'ndeki tarım topraklarındaki Cr değerini 48,5 µg/g, Pb değerini 55,00 µg/g, Prajapati ve Meravi (2014) Hindistan'daki tarım topraklarındaki Cr değerini 1,23 µg/g, Pb değerini 2,82 µg/g, Chen ve Pu (2007) Çin'in Kunshan bölgesindeki Cr değerini 87,73 µg/g, Pb değerini 30,48 µg/g olarak bildirmişlerdir. Arda vd. (2015) toprak örneklerindeki Pb, Cr ve Cu değerlerini sırasıyla 0,55-39,75 ppm, 3,55-19,55 ppm ve 2,4-21,4 ppm arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Parlak vd. (2021) pırasa ve yer fıstığı tarlalarındaki toprakların Pb, Cr ve Cu değerlerini sırasıyla 0,77-21,26 mg/kg, 7,78-228,67 mg/kg ve 12,62-45,14 mg/kg olarak belirtmişlerdir. Özkan (2017) yaptığı çalışmada; Antakya-Cilvegözü karayolu çevresindeki tarım alanlarında ağır metal kirliliği ve karayolu uzaklığının toprakta ağır metal birikimi üzerine değişim durumunu araştırmıştır. Topraklardaki Co içeriğinin 0-1,83 mg/kg arasında değiştiğini ifade etmiştir. Uzuner (2015) çay topraklarındaki Co ve Mn içeriğini sırasıyla 3,30-19,93 ve 148,766-1033,700 ppm olarak belirtmiştir. Kul vd. (2021) Co ve Mn konsantrasyonlarının topraklarda sırasıyla 0,35-7,09 ve 11,86-373,75 mg/kg aralığında değiştiğini ifade etmişlerdir. Toprak içerisindeki toplam Co konsantrasyonu 0,05 ile 300 mg/kg arasında değişkenlik göstermektedir. Ortalama Co konsantrasyonu ise 10-15 mg/kg arasında değişmektedir (Hooda, 2010). Kacar vd. (1979) Doğu Karadeniz Bölgesi'nde çay tarımı yapılan toprak örneklerinde bitkiye yararlı Cu, Mn ve Zn konsantrasyonlarının sırasıyla 0,02-7,32 mg/kg, 3,1-97,3 ve 1,9-39,1 mg/kg arasında değiştiğini, ortalama 1,09, 42,7 ve 6,2 mg/kg olduğunu; Özyazıcı vd. (2011) aynı bölgede çay tarımı yapılan toprakların Cu, Mn ve Zn konsantrasyonlarının sırasıyla 0,02-14,7, 0,40-101 ve 0,01- 8,45 mg/kg arasında değiştiğini ve Nath (2013b) ise Hindistan'ın Dibrugarh bölgesindeki çay yetiştiriciliği yapılan alanların Cu, Mn ve Zn konsantrasyonlarının sırasıyla 12,7-26,3, 119-421 ve 21,4-45,3 mg/kg arasında olduğunu belirlemişlerdir. Balcı vd. (2016) çay tarımı yapılan topraklardan aldığı örneklerde Cu, Mn ve Zn değerlerinin sırasıyla 0,01-19,4, 0,33-186 ve 0,03-44,9 mg/kg arasında değiştiğini, ortalamalarının ise 1,44, 29,3 ve 1,61 mg/kg olduğunu ifade etmişlerdir. Arda vd. (2015) Edirne ili İpsala ilçesinde tarımsal çeltik ekiminde kullanılan toprak örneklerindeki Mn konsantrasyonlarını 125-1215 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Bakırcıoğlu (2009) buğday için ağır metal

konsantrasyonlarını incelemiş ve toprakta Mn konsantrasyonunu 579,2-1216,5 mg/kg olarak tespit etmiştir. Şimşek vd. (2020) yaptığı çalışmada bazı tarım bitkilerinin ve bunların yetiştği toprakların ağır metal oranlarını incelemişlerdir. Bu araştırmada, topraktaki Mn değerinin 285,48 mg/kg olarak tespit edildiğini aktarmışlardır. Nath (2013a) Hindistan'da çay tarımı yapılan iki bölge (Dibrugarh ve Sivasagar) topraklarında toprağın 0-15 cm derinlikte Zn konsantrasyonun 21,4-65,2 mg/kg arasında değiştiğini ifade etmiştir. Özkan ve Demir (2023) Rize ili Derepazarı ilçesindeki geleneksel çay tarımı ile Hemşin ilçesi organik çay tarımı yapılan toprakların ağır metal içeriklerini sırasıyla Mn 34,00 mg/kg ve 33,13 mg/kg, Co 0,09 mg/kg ve 0,00 mg/kg, Ni 0,10 mg/kg ve 0,06 mg/kg, Cu 0,85 mg/kg ve 0,28 mg/kg, Zn 2,87 mg/kg ve 5,21 mg/kg, Pb ise 0,05 mg/kg ve 0,02 mg/kg olarak belirlemişlerdir. Her iki alandaki topraklarda Cr tespit edilmemiştir. Güney Shaanxi'deki çay plantasyon topraklarında çeşitli ağır metallerin konsantrasyonlarında önemli farklılıkların olduğu, bu konsantrasyonların Pb, Zn, Cu ve Cr için sırasıyla 2,4-29,2 mg/kg, 25,7-46,9 mg/kg, 7,5-29,0 mg/kg ve 0,8-27,8 mg/kg aralığında olduğu Zhao vd. (2019) tarafından bildirilmiştir. Huang vd. (2016) yapmış oldukları çalışmalarında çay plantasyon topraklarının Pb ve Cr içeriklerini 39,93 ve 59,432 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Üst topraktaki Cr, Cu ve Pb'nin ortalama toplam konsantrasyonları sırasıyla 42,796, 11,478 ve 40,544 mg/kg; 20-40 cm toprak tabakasında ise sırasıyla 43,269, 11,263 ve 40,232 mg/kg olarak bulunmuştur (Chang vd., 2024). Yunnan Eyaletindeki Mengku çay bahçesinde Cr ve Cu değerleri 110 ve 88 mg/kg, Jingmai çay bahçesinde ise Cr ve Cu değerleri 87 ve 106 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Xie vd., 2023). Çay topraklarındaki ağır metal konsantrasyonlarının ortalamaları Cr için $185,65 \pm 27,91$ µg/g, Mn için $341,15 \pm 24,41$ µg/g, Ni için $25,6 \pm 3,27$ µg/g, Cu için $21,71 \pm 2,33$ µg/g, Zn için $41,29 \pm 5,27$ µg/g ve Pb için $17,65 \pm 2,35$ µg/g olarak bulunmuştur (Mazunga ve Kamanyola, 2021). Çin'in Yunnan eyaletinin güneybatı bölgesinden alınan çay toprak ağır metal içerikleri ortalama Pb (3,2 ila 387 mg/kg) ve Cr (6 ila 600 mg/kg) miktarları için sırasıyla 29,27 ve 79,06 mg/kg olarak bildirilmiştir (Liu vd., 2021). Çalışma alanındaki Chenzhou'nun yüzey toprağındaki Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn'nin ortalama içerikleri sırasıyla 69,7, 31,1, 32,9, 27,81 ve 82,9 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Kuang vd., 2024). Bayraklı ve Dengiz (2020) Rize ili çay topraklarında Cu için 6,95-200,11 mg/kg, Cr için 6,14-94,82 mg/kg, Pb için 0,001-

128,96 mg/kg, Co için 0,001-29,36 mg/kg, Ni için 4,71-62,47 mg/kg ve Zn için 22,63 ile 310,71 mg/kg arasında değişen konsantrasyonlarda olduğunu ve ortalama değerlerin ise sırasıyla 39,46, 23,04, 12,82, 7,81, 13,64 ve 58,44 mg/kg olarak hesaplandığını ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada, çay topraklarında genel Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn konsantrasyon aralıkları sırasıyla 24,05-121,84, 20,22-80,38, 26,18-101,08, 13,55-93,61, 60,59-190,59, 95,07-389,09 ve 510,92-4186,38 ppm aralığında değişmiş olup, ortalama Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn konsantrasyonları sırasıyla 40,87, 35,72, 54,68, 35,78, 120,56, 182,67 ve 1748,95 ppm olarak tespit edilmiştir. Bu topraklardaki ağır metaller ortalama konsantrasyonlarına göre $Mn > Zn > Cu > Co > Pb > Cr > Ni$ şeklinde sıralanmışlardır (Tablo 28). Benzer şekilde, Mazunga ve Kamanyola (2021) Amani çay plantasyon alanından elde ettikleri ağır metal konsantrasyonlarının $Mn > Cr > Zn > Ni > Cu > Pb > Cd > Hg > As$ şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Bu durum, topraktaki Mn'nin mekansal değişkenliğinin bu ağır metaller arasında en güçlü olduğunu göstermiştir. Yüksek Mn içeriğine sahip olan toprakların yağmur mevsiminde bile gübre tutma kapasitesine sahip olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Acar ve Özkul (2020), Türkiye'nin Batı Anadolu bölgesindeki Kütahya-Eskişehir Karayolu boyunca uzanan yol kenarı topraklarındaki Cu, Ni ve Zn konsantrasyonlarının sırasıyla 4,25-43,43 mg/kg, 38,00-1981,10 mg/kg, 12,50-213,69 mg/kg arasında olduğunu bildirmiştir. Bu topraklardaki ağır metaller ortalama konsantrasyonlarına göre $Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Cd$ olacak şekilde sıralanmıştır.

Türkiye'de tarım arazilerindeki ağır metallerin birikiminin izlenmesi ve kontrol altına alınması amacıyla yayımlanan Toprak Kirliliği Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik kapsamında, çeşitli ağır metaller için hedef ve maksimum izin verilen değerler belirlenmiştir. Bu değerler, insan sağlığı, çevre güvenliği ve tarımsal üretim açısından risk oluşturmadan toprak kullanımına olanak sağlamak amacıyla sınırlanmıştır. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine göre topraklardaki sınır değerler Pb için 50-300, Ni için 75, Co için 20, Cr için 100, Cu için 50-140 ve Zn için 150-300 mg/kg olarak belirtilmiştir (Anonymous, 2001). Yönetmelikte Mn sınırlamasına dair herhangi bir veri yoktur. Bu elementin toprak içindeki toksisite limitleri, ilgili literatür ve yerel çalışmalar çerçevesinde ele alınmıştır. Toprakların toplam Mn kapsamı öteki bitki besin maddelerine göre

olağanüstü geniş sınırlar arasında değişiklik gösterir. Toplam Mn topraklarda <20- >3000 µg/g arasında değişiklik göstermektedir (Krauskopf, 1972). Topraklardaki mangan miktarının 20 ile 3000 mg/kg arasında değiştiği, ortalama miktarının 600 mg/kg olduğu rapor edilmiştir (Kacar, 2019). Bu çalışmada, örnek alınan lokalitelerdeki Pb, Ni, Cr, Zn ve Mn değerlerinin Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine göre normal sınırların içerisinde, Co değerinin normal sınırın dışında yer aldığı ve sadece benzinli çay kesme motoru ile toplanan çay örneklerinin yetiştirdiği topraklardaki Cu değerlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yaylalı-Abanuz ve Tüysüz (2009), Türkiye'nin Karadeniz bölgesindeki maden yataklarının yakınında bulunan çay bahçelerinden toplanan 89 toprak örneğini içeren bir çalışmada, ortalama Cu, Zn, Pb ve Co konsantrasyonlarının sırasıyla 351,00 mg/kg, 334,10 mg/kg, 101,1 mg/kg ve 59,1 mg/kg olduğunu ve Türkiye sınır değerlerini önemli ölçüde aştığını gözlemlemişlerdir. Bu durum, yerel tarımsal üretimi hem ekonomik hem de sağlık açısından tehdit etmektedir. Güneydoğu Çin'deki Huangshan Milli Parkı'ndaki yollar boyunca toplanan 47 toprak örneğini inceleyen Huang vd. (2022), ortalama ağır metal konsantrasyonlarını Zn (77,89 mg/kg) > Cu (14,83 mg/kg) > Ni (12,22 mg/kg) > Cd (0,29 mg/kg) şeklinde tespit etmişlerdir. Tüm ortalama element konsantrasyonlarının Çin toprak kılavuzuna uygun olduğunu bildirmişlerdir. Hu vd. (2023) çay plantasyonlarındaki toprak ağır metal konsantrasyonlarının Dünya Sağlık Örgütü tarafından verilen limit değerinin üstünde ve toplanan verilerin neredeyse tamamının yüksek kirlilik seviyelerinde olduğunu bildirmişlerdir.

Yapılan birçok çalışmada trafiğin toprak üzerinde kirliliğe neden olduğu bulunmuştur (Amusan vd., 2003; Çavuşoğlu vd., 2006; Çavuşoğlu vd., 2008; Elbagermi vd., 2013). Okcu vd. (2009), yapmış oldukları çalışmalarında kurşunun toprağa ve atmosfere geçişinin çeşitli yollarla olduğunu ve bu yollar arasında, endüstri kuruluşlarının bacalarından ve taşıtların egzozlarından çıkan dumanlar, lehim, akü, boya, elektrik ve petrol sanayine ait atıklar ile pestisitlerin sayılabileceğini ifade etmişlerdir. Rashid vd. (2016) çay plantasyon topraklarının Pb değerlerini 2,80-66,54 µg/g aralığında değiştiğini, 66,54 µg/g değerine sahip toprakların otoyola bitişik konumu nedeniyle yüksek çıktığını ifade etmişlerdir. Özkan (2017) topraktaki ağır metal konsantrasyonunun karayolu ile uzaklık arttıkça azaldığını bildirmiştir. Çay yetiştirme ortamında insan faaliyetleri gibi dış faktörlerin topraktaki ağır metal

konsantrasyonlarında artışa ve Zn, Cd ve Hg birikiminin artmasına neden olduğunu bildirmiştir (Zhao vd., 2019). Pb genel olarak motorlu araçlardaki yakıtın yanması sonucunda ortaya çıkan etil-Pb den kaynaklanmaktadır (Seven vd., 2018). Bu çalışmadaki Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn konsantrasyonları, incelenen çay bahçesi toprakları arasında heterojenliğe sahiptir. En yüksek Pb, Ni, Cr, Cu ve Mn içerikleri temiz alanda benzinli çay motoru ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarda, en yüksek Co ve Mn içerikleri ise kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklarda tespit edilmiştir (Şekil 15-21). Mevcut çalışmadaki farklılıkların gübrelerden, benzinle çalışan çay kesme motorundan ve trafik kaynaklı kirlilikten kaynaklandığı ön görülmektedir. Egzoz gazlarının etkilerine yönelik olarak, Turer vd. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada, otoyol kenarında yetiştirilen tarımsal ürünlerde egzoz kaynaklı ağır metal birikiminin özellikle Pb açısından yüksek olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, Adriano (2001) egzoz gazlarının taşıdığı ağır metal parçacıklarının toprakta uzun süre kalabileceğini ve bu yüzden uzun vadeli izleme programlarının önemini vurgulamıştır. Uzuner (2015) topraktaki Ni değerlerinin trafiğin yoğun olduğu bölgelerde yüksek seviyede olduğunu tespit etmişlerdir. Bakırdere ve Yaman (2008) Elazığ'da otoyolun çevresindeki toprak ve bitkilerde Pb, Cd ve Cu seviyelerini incelemişlerdir. Diğer araştırmalarda olduğu gibi, bu çalışmada da analiz edilen ağır metal yoğunlukları araç trafiği ile doğru orantılı bir şekilde yükselmiştir. Çalışmadaki tüm elementlerin en düşük değerleri temiz alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştiği topraklardadır. Benzer şekilde, Mazunga ve Kamanyola (2021) topraktaki en düşük ağır metal konsantrasyonuna sahip olan alanın tepede olması, ormandan ve nehirden uzakta yer almasından dolayı düşük değerlere sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Yapılan çeşitli araştırmalar, azotlu, fosforlu ve kompoze gübrelerin bileşiminde Pb ve Fe gibi bazı ağır metallerin bulunduğunu ortaya koymuştur (Camelo vd., 1997; Köleli ve Kantar, 2005). Yoğun inorganik gübre kullanımının topraklardaki mikro element düzeyleri üzerindeki etkilerini inceleyen Rao ve Ghosh (1981), artan azot dozlarının bitkiler tarafından çinko ve kükürt alımını artırdığını ortaya koymuştur. Bu durum, gübre uygulamalarının yalnızca makro besin maddeleri değil, aynı zamanda mikro elementlerin biyoyararlanımı üzerinde de önemli rol oynadığını göstermektedir. Benzer şekilde, Tokaloğlu ve Kartal (2004) tarafından geleneksel

tarım uygulamalarının yapıldığı çay plantasyonlarında yürütülen bir çalışmada, bitki yapraklarında Mn ve Cd birikiminin meydana geldiği rapor edilmiştir. Bu bulgular, özellikle uzun süreli gübreleme uygulamalarının ağır metal birikimi açısından dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Fosforlu gübrelerin ağır metal içeriklerinin değerlendirildiği bir çalışmada Köleli ve Kantar (2005), altı farklı kimyevi gübre fabrikasından temin edilen fosforlu gübreler, bu gübrelerin üretiminde kullanılan fosfat kayaları ve fosforik asit örneklerini incelemiştir. Yapılan analizler sonucunda, ham fosfat kayasında toplam Cd, Pb, Ni ve As düzeylerinin sırasıyla 358, 335, 386 ve 531 mg/kg P düzeylerinde olduğu belirlenmiştir. Bu değerler, fosfat kayasının özellikle Cd ve As bakımından diğer gübre türlerine kıyasla daha yüksek ağır metal içeriğine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan, gübre uygulamalarının yalnızca ağır metal birikimi açısından değil, aynı zamanda toprak sağlığı ve ürün verimliliği üzerindeki etkileri de önem taşımaktadır. Bu bağlamda Yang vd. (2020), farklı organik ve inorganik gübre kombinasyonlarının çay bitkisinin verimi ve toprak kalite indeksi üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Elde edilen bulgular, gübre yönetiminin hem çevresel sürdürülebilirlik hem de tarımsal üretkenlik açısından kritik bir unsur olduğunu göstermiştir. Mevcut çalışmada en yüksek Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Zn ve Mn değerleri birinci sürgün döneminden önce toplanan topraklarda tespit edilmiştir. Birinci sürgün döneminden önce toplanan toprakların ağır metal içerikleri üçüncü sürgün döneminden sonra toplanan toprakların ağır metal içeriklerinden daha yüksektir (Şekil 15-21). Horuz ve Korkmaz (2006) Rize ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nden alınan çay topraklarında 2. hasat döneminde N, P, Co ve Fe miktarlarında artış, K, Mg, Zn ve Cu seviyelerinde ise azalma yaşandığını bildirmişlerdir. Gübreleme uygulamalarının çay yetiştirilen topraklardaki ağır metal birikimine etkisinin incelendiği Doğu Karadeniz Bölgesi'nde gerçekleştirilen bir araştırmada, gübreleme öncesi topraklarda Zn ve Cu eksiklikleri yaygın bir şekilde tespit edilmiştir; toprak örneklerinin %49,6'sında Zn, %11,1'inde ise Cu yetersiz bulunmuştur. Aynı araştırmada, çay bitkisinin bu elementleri yeterince alamadığı gözlemlenmiş, bu durum da topraktaki mikro besin eksikliğinin bitki sağlığı ve kalite üzerindeki etkileri ifade edilmiştir (Balcı vd., 2016). Gübreleme sonrasında gerçekleştirilen değerlendirmelerde, özellikle organik gübre ve biyolojik katkılar kullanıldığında, toprakta mevcut bazı ağır metallerin (Cd, Pb, Cr, As) önemli oranda

azaldığı görülmüştür. Örneğin, deniz kabuklarından elde edilen organik gübre ve kompost uygulamaları, asidik çay topraklarında pH seviyesini artırarak bu metallerin alınabilirliğini %20-26 oranında düşürmüştür; çay yapraklarında ise Pb, Cd ve Cr seviyelerinde %29-61 arasında bir azalma sağlamıştır (Liu vd., 2023). Buna karşın, bazı araştırmalar organik gübrelemenin özellikle Zn, Cu, As gibi elementlerin toprakta birikmesine yol açabileceğini göstermektedir; geleneksel (kimyasal) gübre uygulamalarında ise Cd, Pb ve As gibi toksik metallerin toprakta daha hızlı bir artış gösterdiği belirtilmektedir (Bursalıoğlu, 2019; Yi vd., 2022; Liu vd., 2023). Bu bulgular, gübreleme türü ve sıklığının, çay yetiştirilen topraklarda hem bitki beslenmesini hem de potansiyel ağır metal risklerini doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, Doğu Karadeniz çay topraklarında gübrelemeden önce Zn ve Cu eksikliği yaygınken, gübreleme sonrası kullanılan malzemenin içeriğine bağlı olarak bazı metallerin risk seviyeleri düşebilmekte ya da yükselebilmektedir. Bu nedenle, sürdürülebilir çay üretimi için ağır metal birikimini en aza indirecek, kontrollü ve toprak analizine dayanan gübreleme yöntemlerinin uygulanması büyük bir önem taşımaktadır. Topraktaki çevresel değişiklikler, toprak ve çay yapraklarındaki ağır metal konsantrasyonlarını etkileyebilir ve önceki raporlar, ağır metal konsantrasyonlarının pH (Elnajdi vd., 2023; Ju vd., 2024), toprak H⁺ aktivitesi (Zhang vd., 2005), toprak organik madde (Jin vd., 2005) ve toprak partikül çapı (Qin vd., 2007) ile bağlantılı olduğunu göstermiştir. Toprak asitlenmesi, uzun süreli azotlu gübre uygulamasının değiştirilebilir Al³⁺ birikimini teşvik etmesi ve daha yüksek serbest H⁺ konsantrasyonları üretmesi gerçeğiyle açıklanabilir; azotlu gübre ayrıca toprak asitlenmesini kolaylaştıran NH₄⁺ oluşumuna da yol açar (Zhang vd., 2020). Katyonik formda bulunan ağır metaller, daha yüksek pH'larda adsorbe edilmeye ve sabitlenmeye eğilimlidir. Toprak asitlenmesi süreciyle birlikte ağır metaller kademeli olarak serbest katyonlara ayrılarak bitkiler üzerindeki toksik etkilerini artırır (Pang vd., 2023). Ayrıca, çay kökünden salgılanan oksalik asit ve malik asit gibi organik asitler de toprak asitlenmesine katkıda bulunur (Yan vd., 2018). Çay plantasyon topraklarındaki ağır metal kontaminasyonu, bu metallerin çay yapraklarında birikerek tüketiciler için sağlık riskleri oluşturabilmesi nedeniyle kritik bir çevre ve gıda güvenliği endişesi oluşturmaktadır (Hu vd., 2023). Çeşitli gübrelerin (hem organik hem de inorganik) uygulanması, çay yetiştirme sistemlerine ağır metal girdisinin

birincil kaynağı olarak belirlenmiştir (Mazunga ve Kamanyola, 2021; Hu vd., 2023). Farklı gübre türlerinin topraktaki ağır metal konsantrasyonlarını nasıl etkilediğini anlamak, verimliliği korurken kontaminasyon risklerini en aza indiren sürdürülebilir çay yetiştirme uygulamaları geliştirmek için çok önemlidir.

Bu çalışmada, Rize ili Merkez ilçesindeki farklı çay bahçesi alanlarındaki çay plantasyonlarının topraklarındaki ve ilgili çay yapraklarındaki ağır metal konsantrasyonları incelenmiştir. Sonuçlar, toprak Pb, Ni, Cr ve Zn'nin gerek toplam ortalama gerekse parametrelerdeki ortalama konsantrasyonlarının Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine göre belirlenen sınır değerlerini aştığını göstermiştir. Aynı şekilde, Mn konsantrasyonları da literatürde Mn için belirtilen maksimum sınırın altında yer almıştır. Co konsantrasyonları Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine göre belirlenen sınır değeri aşmıştır. Cu konsantrasyonları ise sadece temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çayların yetiştiği topraklarda sınır değeri aşmıştır. En yüksek Pb, Ni, Cr, Cu ve Zn konsantrasyonları temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan çayların yetiştikleri topraklarda tespit edilmişken, en yüksek Co ve Mn konsantrasyonları kirli alanda çay kesme makası ile toplanan çay örneklerinin yetiştikleri topraklarda tespit edilmiştir. Tüm toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları birinci sürgün döneminden önce alınan topraklarda yüksek bulunmuştur. Toprak ağır metal konsantrasyonları genel ortalamaya göre $Mn > Zn > Cu > Co > Pb > Cr > Ni$ şeklinde sıralanmıştır.

Yaş çay Pb, Ni, Co, Cr ve Zn'nin gerek toplam ortalama gerekse parametrelerdeki ortalama konsantrasyonları Dünya Sağlık Örgütüne göre belirlenen sınır değerleri aşmamıştır. Mn konsantrasyonları ile temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan ve kirli alanda çay kesme makası ile toplanan yaş çay örneklerinin Cu konsantrasyonları izin verilen değerlerin dışına çıkmıştır. En yüksek Ni, Cr ve Mn konsantrasyonları temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan yaş çaylarda tespit edilmişken, en yüksek Pb, Co, Cu ve Zn konsantrasyonları kirli alanda çay kesme makası ile toplanan yaş çay örneklerinde tespit edilmiştir. Tüm yaş çay örneklerinin ağır metal konsantrasyonları üçüncü sürgün döneminde toplanan yaş çaylarda yüksek bulunmuştur. Yaş çay ağır metal konsantrasyonları genel ortalamaya göre $Mn > Zn > Cu > Ni > Co > Cr > Pb$ şeklinde sıralanmıştır.

Mamul çay Pb, Ni, Co ve Zn'nin gerek toplam ortalama gerekse parametrelerdeki ortalama konsantrasyonları Dünya Sağlık Örgütüne göre belirlenen sınır değerleri aşmamıştır. Cr ve Mn konsantrasyonları ile temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan ve kirli alanda çay kesme makası ile toplanan yaş çay örneklerinden elde edilen mamul çay örneklerinin Cu konsantrasyonları izin verilen değerlerin dışına çıkmıştır. En yüksek Pb, Ni, Co, Cr ve Mn konsantrasyonları temiz alanda benzinli çay kesme motoru ile toplanan yaş çaylardan elde edilen mamul çaylarda tespit edilmişken, en yüksek Cu ve Zn konsantrasyonları kirli alanda çay kesme makası ile toplanan yaş çay örneklerinden elde edilen mamul çaylarda tespit edilmiştir. Tüm mamul çay örneklerinin Pb, Ni, Co ve Cu konsantrasyonları üçüncü sürgün döneminde, Cr konsantrasyonu ikinci sürgün döneminde, Zn ve Mn konsantrasyonları ise birinci sürgün döneminde toplanan yaş çaylardan elde edilen mamul çaylarda yüksek bulunmuştur. Mamul çay ağır metal konsantrasyonları genel ortalamaya göre $Mn > Zn > Cu > Ni > Cr > Co > Pb$ şeklinde sıralanmıştır.

Sonuç olarak, hem yaş hem de mamul çayların Mn ve Cu konsantrasyonları ile mamul çayların Cr konsantrasyonu Dünya Sağlık Örgütü tarafından önerilen seviyenin üzerinde bulunmuştur. Çay bahçelerinden elde edilen toprakların Co ve Cu ile kirlendiği ve bu seviyelerin Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğince belirlenen sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Temiz alanda benzinli çay kesme motoru ve kirli alanda çay kesme makası ile toplanan gerek yaş çay ve yaş çay örneklerinden elde edilen mamul çay örneklerinde gerekse bu çayların yetiştiği topraklarda ağır metal konsantrasyonları yüksek çıkmıştır. En düşük seviyeler ise temiz alanda çay makası ile toplanan alanlarda tespit edilmiştir. Toprak, yaş ve mamul çay örneklerinin en yüksek konsantrasyonda ağır metal içerikleri $Mn > Zn > Cu$ şeklinde sıralanmıştır. Yüksek seviyelerde ağır metaller, çay bitkilerinin kökleri aracılığıyla çay yapraklarına kolayca taşınabilir. Bu çalışmanın sonuçları, Karadeniz Bölgesi Rize ilindeki çay yapraklarındaki ağır metal birikimini ve bunları etkileyen faktörleri anlamamıza katkıda bulunmaktadır.

Benzinli motorlu çay kesme makinelerinin çay hasadında kullanımı, iş gücü ihtiyacını azaltarak kısa vadede avantaj sağlasa da uzun vadede çevresel ve tarımsal bazı olumsuzluklara yol açabilir. Bu makinelerin çalışması sırasında atmosfere salınan egzoz gazları ve yakıt artıklarının, özellikle Pb, Cd ve Ni gibi ağır metaller yoluyla

toprağa birikmesi mümkündür. Zamanla bu elementlerin çay bitkisinin yaprak dokusuna geçişi, hem toprak sağlığı hem de ürün güvenliği açısından risk oluşturmaktadır. Ayrıca, motorlu makinelerin mekanik kesim yapısı, çay bitkisinde doku bozulmalarına ve düzensiz sürgün gelişimine neden olarak ürün kalitesini olumsuz etkileyebilir. Tüm bu etkiler birlikte değerlendirildiğinde, benzinli makinelerin yaygın kullanımının uzun vadede toprağın kimyasal yapısını bozabileceği, ürünün ağır metal içeriğini artırabileceği ve genel olarak çay tarımının ekolojik dengesini olumsuz etkileyebileceği söylenebilir. Bu nedenle, çevre dostu ve sürdürülebilir alternatif hasat yöntemlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın bulguları doğrultusunda, çay tarımı yapılan toprakların ve bu topraklarda yetişen çay bitkilerinin düzenli aralıklarla ağır metal analizlerine tabi tutulması önerilmektedir. Toprakta zamanla birikebilecek potansiyel kirleticilerin, özellikle çay bitkisinin yapraklarında ve dolayısıyla mamul çayda taşınma riskine karşı izleme sistemlerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Kimyasal gübreler, pestisitler ve tarımsal sulamada kullanılan su kaynakları gibi girdilerin içeriği kontrol altında tutulmalı; ağır metal içeriği yüksek ürünlerin kullanımına sınırlama getirilmelidir. Ayrıca, çay hasadında yaygın olarak kullanılan benzinli motorlu çay kesme makinelerinin, özellikle egzoz gazları yoluyla çevreye yaydığı Pb, Cd ve benzeri ağır metallerin toprak ve bitki üzerindeki birikimine katkıda bulunabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle alternatif, çevre dostu hasat teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması teşvik edilmelidir. İşleme sürecinde kullanılan ekipmanlar, proses suyu ve işleme ortamları da olası bulaş kaynakları olduğundan, bu aşamalar da denetim sürecine dâhil edilmelidir. Sonuç olarak, çay üretim zincirinin tüm aşamalarında ağır metal kirliliğini önlemeye yönelik bütüncül ve sürdürülebilir bir yaklaşım benimsenmelidir.

Bu çalışmada çay yetiştirilen topraklar ile yaş ve mamul çaylarda ağır metal birikimi değerlendirilmiş olmakla birlikte, bu bulguların daha geniş örneklem gruplarıyla desteklenmesi ileride yapılacak çalışmalar için faydalı olacaktır. Özellikle farklı yükseklik kuşaklarında, mevsimsel değişimlerin etkisinin dikkate alındığı uzun dönemli izleme çalışmaları ile ağır metallerin toprak-bitki-ürün zincirindeki taşınım dinamikleri daha net ortaya konabilir. Ayrıca, çay tarımında kullanılan benzinli

motorlu makinelerin çevreye ve ürün kalitesine olan etkilerinin deneysel olarak incelendiği çalışmalar, bu makinelerin ağır metal kirliliğine katkısını somut verilerle destekleyecektir. Buna ek olarak, farklı gübreleme sistemlerinin (organik, inorganik, entegre vb.) ağır metal birikimi üzerindeki etkilerini karşılaştıran kontrollü tarla denemeleri, daha sağlıklı tarım yönetim stratejileri geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Sonuç olarak, hem gıda güvenliğini hem de çevresel sürdürülebilirliği esas alan bütüncül yaklaşımlarla yapılacak ileri düzey araştırmalar, çay üretiminde kalite ve güvenilirliğin artırılmasına önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.



KAYNAKÇA

- Abanuz, G. Y. (2007). Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Çay Tarımı Yapılan Toprakların ve Çay Bitkilerinin Ağır Metal Kapsamlarının Araştırılması. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 368s.
- Abanuz, G. Y., & Tüysüz, N. (2012). Çayeli Bakır Yatağı Çevresindeki Toprak ve Bitkilerde Mevsimsel Değişimlerin İstatistiksel Olarak Belirlenmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36(2), 99-114.
- Acar, R.U., & Ozkul, C. (2020). Investigation of heavy metal pollution in roadside soils and road dusts along the Kütahya-Eskisehir highway. *Arab. J. Geosci.* 13 (5), 216.
- Acar, S. (2019). Şanlıurfa'da tüketilen siyah çay çeşitlerinin ağır metal içeriklerinin saptanması (Doctoral dissertation, Master's Thesis]. Sanliurfa: Harran University).
- Achudume, A. C., & Owoeye, D. (2010). Quantitative assessment of heavy metals in some tea marketed in Nigeria-Bioaccumulation of heavy metals in tea. *Health*, 2(9), 1097-1100.
- Adiloğlu, A., & Adiloğlu, S. (2006). An investigation on nutritional status of tea (*Camellia sinensis* L.) grown in eastern black sea region of Turkey. *Pakistan journal of biological sciences*, 9(3), 365-370.
- Adriano, D. C. (2001). *Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals*. Springer-Verlag.
- Allen, S. E., Grimshaw, H. M., Parkinson, J. A., Quarmby, C., Roberts J. D. (1986). Chemical Analysis. Methods in Plant Ecology. Editör: Chapman, S. B., Blackwell. Oxford: *Scientific Publications*. 285-344.
- Amusan, A., Bada, S. B., & Salami, A. T. (2003). Effect of Traffic Density on Heavy Metal Concent of Soil and Vegetation along Roadsides in Osun State Nigeria. *West African Journal of Applied Ecology*, 4, 107-114.
- Anaman, R., Peng, C., Jiang, Z., Liu, X., Zhou, Z., Guo, Z., & Xiao, X. (2022). Identifying sources and transport routes of heavy metals in soil with different land uses around a smelting site by GIS based PCA and PMF. *Science of the Total Environment*, 823, 153759.
- Ananthacumaraswamy, S., Sivapalan, P. (1990). Aluminium in Black Tea S.L.J. *Tea Sci.*, 59(1):4-8.
- Anonim, (2024). Bitki Besin Elementleri. Erciyes üniversitesi, Bahçe bitkileri fizyolojisi ders notu.

- Anonymous, (2001). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2001.
- Anonymous, (2002). Türk Gıda Kodeksi. Gıda Maddelerinde Belirli Bulaşanların Maksimum Seviyelerinin Belirlenmesi Hakkında Tebliğ (2002/63). 23 Eylül 2002 tarih ve 24885 sayılı Resmî Gazete, Ankara.
- Ansari, F., Norbaksh, R., & Daneshmandirani, K. (2007). Determination of Heavy Metals in Iranian and Imported Black Tea. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 4, 243-248.
- Apaydın, A. (2005). Sanayiden Kaynaklanan Toprak Kirliliğinin Araştırılması: Samsun-Tekkeköy Bölgesi. (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 4-6, Ankara.
- Arda, H., Helvacıoğlu, İ. A., Meriç, Ç., & Tokatlı, C. (2015). İpsala İlçesi (Edirne) Toprak ve Pirinç Kalitesinin Bazı Esansiyel ve Toksik Element Birikimleri Açısından Değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 8(1), 7-13.
- Asati, A., Pichhode, M., & Nikhil, K. (2016). Effect of heavy metals on plants: an overview. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 5(3), 56-66.
- Ashraf, W., & Mian, A. A. (2008). Levels of selected heavy metals in black tea varieties consumed in Saudi Arabia. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 81(1), 101-104.
- Atasoy, A. D., Yesilnacar, M. I., Yildirim, A., & Atasoy, A. F. (2019). Nutritional minerals and heavy metals in tea infusions and daily intake of human body. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(2), 234-239.
- Bakırcıoğlu, D. (2009). Toprakta Makro ve Mikro Element Tayini. (Doktora Tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 134, 52- 78, Edirne.
- Bakirdere, S., & Yaman, M. (2008). Determination of lead, cadmium and copper in roadside soil and plants in Elazig, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 136(1), 401-410.
- Balcı, M., Taşkın, M. B., Kaya, E. C., Soba, M. R., Özer, P., Kabaoğlu, A., Turan, M. A., & Taban, S. (2016). Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Çay Tarımı Yapılan Toprakların ve Çay Bitkisinin Demir, Bakır, Çinko ve Mangan Durumları. *Toprak Su Dergisi*, 5(2): 65- 74.
- Bayraklı, B., & Dengiz, O. (2020). An evaluation of heavy metal pollution risk in tea cultivation soils of micro-catchments using various pollution indexes under humid environmental condition. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 31(2), 393-409.

- Bingöl, M. Ü. (1992). Ankara cadde ağaçlarından *Aesculus hippocastanum* L.'da kurşun (Pb) birikimi (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, 62 s, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara).
- Bingöl, M. Ü., Geven, F., Güney, K., Ketenoğlu, O., & Erdoğan, N. (2010). Egzoz gazlarının bitkilere etkileri ve koruma önerileri. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(2), 63-67.
- Bingöl, Ü., Geven, F., & Güney, K. (2008). Heavy Metal (Pb and Ni) Accumulation in the Branch and Bark Tissues of Street Tree *Sophora japonica* L. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 8(1), 93-96.
- Bogdanovic, D., Ubavic, M., & Cuvaradic, M. (1999). Effect of phosphorus fertilization on Zn and Cd contents in soil and corn plants. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 54(1), 49-56.
- Bolat, İ., & Kara, Ö. (2017). Bitki besin elementleri: Kaynakları, işlevleri, eksik ve fazlalıkları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 218-228.
- Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ. İ., Savaşçı, S., & Paslı, N. (2001). Ekoloji-II (Toprak). *Başkent Klişe Matbaacılık, Kızılay-Ankara*.
- Bošković-Rakočević, L., Pavlović, R., & Đurić, M. (2017). Effect of phosphorus fertilizers on yield and cadmium content of potato tubers. *Acta Agric Serbica*, 22(43):37-46
- Bursalıoğlu, E. (2019). The effects of fertilization on the green tea elements. *Environmental Research and Technology*, 2(2), 98-102.
- Cabrera, C., Giménez, R., & López, M. C. (2003). Determination of tea components with antioxidant activity. *J Agric Food Chem*. 51(15):4427-4435
- Cai, L. M., Wang, Q. S., Luo, J., Chen, L. G., Zhu, R. L., Wang, S., Tang, C. H. (2018). Heavy metal contamination and health risk assessment for children near a large Cu-smelter in central China. *Sci. Total Environ*. 650, 725-733.
- Camelo, L. G. L., Miguez, S. R., & Marbán, L. (1997). Heavy metals input with phosphate fertilizers used in Argentina. *Science of The Total Environment*, 204, 45-250
- Cao, H., Qiao, L., Zhang, H., & Chen, J. (2010). Exposure and risk assessment for aluminium and heavy metals in Puerh tea. *Science of the Total Environment*, 408(14), 2777-2784.
- Cao, R. X., Ma, L. Q., Singh, S., Chen, M., Harris, W., Kizza, P. (2001). Field Demonstration of Metal Immobilization in Contaminated Soils Using Phosphate Amendments. Florida Institute of Phosphate Research, Gainesville.

- Cao, X., Ma, L. Q., Singh, S. P., Chen, M., Harris, W. G., & Kizza, P. (2003). Field demonstration of metal immobilization in contaminated soils using phosphate amendments. Florida Institute of Phosphate Research, Gainesville.
- Carrigan, R. A., & Erwin, T. C. (1951). Cobalt determination in soils by spectrographic analysis following chemical preconcentration. *Soil Science Society of America Journal*, 15(C), 145-149.
- Çavuşoğlu, K., Budak, A., & Çakır Arıca, Ş. (2008). Kırıkkale–Kırşehir Karayolunda Taşıtların Sebep Olduğu Kurşun (Pb) Kirliliğinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(2), 223-231.
- Çavuşoğlu, K., Çakır, Ş., Kırındı, T. (2006). Investigation of Lead (Pb) Pollution in *P. nigra* (J.F. Arnold) subsp. *nigra* var. *caraminica* (Loudon) Rehder Collected Road Sides in Some Regions of Kırıkkale City. Dumlupınar Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 11, 11-26.
- Chang, Y., Jiang, F., Peñuelas, J., Sardans, J., & Wu, Z. (2024). Assessment of Heavy Metals in Tea Plantation Soil and Their Uptake by Tieguanyin Tea Leaves and Potential Health Risk Assessment in Anxi County in Southeast China. *Agriculture*, 14(11), 1907.
- Chen ZongMao, C. Z., Ruan JianYun, R. J., Cai DianXiong, C. D., & Zhang LiJian, Z. L. (2007). Tri-dimension pollution chain in tea ecosystem and its control. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007; 40: 948–958.
- Chen, F., & Pu, L. J. (2007). Relationship between heavy metals and basic properties of agricultural soils in Kunshan County. *Soils*, 39, 291-296.
- Chen, T. B., Zheng, Y. M., Lei, M., Huang, Z. C., Wu, H. T., Chen, H., ... & Tian, Q. Z. (2005). Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*, 60(4), 542-551.
- Chen, X., & Lu, X. (2021). Contamination characteristics and source apportionment of potentially toxic elements in the topsoil of Huyi District, Xi'an City, China. *Environmental Earth Sciences*, 80(17), 595.
- Cihangir, P. (2019). *Kabak sebzesine egzoz gazının etkileri* (Master's thesis, Bursa Uludag University (Turkey)).
- Cook, C. M., Sgardelis, S. P., Pantis, J. D., & Lanaras, T. (1994). Concentrations of Pb, Zn, and Cu in *Taraxacum* spp. in relation to urban pollution. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 53(2), 204-210.
- Dabanovic, V., Soskic, M., Đurovic, D., & Mugosa, B. (2016). Investigation of heavy metals content in selected tea brands marketed in podgorica, montenegro. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 7(12), 4704-4798.

- Demir, Y., Canbolat, M.Y. & Demir, A. D. (2016). İşlenen ve işlenmeyen arazilerde bazı ağır metallerin toprak profili boyunca değişiminin değerlendirilmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26, 614-620.
- Deng, Y., Jiang, L., Xu, L., Hao, X., Zhang, S., Xu, M., ... & Liu, H. (2019). Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in contaminated paddy fields—A case study in Xiangtan City, southern China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 171, 281-289.
- Devries, W., Lofts, S., Tipping, E., Meili, M., Groenenberg, J.E., Schutze, G. (2002). Impact of Soil Properties on Critical Concentrations of Cadmium, Lead, Copper, Zinc and Mercury in Soil and Soil Solution in View of Ecotoxicological Effects. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 191, 47-89.
- Dilbilir, G. (2021). Van Organize Sanayi Bölgesi Çevresindeki Toprak Ve Bitkilerde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Divrikli, U., Mendil, D., Tuzen, M., Soylak, M., & Elci, L. (2006). Trace metal pollution from traffic in Denizli-Turkey during dry season. *Biomedical and Environmental Sciences*, 19(4), 254.
- Dökmeci, A. H., Çelik, S. Ö., Kaykıoğlu, G., & Öngen, A. (2017). Tekirdağ'da Çorlu ilinde endüstriyel alanlardaki toprakta ağır metal kirliliğinin çevresel ve insan sağlığı açısından etkileri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 256-263.
- Domagała-Świątkiewicz, I., & Gaštoł, M. (2013). Soil chemical properties under organic and conventional crop management systems in south Poland. *Biological agriculture & horticulture*, 29(1), 12-28.
- Dwivedi, S. K., & Dey, S. (2002). Medicinal herbs: a potential source of toxic metal exposure for man and animals in India. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 57(3), 229-231.
- Echevarría, G., Lujan, N. K., Montoya, J., Granda-Albuja, M. G., Valdiviezo-Rivera, J., Sánchez, F., ... & Ríos-Touma, B. (2024). Abiotic and biotic factors influencing heavy metals pollution in fisheries of the Western Amazon. *Science of The Total Environment*, 908, 168506.
- Ekmekyapar, F., Sabudak, T., & Seren, G. (2012). Assessment of heavy metal contamination in soil and wheat (*Triticum aestivum* L.) plant around the Çorlu–Çerkezkoy highway in Thrace region. *Global NEST journal*, 14(4), 496-504.
- Elbagermi, M. A., Edwards, H. G. M., Alajtal A. I. (2013). Monitoring of Heavy Metals Content in Soil Collected from City Centre and Industrial Areas of Misurata, Libya. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2013, 1-5.

- Elnajdi, A., Berland, A., Haeft, J., & Dowling, C. (2023). Influence of soil pH, organic matter, and clay content on environmentally available lead in soils: a case study in Muncie, Indiana, USA. *Open Journal of Soil Science*, 13(10), 414-430.
- Epstein, E. & Bloom, A. (2004). Mineral Nutrition of Plants. Sunderland: Sinauer Associates. P. 380.
- Erdem, T. (2018). Ağır Metal Konsantrasyonlarının Bazı Bitkilerde Tür, Organel ve Trafik Yoğunluğuna Bağlı Değişimi. (Yüksek Lisans Tezi). Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 57-58, Kastamonu.
- Erdoğan, O. (2005). Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) fidelerinde nikel toksisitesinin humik asit ile azaltılması üzerine bir araştırma. (Yüksek Lisans Tezi). 36 s, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Erdoğrul, Ö., Tosyalı, C., & Erbilir, F. (2005). Kahramanmaraş'ta yetişen bazı sebzelerde demir, bakır, mangan, kadmiyum ve nikel düzeyleri. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2), 27-29.
- Fageria N.K. (2009). The Use of Nutrients in Crop Plants. CRC Pres, Boca Raton, Florida, New York.
- Falahi, E., & Hedaïati, R. (2013). Heavy metal content of black teas consumed in Iran. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 6(2), 123-126.
- Ferrara, L., Montesano, D., & Senatore, A. (2001). The distribution of minerals and flavonoids in the tea plant (*Camellia sinensis*). *Il farmaco*, 56(5-7), 397-401.
- Garba, Z. N., Udam, S., Babando, A. A., & Galadima, A. (2015). Quantitative assessment of heavy metals from selected tea brands marketed in Zaria, Nigeria. *Journal of physical Science*, 26(1), 43.
- Gardiner, D. T., & Miller, R. W. (2008). Soils in Our Environment. 11th Edition, Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle Hill, Ne Jersey, USA.
- GDRS (1984). General directory of rural service. Land Resource Inventory for Rize, Ankara
- Gerber, G. B., Leonard, A., & Hantson, P. H. (2002). Carcinogenicity, mutagenicity and teratogenicity of manganese compounds. *Critical reviews in oncology/hematology*, 42(1), 25-34.
- Gerendás, J., Polacco, J. C., Freyermuth, S. K., & Sattelmacher, B. (1999). Significance of nickel for plant growth and metabolism. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 162(3), 241-256.
- Ghale Askari, S., Oskoei, V., Abedi, F., Motahhari Far, P., Naimabadi, A., & Javan, S. (2022). Evaluation of heavy metal concentrations in black tea and infusions

- in Neyshabur city and estimating health risk to consumers. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(19), 7928-7937.
- Grządka, E., Bastrzyk, A., Orzeł, J., Oszczak-Nowińska, A., Fliszkiewicz, B., Siemieniuk, M., ... & Cieślik, B. M. (2024). Do you know what you drink? comparative research on the contents of radioisotopes and heavy metals in different types of tea from various parts of the world. *Foods*, 13(5), 742.
- Guo, H. Y., Zhou, W. J., Zhang, Y. Z., Huang, Y. X., Zhou, Q., Yan, X., ... & Mao, C. M. (2008). Content of soil heavy metals and characteristics of environmental quality in tea plantations of Changsha Baili tea zone. *Huan jing ke xue= Huanjing kexue*, 29(8), 2320-2326.
- Gürses, Ö. L., & Artık, N. (1982). Çaylarımızda ve Demlerinde Demir, Bakır, Kurşun, Civa Miktarları ve Deme Geçme Oranları Üzerinde Araştırmalar. *Gıda*, 7(5).
- Güven, G. (2019). Aydın İlinde Tüketilen Sebze ve Meyvelerin Eser Element Derişimlerinin Tayini. *Gıda*, 44(2), 301-308.
- Güzel, N., Gülüt, K. Y., & Büyük, G. (2004). Toprak Verimliliği ve Gübreler. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 246, Ders Kitapları Yayın No: A-80, Adana.
- Han, W. Y., Zhao, F. J., Shi, Y. Z., Ma, L. F., & Ruan, J. Y. (2006). Scale and causes of lead contamination in Chinese tea. *Environmental Pollution*, 139(1), 125-132.
- Han, W., Yang, Y., Liang, Y., Shi, Y., Ma, L., Ruan, J., & Tang, J. (2009). Pb absorption and accumulation in tea plants. *Journal of Tea Science*. 29(3), 200–206.
- Harrison, R. M., & Laxen, D. P. H. (1980). Lead Pollution Causes and Control. London: Chapman and Hall Ltd.
- Hasimoto, M. (2001, October). The origin of the tea plant. In *Proceedings of 2001 International Conference on O-Cha (Tea) Culture and Science (Session II)* (pp. 5-8).
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., ve Nelson. W. L. (1999). Soil Fertility and Fertilizers. 6th Edition, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice-Hall.
- He, H., Shi, L., Yang, G., You, M., & Vasseur, L. (2020). Ecological risk assessment of soil heavy metals and pesticide residues in tea plantations. *Agriculture*, 10(2), 47.
- Hooda, P. S. (Ed.). (2010). *Trace elements in soils* (Vol. 618). Chichester: Wiley.
- Horuz, A., & Korkmaz, A. (2006). Farkli Sürgün Dönemlerinde Hasat Edilen Çayın Verimi, Azot İçeriği ve Mineral Madde Kompozisyonu. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(1), 49-54.

- Hu, C., Zhang, X., Zhan, N., & Liu, Y. (2023). Current status and health risk assessment of heavy metals contamination in tea across China. *Toxics*, 11(8), 662.
- Huang, D., Zhou, Z., Chen, Y., & Huang, Z. (2016, June). Study on the evaluation of heavy metal pollution in soil of tea plantations in Karst Mountain areas based on GIS. In *2016 6th International Conference on Machinery, Materials, Environment, Biotechnology and Computer* (pp. 1814-1821). Atlantis Press.
- Huang, J., Wu, Y., Li, Y., Sun, J., Xie, Y., & Fan, Z. (2022). Do trace metal (loid) s in road soils pose health risks to tourists? A case of a highly-visited national park in China. *Journal of environmental sciences*, 111, 61-74.
- Huang, S. S., Liao, Q. L., Hua, M., Wu, X. M., Bi, K. S., Yan, C. Y., ... & Zhang, X. Y. (2007). Survey of heavy metal pollution and assessment of agricultural soil in Yangzhong district, Jiangsu Province, China. *Chemosphere*, 67(11), 2148-2155.
- Huang, Y., Chen, Q., Deng, M., Japenga, J., Li, T., Yang, X., & He, Z. (2018). Heavy metal pollution and health risk assessment of agricultural soils in a typical peri-urban area in southeast China. *Journal of environmental management*, 207, 159-168.
- Huseyinova, R., Kutbay, H. G., Bilgin, A., Kılıç, D., Horuz, A., & Kirmanoğlu, C. (2009). Sulphur and some heavy metal contents in foliage of *Corylus avellana* and some roadside native plants in Ordu Province, Turkey. *Ekoloji Dergisi*. 18(70).
- Hussain, A., Abbas, N., Arshad, F., Akram, M., Khan, Z. I., Ahmad, K., ... & Mirzaei, F. (2013). Effects of diverse doses of Lead (Pb) on different growth attributes of *Zea-Mays L.* *Agricultural Sciences*, 4(5), 262-265.
- Izosimova, A. 2005. "Modelling The Interaction Between Calcium and Nickel in The Soil-Plant System", *FAL Agric Res Special issue* 288, 99.
- Jarvis, K. E., Gray, A. L., Houk, R. S., Jarvis, I., MacLaren, J. W., & Williams, J. G. (1992). *Handbook of inductively coupled plasma mass spectrometry*. Blackie Academic & Professional London, UK.
- Jean-Philippe, S. R., Labbé, N., Franklin, J. A., & Johnson, A. (2012). Detection of mercury and other metals in mercury contaminated soils using mid-infrared spectroscopy. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 2(3), 139.
- Jiang, S.H.; Hu, G.R.; Yu, R.L. (2016). Speciation and ecological risk assessment of heavy metals in soil from Anxi Tieguan Yin tea Garden. *Earth Environ.* 44, 359–369.

- Jiao, Y., Grant, C. A., & Bailey, L. D. (2004). Effects of phosphorus and zinc fertilizer on cadmium uptake and distribution in flax and durum wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(8), 777-785.
- Jin, C. W., Du, S. T., Zhang, K., & Lin, X. Y. (2008). Factors determining copper concentration in tea leaves produced at Yuyao County, China. *Food and Chemical Toxicology*, 46(6), 2054-2061.
- Jin, C. W., Zheng, S. J., He, Y. F., Di Zhou, G., & Zhou, Z. X. (2005). Lead contamination in tea garden soils and factors affecting its bioavailability. *Chemosphere*, 59(8), 1151-1159.
- Jonghe, W. D., & Adams, F. C. (1986). Biogeochemical cycling of organic lead compounds. *Ecotoxicology*. 561-593.
- Ju, Y., Luo, Z., Bi, J., Liu, C., & Liu, X. (2024). Transfer of heavy metals from soil to tea and the potential human health risk in a regional high geochemical background area in southwest China. *Science of The Total Environment*, 908, 168122.
- Juma, S. (2018). Assessment of Heavy Metal Concentrations in Tea (*Camellia Sinensis*) from Amani (Tanga) by Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry. MSc. (Physics) dissertation University of Dar es Salaam.
- Kabata-Pendias, A. (2001). Trace Elements in Soils and Plants, (4. Edition). Boca Raton: CRC Press. Inc.
- Kabata-Pendias, A., Pendias H. (1994). Trace Element in Soil and Plants, (3.Edition). Florida: CRC Press.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (1992). Trace Elements in Soils and Plants, (2. Edition). Boca Raton: CRC Press. Inc. 67
- Kabata-Pendias, A., Piotrowska, M. (1984). Zanieczyszczenie Glebi Roslin Uprawnych Pierwiastkami Sladowymi. CBR opracowanie problemowe. Warszawa, Poland.
- Kabir, M., Iqbal, M. Z., & Shafiq, M. (2009). Effects of lead on seedling growth of *Thespesia populnea* L. *Advances in Environmental Biology*, 184-191.
- Kacar, B. (2019). *Sürdürülebilir tarımda mikro besin maddeleri*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kacar, B., & Katkat, V. A. (2010). Bitki Besleme. Nobel Yayın No: 849. *Fen Bilimleri*, 30(5).
- Kaçar, B., Katkat V. 2006. Bitki Besleme. Ankara Üniversitesi, Uludağ üniversitesi, Nobel Yayın no: 849, Eylül 2007, 3.

- Kacar, B., Przemeck, E., Özgümüş, A., Turan, C., Katkat, A. V., & Kayıkçıoğlu, İ. (1979). Türkiye’de çay tarımı yapılan toprakların ve çay bitkisinin mikro element gereksinimleri üzerinde bir araştırma. *TÜBİTAK, Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu, Kesin Rapor, Proje*, (321), 1-67.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., & Timur, S. (2003). Metallerin çevresel etkileri-I. *Metallurji dergisi*, 136, 47-53.
- Kantarcı, M. D. (2000). Toprak İlmi. İÜ Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İ Ü Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın No. 462, İstanbul, 420 s
- Karaçağıl, D. (2013). İstanbul’da Belirlenmiş Sahil Şeritlerinde Toprak Kalitesi ve Ağır Metal Kirliliği, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-8-11-12.
- Karademir, M., & Toker, M. C. (1995). Ankara’nın bazı kavşaklarında yetişen çim ve bitkilerde egzoz gazlarından gelen kurşun birikimi. II. *Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Ankara*, 699-711.
- Karak, T., & Bhagat, R. M. (2010). Trace elements in tea leaves, made tea and tea infusion: A review. *Food research international*, 43(9), 2234-2252.
- Karataglis, S. (1987). Estimation of the toxicity of different metals, using as criterion the degree of root elongation in Triticum aestivum seedlings. *Phyton*, 26(2), 209-217.
- Karimi, G., Hasanzadeh, M. K., Nili, A., Khashayarmanesh, Z., Samiei, Z., Nazari, F., & Teimuri, M. (2008). Concentrations and health risk of heavy metals in tea samples marketed in Iran. *Pharmacology*, 3(1), 164-74.
- Karimzadeh, L., Bagheri, G. A., Pour Ali, A., Gholipour, M., Mohammadi, Z., Moshrefi, B., ... & Salehifar, E. (2013). Evaluation of lead, cadmium and copper in black tea leaves in Mazandaran factories, spring and summer 2011. *Journal of Mazandaran university of medical sciences*, 23(99), 2-10.
- Kartal, G., Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Timur, S., & Metallurji, İ. (2004). Metallerin çevresel etkileri-II. *Metallurji dergisi*, 137, 46-51.
- Kelvin, M. O. (2013). *Levels of selected heavy metals and fluoride in tea (Camellia sinensis) grown, processed and marketed in Kenya* (Doctoral dissertation, Egerton University).
- Kersten, G., Majestic, B., & Quigley, M. (2017). Phytoremediation of cadmium and lead-polluted watersheds. *Ecotoxicology and environmental safety*, 137, 225-232.
- Khalid, S., Shahid, M., Niazi, N. K., Murtaza, B., Bibi, I., & Dumat, C. (2017). A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. *Journal of geochemical exploration*, 182, 247-268.

- Khan, M. R., Khan, S. M., & Mohiddin, F. A. (2007). Effect of certain fungal and bacterial phosphate solubilizing microorganisms on the fusarial wilt of tomato. In *First international meeting on microbial phosphate Solubilization* (pp. 357-361). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Khan, S. R., Kumar, J. I., Kumar, R. N., & Patel, J. G. (2013). Physicochemical properties, heavy metal content and fungal characterization of an old gasoline-contaminated soil site in Anand, Gujarat, India. *Environmental and Experimental Biology*, 11(3), 137-143.
- Kim, K. C., Park, Y. B., Lee, M. J., Kim, J. B., Huh, J. W., Kim, D. H., ... & Kim, J. C. (2008). Levels of heavy metals in candy packages and candies likely to be consumed by small children. *Food research international*, 41(4), 411-418.
- Köleli, N., & Kantar, Ç. (2005). Fosfat kayası, fosforik asit ve fosforlu gübrelerdeki toksik ağır metal (Cd, Pb, Ni, As) konsantrasyonu. *Ekoloji*, 14(55), 1-5.
- Korkanç, S. Y., Korkanç, M., & Amiri, A. F. (2024). Effects of land use/cover change on heavy metal distribution of soils in wetlands and ecological risk assessment. *Science of the Total Environment*, 923, 171603.
- Krauskopf, K. B. (1972). Geochemistry of Micronutrient, Micronutrients in Agriculture. Editör: Mortvedt, J. J., USA: *Soil Science Society of America*, 7-40.
- Kuang, Y., Chen, X., & Zhu, C. (2024). Characteristics of Soil Heavy Metal Pollution and Health Risks in Chenzhou City. *Processes*, 12(3), 623.
- Kul, S., Gül, V., & Cengiz, İ. (2021). Toprak ve bitkilerde ağır metal kirliliğinin araştırılması: Bayburt ili örneği. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(2), 195-203.
- Kumar, A., Nair, A. G. C., Reddy, A. V. R., & Garg, A. N. (2005). Availability of essential elements in Indian and US tea brands. *Food Chemistry*, 89(3), 441-448.
- Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Martínez, I. E., & Shruti, V. C. (2021). Overview of microplastics pollution with heavy metals: analytical methods, occurrence, transfer risks and call for standardization. *Journal of hazardous materials*, 415, 125755.
- Lagerwerff, J. V. (1971). Uptake of cadmium, lead and zinc by radish from soil and air. *Soil Science*, 111(2), 129-133.
- Lambers, H., Chapin III, F. S., & Pons, T. L. (2008). *Plant physiological ecology*. Springer Science & Business Media.
- Lanjekar, H. (2022). Tea: Varieties and Types. *Acta Scientific Agriculture* (ISSN: 2581-365X), 6: (8), 08-09.

- Leblebici, S., Bahtiyar, S. D., & Özyurt, M. S. (2012). Kütahya Aktarlarında Satılan Bazi Tıbbi Bitkilerin Ağır Metal Miktarlarının İncelenmesi. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (029), 1-6.
- Li, X., Poon, C. S., & Liu, P. S. (2001). Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Applied geochemistry*, 16(11-12), 1361-1368.
- Li, Y., Liu, K., Zhu, J., Jiang, Y., Huang, Y., Zhou, Z., ... & Yu, F. (2019). Manganese accumulation and plant physiology behavior of *Camellia oleifera* in response to different levels of nitrogen fertilization. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 184, 109603.
- Li, Z., Ma, Z., van der Kuip, T. J., Yuan, Z., & Huang, L. (2014). A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. *Science of the total environment*, 468, 843-853.
- Limmatvapirat, C., Charoenteeraboon, J., & Phaechamud, T. (2012). Determination of heavy metals in herbal teas by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Res J Pharm, Biol Chem Sci* 3(3):952–958
- Ling, Z. H. U., Yi, Z. H. A. O., Xue-bing, Y. A. N., & Sheng-nan, S. U. N. (2023). Research Progress on Effects of Tea Plantation Managements on Soil Microbial Community. *Chinese Journal Of Soil Science*, 54(1), 245-252.
- Liu, J., Lu, W., Zhang, N., Su, D., Zeer, L., Du, H., & Hu, K. (2021). Collaborative assessment and health risk of heavy metals in soils and tea leaves in the southwest region of China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(19), 10151.
- Liu, P., Wu, Q., Wang, X., Hu, W., Liu, X., Tian, K., ... & Khim, J. S. (2022). Spatiotemporal variation and sources of soil heavy metals along the lower reaches of Yangtze River, China. *Chemosphere*, 291, 132768.
- Liu, W., Cui, S., Ma, J., Wu, D., Ye, Z., & Liu, D. (2023). Effects of shellfish and organic fertilizer amendments on soil nutrients and tea yield and quality. *Toxics*, 11(3), 262.
- Liu, W., Feng, H., Zheng, S., Xu, S., Massey, I. Y., Zhang, C., ... & Yang, F. (2021). Pb toxicity on gut physiology and microbiota. *Frontiers in Physiology*, 12, 574913.
- Macnicol, R. D., & Beckett, P. H. T. (1985). Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant and Soil*, 85(1), 107-129.
- MAPRC, (2012). Ministry of Agriculture of the People's Republic of China (MAPRC). NY/T 288-2012; Green Food: Tea. MAPRC: Beijing, China, 2012.
- Marcos, A., Fisher, A., Rea, G., & Hill, S. J. (1998). Preliminary study using trace element concentrations and a chemometrics approach to determine the

- geographical origin of tea. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 13(6), 521-525.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants 2nd edition. *Academic, Great Britain*.
- Mazunga, M., & Kamanyola, M. (2021). Assessment of the Relationship between Heavy Metal Concentrations in Soil and Tea Leaves Grown at Amani in Tanga Region by Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF). *Journal of Education, Humanities & Sciences (JEHS)*, 10(4).
- McCauley, A., Jones, C., ve Jacobsen, J. (2009). Nutrient Management. Nutrient management module 9 Montana State University Extension Service. Publication, 4449-9, p.1–16.
- Melucci, D., Locatelli, M., & Locatelli, C. (2013). Trace level voltammetric determination of heavy metals and total mercury in tea matrices (*Camellia sinensis*). *Food and chemical toxicology*, 62, 901-907.
- Michie, N. D., & John Dixon, E. (1977). Distribution of lead and other metals in tea leaves, dust and liquors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 28(2), 215-224.
- Mohajer, A., Baghani, A. N., Sadighara, P., Ghanati, K., & Nazmara, S. (2020). Determination and health risk assessment of heavy metals in imported rice bran oil in Iran. *Journal of food composition and analysis*, 86, 103384. 3-7.
- Moseti, K. O., Kinyanjui, T., Wanyoko, J. K., Kurgat, J. K., Too, J. C., Omondi, K. G., & Wachira, F. N. (2013). Fe, Zn, Cu, Pb and Cd in tea grown and marketed in Kenya; a quantitative assessment. *International Journal of Environmental Protection*, 3(6), 24.
- Munzuroğlu, Ö., & Gür, N. (2000). Ağır metallerin elma (*Malus sylvestris miller cv. golden*)'da polen çimlenmesi ve polen tüpü gelişimi üzerine etkileri. *Turkish Journal of Biology*, 24(3), 677-684.
- Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental chemistry letters*, 8(3), 199-216.
- Narin, I., Colak, H., Turkoglu, O., Soylak, M., & Dogan, M. (2004). Heavy metals in black tea samples produced in Turkey. *Bull Environ Contam Toxicol*, 72(4):844–849.
- Nath, N. T. (2013a). Determination of Micronutrients Concentration in Tea Cultivated Soil in Dibrugarh and Sivasagar District of Assam, India. *International Journal of Innovative Research and Development*. 2(4),284-298.

- Nath, N. T. (2013b). The Status of Micronutrients (Mn, Fe, Cu, Zn) in Tea Plantation in Dibrugarh District of Assam, India. *International Research Journal of Environment Sciences*, 2(6), 25-30.
- Nathaniel, R. K., (2008). Hand Book on Tea. Tea Research Institute of Sri Lanka. Talawakele, Sri Lanka.
- Nejatolah, M., Mortazavi, S., & Ildoromi, A. (2014). Levels of Cu, Zn, Pb, and Cd in the leaves of the tea plant (*Camellia sinensis*) and in the soil of Gilan and Mazandaran farms of Iran. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 8(4), 277-282.
- Niu, Z., Zhang, Y., Han, J., Zhao, Y., Hu, K., & He, P. (2024). Content characteristics and risk assessment of heavy metal elements in Shangluo tea garden soil.
- Nookabkaew, S., Rangkadilok, N., & Satayavivad, J. (2006). Determination of trace elements in herbal tea products and their infusions consumed in Thailand. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(18), 6939-6944.
- Nyaboke, O. P. (2017). *Concentration of Selected Nutrients and Heavy Metals in the Soils in Tea Farms and Water from Nyamasogota River, Kisii County, Kenya* (No. INIS-KE--211). Kenyatta University, Nairobi (Kenya).
- Odoh, R., Agbaji, E. B., & Kagbu, J. A. (2011). Assessment of trace metals pollution in auto-mechanic workshop in some selected local government area of Benue State, Nigeria. *International Journal of Chemistry*, 3(4), 78.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., ve Pehlivan, M. (2009). The Effects of Heavy Metals on Plants. *Journal Of Agricultural Sciences*, 17, 1307-3311.
- Okudan, M., (2009). Kobalt ve Molibden İçeren Kullanılmış Hidrodesülfürizasyon (HDS) Katalizör Atıklarına Asidik Ve Alkali Liç Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 6-9-13.
- Önder, S. (2012). Atıksular ile sulanan zirai alanlardaki ağır metal kirliliğinin araştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi). 3-4-11-17-24-25.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M. & Kaptan, H. (2001). Toprak Bilimi. 5. Baskı, ÇÜ Ziraat Fakültesi Genel Yayın No 73, Ders Kitapları Yayın No A-16, Adana.
- Özbek, N., Aksoy, T. (1978). Türk Çaylarının Kurşun ve Cıva Kapsamları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı 28(2): 360-372.
- Özkan, A. (2017). Antakya-Cilvegözü karayolu etrafındaki tarım arazilerinde ve bitkilerdeki ağır metal kirliliği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 9-18.
- Özkan, F., & Demir, Y. (2023). Rize ilinde geleneksel ve organik çay tarımı yapılan alanların topraklarında bazı verimlilik parametreleri ile ağır metal içeriklerinin

karşılaştırılması. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1405-1417.

Özkan, G. (2009). Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyısal Kırsal Alandaki Hava Kalitesi; Muallimköy’de Partikül Maddede ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği. (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 9,12-22, Kocaeli.

Özkul, C. (2019). Kütahya şehir merkezinde yer alan çocuk parklarındaki toprakların ağır metal kirliliğinin belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), 226-240.

Özyazıcı, M. A., Özyazıcı, G., & Dengiz, O. (2011). Determination of micronutrients in tea plantations in the eastern Black Sea Region, Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 6(22), 5174-5180.

Özyılmaz, G. (2000). *İskenderun Körfezinde Endüstri Kuruluşlarının Neden Olduğu Hava ve Toprak Kirliliği* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Danışmanı Örnektekin, S., Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay).

Pang, Z., Yin, W., Wang, Y., Zeng, W., Peng, H., & Liang, Y. (2023). Silicon-phosphorus pathway mitigates heavy metal stress by buffering rhizosphere acidification. *Science of the Total Environment*, 904, 166887.

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.

Patrick-Iwuanyanwu, K. C., & Udowelle, N. A. (2017). Monitoring of essential and toxic metals in imported herbal teas marketed in selected cities in Southern Nigeria: A health risk assessment study. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 21(6), 1189-1196.

Peng, C. Y., Zhu, X. H., Hou, R. Y., Ge, G. F., Hua, R. M., Wan, X. C., & Cai, H. M. (2018). Aluminum and heavy metal accumulation in tea leaves: an interplay of environmental and plant factors and an assessment of exposure risks to consumers. *Journal of food science*, 83(4), 1165-1172.

Plaster, E. J. (1992). *Soil Science and Management*. 2nd Edition, Delmar Publishers Inc., Albany, New York, USA.

Prajapati, S. K. (2014). Heavy metal speciation of soil and *Calotropis procera* from thermal power plant area. *Proceedings of the international Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 4(2), 68-71.

Qin, S., Wang, Z. Y., & Liu, M. J. (2007). Contents and its characters of heavy metals with tobacco-growing soils in Zhengan county of remote karst agricultural area. *J. Soil Water Conserv*, 21, 72-75+98.

- Rahmani, A., Kalteh, S., Derakhshan Jazari, M., Baziar, M., & Karimaei, M. (2022). Trace elements in imported black tea products in Iran: quantification and probabilistic health risk assessment. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 1–16.
- Rao, A. S., & Ghosh, A. B. (1981). Effect of intensive cropping and fertilizer use on the crop removal of sulphur and zinc and their availability in soil. *Fertilizer research*, 2(4), 303-308.
- Rashid, M. H., Fardous, Z., Chowdhury, M. A. Z., Alam, M. K., Bari, M. L., Moniruzzaman, M., & Gan, S. H. (2016). Determination of heavy metals in the soils of tea plantations and in fresh and processed tea leaves: an evaluation of six digestion methods. *Chemistry Central Journal*, 10(1), 7.
- Saklı, A.R., Abanoz, Y. (2024). Çayın Anavatanı, Sistematiği ve Tarihi Gelişimi. K. Yazıcı (Ed.), A'DAN Z'YE ÇAY, Aralık 2024, Ankara, Türkiye.
- Saud, S., & Oud, A. L. (2003). Heavy metal contents in tea and herb leaves. *Pakistan Journal of Biological Science*, 6, 208-202.
- Saygıdeğer, S. (1995). *Lycopersicum esculentum* L. bitkisinin çimlenmesi ve gelişimi üzerine kurşunun etkileri. II. *Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi*, 588-597.
- Schäfer, J., Hannker, D., Eckhardt, J. D., & Stüben, D. (1998). Uptake of traffic-related heavy metals and platinum group elements (PGE) by plants. *Science of the Total Environment*, 215(1-2), 59-67.
- Seenivasan, S., Anderson, T. A., & Muraleedharan, N. (2016). Heavy metal content in tea soils and their distribution in different parts of tea plants, *Camellia sinensis* (L). O. Kuntze. *Environmental monitoring and assessment*, 188(7), 428.
- Seenivasan, S., Manikandan, N., & Muraleedharan, N. N. (2008a). Chromium contamination in black tea and its transfer into tea brew. *Food Chemistry*, 106(3), 1066-1069.
- Seenivasan, S., Manikandan, N., Muraleedharan, N. N., Selvasundaram, R. (2008b). Heavy Metal Content of Black Teas from South India. *Food Control*, 19(8), 746-749.
- Semu, E., & Singh, B. R. (1995). Accumulation of heavy metals in soils and plants after long-term use of fertilizers and fungicides in Tanzania. *Fertilizer research*, 44(3), 241-248.
- Şendemirci, H., & Korkmaz, A. (2008). Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi Topraklarının Yarıyışlı Fe, Mn, Zn ve Cu Bakımından Durumu. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 23(1), 39-50.
- Seven, T., Can, B., Darende, B. N., & Ocak, S. (2018). Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 91-103.

- Shammi, S. A., Salam, A., & Khan, M. A. H. (2021). Assessment of heavy metal pollution in the agricultural soils, plants, and in the atmospheric particulate matter of a suburban industrial region in Dhaka, Bangladesh. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(2), 104.
- Shekoohiyan, S., Ghoochani, M., Mohagheghian, A., Mahvi, A. H., Yunesian, M., & Nazmara, S. (2012). Determination of lead, cadmium and arsenic in infusion tea cultivated in north of Iran. *Iranian journal of environmental health science & engineering*, 9(1), 1-6.
- Shi, D., Liu, Q., & Xie, C. (2019). Distribution of heavy metal Cr content in soils on both sides of traffic roads and its ecological health risk assessment. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 252, No. 4, p. 042018.
- Shi, J., Zhao, D., Ren, F., & Huang, L. (2023). Spatiotemporal variation of soil heavy metals in China: The pollution status and risk assessment. *Science of the Total Environment*, 871, 161768.
- Shi, Y. Z., Han, W. Y., Ma, L. F., & Ruan, J. Y. (2004). Influence factors on lead contents in Longjing Tea. *Journal of Agro-Environment Science*, 23(5), 899-903.
- Simon, F., Mtei, K., & Kimanya, M. (2016). Heavy metals contamination in agricultural soil and rice in Tanzania: a review. *International Journal of Environmental Protection and Policy* 4(1): 16–23.
- Sims, J. L., & Patrick Jr, W. H. (1978). The distribution of micronutrient cations in soil under conditions of varying redox potential and pH. *Soil Science Society of America Journal*, 42(2), 258-262.
- Şimşek, T., Kalkıncı, N., & Büyük, G. (2020). Tarım topraklarındaki ağır metallerin kirlilik düzeylerinin belirlenmesi: Osmaniye örneği. Mustafa Kemal Üniversitesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*. 26 (1):106-116, 2021.
- Soylak, M., & Aydin, A. (2011). Determination of some heavy metals in food and environmental samples by flame atomic absorption spectrometry after coprecipitation. *Food and Chemical Toxicology*, 49(6), 1242-1248.
- Soylak, M., Tuzen, M., Souza, A. S., Korn, M. D. G. A., & Ferreira, S. L. C. (2007). Optimization of microwave assisted digestion procedure for the determination of zinc, copper and nickel in tea samples employing flame atomic absorption spectrometry. *Journal of Hazardous materials*, 149(2), 264-268.
- Suchodoller, A. (1967). Untersuchungen Uiber Den Bleigehalt Von Pflanzen In Der Nahe Von Strassen Und Uiber die Aufnahme und Translokation von Blei durch Pflanzen. *Ber. Schweiz Bot. Ges.* 77: 266-308.

- Sun, J., Yu, R., Yan, Y., Hu, G., Qiu, Q., Jiang, S., ... & Ma, C. (2020). Isotope tracers for lead and strontium sources in the Tieguanyin tea garden soils and tea leaves. *Chemosphere*, 246, 125638.
- Taban, S., Özer, P., & Turan, M. A. (2006). Çay tarımı yapılan toprakların potansiyel beslenme problemleri ve çayda gübre kullanımı, gübre verim-kalite ilişkisi. I. *Rize Sempozyumu*, 16-18 Kasım .
- Tao, C., Song, Y., Chen, Z., Zhao, W., Ji, J., Shen, N., ... & Frost, R. L. (2021). Geological load and health risk of heavy metals uptake by tea from soil: What are the significant influencing factors?. *Catena*, 204, 105419.
- Tapia-Gatica, J., Selles, I., Bravo, M. A., Tessini, C., Barros-Parada, W., Novoselov, A., & Neaman, A. (2022). Global issues in setting legal limits on soil metal contamination: A case study of Chile. *Chemosphere*, 290, 133404.
- Tokaloğlu, Ş., & Kartal, Ş. (2004). Bioavailability of soil-extractable metals to tea plant by BCR sequential extraction procedure. *Instrumentation Science & Technology*, 32(4), 387-400.
- Tornabene, T. G., & Edwards, H. W. (1972). Microbial uptake of lead. *Science*, 176(4041), 1334-1335.
- Tüfekçi, M. (1989). Türk Çaylarında Bazı Toksik Metallerin (kurşun, kadmiyum, cıva) Araştırılması. (Doktora Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 162s, Trabzon.
- Turer, D. G., Maynard, J. B., & Sansalone, J. J. (2001). Heavy metal contamination in soils of urban highways: comparison between runoff and soil concentrations at Cincinnati, Ohio. *Water, Air, and Soil Pollution*, 132, 293–314.
- Türkan, İ. (1982). İzmir İli Şehir Merkezi ve Çevre Karayolları Kenarında Yetişen Bitkilerde Kurşun Kirlenmesinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). 41 s., Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Botanik Anabilim Dalı, Bornova-İzmir.
- Türkoğlu, B. (2006). Toprak Kirlenmesi ve Kirlenmiş Toprakların Islahı (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Uchimiya, M., Bannon, D., Nakanishi, H., McBride, M. B., Williams, M. A., & Yoshihara, T. (2020). Chemical speciation, plant uptake, and toxicity of heavy metals in agricultural soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(46), 12856-12869.
- Uzun, E. (2013). *Camellia sinensis* var. *sinensis* (L.) Kuntze (Theaceae)'de Yükseklik Gradiyenti Boyunca Makroelement Değişimi ve Rezorbsiyonu Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize. 131 s., 23

- Uzuner, P. (2015). Doğu Karadeniz sahil yolu boyunca *Camellia sinensis* var. *sinensis* (L.) Kuntze (çay)'de ağır metal kirliliğinin araştırılması (Master's thesis, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/Biyoloji Anabilim Dalı).
- Varol, Z., & Erdem, D. B. (2020). Çorlu deresi ve yakın çevresi (Çerkezköy-Çorlu hattı) topraklarının ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8(1), 26-35.
- Vural, A. (2014). Toprak ve akasya ağacı sürgünlerindeki ız/ağır metal dağılımı, Gümüşhane-Türkiye. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*. 0(148), 85 - 106.
- Vural, B. (2017). Çay Bitkisinde Bulunan Ağır Metallerin Sürgün Dönemlerine göre Karşılaştırılması. (Yayın Yılı 22.09.2017). *Moleküler Biyoloji ve Genetik*, Çevrimiçi. Erişim adresi: <http://molekulerbiyolojivegenetik.org/>.
- Weisburger, J. H. (1997). Tea and health: a historical perspective. *Cancer letters*, 114(1-2), 315-317.
- Wen, B., Li, L., Duan, Y., Zhang, Y., Shen, J., Xia, M., ... & Zhu, X. (2018). Zn, Ni, Mn, Cr, Pb and Cu in soil-tea ecosystem: The concentrations, spatial relationship and potential control. *Chemosphere*, 204, 92-100.
- Wild, A. (1993). *Soils and the Environment*. Cambridge university press.
- Wu, S., Liu, X., Liu, M., Chen, X., Liu, S., Cheng, L., ... & Li, Y. (2018). Sources, influencing factors and environmental indications of PAH pollution in urban soil columns of Shanghai, China. *Ecological Indicators*, 85, 1170-1180.
- Wu, X., Zhang, D., Wang, F., Luo, L., Chen, Y., & Lu, S. (2023). Risk assessment of metal (loid) s in tea from seven producing provinces in China. *Science of The Total Environment*, 856, 159140.
- Wu, X., Zhang, D., Wang, F., Luo, L., Chen, Y., Lu, S. (2022). Risk assessment of metal (loid)s in tea from seven producing provinces in China. *Sci. Total Environ.* 856, 159140.
- Wyszkowski, M., & Kordala, N. (2022). Role of different material amendments in shaping the content of heavy metals in maize (*Zea mays* L.) on soil polluted with petrol. *Materials*, 15(7), 2623.
- Xie, M., Chang, N., Zhou, X. H., Yang, T. F., & Long, K. (2023). Geochemical characteristics and risk assessment of heavy metals in typical tea gardens in Yunnan Province. *J. Tea Sci.* 2023, 43, 501–512.
- Xu, C., Pu, J., Wen, B., & Xia, M. (2021). Potential ecological risks of heavy metals in agricultural soil alongside highways and their relationship with landscape. *Agriculture*, 11(8), 800.
- Yaldız, G., & Şekeroğlu, N. (2013). Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Bazı Ağır Metallere Tepkisi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*. 6, 80-84.

- Yan, P., Shen, C., Fan, L., Li, X., Zhang, L., Zhang, L., & Han, W. (2018). Tea planting affects soil acidification and nitrogen and phosphorus distribution in soil. *Agriculture, ecosystems & environment*, 254, 20-25.
- Yang, H., Liu, H., Zhang, N., He, T., Deng, H., & Bao, L. (2020). Effects of different fertilization application reduction methods on tea garden soil nutrient and tea quality. *Journal of Southern Agriculture*, 51(4), 887-896.
- Yang, X. D., Ni, K., Shi, Y. Z., Yi, X. Y., Zhang, Q. F., Fang, L., ... & Ruan, J. (2018). Effects of long-term nitrogen application on soil acidification and solution chemistry of a tea plantation in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 252, 74-82.
- Yaylalı-Abanuz, G., & Tüysüz, N. (2009). Heavy metal contamination of soils and tea plants in the eastern Black Sea region, NE Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 59(1), 131-144.
- Yemane, M., Chandravanshi, B. S., & Wondimu, T. (2008). Levels of essential and non-essential metals in leaves of the tea plant (*Camellia sinensis* L.) and soil of Wushwush farms, Ethiopia. *Food Chemistry*, 107(3), 1236-1243.
- Yerli, C., Çakmakcı, T., Sahin, U., & Tüfenkçi, Ş. (2020). Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 103-114.
- Yi, X., Ji, L., Hu, Z., Yang, X., Li, H., Jiang, Y., ... & Ruan, J. (2022). Organic amendments improved soil quality and reduced ecological risks of heavy metals in a long-term tea plantation field trial on an Alfisol. *Science of The Total Environment*, 838, 156017.
- Yıldız, N. (2003). Toprak kirleticisi ağır metaller ve toprak bitki ilişkileri. I. *Ulusal Çevre Sempozyumu. Atatürk Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma Merkezi Müdürlüğü Erzurum*.
- Yilmaz, R., Sakcali, S., Yarci, C., Aksoy, A., & Ozturk, M. (2006). Use of *Aesculus hippocastanum* L. as a biomonitor of heavy metal pollution. *Pak. J. Bot*, 38(5), 1519-1527.
- Yokota, H., Morita, A., & Ghanati, F. (2005). Growth characteristics of tea plants and tea fields in Japan. *Soil Science & Plant Nutrition*, 51(5), 625-627.
- Yonggang, W., Zhilin, J., & Qiang, L. (2002). The accumulation and distribution of heavy metals in teas on both sides of highway. *Journal of Nanjing Forestry University*, 26(4), 39-42.
- Zaman, F., Khattak, W. A., Ihtisham, M., Ilyas, M., Ali, A., Ali, A., ... & Chen, F. S. (2024). Assessing the health risks of heavy metals and seasonal minerals fluctuations in *Camellia sinensis* cultivars during their growth seasons. *Food and Chemical Toxicology*, 187, 114586.

- Zengin, F. K., & Munzuroğlu, Ö. (2003). Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.) Kök, Gövde ve Yaprak Büyümesi Üzerine Kadmiyum (Cd) ve Civa (Hg)'nin Etkileri. *Fen Bilimleri Dergisi*, 24(1), 64-75.
- Zhang, B., Jia, T., Peng, S. (2022). Spatial distribution, source identification, and risk assessment of heavy metals in the cultivated soil of the Qinghai–Tibet Plateau region: Case study on Huzhu County[J]. *Global Ecology and Conservation*. 2022, 35: 1–13
- Zhang, J., Yang, R., Chen, R., Peng, Y., Wen, X., & Gao, L. (2018a). Accumulation of heavy metals in tea leaves and potential health risk assessment: a case study from Puan County, Guizhou Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(1), 133.
- Zhang, J., Yang, R., Li, Y. C., Peng, Y., Wen, X., & Ni, X. (2020). Distribution, accumulation, and potential risks of heavy metals in soil and tea leaves from geologically different plantations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 195, 110475.
- Zhang, M. K., Fang, L. P., & Zhang, L. Q. (2005). Effects of acidification and organic matter accumulation on lead bio-availability in tea garden soils. *Journal of Tea Science*, 25(3), 159-164.
- Zhang, M., & Fang, L. (2007). Tea plantation–induced activation of soil heavy metals. *Communications in soil science and plant analysis*, 38(11-12), 1467-1478.
- Zhang, W., Rong, J., Wei, C., Gao, L., Chen, J. (2018b). Domestication origin and spread of cultivated tea plants. *Biodiversity Science*, 26(4): 357.
- Zhang, Y., Yin, C., Cao, S., Cheng, L., Wu, G., & Guo, J. (2018). Heavy metal accumulation and health risk assessment in soil-wheat system under different nitrogen levels. *Science of the total environment*, 622-623, 1499-1508.
- Zhao, F. J. (2006). Effect of liming and seasonal variation on lead concentration of tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). *Chemosphere*. 65(4), 618-624.
- Zhao, Z., Yan, S., Duan, M., Fu, J., Wang, Q., Liu, Z., ... & Tong, Y. (2019). Assessing heavy metal pollution and potential ecological risk of tea plantation soils. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(6), 185-191.
- Zhou WenLin, Z. W., Li RenYing, L. R., Yue HaiYan, Y. H., Shen ShuangHe, S. S., Zhu HongXia, Z. H., & Xie XiaoJin, X. X. (2009). Characteristics and assessment of heavy metal pollution in vegetable soils in Jiangbei area of Nanjing City. *Trans. Atmos. Sci.* 2009, 32, 574–581.
- Zhou, H., Ouyang, T., Guo, Y., Peng, S., He, C., & Zhu, Z. (2022). Assessment of soil heavy metal pollution and its ecological risk for city parks, vicinity of a landfill,

and an industrial area within Guangzhou, South China. *Applied Sciences*, 12(18), 9345.

