

**T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MADEN İŞLETMELERİ KAYNAKLI AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN BAZI
BAHÇE BİTKİLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ (BİNGÖL ÖRNEĞİ)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sema BURAL

Doç. Dr. Atilla ÇAKIR

BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

BİNGÖL 2025

ÖNSÖZ

Gerek bilimsel anlamda gerek se insani değerler bakımından kendisinden çok şey öğrendiğim, tez konusunun belirlenmesinden sonuçlanmasına kadar her aşamada bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, danışmanım Doç. Dr. Atilla ÇAKIR hocama teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmaları süresince yardımlarını ve bilgi birikimini esirgemeyen, çalışmanın tamamlanabilmesi için gerekli desteği veren, Prof. Dr. Hakan İNCİ ve Arş. Gör. Dr. Ersin KARAKAYA'ya ve Hazel GÖKDERE'ye teşekkür ederim.

Son olarak bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve dualarını esirgemeyen annem Melek BURAL'a, eşim Ömer CİRİT'e ve canım kızım Ömür Sarya CİRİT'e tezin hazırlanması sırasında gösterdikleri sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

SEMA BURAL

Bingöl 2025

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Ağır Metallerin Çevre ve Canlı Sağlığı Üzerine Etkileri.....	4
1.2. Madencilik Faaliyetlerinin Çevresel Etkileri ve Toprak Kirliliği	9
1.3. Çalışmanın Önemi, Alana Katkısı ve Amacı	10
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri.....	19
3.2. Materyal.....	21
3.3. Yöntem.....	29
3.3.1. Laboratuvar Çalışmaları.....	29
3.3.1.1. CEM MARS6 ONE TOUCH (USA) Mikrodalga Cihazı- Örnek Hazırlama.....	30
3.3.1.2. Perkin Elmer NexION 2000 B İndüktif Eşleşmiş Plazma- Kütle Spektrometrisi (ICP-MS) Koşulları.....	30
3.3.1.3. ICP-MS Kalibrasyon Grafikleri.....	31
3.3.1.4. ICP-MS Analizi Çalışma Koşulları.....	31
3.2.1. Ağır Metal (Fe, Cr, Cd, Ni ve Cu) Analizlerinin Yapılması.....	32
3.2.2. Toprak Örnekleri İçin Alınabilir Fe, Cr, Cd, Ni ve Cu Belirlenmesi...	33
3.2.3. Translokasyon faktörünün (TF) belirlenmesi.....	33
3.2.4. İstatistiksel Analiz.....	33
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	34

4.1. Al Konsantrasyonu.....	34
4.2. As Konsantrasyonu	39
4.3. Cd Konsantrasyonu	44
4.4. Cr Konsantrasyonu	49
4.5. Cu Konsantrasyonu	57
4.6. Fe Konsantrasyonu.....	62
4.7. Mn Konsantrasyonu.....	67
4.8. Ni Konsantrasyonu.....	72
4.9. Pb Konsantrasyonu.....	78
4.10. Zn Konsantrasyonu.....	83
4.11. Dal ve Yapraklara Göre Meyvelerinde Daha Fazla Metal Akümüle Eden Türler.....	88
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	96
KAYNAKLAR	99

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

%	: Yüzde
g	: Gram
kg	: Kilogram
p	: Anlamlılık Değeri
vd	: Ve diğerleri
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
FAO	: Food and Agriculture Organization of the United Nations
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
vb	: Ve benzeri
TMO	: Toprak Mahsulleri Ofisi
TİGEM	: Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü
ICP-OES	: Inductively Coupled Plasma Optical Emission spectroscopy
std	: Standart
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer
Tukey HSD	: Tukey's Honestly Significant. Difference Test

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Örneklem yapılan türlerin kirletici unsuru olan maden sahası.....	24
Şekil 3.2. Örneklem yapılan türlerin kirletici unsuru olan maden sahasının uydu görüntüsü.....	25
Şekil 3.3. Örneklem yapılan türlerin kirletici unsuru olan maden sahasının uydu görüntüsü	25
Şekil 3.4. Armut (<i>Pyrus communis</i>)	26
Şekil 3.5. Böğürtlen (<i>Rubus fruticosus</i>).....	27
Şekil 3.6. Çilek (<i>Fragaria x ananassa</i>).....	27
Şekil 3.7. Beyaz Dut (<i>Morus alba</i>).....	28
Şekil 3.8. Elma (<i>Malus domestica</i>).....	29
Şekil 3.9. Ceviz (<i>Juglans regia</i>).....	29
Şekil 3.10. Erik (<i>Prunus domestica</i>).....	30
Şekil 3.11. Kayısı (<i>Prunus armeniaca</i>).....	31
Şekil 3.12. Üzüm (<i>Vitis vinifera</i>).....	32
Şekil 3.13. Toplanan meyve türlerine ait örnekler (erik, dut, elma ve armut)	33
Şekil 4.1. Meyve türlerinin dallarındaki Al miktarları (mg kg^{-1}).....	39
Şekil 4.2. Bazı türlerin meyvelerindeki Al miktarları (mg kg^{-1}).....	40
Şekil 4.3. Meyve türlerinin yapraklarındaki Al konsantrasyonu (mg kg^{-1}).....	41
Şekil 4.4. Meyve türlerinin organlarında bulunan Al konsantrasyonları (mg kg^{-1})....	42
Şekil 4.5. Meyve türlerinin dallarında As konsantrasyonları (mg kg^{-1}).....	44
Şekil 4.6. Meyve türlerinin meyvelerinde As konsantrasyonları (mg kg^{-1}).....	45
Şekil 4.7. Meyve türlerinin yapraklarında As konsantrasyonları (mg kg^{-1}).....	46
Şekil 4.8. Meyve türlerinin organlarında As konsantrasyonları (mg kg^{-1}).....	47
Şekil 4.9. Meyve türlerinin dallarında Cd konsantrasyonları (mg kg^{-1}).....	49
Şekil 4.10. Bazı meyve türlerinin meyvelerinde Cd konsantrasyonları (mg kg^{-1}).....	50
Şekil 4.11. Meyve türlerinin yapraklarında Cd konsantrasyonları (mg kg^{-1}).....	51
Şekil 4.12. Meyve türlerinin organlarında Cd konsantrasyonları (mg kg^{-1}).....	52
Şekil 4.13. Meyve türlerinin dallarında Cr konsantrasyonları (mg kg^{-1}).....	55

Şekil 4.14. Meyve türlerinin meyvelerinde Cr konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	57
Şekil 4.15. Meyve türlerinin yapraklarında Cr konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	58
Şekil 4.16. Meyve türlerinin organlarında Cr konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	60
Şekil 4.17. Meyve türlerinin dallarında Cu konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	62
Şekil 4.18. Meyve türlerinin meyvelerinde Cu konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	63
Şekil 4.19. Meyve türlerinin yapraklarında Cu konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	64
Şekil 4.20. Meyve türlerinin organlarında Cu konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	65
Şekil 4.21. Meyve türlerinin dallarında Fe konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	67
Şekil 4.22. Meyve türlerinin meyvelerinde Fe konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	68
Şekil 4.23. Meyve türlerinin yapraklarında Fe konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	69
Şekil 4.24. Meyve türlerinin organlarında Fe konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	70
Şekil 4.25. Meyve türlerinin dallarında Mn konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	72
Şekil 4.26. Meyve türlerinin meyvelerinde Mn konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	73
Şekil 4.27. Meyve türlerinin yapraklarında Mn konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	74
Şekil 4.28. Meyve türlerinin organlarında Mn konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	75
Şekil 4.29. Meyve türlerinin dallarında Ni konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	77
Şekil 4.30. Meyve türlerinin meyvelerinde Ni konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	78
Şekil 4.31. Meyve türlerinin yapraklarında Ni konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	79
Şekil 4.32. Meyve türlerinin organlarında Ni konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	80
Şekil 4.33. Meyve türlerinin dallarında Pb konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	83
Şekil 4.34. Meyve türlerinin meyvelerinde Pb konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	84
Şekil 4.35. Meyve türlerinin yapraklarında Pb konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	85
Şekil 4.36. Meyve türlerinin organlarında Pb konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	86
Şekil 4.37. Meyve türlerinin dallarında Zn konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	88
Şekil 4.38. Meyve türlerinin meyvelerinde Zn konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	89
Şekil 4.39. Meyve türlerinin yapraklarında Zn konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	90
Şekil 4.40. Meyve türlerinin organlarında Zn konsantrasyonları (mg kg ⁻¹).....	91
Şekil 4.41. Meyvesinde daha fazla As içeren türler.....	92
Şekil 4.42. Meyvesinde daha fazla Cr içeren türler.....	93
Şekil 4.43. Meyvesinde daha fazla Cu içeren türler.....	94
Şekil 4.44. Meyvesinde daha fazla Fe içeren türler.....	95
Şekil 4.45. Meyvesinde daha fazla Ni içeren türler.....	97
Şekil 4.46. Meyvesinde daha fazla Zn içeren türler.....	98

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1.	ICP-MS Kalibrasyon Grafikleri.....	34
Tablo 3.2.	ICP- MS analizi çalışma koşulları.....	35
Tablo 4.1.	Al konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg^{-1}).....	38
Tablo 4.2.	As konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg^{-1}).....	43
Tablo 4.3.	Cd konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg^{-1}).....	48
Tablo 4.4.	Cr konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg^{-1}).....	54
Tablo 4.5.	Cu konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg^{-1}).....	61
Tablo 4.6.	Fe konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg^{-1}).....	66
Tablo 4.7.	Mn konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg^{-1}).....	71
Tablo 4.8.	Ni konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg^{-1}).....	76
Tablo 4.9.	Pb konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg^{-1}).....	82
Tablo 4.10.	Zn konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg^{-1}).....	87

MADEN İŞLETMELERİ KAYNAKLI AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN BAZI BAHÇE BİTKİLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ (BİNGÖL ÖRNEĞİ)

ÖZET

Bu çalışma, Bingöl ili Genç ilçesinde faaliyet gösteren Avnik demir madeni çevresinde yetiştirilen bazı bahçe bitkilerinde biriken ağır metal konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla yürütülmüştür.

Araştırmada Armut (*Pirus communis*), Böğürtlen (*Rubus caesius*), Çilek (*Fragaria vesca*), Beyaz Dut (*Morus alba*), Elma (*Malus cummonis*), Ceviz (*Juglans regia*), Erik (*Prunus domestica*), Kayısı (*Prunus armeniaca*) ve Üzüm (*Vitis vinifera*) türlerinin dal, yaprak ve meyve kısımlarında Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn elementlerinin birikim düzeyleri analiz edilmiştir. Toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile birlikte, ağır metallerin bitki dokularındaki dağılımı değerlendirilmiştir. Bulgular, özellikle yaprak ve meyve dokularında değişken düzeylerde metal birikimi olduğunu ve bazı türlerin fitoremediasyon potansiyeline sahip olabileceğini göstermektedir.

Bu durum hem gıda güvenliği hem de çevre sağlığı açısından risk teşkil edebileceğinden dolayı önemlidir. Elde edilen veriler, madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerinin izlenmesi, tarımsal üretimde güvenliğin sağlanması ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesine katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal kirliliği, bahçe bitkileri, fitoremediasyon, toprak kirliliği, Bingöl, avnik demir madeni.

THE EFFECTS OF HEAVY METAL POLLUTION FROM MINING OPERATIONS ON CERTAIN HORTICULTURAL PLANTS (THE CASE OF BİNGÖL)

ABSTRACT

This study was conducted to determine the accumulation levels of heavy metals in certain horticultural crops cultivated around the Avnik iron mine located in the Genç district of Bingöl Province, Türkiye.

Plant species including Pear (*Pirus communis*), Blackberry (*Rubus caesius*), Strawberry (*Fragaria vesca*), Mulberry (*Morus alba*), Apple (*Malus cummonis*), Walnut (*Juglans regia*), Plum (*Prunus domestica*), Apricot (*Prunus armeniaca*), and Grape (*Vitis vinifera*) were examined. The concentrations of Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn were analyzed in the stem, leaf, and fruit tissues. In addition, the physical and chemical properties of the soil samples were evaluated. The findings indicate variable levels of metal accumulation across different plant organs, with some species showing potential for phytoremediation.

Given the direct consumption of fruits and leaves, such accumulation poses risks to food safety and human health. The results are expected to contribute to the monitoring of environmental impacts from mining activities and the development of sustainable and safe agricultural practices.

Keywords: Heavy metal pollution, horticultural crops, phytoremediation, soil contamination, Bingöl, avnik iron mine.

1. GİRİŞ

Çevre; doğal, kültürel, sosyal ve ekonomik unsurların bir arada işlediği dinamik ve bütüncül bir sistemdir. Bu sistemdeki dengenin bozulması, özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren hız kazanan sanayileşme, kentleşme ve nüfus artışı gibi etkenlerle ciddi çevresel sorunlara yol açmıştır. 1960'lı yıllardan itibaren başta Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa ülkelerinde çevre kirliliği, doğal kaynakların aşırı kullanımı ve ekolojik dengenin bozulması gibi konular kamuoyunun ve karar vericilerin gündemine girmiştir. Bu süreç, çevre bilincinin gelişmesini ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda çevre politikalarının şekillenmesini beraberinde getirmiştir (UNEP, 2021; World Bank, 2020). Günümüzde hızla artan kentleşme ve sanayi faaliyetleri sonucunda çevre kirliliği önemli bir sorun haline gelmiştir. Bu çevresel sorunların başında ise ağır metal kirliliği gelmektedir. Hava, toprak ve su kaynaklarında biriken ağır metaller, doğrudan ya da dolaylı yollardan insan ve ekosistem sağlığını tehdit etmektedir. Ağır metaller, oldukça düşük konsantrasyonlarda dahi toksik etkiler gösterebilen elementlerdir ve genellikle kontaminasyon riski, toksisite ve eko-toksisite özellikleriyle öne çıkarlar. Ağır metallerin tanımı, genellikle çevresel bağlamda “göreceli olarak yüksek yoğunlukta olan ve düşük dozlarda bile zararlı etki oluşturabilen metaller” olarak yapılmaktadır. Fiziksel açıdan değerlendirildiğinde ise, yoğunluğu 5 g/cm^3 'ten yüksek olan metaller bu gruba dâhil edilmektedir. Kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), cıva (Hg), nikel (Ni), bakır (Cu), demir (Fe), kobalt (Co) ve çinko (Zn) gibi 60'tan fazla metal ağır metal sınıfına girmektedir. Ağır metaller organizmaya üç ana yoldan, yani ağız yoluyla (besin ve su), solunum yoluyla (hava) ve deri yoluyla (temas) girebilmektedir (Bradl, 2005). Vücuda alındıktan sonra çoğu ağır metal, doğal boşaltım mekanizmaları (böbrekler, karaciğer, bağırsaklar, akciğerler, deri) ile kolayca atılamamakta ve bu nedenle biyolojik dokularda birikmektedir (Wang vd., 2007). Uzun vadeli birikim, organizmalarda toksik düzeylere ulaşarak çeşitli sağlık sorunlarına yol açmaktadır (Tchounwou vd., 2012). Tiroit bozuklukları, nörolojik rahatsızlıklar, otizm, infertilite (kısırlık) gibi birçok kronik hastalık bu metallerle ilişkilendirilmekte olup, bazı durumlarda ölümcül sonuçlar da ortaya çıkabilmektedir (Jaishankar vd., 2014). Ağır metaller, bitki fizyolojisi üzerinde toksik etkiler yaratarak

bitkisel üretimin düşmesine yol açmakta ve bu durum, ekosistem dengesini bozarak besin zinciri aracılığıyla tüm canlıların sağlığını tehdit etmektedir (Sharma ve Dubay, 2005). Bu metallerin toprak ve bitki üzerindeki etkileri, büyük ölçüde toprağın kimyasal ve fiziksel özelliklerine, bitki türüne ve çevresel koşullara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Khan vd. (2008)'ne göre; toprak ekosisteminde ağır metallerin varlığı, toprak biyolojik aktivitelerini baskılayarak mikrobiyal dengeyi bozar ve bunun sonucunda toprak verimliliği önemli ölçüde azalır. Ağır metaller; bitkilerde protein sentezi, DNA ve RNA replikasyonu, kök-su ilişkisi, çimlenme, büyüme ve fotosentez gibi hayati süreçleri olumsuz etkileyebilir. Aynı zamanda bu metaller, toprak, su ve bitki sistemlerinde kompleks bileşikler oluşturarak bitkisel dokuların ve organların yapısal zarar görmesine neden olabilmektedir (Nagajyoti vd., 2010). Bu olumsuzlukların ışığında, ağır metallerin toprak, bitki, su ve dolaylı olarak insan sağlığı üzerindeki etkilerinin tam olarak anlaşılması, sürdürülebilir tarım ve çevre politikalarının geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Alloway, 2013). Tarımsal üretimin temelini oluşturan bitkiler; gelişimleri süresince çevresel koşullardan doğrudan etkilenmekte ve bu durum, besin alımları üzerinde çeşitli kısıtlamalar yaratabilmektedir. Bitkilerin sağlıklı bir şekilde büyüüp gelişebilmeleri için belirli elementlere ihtiyaçları vardır ve bu elementler “bitki besin elementleri” olarak adlandırılmaktadır (Kabata-Pendias ve Pendias, 2001). Bitki dokularının kimyasal analizinde doğada bulunan birçok elementi iz miktarda tespit etmek mümkün olsa da bitkiler yalnızca sınırlı sayıdaki elementi fizyolojik süreçlerinde kullanmaktadır. Her ne kadar bitkiler, ihtiyaç duydukları elementleri kökleri aracılığıyla seçici olarak absorbe etme yeteneğine sahip olsalar da yetişme ortamında yüksek miktarda bulunabilen bazı metaller, özellikle pasif taşınım mekanizmaları yoluyla bitki bünyesine girebilmektedir (Yıldız, 2003). Bu süreçte, toksik etkileriyle bilinen ağır metaller de bitkiye alınabilir ve bu metaller, besin zinciri aracılığıyla hayvan ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilir. Çünkü bitkiler, ortamda bulunan bazı elementleri, ihtiyaç duyup duymadıklarına bakmaksızın düşük oranlarda da olsa absorbe edebilmektedirler (Broadley vd., 2012). Bitkiler için temel olan 16 element (C, H, O, N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Cl ve Mo), tüm bitkilerin hayati fonksiyonları için mutlak gerekliliktedir. Bunun yanı sıra, Co, Al, Na, Si, Ni ve V gibi altı element ise yalnızca bazı bitkilerde veya metabolik süreçlerde faydalı olarak kabul edilen elementlerdir (Marschner, 2012). Toprak kirliliği bağlamında değerlendirildiğinde, ağır metaller çevresel kirleticiler arasında en tehlikeli gruplardan biri olarak öne çıkmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Çevre

Koruma Ajansı (EPA) tarafından yayımlanan öncelikli 129 kirletici madde listesinde yer alan ağır metaller, çevre ve insan sağlığına yönelik ciddi tehditler oluşturmaktadır. Toprak ortamına çeşitli kaynaklardan giren bu metaller, zamanla toprakta birikerek mikrobiyal aktivitelerin baskılanmasına, toprak verimliliğinin azalmasına, biyolojik çeşitliliğin kaybına ve tarımsal ürünlerde verim düşüşlerine neden olmaktadır. Dahası, bitkiler aracılığıyla besin zincirine dâhil olan ağır metaller, hayvan ve insanlarda toksik etkilere yol açarak halk sağlığını doğrudan tehdit etmektedir. Ağır metallerin çevresel sistemlerde kalıcılığı, biyolojik olarak kolayca parçalanamamaları ve canlı organizmalarda birikim özellikleri, bu maddeleri çevre açısından en zararlı kirleticilerden biri haline getirmektedir. Bitkiler, ağır metallere karşı geliştirdikleri biyolojik adaptasyonlara göre genel olarak üç gruba ayrılabilir:

a) **Metal dışlayıcı (excluder) bitkiler:** Bu bitkiler, yüksek düzeyde metal içeren toprak koşullarında dahi kök sistemlerinde metali sınırlı tutarak toprak üstü organlarına geçişini engellerler. Metalin bitki bünyesinde lokalize edilerek sistemik yayılımının önüne geçilmesiyle, toksik etkiler minimize edilir (Baker, 1981; Maestri vd., 2010).

b) **Metal indikatörü (indikatör) bitkiler:** Bu grup bitkiler, topraktaki metal yoğunluğunu doğrudan yansıtan seviyede metal absorbe ederler. Bu özelliklerinden dolayı çevresel izleme çalışmalarında "biyobelirteç" olarak kullanılabilirler (Baker, 1981; Maestri vd., 2010).

c) **Metal akümülatör (akümülatör ve hiperakümülatör) bitkiler:** Bu tür bitkiler, toprakta bulunan metalin çok üzerinde miktarda metali toprak üstü organlarında biriktirme kapasitesine sahiptirler (Salt vd., 1995). Özellikle hiperakümülatör bitkiler, herhangi bir belirgin toksisite semptomu göstermeden, yaprak ve gövdelerinde topraktaki metal konsantrasyonunun 50 ila 500 katına kadar ağır metal depolayabilirler (Yoon vd., 2006). Bu özellikleri sayesinde, kirlenmiş toprakların biyolojik yollarla temizlenmesini amaçlayan fitoremediasyon uygulamalarında etkin şekilde kullanılmaktadırlar (Epa, 2023).

1.1. Ağır Metallerin Çevre ve Canlı Sağlığı Üzerine Etkileri

Alüminyum (Al), yer kabuğunda en yaygın üçüncü metaldir ve toprak pH'sı 5'in altına düştüğünde çözünürlüğü ve bitkiler için bulunabilirliği artar. Al'ın bitkiler üzerindeki etkisi, konsantrasyon, maruz kalma süresi, bitki türü, gelişim aşaması ve çevre koşullarına bağlıdır. Düşük dozlarda bitki büyümesini teşvik edip stresleri azaltabilse de yüksek konsantrasyonlarda toksik etkiler yaparak kök büyümesini engeller ve su ile besin alımını kısıtlar. Bu toksisite, asidik topraklarda bitki verimliliğini düşüren önemli bir sorundur. Al toksisitesinin en belirgin belirtisi kök büyümesinin durmasıdır, ancak bazı bitki türlerinde düşük Al seviyeleri faydalı olabilir. Farklı çalışmalarda Al seviyeleri ve formları değişiklik gösterse de etkiler genellikle bitkinin türüne, gelişme durumuna ve çevresel faktörlere bağlıdır. Ayrıca, Al toksisitesi fotosentezi olumsuz etkileyerek klorofil içeriği ve fotosentetik aktiviteyi azaltır. Sonuç olarak, Al bitkiler için hem faydalı hem zararlı etkiler gösterebilir; etkisi doz, bitki tipi ve çevresel koşullara bağlıdır (Ofuo vd., 2023). Alüminyum, gıda katkı maddeleri, içme suyu, mutfak gereçleri ve bazı ilaçlar aracılığıyla insan vücuduna alınabilmektedir. Normal koşullarda alınan miktarın büyük bölümü vücuttan atılırken, uzun süreli ve yüksek düzeyde maruziyet sağlık açısından risk oluşturabilmektedir. Yapılan araştırmalarda alüminyumun özellikle sinir sistemi, kemik sağlığı ve böbrek fonksiyonları üzerinde olumsuz etkiler gösterebildiği ifade edilmektedir. Nörotoksik özellikleri nedeniyle Alzheimer hastalığı ile ilişkilendirilmiş, kesin bir nedensellik ortaya konulmasa da yüksek maruziyetin risk faktörü olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca kalsiyum ve fosfor metabolizmasını bozarak osteomalaziye, böbrek fonksiyonları bozuk bireylerde ise ensefalopatiye yol açabileceği bildirilmektedir (Krewski vd., 2007).

Arsenik (As), topraklarda doğal olarak bulunan ve bitkiler için toksik bir elementtir. İnsan maruziyeti genellikle arsenikle kirlenmiş içme suyu kaynaklarıyla ilişkilidir. Tarım alanlarına arsenik; jeokimyasal süreçler, pestisit kullanımı, madencilik faaliyetleri ve arsenikli sulama yoluyla girmektedir. Bitkilerde arsenik köklerde birikerek büyümeyi engeller, sürgünlere geçtiğinde ise fotosentez ve biyokütle üretimini azaltır; yüksek dozlarda metabolik süreçleri bozarak ölümcül etki yapabilir. Bitkiler arseniğin çoğunu kökte tutmaya çalışsa da genotiplerine bağlı olarak arsenik sürgün ve diğer dokulara taşınabilir. Toksisite hücre zarında hasar, elektrolit sızıntısı ve oksidatif strese yol açar (Finnegan ve Chen, 2012).

Kadmiyum (Cd), çevrede önemli bir kirletici olup çoğu organizma için toksiktir ve insan sağlığı için risk oluşturur. Bitkiler toprak veya sudan Cd alarak kök, gövde ve sürgünlerinde biriktirir. Kadmiyumun bitkilerde yol açtığı etkiler arasında oksidatif stres, genotoksisite, fotosentezin engellenmesi ve kök metabolizmasının baskılanması bulunur. Cd; tohum çimlenmesi, fide gelişimi ve biyokütle üretimini azaltırken, fotosentez, su dengesi, stoma iletkenliği ve elektrolit sızıntısını etkiler. Ayrıca kromozomal hasar, DNA mutasyonları ve reaktif oksijen türlerinin aktivasyonu yoluyla hücre döngüsünü bozar. Kadmiyumun başlıca kaynakları arasında elektrik santralleri, metal işleme endüstrisi, kentsel trafik ve çeşitli endüstriyel ürünler yer alır. Bitkilerde Cd birikimi genellikle kök> gövde> yaprak> meyve> tohum şeklindedir. Hücre zarları metal alımını sınırlar, ancak Cd'nin yüksek hareketliliği ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik etkileri onu çok tehlikeli kılar. Kadmiyum kirliliğinin labada (*Rumex patientia* L.) gibi bitkilerle fitoremediasyon yöntemiyle giderilebildiği gösterilmiştir (El Rasafi vd. 2022).

Krom (Cr), endüstride yaygın kullanımı nedeniyle toprak, yeraltı suyu ve tortularda sıkça bulunan önemli bir çevresel kirleticidir. En kararlı formları Cr (III) ve Cr (VI) olup, Cr (VI) özellikle toprakta daha kalıcı ve biyota için oldukça toksiktir. Bitkiler için elzem olmayan Cr, sülfat taşıyıcıları aracılığıyla sülfat gibi temel elementlerle yanlışlıkla alınır. Bitkilerde Cr birikimi büyüme ve biyokütle üretimini azaltır; fotosentez, solunum, su ve mineral alımı gibi fizyolojik süreçleri olumsuz etkiler. Ayrıca nişasta ve azot metabolizmasında görevli enzimlerin aktiviteleri reaktif oksijen türleri üretimi ya da doğrudan enzim inhibisyonu yoluyla azalır. Cr, membran lipidlerine zarar vererek ve DNA hasarına neden olarak oksidatif strese yol açar ve bazı bitki türlerinde ölümle sonuçlanabilir (Singh vd., 2013; Shanker vd., 2005; Panda ve Choudhury, 2005). Cr toksisitesi, bitkilerde çimlenme, kök, gövde ve yaprak büyümesinde azalma ile toplam kuru madde üretimini ve verimi düşürür. Cr (VI) formunun hücre içinde Cr (III)'e indirgenmesi sırasında serbest radikaller oluşması toksisitenin temel nedenlerinden biridir. Ayrıca, Cr'nin redoks özellikleri hücresel membranlarda lipid peroksidasyonuna yol açar ve fotosentetik pigmentlerin azalmasına sebep olur, böylece fotosentez süreci bozulur. Bitkiler Cr için spesifik taşıma sistemi taşımadığından, sülfat ve demir gibi iyon taşıyıcıları Cr'yi hücre içine alır (Shanker vd., 2005; Panda ve Choudhury, 2005). Zn, Fe, Cu, Mn gibi metaller bitki metabolizması için elzem iken; Pb, Cd, As, Se, Cr, Al gibi metaller biyolojik olarak gerekli değildir ve belirli konsantrasyonların üzerinde toksik etki gösterir. Cr toksisitesi, yapraklarda kloroz,

pigment azalması, enzim aktivitelerinde bozulma, kök hücrelerine zarar ve hücresel ultra yapısal değişikliklerle kendini gösterir. Ayrıca tohum çimlenmesini ve kök büyümesini de olumsuz etkiler (Dixit vd., 2002; Panda ve Choudhury, 2005).

Bakır (Cu), bitkilerin normal büyüme ve gelişimi için gerekli temel bir mikro besindir ve birçok fizyolojik süreçte metaloproteinlerin yardımcı faktörü olarak görev yapar. Fotosentetik elektron taşınması, mitokondriyal solunum, oksidatif stres tepkileri, hücre duvarı metabolizması ve hormon sinyalleme gibi hayati işlevlerde Cu önemli rol oynar. Hücresel düzeyde transkripsiyon, protein taşıma, oksidatif fosforilasyon ve demir mobilizasyonu gibi süreçlerde de yer alır. Ancak, Cu'nun redoks özellikleri hem gerekliliğini hem de toksisitesini belirler. Toprakta veya çevrede aşırı Cu bulunması durumunda, bitki büyümesi engellenir, fotosentetik elektron taşınması bozulur, yapraklarda kloroz, nekroz, bodurluk ve renk bozuklukları, kök büyümesinde inhibisyon gibi toksik belirtiler ortaya çıkar. Öte yandan, Cu eksikliği de benzer şekilde bitkide büyüme ve gelişim bozukluklarına neden olur. Bu nedenle, Cu'nun bitki içinde alımı, taşınması, doku ve organeller arasında dağılımı sıkı homeostatik mekanizmalarla kontrol edilir ve bu süreçlerde membran taşıyıcı sistemleri kritik rol oynar. Bazı topraklarda doğal olarak yüksek Cu seviyeleri bulunabilirken, madencilik, eritme, endüstriyel faaliyetler, tarım uygulamaları ve atık bertaraf teknolojileri nedeniyle çevreye antropojenik Cu salınımı artmıştır. Bu yüksek Cu konsantrasyonları bitki büyümesini olumsuz etkiler; biyokütlede azalma, yapraklarda klorotik semptomlar ve klorofil içeriğinde düşüş görülür. Ayrıca, kloroplast yapısı ve tilakoid membran bileşiminde değişiklikler meydana gelir (Yruela, 2005).

Demir (Fe), DNA sentezi, solunum ve fotosentez gibi temel metabolik süreçlerde kritik rol oynayan ve hemen hemen tüm canlı organizmalar için gerekli bir mikro besindir. Ayrıca, birçok enzimin prostetik grubu olarak çeşitli metabolik yolları aktive eder. Topraktaki demirin çözünürlüğü ile bitkinin demir ihtiyacı arasındaki dengesizlik, demir klorozunun temel nedenlerinden biridir. İyi havalandırılmış topraklarda bol miktarda bulunmasına rağmen, nötr pH değerlerinde demir genellikle yüksek oranda çözünmeyen ferrik bileşikler (Fe^{3+}) oluşturduğu için biyolojik olarak kullanılamaz (Rout ve Sahoo, 2015). Bitkilerde demir, elektron taşıma zincirindeki sitokromlar gibi birçok hayati enzimin bileşeni olup klorofil sentezi ve kloroplast yapısının korunmasında önemli bir rol oynar (Guerinot ve Yi, 1994). Demir, geniş bir redoks potansiyeli aralığında oksidasyon durumları arasında

dönüşüm yapabilme özelliği sayesinde başlıca metabolik süreçlerde yer alır. Bitkilerin demir beslenmesi büyük oranda toprak kaynaklarına bağlıdır; demir yer kabuğunun en bol bulunan dördüncü elementidir ancak ekili topraklarda genellikle oksitlenmiş formda bulunur (Lemanceau vd., 2009). Yeşil bitkiler büyürken sürekli bir demir kaynağına ihtiyaç duyarlar çünkü demir eski yapraklardan yeni yapraklara taşınmaz. Alkali veya yüksek pH'lı topraklarda demir, bitkiler için uygun formda bulunmayabilir. Bitkiler demir eksikliği stresine karşı, köklerinden hidrojen iyonları ve indirgeme maddeleri salgılayarak kök çevresinin pH'ını düşürür ve ferrik demiri (Fe^{3+}) ferroz demire (Fe^{2+}) indirger; bu sayede demir daha kolay emilir (Brown, 1978). Emilen Fe^{2+} kökte oksitlenerek Fe^{3+} haline gelir, şelatlanır ve bitki boyunca taşınır. Demir eksikliği, nitrat redüktaz aktivitesi, demirin kullanımı ve ağır metallerle mücadelede olumsuz etkilere yol açabilir. Bu nedenle, köklerde demir alım mekanizmalarının etkinliği, bitkinin demir stresine karşı dayanıklılığında ve verimliliğinde önemli bir rol oynar.

Manganez (Mn), birçok organizmada bulunan ve bitkiler için temel bir mikro besindir. Yaklaşık 200 yıl önce, çeşitli sebze türlerinin yaprak külünde Mn varlığı deneysel olarak belirlenmiştir. Ancak, Mn'nin bitki büyümesi ve gelişimi için gerekli olduğu ancak 1900'lerin başında belgelenmiştir. Mn'nin oksijenli fotosentezdeki rolü, Pirson (1937), Mn içermeyen büyüme ortamlarındaki bitkilerin ve alglerin O_2 salmadığını göstermesiyle ortaya çıkmıştır. Kok vd (1970) ise oksijen evriminin redoks bağımlı işlevini keşfetmişlerdir. Spector ve Winget (1980)'in ısıpaktan katalitik olarak aktif Mn içeren protein kompleksi izole etmeleriyle, Mn'nin yüksek bitkilerin oksijen evrim kompleksinde (OEC) temel ve ayrılmaz bir metal kofaktörü olduğu kanıtlanmıştır (UniProt Consortium, 2023).

Doğal olarak bulunan bir metal olmasına rağmen, endüstriyel faaliyetler, gübre kullanımı ve kanalizasyon çamuru gibi insan kaynaklı etkenlerle çevredeki konsantrasyonu tehlikeli seviyelere yükselmiştir. Bitkiler için düşük konsantrasyonlarda gerekli olan Ni, aşırı miktarlarda tohum çimlenmesini, kök ve sürgün gelişimini, biyokütle birikimini ve verimi olumsuz etkiler. Ayrıca fotosentez, su dengesi ve mineral beslenmesi gibi temel fizyolojik süreçlerde bozulmalara yol açar, kloroz ve nekroz gibi toksik semptomlar oluşturur ve oksidatif strese neden olan reaktif oksijen türlerinin üretimini tetikler. Nikelin bitkilerdeki etkileri, maruz kalma düzeyi ve süreye bağlı olarak olumlu veya olumsuz olabilir; küçük

miktarlarda enzimatik aktivitelerin (örneğin üreaz), azot metabolizmasının ve demir alımının desteklenmesine katkıda bulunurken, yüksek seviyelerde büyümeyi engeller ve toksik etkilere neden olur. Çevrede artan Ni kirliliği, özellikle topraklarda ürün verimliliği açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bitkilerde Ni tolerans mekanizmalarına dair bilgiler henüz sınırlı olup, bu konuda yapılacak araştırmalar ekosistem sağlığı için önem taşımaktadır (Sreekanth vd., 2013; Hassan vd., 2019).

Toprakların ağır metallerle kirlenmesi, insan kaynaklı tarımsal ve endüstriyel faaliyetler sonucunda yaygınlaşmaktadır. Bu ağır metaller arasında kurşun (Pb), toprak ve tortularda kolayca birikerek potansiyel bir kirletici olarak öne çıkar. Pb, bitkiler için gerekli bir element olmamakla birlikte, bitkinin farklı kısımlarında kolayca emilir ve birikir. Bitkilerde Pb alımı, toprağın pH'ı, parçacık boyutu, katyon değişim kapasitesi ile kök eksüdasyonu ve diğer fiziko-kimyasal faktörler tarafından düzenlenir. Pb'nin aşırı birikimi bitkilerde bodur büyüme, kloroz (yaprak sararması) ve kök sisteminde kararma gibi toksik belirtilere yol açar. Fotosentezi engeller, mineral beslenme ve su dengesini bozar, hormonal dengede değişikliklere neden olur ve hücre zarının yapısı ile geçirgenliğini etkiler. Bitkiler Pb'den korunmak için çeşitli detoksifikasyon stratejileri geliştirir. Bunlar arasında vakuollerde Pb'nin depolanması, fitoşelatin ve glutatyon gibi bağlayıcı moleküllerin sentezi, Pb'nin hücre duvarına sınırlandırılması, ozmolit üretimi ve antioksidan savunma sistemlerinin aktivasyonu yer alır. Bu mekanizmalar Pb toksisitesini azaltmaya yardımcı olur. Pb, esas olarak köklerde birikmekle birlikte, yüksek konsantrasyonlarda kök bariyeri hasar görerek vasküler doku aracılığıyla sürgünlere taşınabilir. Hücre içi Pb birikintileri çoğunlukla hücreler arası boşluklar, hücre duvarı ve vakuollerde bulunur. Pb ayrıca endoplazmik retikulum ve diktiyozom gibi organellerde de birikebilir. Pb, birçok enzimin aktivitesini inhibe ederek bitkide metabolik işlevleri bozar. Özellikle kloroplast yapısını zarar verip klorofil sentezini düşürür, elektron taşıma zincirini engeller ve fotosentez oranını azaltır. Pb ayrıca solunum aktivitesini etkiler; düşük dozlarda solunumu uyarırken yüksek dozlarda inhibitör etki gösterir. Bunun yanında Pb, diğer temel minerallerin (K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu, Fe) bitki dokularına alımını engelleyerek mineral dengesizliğine yol açar. Kurşun toksisitesi, özellikle topraklarda Pb kirliliğinin arttığı bölgelerde bitki büyümesi ve ürün veriminde ciddi kayıplara neden olmaktadır (Sharma ve Dubey, 2005).

Bitkilerde çinko (Zn) dağılımı, bitki türüne ve incelenen dokulara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Düşük ve yeterli Zn varlığında, genç dokularda (kök, sürgün, üreme organları) Zn yoğunluğu daha yüksektir. Toksik Zn seviyelerine dayanıklı bitkilerde ise Zn, kök korteksi ve yapraklarda hücre duvarları ile vakuollerde birikir. Ksilem yoluyla Zn taşınımı, su taşınımıyla tam uyumlu değildir. Ayrıca, Zn yapraklarda yaşlanmayla birlikte geri taşınabilir; bu süreç Zn eksikliğinde yavaşlar. Türler arasında tohumlardaki Zn yükleme kapasitesi bakımından farklılıklar görülebilmektedir. Bazı yerel türlerin tohumlarında, ticari türlere göre çok daha fazla Zn bulunabilmektedir (Longnecker ve Robson, 1993). Çinko, toprakta doğal olarak bulunur ve birçok metabolik süreçte hayati rol oynar. Ancak yüksek Zn seviyeleri, bitki büyümesini, anabolizma ve katabolizmayı olumsuz etkiler, mineral dengesini bozar ve oksidatif stres oluşturur. Zn, doğal olaylar ve insan kaynaklı faaliyetlerle (madencilik, gübreler, kanalizasyon çamuru) toprağa karışır. Zn'nin faydalı ve toksik etkilere neden olan konsantrasyonları arasında oldukça dar bir aralık olması; çevresel etkiler nedeniyle bu elementin bitkilerde birikmesine yönelik yapılan bilimsel araştırmalara olan ilgiyi ve araştırma sayısını artırmıştır. Kaur ve Garg, (2021) tarafından yapılan çalışma bitkilerin yüksek Zn stresine karşı geliştirdiği savunma mekanizmalarını ve bu alandaki moleküler gelişmeleri ortaya koymaktadır. Bu bilgiler, tarımsal üretimde Zn toleransını artırmak için önem taşımaktadır.

1.2. Madencilik Faaliyetlerinin Çevresel Etkileri ve Toprak Kirliliği

Madencilik faaliyetleri, doğal kaynakların çıkarılması sürecinde çevresel sistemler üzerinde ciddi bozulmalara yol açarak toprak, su ve hava gibi temel çevre unsurlarının kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu faaliyetlerin etkisi yalnızca fiziksel çevreyle sınırlı kalmayıp, ekosistem bütünlüğünü bozacak şekilde flora ve faunanın tahribatına da neden olmaktadır. Özellikle verimli üst toprağın kaybı, toprak yapısının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bozulması, bitki örtüsünün yok edilmesi, doğal yaşam alanlarının parçalanması ve bazı hayvan türlerinin zorunlu göçü gibi sonuçlar madencilik faaliyetlerinin ekolojik düzeydeki başlıca etkileri arasında yer almaktadır (Oladipo, 2014). Madencilik sürecinde ortaya çıkan atık maddeler, başta ağır metal içeriği olmak üzere kimyasal bileşimleri nedeniyle ciddi bir toprak kirleticisi unsur niteliği taşımaktadır. Bu atıklar kontrolsüz şekilde çevreye salındığında, özellikle ağır metallerin birikimi sonucu hem yerüstü hem de yer altı ekosistemlerinde yaygın kirlenmelere yol açmaktadır.

(Weissenstein ve Sinkala, 2011; Fashola vd., 2016). Madencilik yol açtığı en önemli çevresel sorunlardan biri de Asidik Maden Drenajı (AMD)'dir. Terk edilmiş veya halen işletilmekte olan maden sahalarında meydana gelen bu süreçte, sülfür minerallerinin oksidasyonu sonucu ortaya çıkan asidik sular, çevredeki yüzey ve yer altı su kaynaklarının pH değerini düşürmekte ve bu sular aracılığıyla çevreye toksik ağır metallerin taşınmasına neden olmaktadır (Lopez vd., 2001). Bu durum, madencilik sahalarının yalnızca işletme sürecinde değil, uzun yıllar boyunca çevre üzerinde kalıcı kirlilik etkisi yaratmasına neden olmaktadır. Özellikle maden üretim, taşımacılık ve zenginleştirme faaliyetlerinin yürütüldüğü alanlarda; toprak, su ve hava kalitesinde ciddi azalmalar yaşanmakta, bu durum ekosistemin genel sağlığı açısından önemli tehditler doğurmaktadır.

1.3. Çalışmanın Önemi, Alana Katkısı ve Amacı

Ağır metal kirliliği, toprak ve su kaynaklarında kalıcı etkiler bırakarak tarımsal üretimi ve gıda güvenliğini doğrudan tehdit etmektedir. Bahçe bitkileri doğrudan tüketildiği için, bu ürünlerde biriken ağır metallerin insan sağlığına olan etkisi ciddi riskler taşımaktadır. Bingöl gibi doğal kaynakların yoğun olduğu ancak çevre denetiminin sınırlı olabileceği bölgelerde, maden faaliyetlerinin tarıma ve halk sağlığına etkilerinin bilimsel olarak ortaya konması son derece kritiktir. Çalışma, yerel çiftçilerin, tüketicilerin ve karar vericilerin bilinçlenmesini sağlayarak önlem alınmasına katkı sunacaktır. Türkiye’de maden işletmeleri ile tarım faaliyetlerinin iç içe olduğu bölgelerde yapılacak benzer çevresel etki çalışmalarına örnek teşkil edecektir. Ağır metal kirliliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkileri konusundaki literatüre bölgesel verilerle katkı sağlayacaktır. Gıda güvenliği, çevre sağlığı ve sürdürülebilir tarım açısından hem yerel hem ulusal düzeyde politika yapıcılara bilimsel altyapı sunacaktır. Çalışma kapsamında, toprak ve bitki analizlerine dayalı öneriler geliştirilerek rehabilitasyon ve önleyici tarım uygulamalarına zemin oluşturulması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, Bingöl ili Genç ilçesinde bulunan ve faaliyetlerine devam eden Avnik demir yatağının çevresinden toplanan 9 adet bahçe bitkileri türünün (Armut, Böğürtlen, Çilek, Dut, Elma, Ceviz, Erik, Kayısı ve Üzüm) farklı dokularında (dal, yaprak ve meyve) bazı ağır metallerin (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) birikme durumları ve konsantrasyonları incelenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Farklı araştırmacılar, metal kirliliğinin bitkilerde klorofil miktarını azalttığını bildirmiştir. Örneğin, nikel ve bakır (Ni-Cu) kirliliğine maruz kalan topraklarda yetişen *Empetrum nigrum* bitkisinde yapraklarda klorofil içeriğinde %15 ile %30 arasında azalma olduğu belirlenmiştir (Monni vd, 2001).

Madencilik faaliyetlerinin yürütüldüğü bölgelerde toprak, su ve hava kirliliği gibi çeşitli çevresel zararlar oluşmakta ve çevresel kalite önemli ölçüde bozulmaktadır. Asidik maden drenajı (AMD), madencilik faaliyetlerinin görüldüğü bölgelerde yaygın ve ciddi bir çevre sorunudur. Özellikle terk edilmiş maden sahaları, atık depolama alanları ve uzun süre işletilen madenlerde oluşan bu drenaj, çevredeki yüzey ve yeraltı sularının pH değerini düşürerek asidik hale gelmesine yol açar. Bu durum, madenlerden çevreye ağır metallerin ve diğer toksik maddelerin yayılmasını hızlandırarak ekosistem üzerinde zararlı etkiler yaratır (Lopez vd., 2001).

Açık işletme maden ocaklarının çevreye olan zararlı etkilerinin büyüklüğü, bir dizi faktöre bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu faktörler arasında bölgenin hidroloji ve hidrojeolojik özellikleri, jeolojik yapısı, maden ocağının büyüklüğü ve derinliği, toprak özellikleri, bitki örtüsü ve iklim koşulları öncelikli yer tutar. Özellikle hidrolojik koşullar, yeraltı su kaynaklarının kalitesi ve miktarını doğrudan etkilerken; jeolojik yapı ise maden sahalarının stabilitesi ve çevresel etkilerin şekillenmesinde kritik rol oynamaktadır (Younger vd., 2002).

Bayçu vd (2006), İstanbul'un çeşitli bölgelerinden toplanan ağaçlarda yapraklarda klorofil miktarının kontrol bitkilerine kıyasla azaldığını tespit etmiştir. Araştırmada, klorofil azalmasının nedenleri arasında ağaç türleri, mevsimsel değişiklikler, çevresel koşullar ve ağır metal stresinin etkili olduğu vurgulanmıştır.

Yoon vd (2006)'ne göre farklı bitki türleri, ağır metalleri ortamdan farklı düzeylerde alıp bünyelerinde biriktirme yeteneğine sahiptir. Genellikle yaprak dokuları, bitkinin diğer bölümlerine kıyasla daha fazla metal biriktirme eğilimi gösterir.

Tokalioğlu vd (2007), kentsel topraklar ve sebze örneklerinde Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Mn, Pb ve Zn ağır metal konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Topraklardaki metal hareketliliği ve sebzelerin metal alımını değerlendirmek için BCR üç aşamalı ardışık ekstraksiyon yöntemini (F1: değişebilir fraksiyon, F2: indirgenebilir fraksiyon, F3: oksitlenebilir fraksiyon) uygulamışlardır. Sonuçlar, metal hareketliliğinin $Mn > Cd > Cu > Pb > Zn > Cr > Ni > Co > Fe$ sırasıyla olduğunu göstermiş ve özellikle F1 ile F3 aşamalarında toprak ve bitkiden ekstrakte edilen metal konsantrasyonları arasında pozitif korelasyon bulunmuştur.

İnsanların metal alet kullanmaya başlamasıyla madencilik faaliyetleri çevreye ağır metal yayılımını artırmış, bu etkiler günümüze kadar sürmüştür. En yüksek metal kirliliği ise genellikle maden sahalarının çevresinde ve daha alçak rakımlı bölgelerde görülmektedir (Lim vd., 2008).

Ağır metallerin çevreye yayılmasının farklı yolları bulunmaktadır. Doğal yayılım süreçleri, dünyanın oluşumundan bu yana göktaşları aracılığıyla metallerin gezegenimize ulaşmasını kapsar ve günümüzde de bu süreç düşük düzeyde devam etmektedir. Ayrıca, yanardağ patlamaları, depremler ve kayaçların parçalanması gibi jeolojik olaylar sayesinde magma ve manto tabakasındaki ağır metaller yeryüzüne çıkarak yağışlar yoluyla çevreye dağılmaya devam etmektedir (Pirrone ve Mason, 2009).

Bozkurt vd (2010) tarafından, 1999-2003 yılları arasında dört yıl süreyle farklı dozlarda arıtma çamuru uygulanan bir elma bahçesinde, toprak ve yaprak örneklerinde besin elementi ve ağır metallerin kalıntı etkileri incelenmiştir. Denemede, ağaç başına 0, 10, 20, 40 ve 60 kg arıtma çamuru uygulanmış ve bu malzeme 0-20 cm derinlikte toprakla karıştırılmıştır. Kontrol olarak ise ağaç başına 25 kg ahır gübresi verilmiştir. Uygulamalardan yedi yıl sonra yapılan analizlerde, arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulamalarının elma yapraklarındaki ağır metal içeriği üzerinde farklı etkiler gösterdiği belirlenmiştir. İstatistiksel analizlerde Ni ve Pb seviyeleri $p < 0.001$ düzeyinde anlamlı bulunurken, Cd içeriğinde anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Arıtma çamuru miktarının artmasıyla bitkilerin ağır metal alımı da artabilmektedir. Sonuç olarak, arıtma çamuru uygulamalarının hem toprakta hem de bitkilerde ağır metal birikimi açısından potansiyel risk oluşturabileceği ve uygulanan çamurun ağır metal içeriğinin büyük önem taşıdığı vurgulanmıştır.

Özellikle madencilikten kaynaklanan atıklar, yoğun ağır metal içeriği nedeniyle ciddi toprak kirliliğine sebep olmaktadır (Weissenstein ve Sinkala, 2011).

Kabata-Pendias ve Pendias, (2011)' a göre; ağır metaller hem doğal süreçler hem de insan kaynaklı faaliyetler sonucunda çevreye karışabilen ve canlı organizmalarda birikme özelliği taşıyan elementlerdir. Bitkiler, belirli düzeylere kadar bu metalleri tolere edebilse de yüksek yoğunluklarda bu metaller bitki gelişimi üzerinde toksik etkilere neden olabilir.

Çevredeki ağır metal kirliliğinin asıl kaynağı insan faaliyetleridir. Madencilik, sanayi, tarım ve kentsel atıklar, özellikle sanayileşmiş kentler, maden bölgeleri ve yoğun tarım yapılan alanlarda toprak, su ve havaya yüksek miktarda ağır metal yayılmasına neden olmaktadır (Kabata-Pendias ve Pendias, 2011).

Madencilik, çeşitli endüstri kollarında ihtiyaç duyulan doğal hammaddeleri çıkararak ekonomik fayda sağlamayı amaçlayan bir faaliyettir. Ancak kullanılan yöntem ve teknolojilere bağlı olarak, bu faaliyetler zamanla ekosistemi bozabilmekte, çevresel kirliliğe yol açmakta ve canlı yaşamı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir (Ulusoy ve Ayaşlıgil, 2012).

Meyve ağaçları üzerinde yapılan araştırmalar, ağır metallerin en yoğun şekilde genellikle yapraklarda biriktiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, meyve dokularında da belirli oranlarda metal birikimi gerçekleşebilmektedir. Meyveler doğrudan tüketilen ürünler olması nedeniyle bu durum, gıda güvenliği açısından oldukça önemli bir risk olarak karşımıza çıkmaktadır (Alloway, 2013).

İtalya'da yapılan bir çalışmada, endüstriyel bir bölgeye yakın bir kasabada kadmiyum (Cd), arsenik (As), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) elementlerinin günlük alım düzeyleri incelenmiştir. Temmuz 2009 ile Mart 2010 arasında 35 farklı sebze ve meyveden oluşan toplam 255 örnek analiz edilmiştir. Sonuçlar, en yüksek metal konsantrasyonlarının otlar ve baharatlarda bulunduğunu göstermiştir. Diğer gıdalar arasında ise yapraklı sebzelerde Cd (0,147 mg/kg), baklagillerde As (0,142 mg/kg), meyvelerde Pb (0,294 mg/kg) ve yine baklagillerde Zn (13,03 mg/kg) en yüksek değerler olarak belirlenmiştir (Beccaloni vd., 2013).

Araştırmacılar, bitkilerin benzersiz genetik yapıları ve biyokimyasal ile fizyolojik özellikleri sayesinde su ve toprak remediasyonu için ideal araçlar olduğunu vurgulamaktadır. Özellikle hiperakümülatör bitkiler, ağır metallerle kirlenmiş alanların fitoremediasyonunda son yıllarda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Türkiye’de süs bitkilerinin ise tarım alanlarının gizli potansiyeli olduğu belirtilmektedir. Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü’nün TÜBİTAK desteğiyle 2009’da tamamladığı ve 8 üniversite, 7 araştırma enstitüsü ile 19 özel sektör kuruluşunun katıldığı “bazı doğal bitkilerin kültüre alınması ve yeni süs bitkisi türlerinin sektöre kazandırılması” projesi, özellikle kentsel alanlarda süs bitkilerinin çevreyi güzelleştirmekle kalmayıp ağır metal kirliliğinin giderilmesinde de yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle süs bitkileri, fitoremediasyon yöntemiyle çevre temizliğinde kullanılabilecek önemli bitkiler arasında yer almaktadır (Özay ve Mammody, 2013).

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

Madencilik faaliyetleri, çevresel açıdan önemli sorunlara yol açarak toprak, su ve hava gibi fiziksel çevre bileşenlerinin kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu faaliyetler; toprak ve su kirliliği, gürültü, hava kirliliği, verimli üst toprağın kaybı, bitki örtüsünün tahribi ve yaban hayatının göçü gibi çok yönlü çevresel etkiler doğurur (Oladipo, 2014).

Cudic vd (2016), Sırbistan’daki bir çinko maden sahasında yürüttükleri çalışmada beş farklı bitki türünü incelemişlerdir. Araştırma sonucunda *Artemisia artemisiaefolia* türünün incelenen tüm ağır metallerin yüksek konstantrasyonlarına sahip olduğu, özellikle arsenik, kurşun ve kadmiyum bakımından fitostabilizasyon uygulamaları için uygun bir tür olduğu belirlenmiştir.

Fernandez vd (2017), İspanya’da Pb-Zn ve Hg-As içeren madensel atık sahasında bulunan 80 bitki türü ve bunlara ait topraklar üzerinde fitoremediasyon kapasitelerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda özellikle *Coincya monensis*, *Anarrhinum bellidifolium*, *Brassica* sp., *Cistus salviifolius* ve *Salix atrocinerea* türlerinin

hiperakümülayon yeteneğine sahip olduğu ve fitoremediasyon amaçlı kullanılabileceği belirlenmiştir.

Mahdavian vd (2017), İran'ın Yazd kentindeki Pb-Zn maden sahasında yürüttükleri çalışmada, bölgeden toplanan bitki türlerinin hiperakümülayon potansiyelini değerlendirmişlerdir. Elde edilen bulgular, tüm türlerin fitoremediasyon uygulamalarında kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Madencilikten kaynaklanan atıklar kontrolsüz bir şekilde çevreye yayıldığında, ekosistemin geniş çapta kirlenmesine neden olarak hem çevre sağlığını hem de biyolojik çeşitliliği tehdit etmektedir (Fashola vd., 2016).

Aihemaiti vd (2018), Çin'deki bir maden sahasında gerçekleştirdikleri çalışmada *Setaria viridis*, *Kochia scoparia* ve *Chenopodium album* türlerinin ağır metal birikim düzeylerini incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda, bu bitkilerin fitoekstraksiyon ve fitostabilizasyon uygulamaları için uygun potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir.

Palutoğlu vd (2018), Kütahya Gümüşköy maden sahasında yürüttükleri çalışmada, bölgede yayılış gösteren bitki türlerinin kadmiyum (Cd) için fitoremediasyon potansiyelini değerlendirmişlerdir. Araştırma sonucunda *Carduus nutans* ve *Phlomis* sp. türlerinin Cd açısından akümülatör özellik gösterdiği belirlenmiştir.

Hayta ve Avcil (2019), Bitlis ili Güroymak ilçesindeki katı atık tesisinde yürüttükleri çalışmada *Hypericum scabrum* L., *Achillea vermicularis* Trin. ve *Anchusa azurea* Miller var. *azurea* Gard.Dict. türlerinin ağır metal biriktirme potansiyellerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, bu türlerde Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb ve Ca elementlerinin yoğunluklarının toksik seviyelerde olmadığı ve bu bitkilerin hiperakümülayon yeteneklerinin değerlendirilebilir nitelikte olduğu belirlenmiştir.

Göker (2019), yürüttüğu çalışmada krom (Cr) ile kirlenmiş toprakların fitoremediasyon yoluyla iyileştirilmesinde *Zea mays* L. (mısır) bitki türünü kullanmıştır. Elde edilen bulgular, mısırın Cr birikimi açısından hiperakümülatör özellik gösterdiğini ve fitoremediasyon uygulamalarında kullanılabilecek potansiyel bir tür olduğunu ortaya koymuştur.

Erdaş (2019), *Epilobium hirsutum* bitki türünün fitoremediasyondaki potansiyelini ve çinko (Zn) varlığının kök, gövde ve yaprak gelişimi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırma sonucunda, *E. hirsutum* fidelerinin en yüksek çinko birikimini 30 mg Zn/L uygulamasında ($14.894,90 \pm 17,11$ mg Zn/kg) gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Bu bulgular, söz konusu bitkinin çinko ile kirlenmiş alanların temizlenmesinde etkili bir fitoremediasyon ajanı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Malatya'da 2019 yılında gerçekleştirilen çalışmada, 5 farklı noktadan alınan *Morus alba* L. (Beyaz Dut) bitkisinin kök, gövde, yaprak ve topraklarındaki ağır metal (Zn, Pb, Co, Ni, Fe, Cu, Cr, Mn, Al, Cd) birikim konsantrasyonları incelenmiştir. Sonuçlar, çevre yolu ve sanayi alanlarından alınan örneklerde metal yoğunluklarının diğer bölgelere kıyasla önemli ölçüde yüksek olduğunu göstermiştir (Karadeniz ve Osma, 2019).

Erzurum'da yaygın olarak bulunan *Elaeagnus angustifolia* L. türünün ağır metal konsantrasyonları incelenmiştir. Analizler sonucunda, Ni, Fe, Mn, Cu ve Zn elementleri açısından *Elaeagnus angustifolia* bitkisinin etkili bir biyomonitör olabileceği belirlenmiştir (Zengin ve Yıldız, 2019).

Çorum il sınırında toplanan bazı mantar türleri (*Agaricus bitorquis*, *Agaricus campestris*, *Coprinus comatus*, *Cystoderma amianthinum*, *Cystoderma carcharias*, *Cystoderma mellea*, *Lycoperdon molle*, *Macrolepiota permixta*) üzerinde yapılan çalışmada, örneklerin içerdiği ağır metal (Al, As, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Se, Zn) birikim konsantrasyonları ölçülmüştür. Sonuçlara göre, mantarlarda arsenik (As) ve nikel (Ni) dışındaki elementler tespit edilmiş olup, özellikle alüminyum (Al), demir (Fe) ve magnezyum (Mg) konsantrasyonlarının yüksek olduğu belirlenmiştir (Akın vd., 2019).

Fe, Mn, Cu, Ni, Co, Cd, Zn, Hg ve arsenik gibi ağır metaller uzun yıllardır endüstriyel ve kanalizasyon atıkları aracılığıyla topraklarda birikmektedir. Bu metallerden bazıları bitkiler için temel mikro besinler olsa da yüksek konsantrasyonları bitki büyümesi, metabolizması, fizyolojisi ve yaşlanmasını olumsuz etkileyebilir. Bitkiler, ağır metal stresiyle başa çıkmak için çeşitli savunma mekanizmalarına sahiptir ve gerekli metal homeostazını korurlar. İlk savunma olarak, ağır metallerin alınmasını azaltmak üzere hücre duvarları ve kök salgıları ile metalin hücre içine girişini engellerler. Ayrıca, bitkiler metal

iyonlarını hücre içindeki hassas yapılardan izole eden özel mekanizmalara sahiptir. İkinci savunma hattı olarak, metaller bitkinin vakuollerinde şelatlanarak taşınır, depolanır ve detoksifiye edilir. Metal toksisitesinin neden olduğu oksidatif stres sırasında ise sinyal molekülleri, antioksidanlar, ısı şoku proteinleri ve stresle ilişkili hormonların üretimi tetiklenir (Ghori vd., 2019).

Adana'nın Aladağ ilçesindeki krom maden sahalarında yapılan bir çalışmada, bölgedeki bitki türleri floristik açıdan değerlendirilmiş ve dominant, sık, seyrek ile nadir gruplarına ayrılmıştır. Remediasyon potansiyeli değerlendirilmek üzere dominant ve sık bulunan 9 tür seçilmiştir: *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alyssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryptantha*. Bu bitkilerin kök, gövde, yaprak ve çevresindeki toprak örneklerinde Cr, Ni, Co, Pb, Zn, Mn, Cu ve Fe metallerinin analizleri yapılmıştır. Sonuçlara göre; Cr için *Convolvulus compactus* ve *Onosma cappadocicum*, Co için *Aethionema spicatum*, Zn için *Thlaspi oxyceras*, Mn için *Aethionema spicatum* fitoekstraksiyon potansiyeli gösterirken, Ni için *Salvia cryptantha*, Cu için *Onosma cappadocicum* fitostabilizasyon potansiyeline sahip bitkiler olarak belirlenmiştir. Ayrıca *Aethionema spicatum*, *Alyssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum* ve *Thlaspi oxyceras* türlerinin Ni için hiperakümülatör oldukları tespit edilmiştir (Çeliktaş, 2020).

Bursa'nın güneyinde yer alan Orhaneli ve Büyükorhan ilçelerinde maden ocaklarının bulunduğu bölgede yapılan bir çalışmada, ağır metallerin mekânsal dağılımı, maden ocaklarıyla ilişkisi ve risk değerlendirmesi incelenmiştir. Arsenik konsantrasyonları, Orhaneli'nin güneyindeki alanda en yüksek seviyede tespit edilmiştir. Kadmiyum ise kuzeydeki krom ve mermer ocaklarının yoğun olduğu bölgede yoğunlaşmıştır. Kobalt da diğer ağır metaller gibi kuzeydeki mermer sahaları çevresinde yüksek düzeylerde bulunmuştur. Çalışma, arsenik ve kadmiyum seviyelerinin mangan ve demir maden ocaklarına yaklaştıkça arttığını, uzaklaştıkça azaldığını göstermiştir. Benzer şekilde, kobalt, nikel ve demir konsantrasyonlarının mangan, demir ve mermer ocaklarına yakın alanlarda daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Mentese ve Böbrek, 2020).

Ortakçı (2020) madencilik faaliyetleri, çevresel dengeyi bozan ve canlı yaşamını tehdit eden önemli arazi kullanım şekillerindendir. Bu çalışmada, ağır metallerle kirlenmiş maden

sahalarının bitkiler aracılığıyla biyolojik olarak temizlenmesini sağlayan fitoremediasyon yöntemi ele alınmıştır. Elâzığ (Maden) ve Amasya (Gümüşhacıköy) maden sahalarından toplanan sekiz bitki türünün (*Anchusa leptophylla*, *Alyssum pateri*, *Erysimum uncinatifolium*, *Glaucium acutidentatum*, *Arum hygrophilum*, *Eremogone ledebouriana*, *Convolvulus assyricus*, *Verbascum ponticum*) kök, gövde ve yapraklarında ağır metal (Zn, Pb, Cd, Co, Ni, Fe, Mn, Cr, Cu) birikimleri ICP-OES cihazıyla analiz edilmiştir. 2018 yılının Mayıs–Ekim ayları arasında en olgun dönemde toplanan bitkilerde yapılan analizler sonucunda; *A. leptophylla* (Co, Ni, Fe), *A. pateri* (Mn), *E. uncinatifolium* (Cd, Ni), *A. hygrophilum* (Zn), *C. assyricus* (Fe) ve *V. ponticum* (Zn) türlerinin belirli metaller açısından akümülatör özellik gösterdiği tespit edilmiştir.

Rusin vd. (2021) tarafından yapılan bu çalışmanın amacı, Polonya pazarlarında taze, dondurulmuş, kurutulmuş ve işlenmiş formda satılan bazı sebze ve meyvelerdeki kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) düzeylerini belirlemektir. Bu gıdalar, tüketiciler için ağır metal maruziyetinin potansiyel kaynağı olabilir. Elma, armut, üzüm, ahududu, çilek, kıvılcık, pancar, kereviz, havuç ve domates gibi 370 örnek incelenmiş; Cd ve Pb içeriği atomik absorpsiyon spektrometrisiyle analiz edilmiştir. Varyans analizi ve Tukey testi gibi istatistiksel yöntemlerle değerlendirilen sonuçlara göre, en yüksek metal birikimi kurutulmuş ürünlerde görülmüş ve bazı örneklerde yasal sınırlar aşılmıştır.

Bayburt ili ve çevresinde yol kenarlarında doğal olarak yetişen önemli bir tıbbi bitki olan kantaron bitkisi kullanılarak yapılan bir çalışmada, 10 farklı noktadan kantaron ve toprak örnekleri alınmış ve Mg, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd ile Pb elementlerinin ağır metal içerikleri indüktif olarak eşleştirilerek ölçülmüştür. Kantaron bitkisi örneklerinin ortalama ağır metal konsantrasyon sıralaması $Mg > Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Cr > Co > Pb > Cd$ şeklinde bulunmuştur. Toprakta biriken ağır metaller, üzerinde yetişen bitkileri olumsuz etkilerken, bu bitkileri tüketen insanlarda da sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Ancak Bayburt bölgesinden alınan kantaron ve toprak örneklerinde genel olarak ağır metal kirliliğinin sınır değerlerin altında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, bölgede sanayi faaliyetlerinin ve ağır metal kirliliğine neden olabilecek diğer etkinliklerin sınırlı olmasına bağlanmıştır (Kul vd., 2021).

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

Bu araştırmada, 2024 yılının mayıs ve ağustos aylarında Avnik Demir madeni çevresindeki bölgede yetiştiriciliği yapılan Armut (*Pirus communis*), Böğürtlen (*Rubus caesius*), Çilek (*Fragaria* sp.), Beyaz Dut (*Morus alba*), Elma (*Malus communis*), Ceviz (*Juglans regia*), Erik (*Prunus domestica*), Kayısı (*Prunus armeniaca*), Üzüm (*Vitis vinifera*) olmak üzere 9 adet bahçe bitkileri türünün toplanarak ağır metal (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) içerikleri belirlenmiştir (Şekil 3.1; 3.2 ve 3.3). Bölgeden alınan toprak örneklerine ait bazı özellikler tekstür olarak tınlı, Ph'sı 6,60, EC'si 403,10 ($\mu\text{s/cm}$), organik madde miktarının %0,41 ve aktif kireç oranı ise %2,58 olarak belirlenmiştir. Topraktaki toplam element konsantrasyonları Al için 21832,80, Co için 6,50, Cr için 1,50, Cu için 1,70, Fe için 9821,50, Mn için 117,20, Ni için 7,60, Pb için 2,30 ve Zn için ise 5,2 mg/kg^{-1} olarak belirlenmiştir. Bingöl ilindeki maden yatak ve zuhurları çoğunlukla Genç ilçesinde bulunmaktadır. Demir yatak ve zuhurları Genç ilçesinde yer almakta olup, genellikle beraberinde apatit (doğal kalsiyum fosfat) de içermektedir. Bu ilçede Koşal, Gonaçtepe, Haylandere, Kelmetepe, Kılhaz, Hamek, Arduvan ve İbrahiman sahalarında %13-61 Fe_3O_4 tenörlü apatitli demir yatak ve zuhurları bulunmaktadır. Genç-Avnik-Koşal, Gonaçtepe ve Haylandere sahalarında 69 lokasyonda toplam 13,370m. sondajlı arama çalışmaları yapılmıştır. Buna göre Genç-Avnik Koşal apatitli demir yatağında %53,61 demir ve %0,95-0,11 apatit tenörlü 44,5 milyon ton demir, Genç-Gonaçtepe demir yatağında %59,42 demir tenörlü 12,6 milyon ton demir ve Genç-Haylandere apatitli demir yatağında ise %48,68-51,64 demir ve %1,8-1,99 apatit tenörlü 2 milyon ton demir rezervi belirlenmiştir. İldeki bir diğer metalik maden ise Genç-Servi'deki ortalama %45 Pb+Zn tenörlü 21,600 ton görünür+muhtemel rezerve sahip kurşun-çinko cevherleşmesidir. Bu çalışmanın Genç-Servi'deki maden ocağının çevresinden alınan bitki örnekleriyle yapılması planlanmıştır.



Şekil 3.1. Örneklem yapılan türlerin kirlетici unsuru olan maden sahası



Şekil 3.2. Örneklem yapılan türlerin kirletici unsuru olan maden sahasının uydu görüntüsü



Şekil 3.3. Örneklem yapılan türlerin kirletici unsuru olan maden sahasının uydu görüntüsü

3.2. Materyal

3.2.1. Çalışmada Kullanılan Bahçe Bitkileri

Çalışmada kullanılan bitkiler söz konusu bölgede yoğun olarak yetiştiriciliği yapılan Armut (*Pirus communis*), Böğürtlen (*Rubus caesius*), Çilek (*Fragaria* sp.), Beyaz Dut (*Morus alba*), Elma (*Malus cummanis*), Ceviz (*Juglans regia*), Erik (*Prunus domestica*), Kayısı (*Prunus armeniaca*), Üzüm (*Vitis vinifera*) türlerinden oluşmaktadır. Bu türlerin dal, yaprak ve tüm meyve olmak üzere 3 ayrı organında bulundurdıkları ağır metal içeriklerine bakılmıştır.

Armut (*Pyrus communis*): Gülgiller (Rosaceae) familyasına ait olan armut ağacı, genellikle 10–20 metreye kadar boylanabilir. Gövdesi düz ve gri-kahverengi kabukludur. Yaprakları yumurtamsı oval formda, kenarları dişli ve üst yüzeyi koyu yeşildir. Mart–Nisan aylarında açan beyaz ya da hafif pembe renkli çiçekleri, beş taç yapraklı ve erdişidir (hem erkek hem dişi organları içerir). Meyveleri etli olup yalancı meyve sınıfındadır; gerçek meyve, çekirdekli kısımdır. Armut, ılıman iklim koşullarını sever ve kış aylarında soğuklanma ihtiyacı duyar. Ancak geç donlara karşı hassastır. Yazın aşırı sıcaklık, bazı çeşitlerde meyve kalitesini düşürebilir. Derin, geçirgen ve organik madde yönünden zengin topraklarda iyi gelişir. Ağır killi ve su tutan topraklardan kaçınılmalıdır; aksi halde kök çürümesi görülebilir (Kaska ve Günay, 1992). (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Armut (*Pyrus communis*)

Böğürtlen (*Rubus fruticosus*): Gülgiller (Rosaceae) familyasından olan böğürtlen, yarı odunsu, çok yıllık bir çalı formundadır. Dikenli dalları sürünücü veya tırmanıcı özellik gösterir. Her yıl yeni sürgünler verir. Yaprakları bileşik yapıda olup, yaprakçıkları oval ve dişli kenarlıdır. Beyaz veya pembe renkli çiçekleri beş taç yapraklı ve erdişidir (hem erkek hem dişi organ içerir). Çiçekler salkım ya da şemsiye şeklinde açar. Meyveleri agregat (bileşik) meyve olup, çok sayıda küçük meyvenin birleşiminden oluşur. Yüzeysel ve yayılıcı kök sistemine sahiptir. Sürgün uçlarının toprağa değmesiyle vegetatif çoğalma gösterebilir. Böğürtlen ılıman iklimi sever. İlkbaharda geç donlar çiçeklere zarar verebilir, aşırı kuraklık ise verimi düşürür. Tınlı veya tınlı-kumlu, hafif ve iyi drene edilmiş topraklarda iyi gelişir. Su tutan, ağır topraklar kök çürümesine yol açabileceğinden kaçınılmalıdır (Soylu, 2010). (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Böğürtlen (*Rubus fruticosus*)

Çilek (*Fragaria × ananassa*): Gülgiller (Rosaceae) familyasına ait olan çilek, *Fragaria* cinsine bağlıdır ve kültüre alınmış en yaygın türü *Fragaria × ananassa* olarak bilinir. Doğal türler arasında *Fragaria vesca* yer alır. Bitkinin toprak üstü gövdesi kısa ve odunsu değildir. Yerden çıkan sürgünlerle (stolonlar) vejetatif çoğalma gösterir. Yaprakları üç parçalı bileşik yapıdadır, yaprakçıklar dişli kenarlıdır. Erdişi (hermafrodit) çiçekler beyaz taç yapraklı olup genellikle salkım halinde dalların ucunda oluşur. Meyvesi yalancı meyvedir; asıl meyve, yüzeydeki küçük sarı noktacıklardır. Saçak kök sistemine sahiptir ve yüzeye yakın yayılır. Çilek, ılıman iklim koşullarını ve hafif serin ortamları tercih eder. Donlara karşı hassastır. İyi drene edilmiş, hafif asidik, organik maddece zengin topraklarda verimli yetişir. Sıcak ve kurak dönemlerde düzenli sulama gerektirir; kök sistemi yüzeyde olduğu için sık sulama önemlidir. (Fidan ve Seferoğlu, 2004). (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Çilek (*Fragaria × ananassa*)

Beyaz Dut (*Morus alba*): *Moraceae* (Dutgiller) familyasına ait olan dut, Türkiye’de en yaygın olarak *Morus alba* (beyaz dut) ve *Morus nigra* (kara dut) türleriyle temsil edilir. 5–15 metreye kadar boylanabilen çok yıllık bir meyve ağacıdır. Yaprakları basit, genellikle kalp şeklinde ve dişli kenarlıdır. Çiçekleri tek evcikli veya iki evcikli olabilir (dişi ve erkek çiçekler aynı ya da farklı ağaçta yer alabilir). Meyvesi, çiçek tablasının gelişmesiyle oluşan yalancı bir meyvedir; olgunlaştığında yumuşak, tatlı ve suludur. Derine inen güçlü kök sistemi sayesinde kuraklığa dayanıklıdır. Dut, ılıman, subtropikal ve tropik iklimlerde yetişebilir. Soğuğa dayanıklıdır ve yazları sıcak, kışları soğuk bölgelerde iyi gelişir. Yıllık 600–2500 mm yağış idealdir; düzenli sulama verimi artırır. Hafif veya orta tınlı, iyi drene edilmiş ve humusça zengin toprakları sever. Nötr ya da hafif alkali topraklarda başarılı şekilde yetişir (Özeker ve Kaşka, 2002). (Şekil 3.7)



Şekil 3.7. Beyaz Dut (*Morus alba*)

Elma (*Malus domestica*): Gülgiller (*Rosaceae*) familyasına ait olan elma, “Türkiye’de yaygın olarak yayılım gösteren türü *Malus domestica* tür adıyla bilinir. Yaprak döken, yarı bodur veya orta boylu, çok yıllık bir meyve ağacıdır. Yaprakları kısa saplı, tüylü, yumurtamsı veya oval biçimde olup kenarları ince dişlidir. Çiçekleri 5 taç yapraklı, beyaz-pembe tonlarında ve salkım şeklindedir; iki eşeylidir (hem erkek hem dişi organ içerir). Elma, etli yalancı meyve sınıfına girer; gerçek meyve, çekirdek kısmıdır. Meyve içinde 5 gözlü çekirdek evi bulunur. Kök sistemi yüzeysel ve saçak yapıdadır. Elma, ılıman ve serin iklimleri sever. Kışın soğuklama ihtiyacı duyar ve ilkbahar geç donlarına karşı orta derecede hassastır. Serin yazlar ve ılıman geceler meyve kalitesini artırır. Derin, iyi drene edilmiş, tınlı-kumlu topraklar idealdir. Toprak pH’ı 6–7 arası olmalıdır. Ağır killi veya su tutan topraklarda kök çürümesi görülebilir (Küden ve Kaşka, 1991). (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Elma (*Malus domestica*)

Ceviz (*Juglans regia*): Ceviz, *Juglandaceae* (Cevizgiller) familyasına ait, yayvan taçlı, büyük ve uzun ömürlü bir ağaç türüdür. En yaygın kültür türü *Juglans regia*'dir. 20–25 metreye kadar boylanabilir. Gençken dik büyür, yaşlandıkça dallar yayılır. Yaprakları 5–9 parçalı bileşik yapıdadır; yaprakçıklar oval ve kenarları düz veya hafif dişlidir. Çiçekleri tek evcikli; erkek çiçekler salkım şeklinde (püskül), dişi çiçekler ise uca yakın ve yeşilimsi renktedir. Rüzgârla tozlanır. Meyvenin dış kabuğu etlidir, olgunlaştığında çatlayarak içteki sert, odunsu kabuklu ceviz tohumunu açığa çıkarır. Kazık kök sistemine sahiptir ve kökleri derine iner. Ceviz ılıman ve yarı karasal iklim koşullarında yetişir. Kışın soğuklama ihtiyacı vardır ve ilkbahar geç donlarına karşı hassastır. Yazları sıcak, geceleri serin bölgelerde meyve kalitesi artar. Derin, iyi drene edilmiş, tınlı-kumlu topraklar idealdir. Toprak pH'ı 6.0–7.5 olmalıdır. Yüksek taban suyu ve su tutan ağır topraklardan kaçınılmalıdır; aksi takdirde kök çürümesi meydana gelebilir (Özongun, 2005). (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Ceviz (*Juglans regia*)

Erik (*Prunus domestica*): Erik, Gülgiller (Rosaceae) familyasına ait, küçük-orta boylu bir ağaç ya da büyük çalı formundaki çok yıllık bir meyve türüdür. Dalları dik ya da yayvan taçlı olabilir. Yaprakları basit, oval veya uzunumsu, kenarları ince dişli ve üst yüzeyi parlak yeşildir. Çiçekler beyaz veya pembe renkli, genellikle 5 taç yapraklıdır; tekli ya da küçük gruplar hâlinde açar. Yapraktan önce çiçeklenir ve arılarla tozlanır. Meyvesi etli, sulu ve çekirdekli yapıdadır. Kök sistemi yüzeysel olup geniş yayılır. Erik ılıman iklim ister ve soğuklama ihtiyacı bulunur. İlkbahar geç donlarına karşı hassastır çünkü çiçeklenmesi erken dönemdedir. Don riski olan bölgelerde dikkat gerektirir. Derin, tınlı veya tınlı-kumlu, iyi drene edilmiş topraklarda iyi gelişir. PH 6.0–7.5 arası uygundur. Çok kireçli topraklarda kloroz (sararma) görülebilir. Besince zengin topraklar verimi artırır (Fidan, 2001). (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Erik (*Prunus domestica*)

Kayısı (*Prunus armeniaca*): Kayısı, Gülgiller (Rosaceae) familyasındandır. *Prunus armeniaca* en yaygın kültür türüdür. 4–8 m boyunda, yaprak döken, orta büyüklükte ağaç formundadır. Geniş ve yayvan taç yapısına sahiptir. Yaprakları uzun saplı, kalp şekilli, sivri uçlu, kenarları dişli ve parlak yeşildir. Çiçekler beyaz veya açık pembe renkte, genellikle tekli ve yapraklanmadan önce açar. Erselik (çift eşeyli) çiçekler 5 taç yapraklıdır. Meyve etli ve çekirdekli; dış kabuğu tüylü ya da hafif tüysüz olabilir. Sert kabuklu çekirdek içinde badem benzeri tohum yer alır. Kazık kök sistemine sahiptir; derin ve yanlara doğru yayılır. Ilıman ve yarı kurak iklimi sever. Kışın yüksek soğuklama ihtiyacı vardır. Erken çiçek açtığı için ilkbahar geç donlarına karşı çok hassastır. Yazları sıcak ve kurak, kışları

soğuk olan bölgeler kayısı için uygundur. Nemli iklimlerde hastalık riski artar. Derin, iyi drene edilmiş kumlu-tınlı veya tınlı topraklarda iyi gelişir. pH 6,5–7,5 arası idealdir. Kireçli topraklara dayanıklıdır, ancak ağır ve su tutan topraklardan kaçınılmalıdır (Güleryüz ve Yılmaz, 2004). (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Kayısı (*Prunus armeniaca*)

Üzüm (*Vitis vinifera*): Üzüm, Asmagiller (Vitaceae) familyasına aittir. *Vitis vinifera* en yaygın kültür türüdür. Odunsu sarılgı gövde yapısına sahiptir. Genç sürgünler yeşil ve tüylü, yaşlandıkça odunsu ve kabuklu hâle gelir. Yaprakları genellikle 5 loplu, yüreksi, dişli ya da tırtıklı kenarlıdır. Çiçekler küçük, yeşilimsi, kokulu ve salkım şeklinde; çoğunlukla erseliktir. Rüzgâr ve böceklerle tozlanır. Meyve salkım hâlinde etli ve sulu küçük tanelerden oluşur; çoğu çekirdekli, bazıları çekirdeksizdir. Saçak kök sistemine sahiptir, kökler genellikle yüzeyde yayılır ama derine inebilenler de vardır. Ilıman, yarı kurak, güneşli iklimleri sever. -15 °C altındaki sert kış donlarından zarar görür. İlkbahar geç donları da sürgünlerine zarar verebilir. Yaz sıcaklığı ve güneşlenme süresi, meyve kalitesi için kritik öneme sahiptir. Kuraklığa dayanıklı olsa da düzenli sulama ile üzüm verimi ve kalitesi artış gösterir. Derin, iyi drene edilmiş, hafif-orta bünyeli topraklar, yetiştiriciliği için uygundur. Toprak pH'sı 6–7,5 arası olan yörelerde yetiştiriciliği rahatlıkla yapılabilir. Kendi kökleri üzerinde kireçli topraklara tolerans gösterebilir ancak su tutan ağır bünyeli topraklardan kaçınılmalıdır (Çelik vd, 1998; FAO, 2005). (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Üzüm (*Vitis vinifera*)

3.3. Yöntem

3.3.1. Laboratuvar Çalışmaları

Araştırmada Bingöl ilinin Genç ilçesi sınırlarında yer alan Avnik demir madeni işletmesi çevresinde yetiştirilmekte olan bazı bahçe bitkileri (Armut, Böğürtlen, Çilek, Beyaz Dut, Elma, Ceviz, Erik, Kayısı ve Üzüm) türlerine ait dal, yaprak örnekleri tam çiçeklenme döneminde; meyve örnekleri de her türün olgunlaşma tarihleri takip edilerek toplanmıştır. Bitki örnekleri, çalışma alanını temsil edecek şekilde alınmış ve Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri bölümü laboratuvarlarına getirilerek analiz işlemlerine hazırlanmıştır. Daha sonra bitkiler analiz için organlarına ayrılmış ve önce musluk suyu daha sonra saf su ile yıkanmıştır. Yıkanan bitki örnekleri (meyveler kesilerek) 70 °C’de 48 saat kurutulduktan sonra el değirmeninde öğütülerek ağır metal analizlerine hazır hale getirilmiştir. Toprak örnekleri ise bitki örnekleri alınan yerlerden (40 da) 10-15 cm derinliğe kadar olan bölgelerden alınarak poşetler ile laboratuvar ortamına getirilmiş ve 2 mm’lik elek ile elenerek analize hazırlanmıştır. Her türden dal, yaprak ve meyve olmak üzere üç farklı bitki organı örneklenmiştir. Örnekleme işlemi 3 tekerrürlü olacak şekilde yapılmıştır. Toplanan bitki örnekleri yıkandıktan sonra kurutulmuş, öğütülerek homojen hale getirilmiştir. Ağır metal analizleri için ICP-OES cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.13. toplanan meyve türlerine ait örnekler (erik, dut, elma ve armut)

3.3.1.1. CEM MARS6 ONE TOUCH (USA) Mikrodalga Cihazı- Örnek Hazırlama

ICP-MS metodu numune hazırlanmasında, toprak numunelerden 0,001 hassasiyetinde yaklaşık 500 mg tartılarak mikrodalga fırının teflon kaplarına aktarılmış ve her bir numunenin üzerine derişik 10ml %65’lik Merck nitrik asit eklenmiştir. Blank için boş bir teflon kapa 10 mL %65’lik nitrik asit eklenmiştir. Teflon kaplar CEM marka MARS6 ONE TOUCH (USA) model mikrodalga parçalayıcı fırınına yerleştirilmiştir. 25 dakika içinde maksimum sıcaklık 210 °C’ye kadar yükseltilerek bu sıcaklıkta 15 dakika bekletilmiştir. Toplamda 40 dakika kapalı sistemde bekletilerek çözündürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga fırın sıcaklığının ortam koşullarına dönmesinden sonra teflon kaplarda bulunan çözelti ultra saf su ile teflon kaplar kapakları ile beraber iyice yıkanarak 50 mL balon jojelere alınmıştır.

3.3.1.2. Perkin Elmer NexION 2000 B İndüktif Eşleşmiş Plazma- Kütle Spektrometrisi (ICP-MS) Koşulları

Çözeltilerin uygun seyreltmeleri yapılarak ICP-MS cihazında belirlenen şartlarda okumaları yapılmıştır. ICP-MS kalibrasyon çözeltileri ticari olarak satılan çoklu element

standartları %1'lik (suprapure nitrik asit-ultra saf su) ile seyreltilerek kalibrasyon grafiği Tablo 3.1 de belirtilen konsantrasyonlar hazırlanarak oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada numunelerin element analizleri için kuarz nebulizer (sisleştirci), cyclonic spraychamber (sisleştirme odası) ve entegre bir auto-sampler bulunduran ICP-MS NexION® 2000 C (PerkinElmer® Inc., USA) cihazı kullanılmıştır. Sartorius™ Wall Mounted Arium pro Ultrapure Water System cihazından elde edilen 18,2 MΩ ultra saf su kullanılarak %1 suprapure nitrik asit-ultra saf su içeren yıkama çözeltisi hazırlanarak Tablo 1'de belirtilen konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Element analizlerinin kontrolü için 25 ppb konsantrasyonunda ⁸⁹Y internal standardı kullanılmıştır.

3.3.1.3. ICP-MS Kalibrasyon Grafikleri

Yapılan analizlerde bitki numunelerinde 10 farklı element tespit edilmiş olup kantitatif sonuçlar Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. ICP-MS Kalibrasyon Grafikleri

Analitler	Std1 (ppb)	Std2 (ppb)	Std3 (ppb)	Std4 (ppb)	Std5 (ppb)	Std6 (ppb)	Internal Standard
Al, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn	0,5	1	5	25	50	100	⁸⁹ Y
Fe ve Mn	12,5	25	125	625	1250	2500	⁸⁹ Y

3.3.1.4. ICP-MS Analizi Çalışma Koşulları

Peristaltik pompa aracılığı ile numuneler argon gazı akışı ile cyclonic spraychamber'e gönderilmiştir. Girişimleri önlemek için argon gazının yanında yüksek oranda helyum gazı kullanılmıştır. Analizlerde ayarlama, veri toplama ve veri analizi dahil olmak üzere cihazı kontrol etmek için Syngistix for ICP-MS software version 2.2 cihaz yazılımı kullanılmıştır. ICP-MS cihazının tüm çalışma koşulları Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. ICP-MS analizi çalışma koşulları

Parametre	Açıklama/ Değer
Nebulizer	MEINHARD® plusGlassType C
Spray Chamber	Glasscyclonic (baffled), 4 °C
One-PieceTorch	w/2.5mm QuartzInjector
Injector	2.0 mm i.d.
NebulizerFlow	Optimizedfor< 2% oxides
RF Power	1600 W
Cones	Ni
Replicates	3
Dwell time	50 ms
AerosolDilution	Set to 2.5x
Sample Delivery Rate	350 µL/min
Rinse time	45 saniye
Nebulizergasflow rate	0,93 L/min
deflectorvoltage	-12 V,
Analog stagevoltage	-1750 V
Pulse stage voltage	1100 V,
Discriminator threshold	26,
SampleTubing(Orange-Yellow)	Flared PVC PumpTubes 0.51mm/0.89mm
Internal Standart Tubing(Orange-red)	Flared PVC PumpTubes 0.19mm/0.91mm
Peristaltik pompa hızı	35 rpm
Alternating current (AC) rodoffset	-4,

3.2.1. Ağır Metal (Fe, Cr, Cd, Ni ve Cu) Analizlerinin Yapılması

Mikrodalgada toplam yakma işlemi: Bu işlem literatürde belirlenen yöntem ile paralel şekilde yapılmıştır (Campell ve Plank, 1998; Kaçar ve İnan, 2008; Gürbüz vd., 2016). Bitki örnekleri (kök, gövde, yaprak, çiçek) kurutulup öğütüldükten sonra 1 g ağırlığında tartılmış ve CEM-MARS 6 mikrodalga cihazına ait vessellara aktarılmış ve üzerine 10 ml HNO₃ eklenmiştir. Cihazda toplam yakma işlemi için gerekli ayarlamalar (power: W; güç (%); çözünme süresi; basınç: psi; sıcaklık °C; bekleme süresi (hold time)) yapılmıştır. Daha sonra gerekli seyreltme ve süzme işlemi yapılarak örnekler Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi (AAS) ya da ICP-MS cihazında okunmuştur.

Hesaplama işlemi: Bitkide toplam Fe, Cr, Cd, Ni ve Cu, mg kg⁻¹ = It x F

It =tanık çözeltisine göre düzenlenmiş bitki çözeltisine ait okuma değeri

F= seyreltme kat sayısı/ örnek miktarı

Toprakta bulunan elementler; toplam olarak ve bitki tarafından alınabilir olarak bulunabilir. Çalışmada belirlenmesi amaçlanan noktalardan birisi de toprağın bitki tarafından alınabilir

durumda ne kadar ağır metal içerdiği. Bu yüzden alınacak toprak örneklerinde bitkiler tarafından alınabilir element tayini DTPA yöntemi ile yapılmıştır.

3.2.2. Toprak Örnekleri İçin Alınabilir Fe, Cr, Cd, Ni ve Cu Belirlenmesi

DTPA (dietilen triamin pentaasetik asit) yönteminde 20 g toprak örneği 2 mm'lik çapa sahip elekten geçirilecek ve 250 ml'lik hacme sahip erlenmayere aktarılmıştır. Örneklerin üzerine 40 ml DTPA çözeltisi eklenmiş ve 176 cycles/min'de oda sıcaklığında 2 saat çalkalama işlemine tabi tutulmuştur. Çalkalama bittikten sonra örnekler filtre kâğıdı (Watman-42) ile süzölmüş ve okumaya hazır hale gelmiştir (Lindsay ve Norvell, 1978). Okuma işlemi, yine (AAS) ya da ICP-MS cihazı kullanılarak yapılmış ve okuma değeri formülde yerine konularak sonuçlar hesaplanmıştır.

3.2.3. Translokasyon faktörünün (TF) belirlenmesi

Bitkilerin ağır metal konsantrasyonları belirlendikten sonra iki farklı şekilde fitoremediasyonda kullanılabilirlikleri yorumlanmıştır. (TF) ise, bitkinin sürgünündeki ağır metal konsantrasyonunun, kökteki ağır metal konsantrasyonuna oranıdır ve ağır metallerin kökten bitkinin diğer organlarına taşınabilme kabiliyetini belirtmektedir. Eğer bitkilerin TF değerleri 1'den büyük olursa, fitoremediasyonda biyoakümülatör olarak kullanılabilirler (Sürmen vd., 2019). Yüksek metal konsantrasyonlarında yetiştikleri halde strese dayalı herhangi bir toksisite semptomu göstermeyen hiperakümülatörler, ağır metalleri kökten daha çok sürgünlerinde biriktirmektedir. Toprak üstü organlarında 10000 mg kg⁻¹ 'den fazla Mn ve Zn, 1000 mg kg⁻¹ 'den fazla As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se veya 100 mg kg⁻¹ Cd konsantrasyonundan daha fazlasını biriktirebilen bitkiler metal hiperakümülatörü olarak sınıflandırılmaktadır (Sytar vd., 2021).

3.2.4. İstatistiksel Analiz

İstasyonlarda alınan örneklerden elde edilen verilerin ortalama değerleri kullanılmıştır. Tüm veriler SPSS 18 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Türler arası toprak ve bitki değişkenlerindeki farklılıkları karşılaştırmak için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ikili karşılaştırmalarda Tukey HSD testi kullanılmıştır. İstatistiksel olarak fark p<0,01 düzeyinde anlamlı kabul edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Al Konsantrasyonu

Varyans analizi sonucuna göre tür, organ tür*organ interaksyonu $p < 0,01$ seviyesinde çok önemli bulunmuştur. Bu çalışmada farklı meyve türlerinin çeşitli bitki organlarındaki Al (alüminyum) konsantrasyonları incelenmiş ve önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. Bulgulara göre, bitki organları arasında en yüksek Al konsantrasyonu yapraklarda ($186,64 \text{ mg kg}^{-1}$), en düşük ise meyvelerde ($60,08 \text{ mg kg}^{-1}$) belirlenmiştir (Tablo 4.1). Bu bulgu, Al elementinin bitkilerde sınırlı taşınabilirliğe sahip olduğu ve çoğunlukla yaprak gibi yaşlı dokularda biriktiği yönündeki literatürle uyumludur. Kochian vd. (2004), Al'un floem yoluyla taşınmasının sınırlı olduğunu ve çoğunlukla absorpsiyon noktasına yakın dokularda (örneğin kök ve yaprak) biriktiğini bildirmiştir. Ayrıca Watanabe vd. (2008) de benzer şekilde, Al'un meyve gibi üreme organlarına taşınmasının sınırlı olduğunu ve bunun bitkisel koruma mekanizmalarıyla ilişkili olabileceğini belirtmiştir. Türler arasındaki Al birikimi karşılaştırıldığında, en yüksek değerler böğürtlen ($165,26 \text{ mg kg}^{-1}$) ve çilek ($173,09 \text{ mg kg}^{-1}$) türlerinde, en düşük değer ise cevizde ($36,09 \text{ mg kg}^{-1}$) tespit edilmiştir. Bu farklılık, bitki türlerinin Al alımı, taşınması ve detoksifikasyonu konusundaki genetik farklılıklarından kaynaklanabilir. Delhaize ve Ryan (1995), bazı türlerin kök bölgesinde organik asit salgılayarak (örneğin sitrik, malik ve oksalik asitler) Al iyonlarını kompleksleyip toksisitesini azaltabildiğini rapor etmiştir. Bu mekanizmalar, özellikle Al duyarlılığı düşük olan türlerde etkili bir savunma stratejisi olarak kabul edilmektedir. Bu bağlamda, ceviz türünün düşük Al konsantrasyonu göstermesi, söz konusu türün bu tür fizyolojik adaptasyonlara sahip olabileceğini düşündürmektedir. Meyve türü ile bitki organları arasındaki etkileşim analizinde ise en yüksek Al konsantrasyonu elma yapraklarında ($328,13 \text{ mg kg}^{-1}$), en düşük değer ise ceviz meyvesinde ($5,38 \text{ mg kg}^{-1}$) saptanmıştır. Bu durum, bazı türlerin yapraklarında yüksek miktarda Al biriktirme potansiyeline sahip olduğunu, bazı türlerin ise özellikle meyve gibi üreme organlarında Al birikimini sınırlandırdığını göstermektedir. Ma ve Furukawa (2003), bitkilerin Al'un üreme dokularına ulaşmasını engelleyerek, generatif gelişim ve verim üzerine olan olası toksik etkileri sınırlamaya çalıştıklarını ifade etmişlerdir. Ceviz

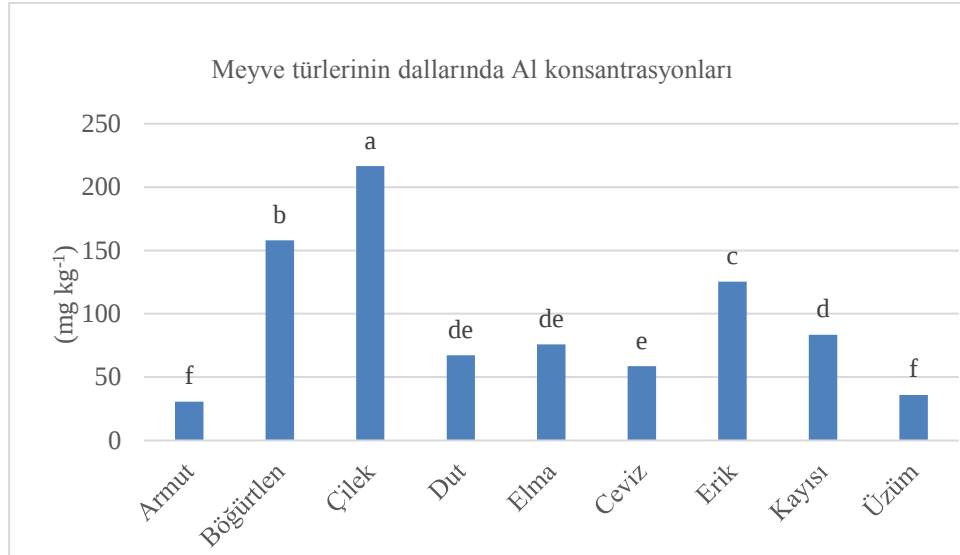
meyvesinde belirlenen düşük Al konsantrasyonu da bu koruma mekanizmalarının etkin olduğunu göstermektedir. Çalışmanın genel bulguları, farklı meyve türlerinin ve bunlara ait organların Al birikimi bakımından anlamlı varyasyonlar sergilediğini ortaya koymaktadır. Elde edilen veriler, özellikle toprak Al içeriği yüksek alanlarda üretim planlaması yapılırken, tür ve çeşit seçiminde dikkate alınması gereken önemli fizyolojik parametreleri sunmaktadır. Al birikimi düşük olan türlerin (örneğin ceviz) bu açıdan daha avantajlı olduğu, buna karşın yüksek Al birikimi gösteren türlerin (örneğin elma, çilek) stres koşullarında dikkatle izlenmesi gerektiği söylenebilir. Ayrıca, Al toleransı yüksek olan türlerin biyoremediasyon amacıyla da değerlendirilebileceği literatürde vurgulanmaktadır (Poschenrieder vd., 2008). Alüminyum birikimi bakımından çilek ve böğürtlen öne çıkarken, bu durum muhtemelen toprak pH'ı, bitki türü ve kök morfolojisi gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır (Kabata-Pendias ve Pendias, 2011).

Tablo 4.1. Al konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg⁻¹)

	Türler	Bitki kısımları			
		Dal	Yaprak	Meyve	Ortalama
1	Armut	30,62mno	114,15fgh	16,00no	53,59E
2	Böğürtlen	158,06de	220,44b	117,29fgh	165,26A
3	Çilek	216,49b	216,49b	86,27g-j	173,09A
4	Dut	67,19i-l	180,77cd	120,65fg	122,87BC
5	Elma	75,76ijk	328,13a	12,33no	138,74B
6	Ceviz	58,56j-m	44,34k-n	5,38o	36,09F
7	Erik	125,32ef	188,21bcd	27,17mno	113,56C
8	Kayısı	83,52hij	215,10bc	97,25f-i	131,96B
9	Üzüm	36,05l-o	172,13d	58,37j-m	88,85D
	Ortalama	94,62B	186,64A	60,08C	

Bu çalışmada incelenen meyve türlerinin dallarındaki Al (alüminyum) konsantrasyonlarına bakıldığında, en yüksek Al birikiminin sırasıyla Çilek, Böğürtlen ve Erik türlerinde gerçekleştiği, en düşük Al düzeyinin ise Armut türünde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.1). Çilek ve Böğürtlen gibi bazı küçük meyve türlerinin, özellikle yüzeye yakın kök sistemleri nedeniyle toprakta bulunan Al gibi potansiyel toksik elementleri daha fazla absorbe edebildiği bildirilmektedir (Lugon-Moulin vd., 2004; Rascio ve Navari-Izzo, 2011). Ayrıca, bu bitkilerde dalların ince yapılı olması ve genç dokuların metal taşınımına daha açık olması da Al birikiminin yüksek olmasında etkili olabilir (Ghosh ve Singh, 2005). Ancak bu türlerde dalların doğrudan insan tüketimi için kullanılmaması nedeniyle, bu

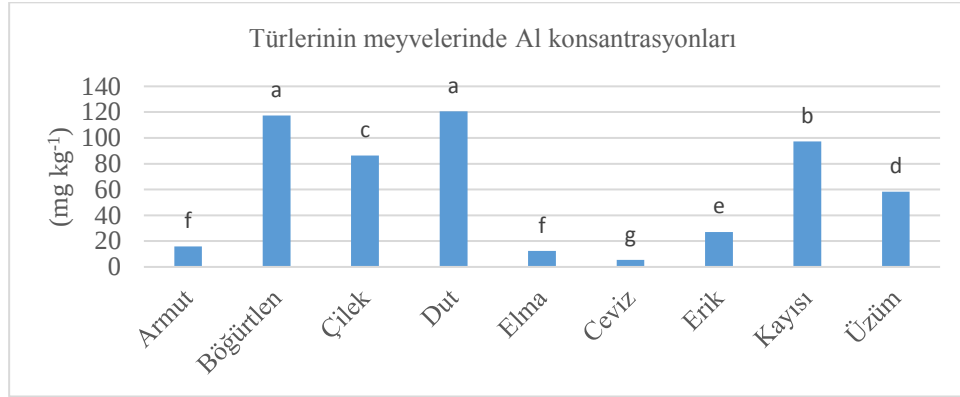
dokulardaki Al birikiminin insan sağlığı açısından kritik düzeyde zararı olduğu değerlendirilmemiştir. Bununla birlikte, dallardaki Al birikiminin çevresel riskler ve potansiyel ekolojik etkiler açısından değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Zira yapılan bir çalışma, bitkisel artıkların toprağa yeniden karışması durumunda metal birikiminin toprak kalitesini etkileyebileceğine işaret etmektedir (Kabata-Pendias, 2011).



şekil 4.1. Meyve türlerinin dallarındaki Al miktarları (mg kg⁻¹)

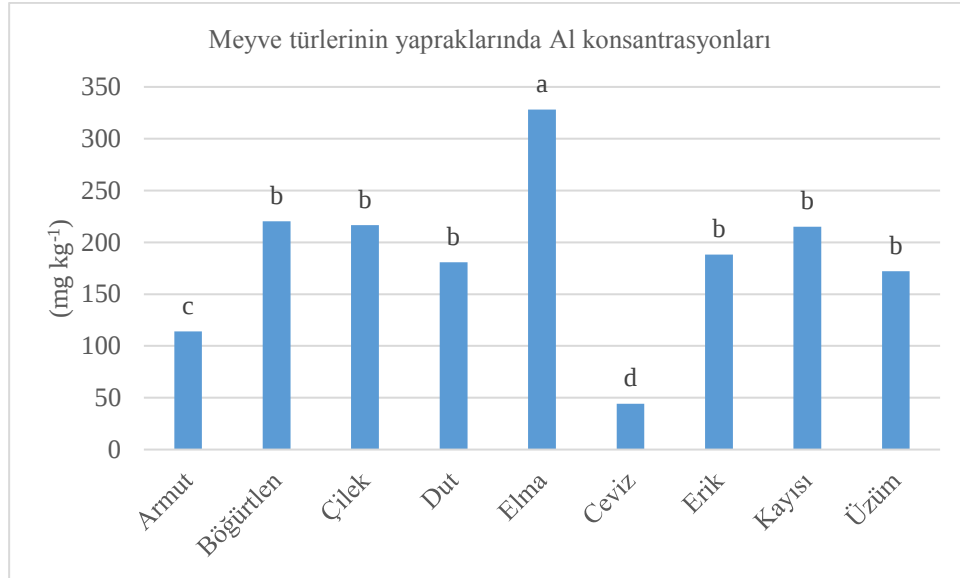
şekil 4.2’de incelenen bazı meyve türlerinin meyvelerinde Al (alüminyum) konsantrasyonları sunulmuştur. Buna göre en yüksek Al birikiminin sırasıyla Beyaz Dut, Böğürtlen, Kayısı ve ilek meyvelerinde olduğu ancak en düşük Al seviyelerinin Ceviz, Elma ve Armut meyvelerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, bitki türlerinin genetik özellikleri, topraktan metal alım kapasiteleri ve meyve dokularının metal taşıma ve depolama mekanizmalarıyla ilişkili olabilir (Rascio ve Navari-Izzo, 2011; Kabata-Pendias, 2011). Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus; söz konusu türlere ait meyvelerin insan tüketime uygun olması ve bu amaca yönelik yetiştiriciliklerinin yapılmasıdır. Alüminyum, gıdalar yoluyla vücuda alındığında özellikle merkezi sinir sistemi üzerinde olumsuz etkiler gösterebilir; uzun süreli ve yüksek düzeyde maruziyetin nörotoksik etkileri olabileceği bildirilmektedir (Yokel, 2000; Krewski vd., 2007). Bu nedenle Beyaz Dut, Böğürtlen ve Kayısı gibi yüksek Al içeriği tespit edilen meyvelerde, yetiştirme koşulları ve toprak yapısı gibi çevresel etkenlerin dikkatle kontrol edilmesi gerekmektedir. Elde edilen veriler, Al birikiminin meyve türleri arasında belirgin farklılıklar gösterdiğini ve bu

farklılıkların hem bitki fizyolojisi hem de gıda güvenliği açısından dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.



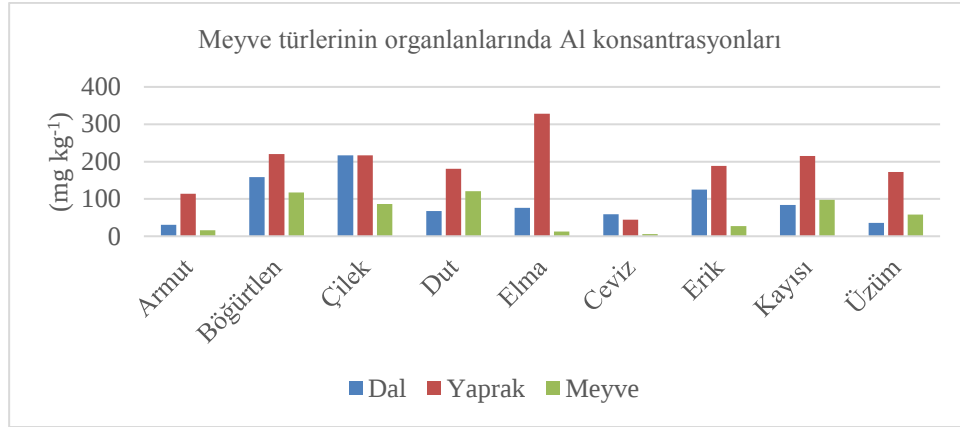
Şekil 4.2. Bazı türlerin meyvelerindeki Al miktarları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.3'te sunulan verilere göre, incelenen meyve türlerinin yaprak dokularında bulunan Al (alüminyum) konsantrasyonları arasında en yüksek değer Elma türünün yapraklarında tespit edilmiştir. Elmayı sırasıyla Böğürtlen, Çilek, Kayısı ve Beyaz Dut türlerinin yaprakları izlemektedir. Bitkisel organlar arasında yaprakların, özellikle metal taşınımı ve birikimi açısından önemli olduğu bilinmektedir. Yapraklar, genellikle metabolik olarak aktif dokular olmaları ve terleme yoluyla metal taşınımına aracılık etmeleri nedeniyle yüksek düzeyde Al biriktirme potansiyeline sahiptirler (Rascio & Navari-Izzo, 2011; Kabata-Pendias, 2011). Bu bağlamda, dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da yapraklarının doğrudan insan tüketimine sunulduğu bitki türleridir. Özellikle geleneksel Türk mutfağında önemli bir yere sahip olan asma yaprağı, dolma gibi yemeklerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, Asma türünün yaprağında tespit edilen Al miktarı gıda güvenliği açısından özel önem taşımaktadır. Literatürde, yaprak gibi doğrudan tüketilen bitki dokularındaki ağır metal birikimlerinin insan sağlığı üzerinde potansiyel riskler oluşturabileceği vurgulanmıştır (Yokel, 2000; Krewski vd., 2007). Elde edilen bulgular, Al birikiminin türler arasında ve farklı bitki organlarında belirgin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymakta; özellikle doğrudan tüketilen organlarda bu değerlerin dikkatle izlenmesi gerektiğini göstermektedir.



Şekil 4.3. Meyve türlerinin yapraklarındaki Al konsantrasyonu (mg kg⁻¹)

Alüminyum ile ilgili yukarıda bahsedilen tüm şekillerin özeti niteliğindeki Şekil 4.4'te de görüldüğü üzere Al miktarı en yüksek olan organ Elmanın yaprağıdır. Dal organına bakıldığında Çileğin dallarında Al miktarının yüksek olduğu görülmektedir. Meyve kısmında ise en yüksek Al içeriğinin Dut ve Böğürtlen meyvelerinde olduğu görülmektedir. Şekil 4.4'te de özetlendiği üzere, çalışmada incelenen organlar arasında Al miktarı en yüksek olan yaprak Elma bitkisine aittir. Bu bulgu, Elma yapraklarında yüksek metal birikiminin mümkün olduğunu belirten bazı önceki çalışmalarla paralellik göstermektedir (Ghosh ve Singh, 2005; Rascio ve Navari-Izzo, 2011). Dalda ise yüksek Al konsantrasyonuna Çilek bitkisinde rastlanmıştır. Literatürde, Çilek gibi otsu meyve türlerinin, topraktan metal alımına ve bu metalleri vejetatif organlarında biriktirmeye yatkın olduğu belirtilmektedir (Lugon-Moulin vd., 2004). Meyve dokuları incelendiğinde, en yüksek Al içeriğinin Dut ve Böğürtlen meyvelerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, *Rubus* ve *Morus* cinsine ait bitkilerin metal taşıma ve biriktirme potansiyeline sahip olduğu yönündeki önceki araştırmalarla uyumludur (Santos vd., 2010; Kabata-Pendias, 2011). Bu bağlamda, elde edilen sonuçlar; bitki türleri, organ tipleri ve çevresel koşulların Al birikimi üzerinde önemli etkileri olduğunu gösteren literatürle genel olarak örtüşmektedir. Ayrıca, bu bulgular; bitkilerin belirli organlarının fitoremediasyon veya metal izleme amaçlı kullanım potansiyeline de işaret etmektedir.



Şekil 4.4. Meyve türlerinin organlarında bulunan Al konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

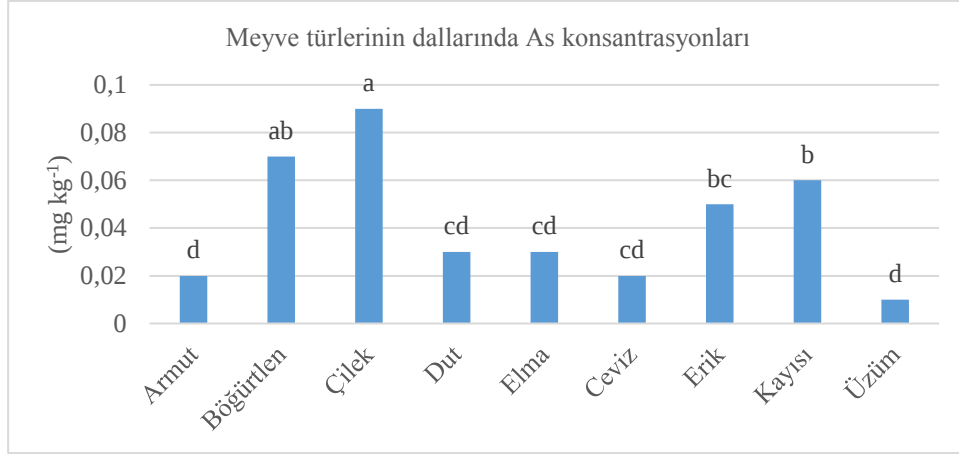
4.2. As Konsantrasyonu

Varyans analizi sonucuna göre tür, organ, tür*organ interaksyonunun $p < 0,01$ seviyesinde çok önemli olduğu görülmüştür. Bu türlere ait ortalama değerlere bakıldığında en yüksek As ortalama değerinin organlar arasında yaprağa ($0,08 \text{ mg kg}^{-1}$) ait olduğu belirlenmiştir. Türler arasındaki ortalama değere bakıldığında ise en yüksek As değerinin Böğürtlen ($0,09 \text{ mg kg}^{-1}$) türüne ait olduğu saptanmıştır. Meyve türleri*organ interaksyonunda en yüksek As değerinin Elma yaprağına ($0,13 \text{ mg kg}^{-1}$) ait olduğu görülmektedir (Tablo 4.2). Bu çalışmada elde edilen bulgular, Arsenik (As) birikiminin meyve türleri ve bitki organları arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Organlara göre en yüksek As ortalama değeri yaprakta ($0,08 \text{ mg kg}^{-1}$) belirlenmiş olup, bu durum bitkilerde As'un daha çok vejetatif dokularda biriktiğini bildiren önceki çalışmalarla uyumludur (Khan vd., 2008; Yıldız vd., 2012). Türler arasında en yüksek As ortalaması Böğürtlen ($0,09 \text{ mg kg}^{-1}$) türünde gözlenmiş, meyve türü ve organ etkileşiminde ise en yüksek As değeri Elma yaprağında ($0,13 \text{ mg kg}^{-1}$) saptanmıştır. Tokaloğlu vd. (2003) ve Demiray vd. (2016) gibi çalışmalarda da benzer şekilde yapraklarda ve özellikle bazı meyve türlerinde (örn. Böğürtlen, Elma) As birikiminin daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Alloway (2013) ise yaprak dokularının, topraktaki ağır metalleri daha fazla akümülyasyona uğratabildiğini belirtmektedir. Çalışmamızdaki değerlerin literatürde belirtilen aralıklar içinde kaldığı görülmekte olup, bu da araştırma bulgularının mevcut bilgilerle örtüştüğünü ve çevresel As düzeylerinin risk sınırları içinde olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.2. As konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg⁻¹)

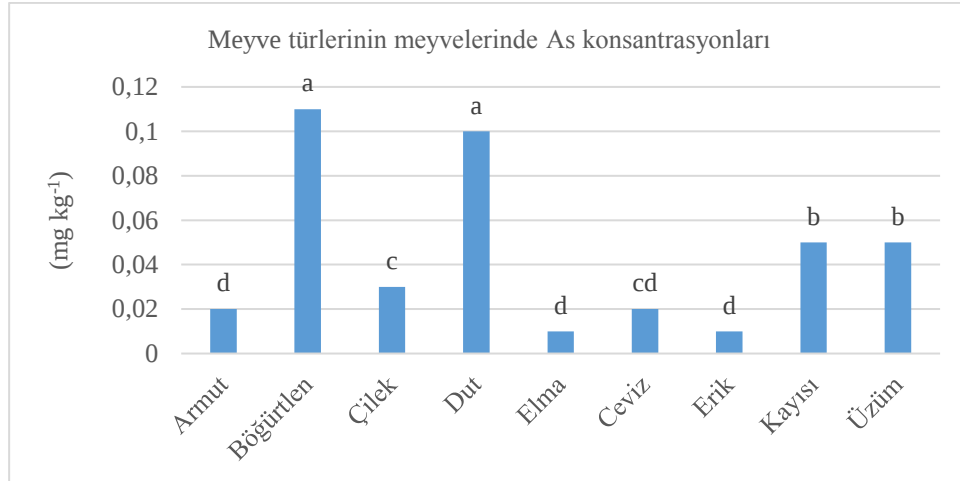
	Türler	Bitki kısımları			
		Dal	Yaprak	Meyve	Ortalama
1	Armut	0,02j	0,05f-ı	0,02j	0,03E
2	Böğürtlén	0,07def	0,10bc	0,11b	0,09A
3	Çilek	0,09bc	0,09bc	0,03g-j	0,07B
4	Dut	0,03g-j	0,08bcd	0,10b	0,07B
5	Elma	0,03ij	0,13a	0,01j	0,06C
6	Ceviz	0,02j	0,03hıj	0,02j	0,02E
7	Erik	0,05fg	0,08cde	0,01j	0,05CD
8	Kayısı	0,06def	0,10b	0,05efg	0,07B
9	Üzüm	0,01j	0,07def	0,05fgh	0,04D
	Ortalama	0,04B	0,08A	0,05B	

Şekil 4.5’te meyve türlerinin dallarındaki As konsantrasyonu gösterilmektedir. En yüksek As konsantrasyonunun Çilek ve Böğürtlén dallarında, en düşük As konsantrasyonunun ise Üzüm ve Armut dallarında tespit edildiği belirlenmiştir. Şekil 4.5’te yer alan verilere göre meyve türlerinin dallarındaki As konsantrasyonları arasında belirgin farklılıklar gözlenmiştir. En yüksek As düzeylerinin Çilek ve Böğürtlén türlerinin dallarında, en düşük düzeylerin ise Üzüm ve Armut türlerinde yer aldığı belirlenmiştir. Bu durum, bitkisel dokularda ağır metal birikiminin türlere özgü morfolojik ve fizyolojik özelliklere bağı olarak değişkenlik gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Özellikle küçük meyveli çalı formundaki türlerde (örn. Böğürtlén ve Çilek), dalların toprak yüzeyine daha yakın olması ve daha yüksek transpirasyon oranları, bu organlarda daha fazla As akümülyasyonuna neden olabilir. Benzer şekilde, Khan vd. (2008) ve Alloway (2013), bitkisel organlarda ağır metal dağılımının bitki tipi, toprak-metal etkileşimi ve bitkinin metal tolerans stratejilerine bağı olduğunu belirtmiştir. Bu bağlamda, çalışmamızdaki bulgular söz konusu literatürle uyum göstermektedir.



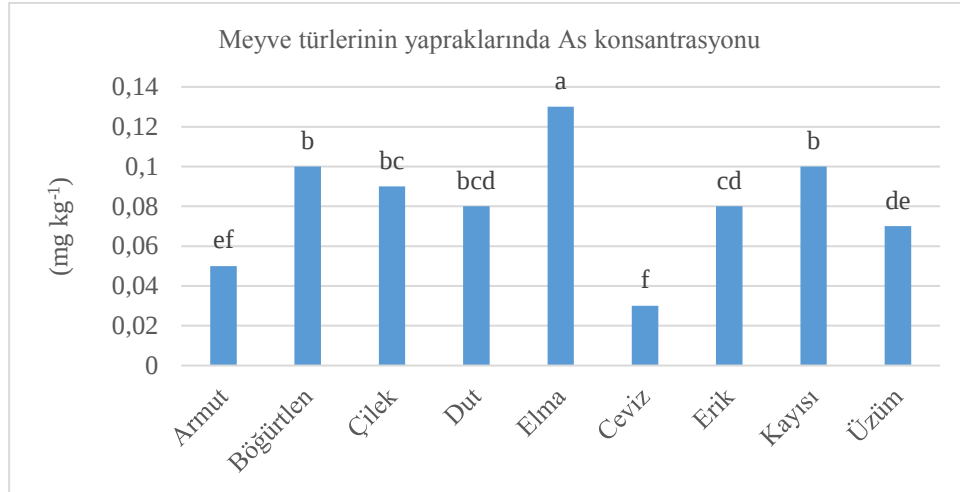
Şekil 4.5. Meyve türlerinin dallarında As konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.6’da görüldüğü üzere, meyvede ölçülen As konsantrasyonları türlere göre anlamlı farklılık göstermiştir. En yüksek As konsantrasyonu Böğürtlen ve Dut meyvelerinde tespit edilirken, en düşük konsantrasyonlar Elma ve Erik meyvelerinde ölçülmüştür. Özellikle Böğürtlen ve Dut türleri, meyveleri doğrudan ve çoğunlukla yıkanmadan tüketilen küçük meyveler grubunda yer almakta olup, bu durum insan sağlığı açısından potansiyel bir risk oluşturmaktadır. Bitkisel gıdalar yoluyla alınan arsenik, uzun vadede toksik ve karsinogenik etkilere neden olabilmekte, özellikle kronik maruziyetin söz konusu olduğu bölgelerde halk sağlığı açısından dikkatle izlenmesi gereken bir unsur olarak değerlendirilmektedir (WHO, 2011; Khan vd., 2008). Nitekim bazı araştırmalar, kontamine topraklarda yetişen bitkilerde meyve dokusuna kadar taşınan As miktarının, toprak türü, pH, organik madde içeriği ve sulama suyu kaynaklı olabileceğini ortaya koymuştur (Alloway, 2013). Bu bağlamda, Böğürtlen ve Dut meyvelerinde saptanan As seviyeleri, genel toksikolojik sınır değerlerin altında kalmakla birlikte, bölgesel toprak koşulları ve tüketim alışkanlıkları göz önüne alındığında dikkatle izlenmesi gereken türler arasında yer almalıdır.



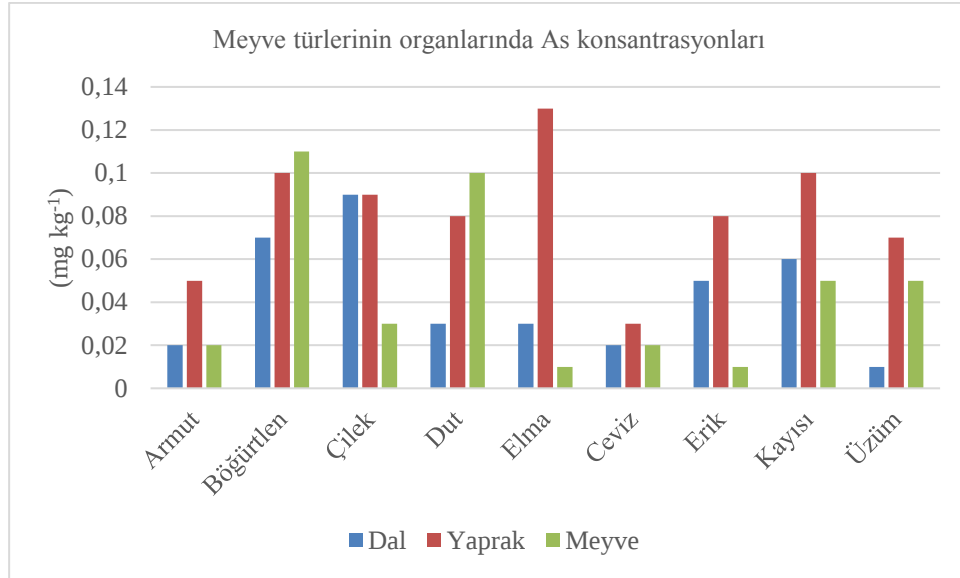
Şekil 4.6. Meyve türlerinin meyvelerinde As konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.7’de sunulan verilere göre, meyve türlerinin yaprak dokularında tespit edilen As konsantrasyonları arasında en yüksek değerin Elma türünün yapraklarında bulunduğu belirlenmiştir. Elmayı sırasıyla Böğürtlen ve Kayısı türlerinin yaprakları izlemiştir. Bu bulgu, Elma türünün yapraklarında ağır metal birikimine karşı daha yüksek bir tolerans ve birikim potansiyeli olabileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, Yıldız vd. (2012) ve Tokaloğlu vd. (2003) gibi çalışmalarda da Elma ve Böğürtlen gibi türlerin yaprak dokularında daha yüksek ağır metal birikimi gözlenmiştir. Bu durum, geniş yüzeyli yaprak yapısının, transpirasyon oranlarının yüksekliğinin ve bitkisel dokularda metal taşıma mekanizmalarının farklılığının bir sonucu olarak değerlendirilmektedir (Alloway, 2013). Özellikle fotosentetik aktif yaprak dokularının, köklerden taşınan ağır metallerin birikim noktalarından biri olması nedeniyle, bu bulgu literatürle tutarlılık göstermektedir. Yaprak tüketiminin yaygın olduğu bazı bölgelerde (örn. üzüm yaprağı gibi) bu tür bulgular gıda güvenliği açısından önem arz etmekle birlikte, Elma ve Kayısı gibi türlerin yapraklarının doğrudan tüketilmemesi bu potansiyel riski sınırlamaktadır.



Şekil 4.7. Meyve türlerinin yapraklarında As konsantrasyonu (mg kg⁻¹)

Şekil 4.8 incelendiğinde, As konsantrasyonunun en yüksek olduğu organın Elma türünün yaprağı olduğu belirlenmiştir. Dallar açısından değerlendirildiğinde, en yüksek As birikimi Çilek türünün dallarında saptanırken, meyve dokusunda ise en yüksek As içeriği Böğürtlen ve Dut türlerinde gözlenmiştir. Yapraklarda tespit edilen yüksek As düzeyi, fotosentetik dokuların genellikle metal taşınım yollarının son noktası olmasıyla açıklanabilir (Alloway, 2013). Elma yaprağında tespit edilen yüksek As miktarı, Yıldız vd. (2012) tarafından da benzer şekilde rapor edilmiş olup, elma gibi geniş yüzeyli yapraklara sahip türlerin ağır metalleri daha fazla biriktirme potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Dallarda Çilek türünün öne çıkması, bu türün yüzeysel kök sistemi ve çalı formunda gelişmesiyle açıklanabilir (Khan vd., 2008). Meyve dokularında ise Böğürtlen ve Dut gibi doğrudan tüketilen küçük meyvelerde As düzeylerinin yüksek olması, halk sağlığı açısından dikkatle değerlendirilmelidir. Tokaloğlu vd. (2003) ve Demiray vd. (2016) gibi çalışmalarda da benzer şekilde bu türlerin meyvelerinde sınır değerlere yakın As konsantrasyonları bildirilmiştir. WHO (2011), gıdalarda arsenik birikiminin özellikle uzun vadeli maruziyetlerde sağlık riskleri oluşturabileceğine dikkat çekmektedir. Bu nedenle, özellikle meyve kısmı doğrudan tüketilen türlerde (örn. Böğürtlen ve Dut), As düzeylerinin periyodik olarak izlenmesi ve toprak-su kaynaklarının kontrol altında tutulması önem arz etmektedir.



Şekil 4.8. Meyve türlerinin organlarında As konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

4.3. Cd Konsantrasyonu

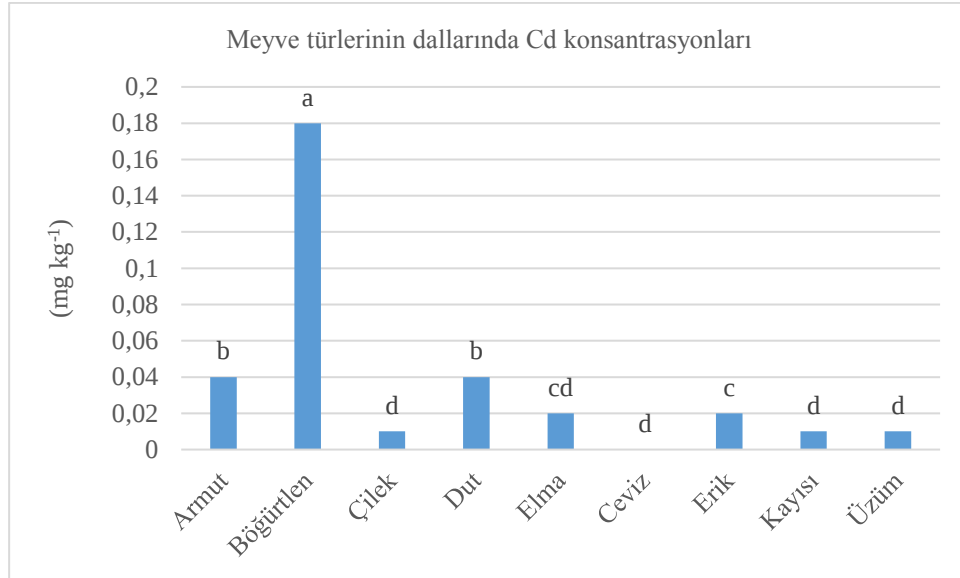
Varyans analizi sonucuna göre tür, organ, tür*organ interaksiyonunun $p < 0,01$ seviyesinde çok önemli olduğu görülmüştür. Tablo 4.3’de sunulan verilere göre, organlara göre en yüksek ortalama Kadmiyum (Cd) konsantrasyonu dalda ($0,04 \text{ mg kg}^{-1}$), en düşük ise meyvede ($0,01 \text{ mg kg}^{-1}$) belirlenmiştir. Türler ortalamasına bakıldığında, en yüksek Cd düzeyi Böğürtlen’de ($0,08 \text{ mg kg}^{-1}$) tespit edilirken, en düşük değerler Çilek ve Kayısı türlerinde (her biri $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$) gözlenmiştir. Tür*organ etkileşiminde ise en yüksek Cd konsantrasyonu Böğürtlen’in dalında ($0,18 \text{ mg kg}^{-1}$), en düşük değerler ise Dut’un yaprağı, Çilek’in meyvesi ve Kayısı’nın yaprağında (her biri $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$) ölçülmüştür. Bu sonuçlar, farklı bitki türlerinin ve organlarının Cd birikimi açısından belirgin farklılıklar gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Özellikle Böğürtlen’in dalında yüksek düzeyde Cd birikimi gözlenmesi, bu türün ağır metal taşıma ve depolama özellikleri açısından daha duyarlı bir yapıya sahip olabileceğini düşündürmektedir. Tokaloğlu vd. (2003), bitkisel dokularda Cd birikiminin toprağın metal yüküyle birlikte bitkinin genetik özelliklerine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Khan vd. (2008) ve Yıldız vd. (2012) ise, meyve dokularının genellikle düşük Cd içerdiğini ve bitkinin Cd’yi daha çok kök, dal ve yaprak gibi vejetatif organlarda depoladığını bildirmiştir. Bu bulgular, çalışmamızda meyve dokularında en düşük Cd düzeylerinin ölçülmesiyle örtüşmektedir. Ayrıca, WHO (2011) tarafından belirtilen sınır değerlere göre, çalışmada ölçülen Cd seviyeleri toksik düzeylerin

altında kalmaktadır; ancak özellikle Böğürtlen gibi bazı türlerin belirli organlarında dikkat gerektirecek birikimler gözlenmiş olması, çevresel izleme açısından önemlidir.

Tablo 4.3. Cd konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg⁻¹)

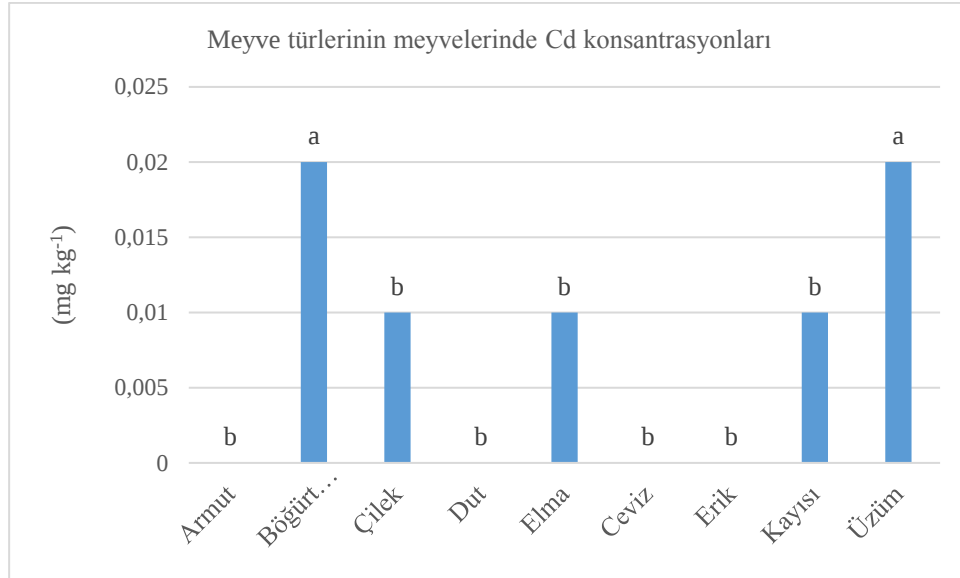
Cd konsantrasyonu (mg kg⁻¹)					
	Türler	Bitki kısımları			
		Dal	Yaprak	Meyve	Ortalama
1	Armut	0,04b	0,02c-f	0,00h	0,02B
2	Böğürtlen	0,18a	0,04b	0,02cd	0,08A
3	Çilek	0,01fgh	0,01fgh	0,01gh	0,01DE
4	Dut	0,04b	0,01gh	0,00h	0,02B
5	Elma	0,02c-g	0,01e-h	0,01fgh	0,01CD
6	Ceviz	0,00h	0,00h	0,00h	0,00E
7	Erik	0,02c	0,01fgh	0,00h	0,01CD
8	Kayısı	0,01fgh	0,01gh	0,01h	0,01DE
9	Üzüm	0,01fgh	0,01d-h	0,02cde	0,01C
	Ortalama	0,04A	0,01B	0,01C	

Şekil 4.9’da incelenen meyve türlerinin dallarındaki Kadmiyum (Cd) konsantrasyonları arasında önemli farklılıklar gözlenmiştir. En yüksek Cd birikimi Böğürtlen türünün dallarında tespit edilirken, en düşük konsantrasyon Ceviz dallarında ölçülmüştür. Bu sonuç, Böğürtlen türünün ağır metal alımı ve taşınmasında diğer türlere kıyasla daha yüksek bir potansiyele sahip olduğu kanısını oluşturmuştur. Tokaloğlu vd. (2003) ile Khan vd. (2008) tarafından bildirildiği gibi, bitki türüne ve organ yapısına bağlı olarak ağır metal birikimi değişkenlik göstermektedir. Böğürtlen’in özellikle dal kısmında Cd birikiminin yüksek olması, bu türün metal birikimini sınırlayan fizyolojik veya yapısal farklılıklarının daha az olabileceğine işaret eder. Ceviz türünün ise ağır metalleri dallarında daha az biriktirmesi, bu türün toksik metal alımında nispeten daha dirençli veya metal hareketini sınırlayan mekanizmalara sahip olduğunu düşündürmektedir. Bu tür farklılıkların, çevresel kirleticilerin bitkilerde dağılımını ve potansiyel risklerini değerlendirmede önemli olduğu düşünülebilir.



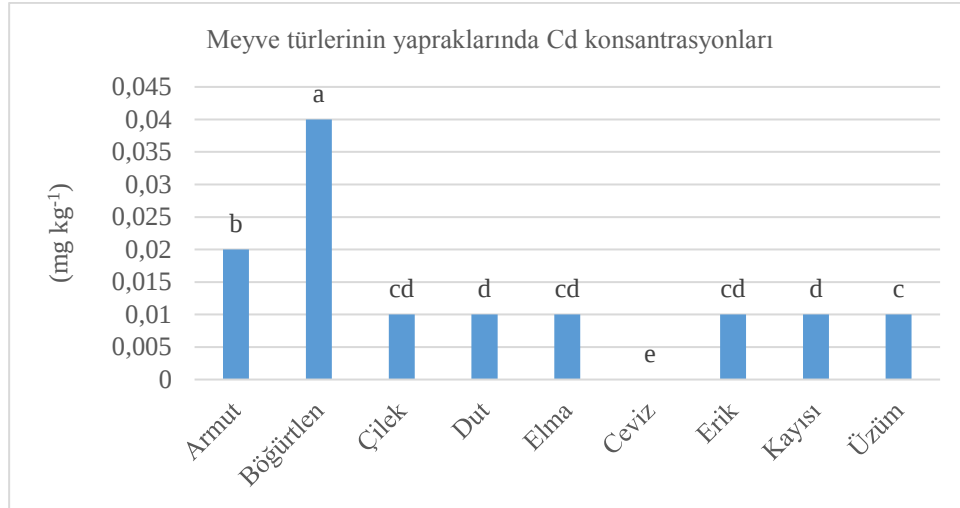
Şekil 4.9. Meyve türlerinin dallarında Cd konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 10'da, meyve türlerinin meyve dokularındaki Kadmiyum (Cd) konsantrasyonları incelendiğinde, en yüksek Cd seviyelerinin Böğürtlen ve Üzüm meyvelerinde görüldüğü belirlenmiştir. Bu türleri sırasıyla Çilek, Kayısı ve Elma meyveleri takip etmektedir. Armut, Dut, Ceviz ve Erik meyvelerinde ise Cd konsantrasyonunun tespit edilmediği gözlenmiştir. Bu sonuçlar, meyve türlerine bağlı olarak Cd birikiminin farklılık gösterdiğini ve bazı türlerin meyvelerinde Cd birikiminin daha sınırlı olduğunu göstermektedir. Khan vd. (2008) ve Yıldız vd. (2012) tarafından yapılan çalışmalar da benzer şekilde meyve dokularında Cd birikiminin türler arasında değişkenlik gösterdiğini ve özellikle Böğürtlen gibi çalı formundaki türlerin daha yüksek Cd seviyeleri barındırabildiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, Tokaloğlu vd. (2003) meyve dokularının genellikle Cd birikimi açısından daha düşük risk taşıdığını belirtmişlerdir. Bu bağlamda, meyveler yoluyla insanlara geçen Cd miktarının tür ve bölge bazında izlenmesi, halk sağlığı açısından önem taşımaktadır.



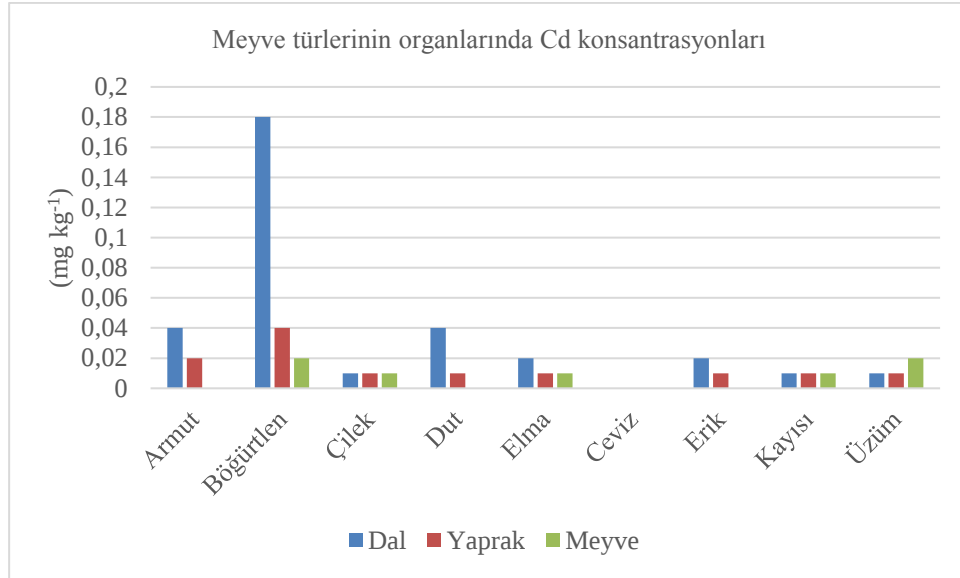
Şekil 4.10. Bazı meyve türlerinin meyvelerinde Cd konsantrasyonu (mg kg⁻¹)

Şekil 4.11’de sunulan verilere göre, yaprak dokularında ölçülen Kadmiyum (Cd) konsantrasyonları arasında belirgin tür farklılıkları tespit edilmiştir. En yüksek Cd birikimi Böğürtlen yaprağında görülürken, en düşük Cd düzeyi Ceviz yaprağında belirlenmiştir. Bu bulgu, Böğürtlen türünün Cd’yi yaprak dokularında biriktirme eğiliminin yüksek olduğunu, buna karşılık Ceviz türünün bu metali yapraklarında sınırlı düzeyde tuttuğunu ortaya koymaktadır. Yıldız vd. (2012) ve Khan vd. (2008), bazı bitki türlerinin ağır metallerin taşınımı ve akümülyasyonunda türlere özgü farklılıklar gösterdiğini, yaprak dokularının ise bu elementlerin biriktiği başlıca bölgelerden biri olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Alloway (2013), yaprakların ağır metaller için birikim noktaları olmasının, bu organların yüksek transpirasyon oranları ve metabolik aktiviteleriyle ilişkili olduğunu vurgulamaktadır. Ceviz türünün ise düşük Cd akümülyasyonu göstermesi, bu bitkinin metal alımını sınırlayan fizyolojik bariyerlere sahip olabileceğini düşündürmektedir. Bu türler arasındaki farklılıklar, çevresel kirliliğin bitkiler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi açısından önemli ipuçları sunmaktadır.



Şekil 4.11. Meyve türlerinin yapraklarında Cd konsantrasyonu (mg kg⁻¹)

Şekil 4.12 incelendiğinde, türler genelinde en yüksek Kadmiyum (Cd) konsantrasyonunun Böğürtlen'e ait olduğu belirlenmiştir. Böğürtlen'in organ düzeyindeki Cd dağılımına bakıldığında, en yüksek değer dallarda, bunu sırasıyla yaprak ve meyve organlarının izlediği görülmektedir. Bu durum, Böğürtlen'in Cd'yi öncelikli olarak odunsu dokularda depolayan, ardından vejetatif ve generatif dokulara taşıyan bir akümülayon modeli izlediğini göstermektedir. Khan vd. (2008) ve Yıldız vd. (2012) tarafından yapılan çalışmalar da bazı türlerin Cd'yi öncelikle kök veya dal gibi vejetatif dokularda biriktirdiğini ve sınırlı bir kısmının meyveye taşındığını göstermektedir. Tokaloğlu vd. (2003) ise Cd birikiminin genetik faktörler kadar bitkinin morfolojik özelliklerine ve çevresel koşullara da bağlı olduğunu vurgulamıştır. Diğer yandan, en düşük Cd konsantrasyonuna sahip olan Ceviz türünde ise analiz edilen hiçbir organ dokusunda Cd tespit edilmemiştir. Bu sonuç, Ceviz'in Cd alımını ve taşınımını sınırlayan fizyolojik mekanizmalara veya düşük metal alım potansiyeline sahip olabileceğini göstermektedir. Bu türler arası farklar, özellikle gıda güvenliği ve toprak kirliliğinin biyolojik izleme süreçleri açısından önemli göstergelerdir.



Şekil 4.12. Meyve türlerinin organlarında Cd konsantrasyonu (mg kg⁻¹)

4.4. Cr Konsantrasyonu

Varyans analizi sonucuna göre tür, organ, tür*organ interaksiyonunun $p < 0,01$ seviyesinde çok önemli olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, meyve türlerine ve bitki organlarına ait ortalama Cd (kadmiyum) konsantrasyonları incelenmiş ve elde edilen bulgular literatürle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Tablo 4.4 verilerine göre bitki organları arasında en yüksek ortalama Cd içeriği yapraklarda ($0,84 \text{ mg kg}^{-1}$), en düşük ortalama ise meyvelerde ($0,56 \text{ mg kg}^{-1}$) tespit edilmiştir. Bitki türlerine göre incelendiğinde ise en yüksek Cd birikimi sırasıyla Kayısı ($1,30 \text{ mg kg}^{-1}$), Çilek ($1,22 \text{ mg kg}^{-1}$) ve Böğürtlen ($1,19 \text{ mg kg}^{-1}$) türlerinde görülmüş; en düşük ortalamalar ise Ceviz ($0,22 \text{ mg kg}^{-1}$) ve Armut ($0,23 \text{ mg kg}^{-1}$) türlerinde bulunmuştur. Yapraklarda yüksek Cd birikimi, literatürde yaprak dokularının metal taşınmasında ve geçici depolamada önemli rol oynamasıyla açıklanmaktadır (Alloway, 2013). Marmara Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, Türkiye'de yaygın kullanılan tıbbi bitki yapraklarında Cd konsantrasyonunun $0,024\text{--}0,518 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında olduğu bildirilmiştir (Marmara Üniversitesi, t.y.). Bu değer, çalışmamızda belirlenen yaprak Cd düzeyinin üzerinde olup araştırma alanında daha yüksek bir birikimin söz konusu olabileceğini göstermektedir. Tür düzeyindeki karşılaştırmalarda ise, Çilek ve Böğürtlen türlerinde yüksek Cd birikimi dikkat çekmektedir. Malatya yöresinde yapılan bir çalışmada çilek örneklerinde ağır metal birikimi gözlenmemiş ve Cd düzeyleri ihmal edilebilir bulunmuştur (Yumuşakbaş, 2013).

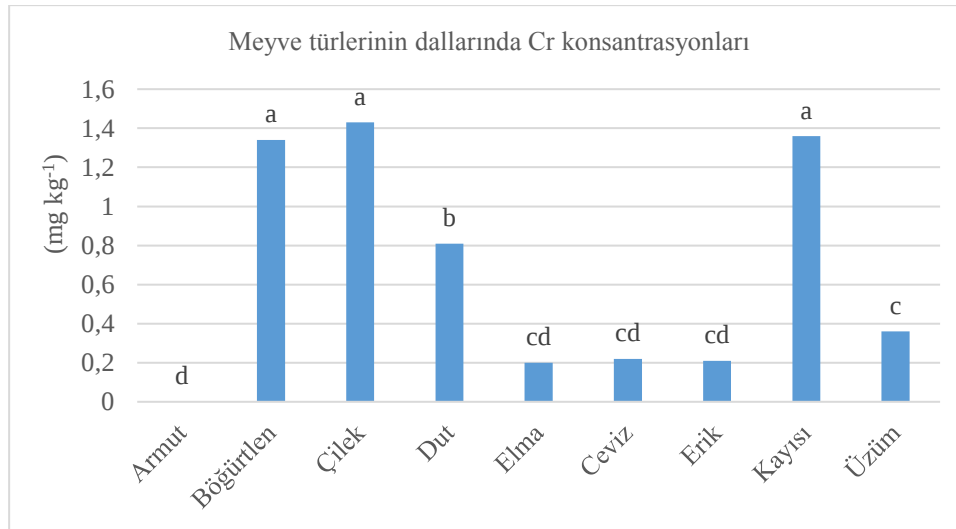
Bu durum, farklı çevresel koşullar, toprak yapısı, sulama suyu kalitesi ve endüstriyel faaliyetlerin etkileriyle açıklanabilir. Çilek türünün bu çalışmadaki dal ve yapraklarında belirlenen $1,43 \text{ mg kg}^{-1}$ düzeyindeki Cd konsantrasyonu, literatürde bildirilen sınırların oldukça üzerindedir (Demirhan Aydın, 2017). Benzer şekilde, Böğürtlen türünün dal ve meyve kısımlarında sırasıyla $1,34 \text{ mg kg}^{-1}$ ve $1,40 \text{ mg kg}^{-1}$ düzeylerinde Cd birikimi tespit edilmiştir. Oysa literatürde böğürtlen ve benzeri yumuşak meyveli bitkilerde Cd düzeyinin genellikle $0,1\text{--}0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ sınırlarında olduğu bildirilmiştir (Abacı-Bayar & Boyacı, 2021). Bu fark, çalışmanın yürütüldüğü çevrede ağır metal kontaminasyonunun olabileceğine işaret etmektedir. En düşük Cd konsantrasyonu ise Elma türünün meyvesinde ($0,07 \text{ mg kg}^{-1}$) belirlenmiştir. Bu bulgu, çoğu çalışmada meyve dokularında Cd gibi toksik elementlerin görece daha az biriktiği yönündeki genel kabul ile uyumludur (Alloway, 2013; Doğan, 2018). Özellikle meyve dokularının ksilemden floeme taşınmada metal geçişini sınırlayan yapısal özellikleri, Cd'nin meyveye taşınmasını azaltmaktadır (Zhao vd., 2009). Meyve türü ile bitki organı etkileşimlerine bakıldığında, özellikle Çilek, Kayısı ve Böğürtlen türlerinin dal ve yapraklarında Cd'nin yüksek düzeyde biriktiği görülmektedir. Bu durum, bazı türlerin Cd'yi daha fazla absorbe ve akümüle edebilme yeteneklerine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, Cd'nin tür ve dokuya özgü dağılımını destekleyen Clemens vd., (2002)'nin çalışmasıyla örtüşmektedir. Genel olarak, bu çalışmada belirlenen bazı Cd düzeylerinin literatür ortalamalarının üzerinde olduğu, özellikle yaprak ve dal gibi vejetatif organlarda Cd birikiminin yüksek düzeylere ulaştığı görülmektedir. Bu durum, araştırma alanındaki toprak ve su kaynaklarının daha ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda insan tüketimi açısından meyvelerde düşük Cd konsantrasyonu bulunması, tüketici sağlığı açısından olumlu bir durum olarak değerlendirilebilir.

Tablo 4.4. Cr konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg⁻¹)

	Türler	Bitki kısımları			
		Dal	Yaprak	Meyve	Ortalama
1	Armut	0,00g	0,45c-g	0,25efg	0,23D
2	Böğürtlén	1,34a	0,82bc	1,40a	1,19A
3	Çilek	1,43a	1,43a	0,82bc	1,22A
4	Dut	0,81bc	0,49c-f	0,31d-g	0,54BC
5	Elma	0,20efg	1,36a	0,07fg	0,54BC
6	Ceviz	0,22efg	0,00g	0,44c-g	0,22D
7	Erik	0,21efg	0,82bc	0,00g	0,34CD
8	Kayısı	1,36a	1,46a	1,06ab	1,30A
9	Üzüm	0,36c-g	0,74bcd	0,65b-e	0,58B
	Ortalama	0,66B**	0,84A	0,56C	

Şekil 13'te sunulan verilere göre, incelenen meyve türlerinin dal kısımlarında en yüksek krom (Cr) konsantrasyonu sırasıyla Kayısı, Çilek ve Böğürtlén türlerinde tespit edilmiştir. Buna karşın, en düşük Cr konsantrasyonu Armut türünün dal kısmında gözlemlenmiştir. Bu bulgu, farklı bitki türlerinin ağır metal birikimine karşı gösterdiği tolerans ve alım potansiyellerinin birbirinden önemli ölçüde farklılık gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Bitkilerde Cr birikimi genellikle toprak pH'ı, Cr'un oksidasyon durumu (özellikle Cr (III) ve Cr (VI)), bitkinin türü, kök sistemi yapısı ve metal taşınmasını sağlayan taşıyıcı proteinlerin farklılığı gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Shanker vd., 2005). Özellikle dal dokularında Cr birikiminin yüksek olması, bu organların ağır metalleri geçici depolama alanı olarak kullanabileceğine işaret etmektedir. Kayısı ve Böğürtlén gibi türlerin, vejetatif yapılarda Cr taşınımını daha aktif gerçekleştirmesi ve dal dokularında biriktirmesi, bu türlerin potansiyel fitoremediasyon adayları olabileceğini göstermektedir (Ali vd., 2013). Çilek bitkisinde yüksek Cr konsantrasyonu bulunması, yüzeysel kök sisteminin ve yaprak yüzeyinin geniş olması nedeniyle toprakla daha fazla temas halinde olmasıyla ilişkilendirilebilir. Ayrıca çilek türlerinin bazı varyetelerinde ağır metalleri çekme ve depo etme yeteneklerinin yüksek olduğu daha önceki çalışmalarda da gösterilmiştir (Khan vd., 2014). Diğer taraftan, Armut türünün dal kısmında Cr birikiminin düşük olması, bu türün Cr'a karşı daha düşük alım kapasitesine ya da etkili detoksifikasyon mekanizmalarına sahip olduğunu düşündürmektedir. Bu durum, Armut türünün Cr açısından güvenli tüketim sağlayabilecek bir meyve türü olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Cr, bitki metabolizması için gerekli olmayan ancak yüksek düzeylerde

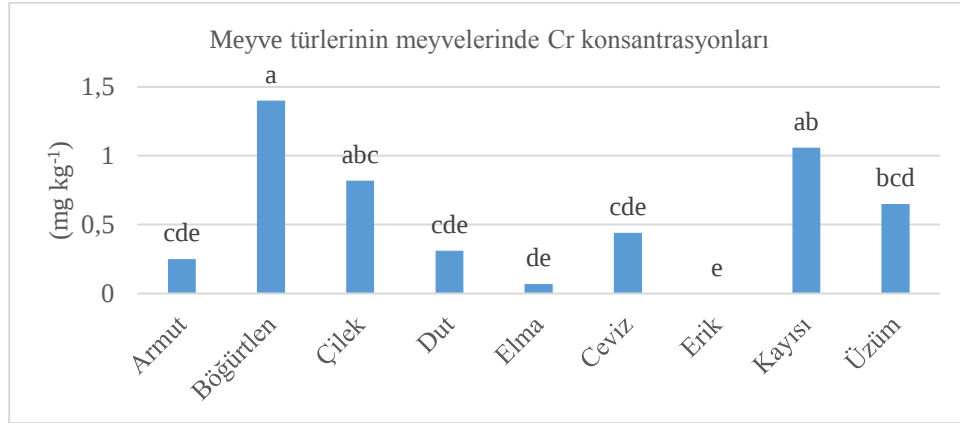
toksik etkiler oluşturabilen bir elementtir. Cr (VI) formu özellikle reaktif ve toksik olup oksidatif stres, klorofil sentezinde bozulma, protein yapısında değişim ve büyüme geriliği gibi etkiler yaratabilmektedir (Zayed ve Terry, 2003). Bu bağlamda, çalışmada Cr düzeylerinin özellikle Kayısı ve Böğürtlen gibi türlerin dallarında yüksek olması, bu bitkilerin çevresel Cr kirliliğine maruz kalabileceğini ya da bu elemente karşı tolerans geliştirdiğini düşündürmektedir. Sonuç olarak, türler arasında gözlenen farklılıklar çevresel faktörlerin yanı sıra türün genetik yapısı, iyon taşınım mekanizmaları ve hücre içi detoksifikasyon stratejileri ile açıklanabilir. Bu bulgular, özellikle Cr birikimi açısından kayısı ve böğürtlen meyvelerinin çevresel risk değerlendirmelerinde dikkate alınması gerektiğini göstermekte ve potansiyel fitoremediasyon uygulamaları açısından bazı türlerin öne çıkabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 4.13. Meyve türlerinin dallarında Cr konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.14 verilerine göre, incelenen meyve türleri arasında en yüksek Cr (krom) konsantrasyonu Böğürtlen türünün meyvelerinde, en düşük Cr konsantrasyonu ise Erik türünün meyvelerinde tespit edilmiştir. Erik türünü Cr düzeyi açısından Elma türünün meyveleri takip etmektedir. Bu bulgular, Cr elementinin meyve dokularında türler arasında farklı oranlarda birikebildiğini ve bazı türlerin Cr'a karşı daha duyarlı ya da geçirgen olduğunu ortaya koymaktadır. Cr, özellikle Cr (VI) formunda toksik etkiler göstermekte olup, meyve gibi tüketilen bitki kısımlarında birikimi gıda güvenliği açısından son derece önemli bir risk faktörüdür (Zayed ve Terry, 2003). Literatürde, Cr'un meyve dokularında

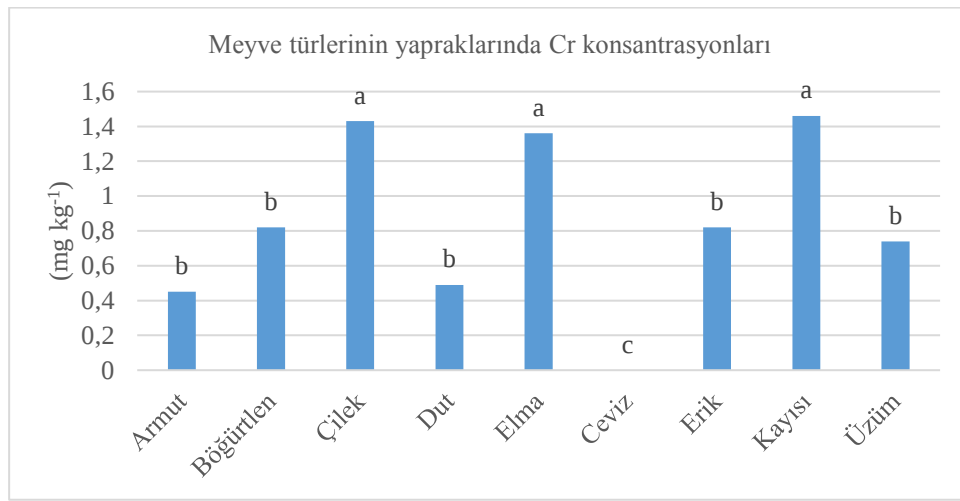
genellikle daha az biriktiği ve daha çok vejetatif dokularda (yaprak, kök, dal) yoğunlaştığı ifade edilmektedir (Shanker vd., 2005). Ancak çalışmamızda Böğürtlen meyvesinde yüksek Cr düzeyinin tespit edilmesi, bu türün Cr'u meyve dokularına taşıma potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum hem çevresel Cr kirliliği ihtimalini hem de türün taşıma mekanizmalarının etkinliğini ortaya koymaktadır. Benzer biçimde, literatürde *Rubus* spp. gibi üzüksü meyve türlerinde, özellikle kontamine alanlarda yetiştirildiklerinde, Cr dahil bazı ağır metallerin meyveye taşınabildiği bildirilmektedir (Ali vd., 2013). Bu bağlamda Böğürtlen türünün bu tür özellikler göstermesi, araştırma alanındaki Cr düzeylerinin veya bitkinin spesifik taşıma mekanizmalarının incelenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık, Erik ve Elma türlerinin meyvelerinde Cr düzeyinin oldukça düşük olması, bu türlerin Cr alımı ve taşınması açısından daha sınırlı özellikler taşıdığını göstermektedir. Özellikle elma türünün meyve kısmında ağır metallerin sınırlı düzeyde biriktiği, diğer araştırmalarla da desteklenmektedir (Yumuşakbaş, 2013). Bu durum, elma ve erik gibi türlerin, Cr maruziyeti açısından tüketici sağlığı için daha düşük risk taşıdığını ve potansiyel olarak gıda güvenliği açısından daha avantajlı olduklarını göstermektedir. Meyve kısmında ağır metal birikimi sadece bitki fizyolojisi ile değil, aynı zamanda çevresel koşullarla da ilişkilidir. Toprakta bulunan Cr miktarı, toprak pH'ı, organik madde oranı ve metalin mevcut formu gibi faktörler, metalin bitki tarafından alınıp meyve dokusuna taşınmasında belirleyici olmaktadır (Kabata-Pendias, 2010). Bu nedenle aynı türün farklı bölgelerde yetiştirilmesi halinde farklı Cr düzeylerinin gözlenmesi olasıdır. Bu çalışmadaki bulgular, özellikle Böğürtlen türü açısından tüketici sağlığına yönelik izleme çalışmaları ve çevresel risk analizlerinin önemini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, Erik ve Elma türlerinin düşük Cr içeriği göstermesi, bu türlerin güvenli tüketim açısından öne çıkabileceğini ve kentsel ya da kirli tarım alanlarında tercih edilebilirliğini artırabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 4.14. Meyve türlerinin meyvelerinde Cr konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.15'te yer alan verilere göre, incelenen meyve türlerinin yaprak dokularında tespit edilen Cr (krom) konsantrasyonları arasında belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Yapraklarında en yüksek Cr konsantrasyonu Kayısı ve Çilek türlerinde tespit edilirken, en düşük Cr değeri Ceviz türünün yapraklarında belirlenmiştir. Bu durum, Cr'un bitkilerde organ düzeyinde ve tür bazında farklı oranlarda birikebildiğini ve yaprak dokularının bu metali geçici olarak depolayabildiğini göstermektedir. Literatüre göre, yapraklar ağır metal taşınımında ve detoksifikasyonunda önemli bir rol oynamakta olup, fotosentetik aktivitenin merkezi olması sebebiyle metal stresine karşı hassasiyet göstermektedir (Shanker vd., 2005). Özellikle Cr gibi toksik metallerin yaprakta birikmesi, kloroplast yapısında bozulmalara, klorofil kaybına ve fotosentezde aksamalara yol açabilmektedir (Zayed ve Terry, 2003). Kayısı ve Çilek türlerinde yapraklarda yüksek Cr düzeylerinin tespit edilmesi, bu bitkilerin çevresel Cr varlığına maruz kaldığını ya da Cr alım ve taşınım mekanizmalarının daha etkin olduğunu düşündürmektedir. Özellikle çilek bitkisi, sık kök sistemi sayesinde yüzeydeki ağır metalleri daha fazla absorbe etme potansiyeline sahiptir. Ayrıca yaprak yüzey alanının geniş olması, hava kaynaklı metal partiküllerinin birikimini de artırabilir (Ali vd., 2013). Buna karşılık, Ceviz yaprağında Cr düzeyinin düşük olması, bu türün Cr alımına karşı daha sınırlayıcı bir fizyolojik veya morfolojik bariyere sahip olabileceğini ortaya koymaktadır. Ceviz bitkisinin derin kök sistemi ve yaprak morfolojisi hem toprak hem de atmosfer kaynaklı Cr birikimini sınırlandırıyor olabilir. Bu bulgu, Ceviz türünün çevresel Cr stresine karşı daha dirençli bir yapıya sahip olabileceğini göstermektedir. Yapraklarda ağır metal birikiminin derecesi, sadece bitkinin türüyle değil, aynı zamanda topraktaki Cr seviyesi, metalin biyoyararlılığı, toprak pH'ı ve organik madde içeriği gibi çevresel koşullarla da yakından ilişkilidir (Kabata-Pendias, 2010). Bu nedenle,

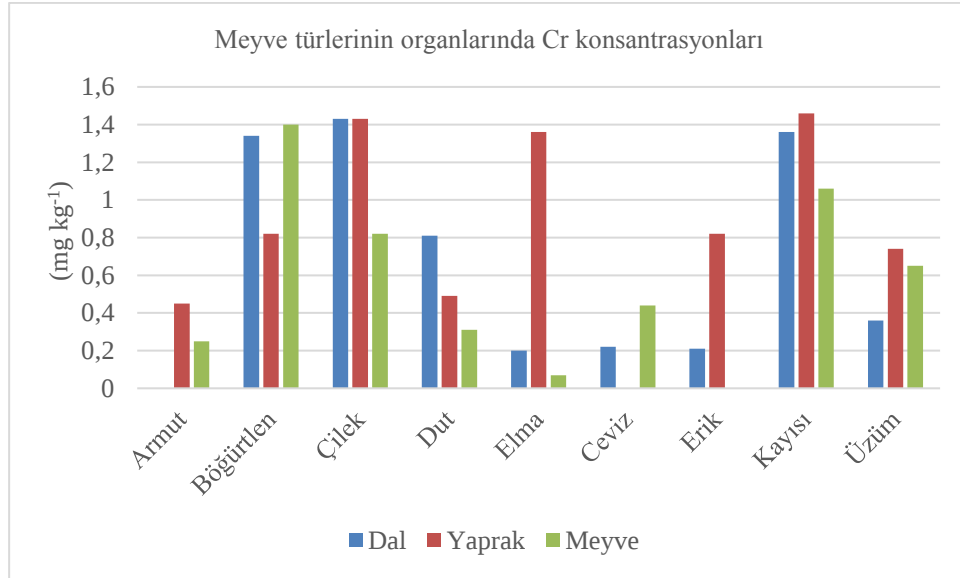
Kayısı ve Çilek türlerinde yüksek Cr düzeylerinin gözlenmesi, araştırma alanındaki toprak yapısının veya hava kirliliği kaynaklı metal birikiminin de bir göstergesi olabilir. Sonuç olarak, yaprak dokusunda Cr birikimi bitki sağlığı açısından toksik etkilere neden olabileceği gibi, bu türlerin çevresel kirleticilere karşı birer biyomonitor olarak kullanılabileceği de anlaşılmaktadır. Özellikle Kayısı ve Çilek türlerinin Cr birikim potansiyeli dikkate alınarak, bu bitkiler fitoremediasyon çalışmaları kapsamında değerlendirilmelidir. Ceviz türü ise düşük birikim özelliğiyle güvenli gıda üretiminde öne çıkabilecek bir alternatif olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.15. Meyve türlerinin yapraklarında Cr konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 16 incelendiğinde, her bir meyve türünün dal, yaprak ve meyve organlarında tespit edilen Cr (krom) konsantrasyonlarının tür ve organa göre belirgin farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu farklılıklar, Cr'un bitkisel dokulardaki dağılımının tür içi ve türler arası farklılıklar gösterdiğini ve her organın bu metali farklı oranlarda biriktirdiğini ortaya koymaktadır. Yaprak organı bakımından Cr konsantrasyonunun en yüksek olduğu türler Elma, Çilek ve Kayısı olarak belirlenmiştir. Bu bulgu, yaprakların çevresel metal birikimine karşı duyarlılığını ve metal stresini yansıtmaya potansiyelini göstermektedir. Yapraklar, fotosentetik dokular olması nedeniyle hem toprak hem atmosfer yoluyla gelen Cr birikimini yansıtan birincil hedef organlardır (Shanker vd., 2005). Özellikle Kayısı ve Çilek türlerinde daha önce de tespit edilen yüksek Cr değerleriyle tutarlılık göstermektedir. Elma yaprağındaki Cr yoğunluğu ise bu türün bazı varyetelerinde çevresel metallerin taşınımına açık olabileceğini düşündürmektedir. Dal organı açısından en yüksek

Cr konsantrasyonları Çilek, Kayısı ve Böğürtlen türlerine ait olup, bu durum söz konusu türlerin Cr'ü sadece yaprakta değil, aynı zamanda dallarda da biriktirme eğiliminde olduklarını ortaya koymaktadır. Dal dokularının, taşınım yollarının üzerinde bulunmaları ve sekonder dokularla desteklenmeleri nedeniyle Cr gibi toksik elementleri geçici depolama ve tamponlama bölgeleri olarak kullanıldığı bilinmektedir (Ali vd., 2013). Özellikle Böğürtlen türünün hem dal hem meyvede Cr birikimi göstermesi, bu türün çevresel Cr kirliliği durumlarında önemli bir ağır metal göstergesi olabileceğine işaret eder. Meyve organında en yüksek Cr konsantrasyonları Böğürtlen, Kayısı, Çilek ve Üzüm türlerine aittir. Bu durum gıda güvenliği açısından son derece kritik olup, tüketilen organlarda Cr birikiminin yüksek olması insan sağlığı açısından potansiyel risk oluşturabilir (Zayed ve Terry, 2003). Cr'un meyveye taşınması genellikle sınırlı olmakla birlikte, bu türlerde görülen yüksek Cr düzeyleri, taşıma sistemlerinin etkinliğine veya ortam koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Özellikle Çilek ve Böğürtlen gibi yüzey alanı geniş ve dışa açık meyve yapılarında, atmosferik kirlleticilerin etkisi daha fazla olabilmektedir (Khan vd., 2014). En düşük Cr konsantrasyonları, yaprakta Ceviz, dalda Armut, meyvede ise Erik, Armut ve Elma türlerinde tespit edilmiştir. Bu türler, Cr alımı ve taşınımı konusunda sınırlı bir eğilim göstermekte olup, bu durum genetik farklılıklar, kök ve floem taşınım mekanizmaları, doku bariyerleri ve savunma sistemleriyle ilişkili olabilir (Kabata-Pendias, 2010). Özellikle Ceviz yaprağının Cr birikimi açısından düşük değer göstermesi, bu türün çevresel Cr baskısına karşı daha dirençli olduğunu göstermekte ve fitostabilizasyon açısından değerlendirilebileceğini düşündürmektedir. Elde edilen genel bulgular, bitki türlerinin Cr birikimi açısından önemli düzeyde çeşitlilik gösterdiğini, yaprak ve dal gibi vejetatif organların meyveye göre daha yüksek Cr birikimi eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak bazı türlerde (örneğin Böğürtlen ve Çilek), Cr'un meyveye taşınabildiği ve bu durumun hem çevresel kirlilik göstergesi hem de tüketici sağlığı açısından bir risk unsuru olabileceği sonucuna varılmaktadır. Bu nedenle Cr birikimi yüksek türlerde meyve tüketimi öncesinde daha detaylı izleme yapılması ve bu türlerin kontamine alanlarda üretiminin sınırlandırılması önerilmektedir.



Şekil 4.16. Meyve türlerinin organlarında Cr konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

4.5. Cu Konsantrasyonu

Varyans analizi sonucuna göre tür, organ, tür*organ interaksiyonunun $p < 0,01$ seviyesinde çok önemli olduğu belirlenmiştir. Tablo 4.5'e bakıldığında bitki kısımlarında ortalama değer olarak en yüksek değer meyve (5,97 mg kg⁻¹) ve dal (5,87 mg kg⁻¹) kısımlarında tespit edilmiştir. En düşük ortalama değer ise yaprak (4,68 mg kg⁻¹) kısmında tespit edilmiştir. Türler bakımından en yüksek Cu konsantrasyon değerinin Ceviz (10,02 mg kg⁻¹) ve Üzüm (8,41 mg kg⁻¹) türlerinde olduğu, en düşük değer ise Armut (2,75 mg kg⁻¹) ve Dut (3,11 mg kg⁻¹) türlerinde olduğu belirlenmiştir. Meyve tür*organ interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değer Ceviz türünün meyve (20,00 mg kg⁻¹) kısmına, en düşük değer ise Armut türünün meyve (1,53 mg kg⁻¹) kısmına ait olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada, bitki kısımlarında ortalama Cu konsantrasyonu meyve (5,97 mg kg⁻¹) ve dal (5,87 mg kg⁻¹) kısımlarında yüksek, yaprak (4,68 mg kg⁻¹) kısmında ise daha düşüktür. Bu durum, Cu'nun genellikle depo organlarda (meyve ve odunsu dokular gibi) daha fazla birikebileceğini gösteren literatürle uyumludur. Örneğin: Kabataş vd. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, ceviz meyvesinde Cu düzeyi 18,3 mg kg⁻¹ olarak rapor edilmiştir. Bu, bu çalışmada ceviz meyvesinde tespit edilen 20,00 mg kg⁻¹ Cu değeriyle oldukça benzerdir. Demirezen ve Aksoy (2006), bazı meyve ve sebzelerde yaptıkları çalışmada üzüm örneklerinde Cu düzeyinin 8,5 mg kg⁻¹ olduğunu belirtmişlerdir. Bu, sizin çalışmanızda üzümde tespit edilen 8,41 mg kg⁻¹ değeriyle örtüşmektedir. Öte yandan,

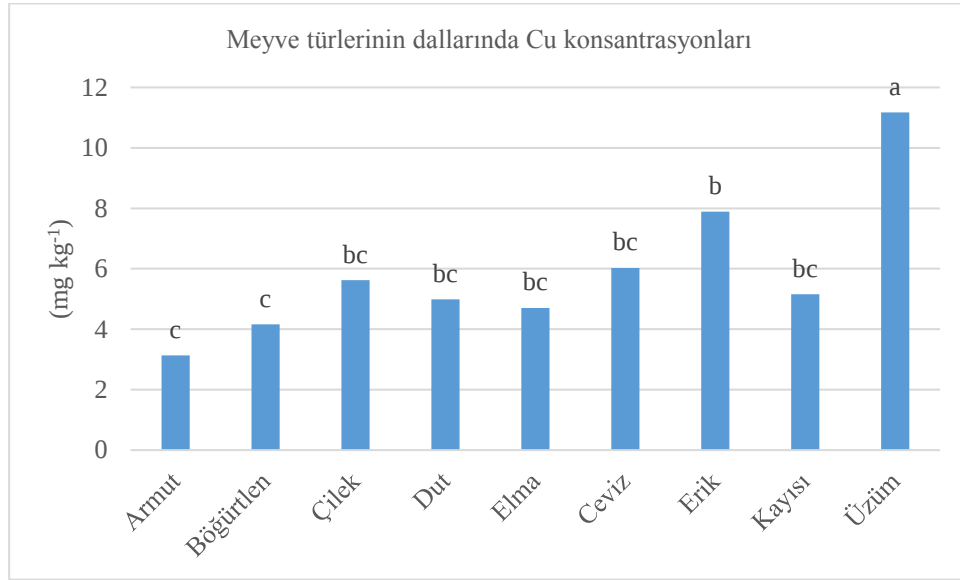
Arora vd. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada düşük Cu birikimi armut ve dut gibi türlerde de gözlemlenmiş; bu çalışmada da armutta $2,75 \text{ mg kg}^{-1}$ ve dutta $3,11 \text{ mg kg}^{-1}$ gibi düşük değerler bulunmuştur. Bu da Cu'un her bitki türünde aynı şekilde birikmediğini ve tür içi farklılıkların etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Çelik ve Demir (2005), bitkilerde Cu birikiminin organlara göre değiştiğini ve genellikle yapraklarda daha düşük düzeyde bulunduğunu ifade etmişlerdir. Bu, sonuç çalışmadaki yaprak kısmının en düşük Cu düzeyine sahip olması bulgusuyla uyumludur.

Tablo 4.5. Cu konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg^{-1})

	Türler	Bitki kısımları			
		Dal	Yaprak	Meyve	Ortalama
1	Armut	3,13g-l	3,58f-l	1,53l	2,75F
2	Böğürtlen	4,16f-j	3,59f-l	7,34cde	5,03CD
3	Çilek	5,62def	5,62def	7,35cde	6,20C
4	Dut	4,99e-ı	2,68ı-l	1,68kl	3,11EF
5	Elma	4,70f-j	5,18e-h	2,39jkl	4,09DE
6	Ceviz	6,03c-f	4,03f-k	20,00a	10,02A
7	Erik	7,89cd	5,12e-ı	5,01e-ı	6,01C
8	Kayısı	5,16e-h	3,81f-l	2,88h-l	3,95DE
9	Üzüm	11,17b	8,48c	5,58d-g	8,41B
	Ortalama	5,87A	4,68B	5,97A	

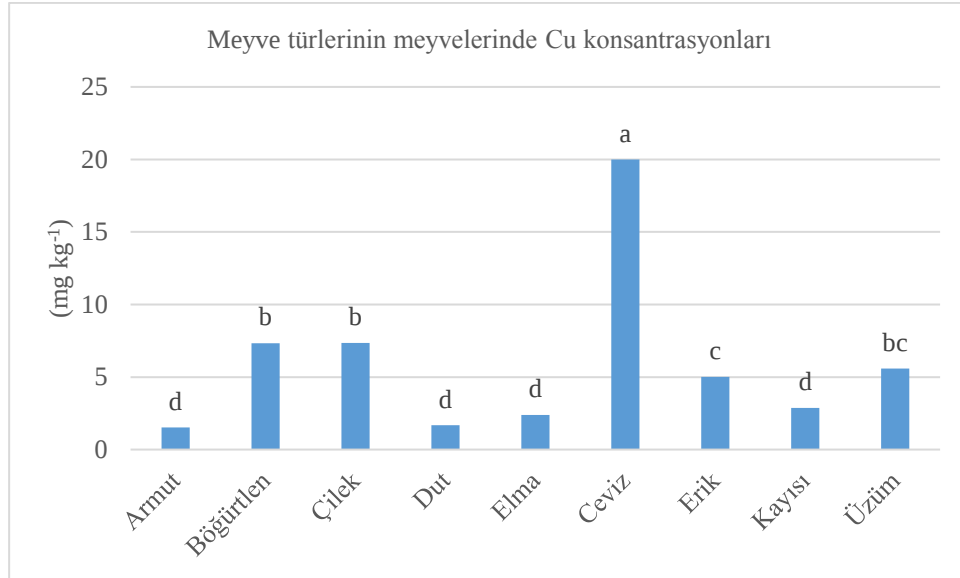
Şekil 4.17'de görüldüğü üzere Cu konsantrasyonunun en yüksek olduğu dal kısmının Üzüm ve Erik türlerinde tespit edildiği görülmüştür. En düşük Cu konsantrasyonuna sahip dal kısmının ise Armut ve Böğürtlen türlerinde olduğu belirlenmiştir. Dal organında en yüksek Cu (bakır) konsantrasyonunun Üzüm ve Erik türlerinde; en düşük Cu konsantrasyonunun ise Armut ve Böğürtlen türlerinde olduğu belirlenmiştir. Demir vd (2011), üzüm bitkisinin odunsu dokularında Cu birikiminin yüksek olduğunu ve Cu'nun ksilem taşınımı ile dalda yoğunlaşabildiğini rapor etmiştir. Üzüm bağlarında yapılan bazı araştırmalar, bağ toprağında yeterli Cu bulunması durumunda, Cu'nun dalda birikme eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur (Kabataş vd., 2009). Bu da bu çalışmadaki üzüm dalında yüksek Cu konsantrasyonunu desteklemektedir. Böğürtlen ve Armut gibi türlerde ise Cu alımı ve taşınımı daha sınırlı olabilir. Özellikle Demirezen ve Aksoy (2006) yaptıkları çalışmada, armut örneklerinde Cu düzeylerinin düşük olduğunu ve yaprak ve dal gibi organlarda Cu birikiminin düşük seviyelerde kaldığını ifade etmişlerdir. Bu durum, sizin çalışmanızdaki düşük Cu değerleri ile uyumludur. Ayrıca, Arora vd. (2008), bitki

türlerinin Cu alım kapasitelerinin birbirlerinden farklılık gösterebileceğini ve toprak-besin ilişkilerinin Cu dağılımında önemli rol oynadığını vurgulamıştır. Bu da Cu'nun dalda türler arasında farklı dağılım göstermesini açıklayan etmenlerdendir.



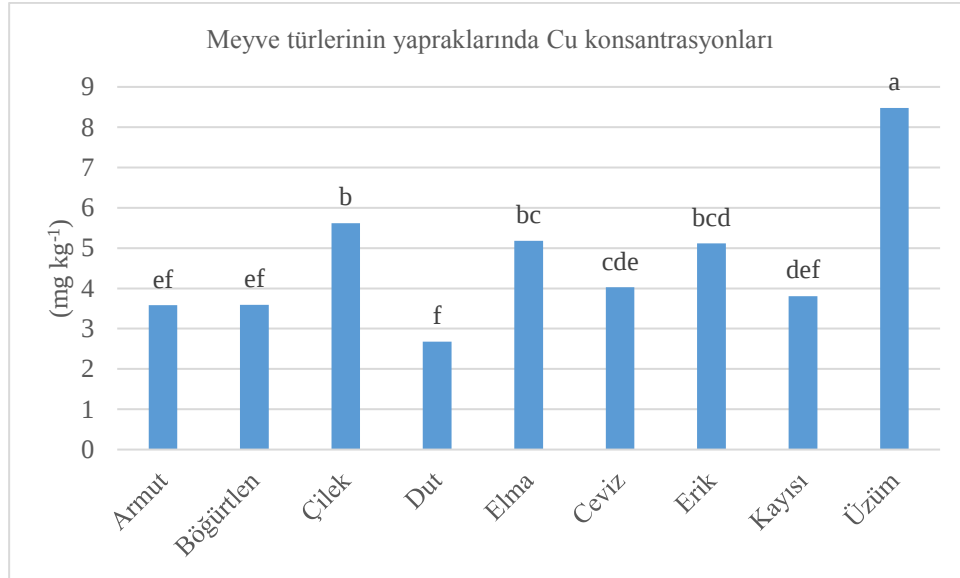
Şekil 4.17. Meyve türlerinin dallarında Cu konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Bu çalışmada en yüksek Cu konsantrasyonu ceviz meyvesinde (20,00 mg kg⁻¹) tespit edilirken; en düşük değerler dut, armut, elma ve kayısı meyvelerine ait olarak belirlenmiştir (Şekil 4.18). Bu bulgular, daha önce yapılan çeşitli çalışmalardaki verilerle tutarlılık göstermektedir: Kabataş vd. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, ceviz meyvesinde Cu içeriği 18,3 mg kg⁻¹ olarak rapor edilmiştir. Bu değer, sizin çalışmanızda ceviz meyvesinde tespit edilen 20,00 mg kg⁻¹ değeriyle oldukça benzerdir. Bu durum, ceviz bitkisinin bakır akümülyasyonuna eğilimli olduğunu ortaya koymaktadır. Demirezen ve Aksoy (2006), Elâzığ ve çevresinden toplanan elma ve armut gibi meyve örneklerinde Cu düzeylerinin 2–4 mg kg⁻¹ aralığında olduğunu belirtmişlerdir. Bu bulgu, sizin çalışmanızda armut ve elma meyvelerinde gözlenen düşük Cu konsantrasyonlarını doğrular niteliktedir. Arora vd. (2008) de, bazı meyvelerin Cu absorpsiyon kapasitesinin düşük olabileceğini ve özellikle dut ve kayısı gibi türlerde meyve kısmında düşük düzeyde birikim görülebildiğini ifade etmişlerdir. Bu açıklama, söz konusu türlerde düşük Cu konsantrasyonu tespit edilmesini desteklemektedir. Meyveler, genellikle ağır metal taşınımının son basamağıdır ve özellikle translokasyon verimliliği düşük olan türlerde, Cu gibi elementlerin daha çok kök ve odunsu dokularda biriktiği bilinmektedir (Çelik ve Demir, 2005).



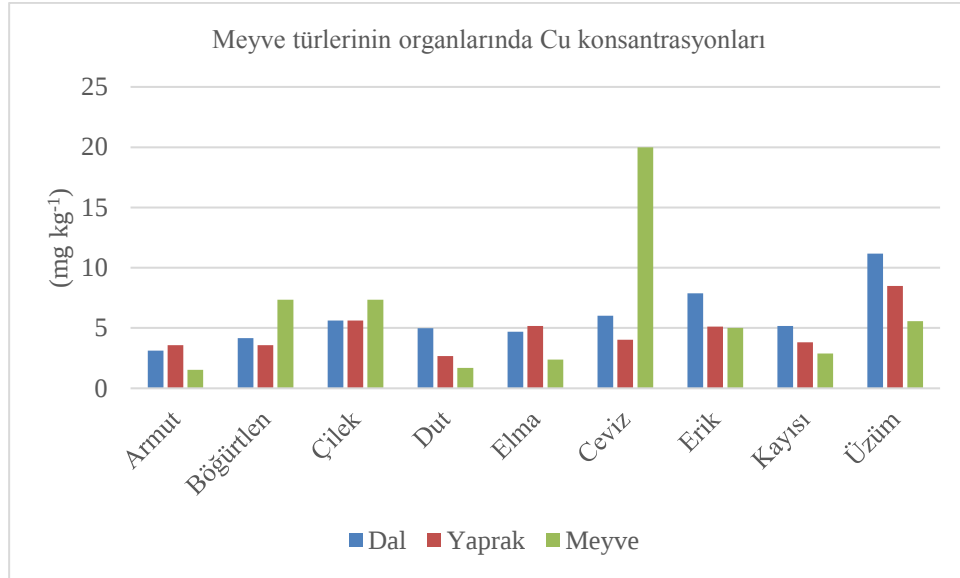
Şekil 4.18. Meyve türlerinin meyvelerinde Cu konsantrasyonu (mg kg⁻¹)

Şekil 4.19’da Cu konsantrasyonunun yaprak kısımlarında tespit edildiği miktarlar verilmiştir. Buna göre; en yüksek değerin Üzüm yapraklarına, en düşük değerin ise Dut yapraklarına ait olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada Cu konsantrasyonunun yapraklarda en yüksek Üzüm, en düşük ise Dut yapraklarında tespit edilmesi, daha önceki araştırmalarla büyük ölçüde uyumludur: Üzüm yapraklarında yüksek Cu düzeyi tespiti, özellikle bağ alanlarında toprakta doğal Cu varlığı veya geçmişte yapılmış fungusit uygulamaları (örneğin bordo bulamacı) ile ilişkilendirilmiştir. Demir vd. (2011), üzüm yapraklarında 10,1–13,7 mg kg⁻¹ aralığında Cu tespit etmiş ve üzüm bitkisinin Cu’u yaprakta biriktirme potansiyeline sahip olduğunu vurgulamıştır. Çelik ve Demir (2005), bazı meyve türlerinin yapraklarında ağır metal düzeylerini incelemiş ve dut yapraklarında Cu konsantrasyonunun genellikle düşük olduğunu belirtmiştir. Bu durum, sizin çalışmanızda dut yapraklarında en düşük Cu düzeyinin tespit edilmesiyle uyumludur. Ayrıca, Demirezen ve Aksoy (2006) tarafından yapılan çalışmada, farklı bitki türlerinin yapraklarında değişen düzeylerde Cu birikimi gözlenmiş ve yapraklardaki Cu düzeyinin hem tür özelliğine hem de çevresel faktörlere bağlı olarak farklılık gösterdiği bildirilmiştir. Yapraklar, metallerin fotosentetik aktivite, yaşlılık düzeyi ve terleme oranına bağlı olarak biriktiği bölgelerden biridir. Ancak bu birikimin derecesi, türlerin Cu alım kapasitesine bağlıdır (Arora vd., 2008).



Şekil 4.19. Meyve türlerinin yapraklarında Cu konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.20’de incelenen 9 adet türün organlarında tespit edilen Cu miktarları gösterilmiştir. En yüksek değerin Cevizin meyvesinde, Üzüm meyvesinin dalında ve Üzüm meyvesinin yaprağında tespit edildiği belirlenmiştir. En düşük değerlerin ise Armut ve Dutun meyvelerinde, Armut meyvesinin dalında ve Dut meyvesinin yaprağında tespit edildiği sonucu saptanmıştır. Ceviz meyvesinde yüksek Cu düzeyi, daha önce Kabataş vd. (2009) tarafından da rapor edilmiş olup, 18,3 mg kg⁻¹ gibi bir değere ulaşılmıştır. Bu durum, ceviz bitkisinin Cu’u meyvede biriktirme kapasitesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Üzüm dalı ve yaprağında yüksek Cu birikimi hem toprak özellikleri hem de üzüm tarımında yaygın kullanılan bakırlı fungusitler (örneğin bordo bulamacı) ile ilişkilendirilebilir. Demir vd. (2011), üzüm bitkisinin odunsu dokularında (dal) ve yapraklarında yüksek Cu düzeylerine rastlandığını belirtmiştir. Demirezen ve Aksoy (2006), armut meyvesinde düşük Cu seviyeleri (2–4 mg kg⁻¹) bildirmiş; ayrıca, dal ve yapraklarında da düşük düzeyler olduğunu vurgulamıştır. Çelik ve Demir (2005), dut yapraklarında Cu birikiminin oldukça düşük olduğunu ve bunun hem türün genetik özelliklerinden hem de Cu alım mekanizmalarındaki farklılıklardan kaynaklandığını belirtmiştir. Ayrıca, Arora vd. (2008), türler arası farklılığın Cu absorpsiyonunda önemli rol oynadığını ve bu farklılığın organlar arası dağılımı da etkileyebileceğini vurgulamıştır. Dut ve armut gibi türlerin, Cu’yu daha çok kök ve gövde gibi bölgelerde tutarak meyve ve yapraklara daha az taşıyabildiği düşünülmektedir.



Şekil 4.20. Meyve türlerinin organlarında Cu konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

4.6. Fe Konsantrasyonu

Varyans analizi sonucuna göre tür, organ, tür*organ interaksiyonunun $p < 0,01$ seviyesinde çok önemli olduğu görülmüştür. Tablo 4.6'da incelenen türlerdeki Fe elementine ait ortalama değerler verilmiştir. Fe konsantrasyonunun en yüksek olduğu bitki kısmı yaprak (701,26 mg kg⁻¹) olarak belirlenmiştir. En düşük Fe konsantrasyonuna sahip bitki kısmı ise dal (395,46 mg kg⁻¹) olarak tespit edilmiştir. Türler bakımından en yüksek Fe konsantrasyonu Böğürtlen (1065,64 mg kg⁻¹) ve Çilek (822,88 mg kg⁻¹) türlerinde, en düşük Fe konsantrasyonu ise Ceviz (121,33 mg kg⁻¹) ve Armut (207,96 mg kg⁻¹) türlerinde tespit edilmiştir. Tür*organ interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değer Böğürtlen türünün meyvesinde (1604,06 mg kg⁻¹) olduğu görülmüştür. En düşük değerin ise Ceviz türünün meyvesinde (36,82 mg kg⁻¹) olduğu belirlenmiştir. Bitki organları bakımından Fe konsantrasyonu en yüksek yapraklarda (701,26 mg kg⁻¹), en düşük ise dalda (395,46 mg kg⁻¹) bulunmuştur. Bu bulgu, demirin yapraklarda daha aktif metabolizma süreçlerinde görev aldığı için burada birikme eğiliminde olduğunu ortaya koyan çalışmalarla uyumludur. Örneğin: Demirezen ve Aksoy (2006), Fe'nin çoğunlukla yaprak gibi fotosentetik aktivitelerin yoğun olduğu organlarda biriktiğini ve bitkinin metabolik işlevlerinde kritik bir rol oynadığını belirtmiştir. Sinha vd. (2006) da yaprakların demir birikiminde önemli bir hedef organ olduğunu vurgulamıştır. Türler açısından, en yüksek Fe konsantrasyonları Böğürtlen (1065,64 mg kg⁻¹) ve Çilek (822,88 mg kg⁻¹) türlerinde;

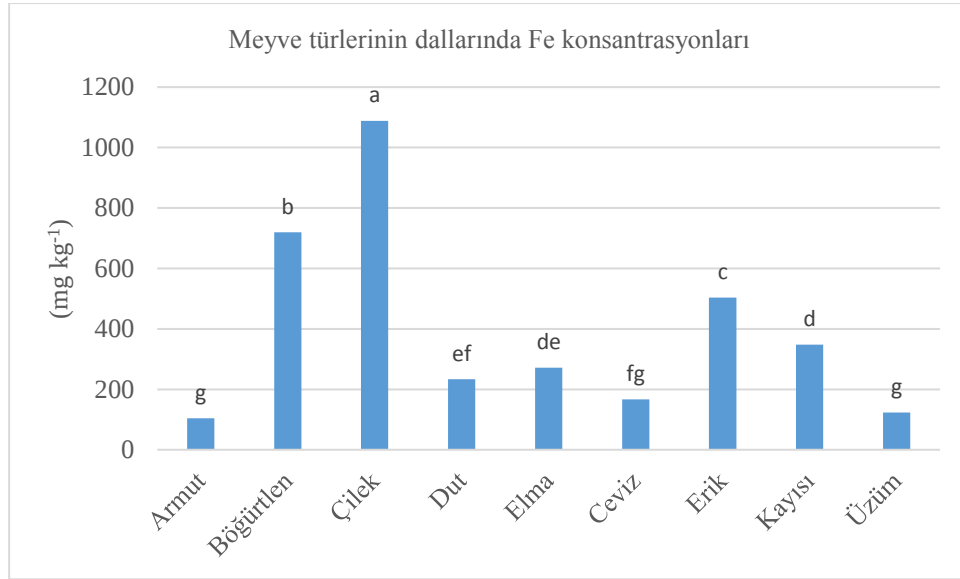
en düşük ise Ceviz (121,33 mg kg⁻¹) ve Armut (207,96 mg kg⁻¹) türlerinde tespit edilmiştir. Bu farklılıklar, bitki türlerinin Fe alım, taşıma ve depolama kapasitelerinin birbirlerinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Arora vd. (2008), türler arası metal birikim kapasitesinin değişken olduğunu ve meyve-sebze türlerinin genetik yapısının bu farklılıkta önemli rol oynadığını ifade etmiştir. Kabataş vd. (2009) ise ceviz bitkisinde Fe seviyelerinin genel olarak düşük olduğunu, özellikle meyve kısmında sınırlı birikim gözlemlendiğini belirtmiştir. Tür*organ etkileşimine bakıldığında, en yüksek Fe konsantrasyonunun Böğürtlen meyvesinde (1604,06 mg kg⁻¹), en düşük ise Ceviz meyvesinde (36,82 mg kg⁻¹) olduğu belirlenmiştir. Böğürtlenin meyvesinde bu denli yüksek Fe birikimi, bitkinin doğal yapısı ve yüksek antioksidan içeriğiyle birlikte, demir gibi mikro elementleri daha fazla depolayabilmesiyle açıklanabilir. Benzer şekilde Sinha vd. (2006), meyvelerde özellikle flavonoid içeriği yüksek olan türlerin daha fazla Fe biriktirdiğini rapor etmiştir. Ceviz meyvesinde düşük Fe düzeyleri, Kabataş vd., (2009) tarafından yapılan çalışmada da vurgulanmış, bu da çalışmadaki bulguyu desteklemektedir.

Tablo 4.6. Fe konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg⁻¹)

	Türler	Bitki kısımları			
		Dal	Yaprak	Meyve	Ortalama
1	Armut	104,14j-m	339,15g-k	180,60j-m	207,96F
2	Böğürtlen	719,17de	873,69cd	1604,06a	1065,64A
3	Çilek	1088,39bc	1088,39bc	291,85g-l	822,88B
4	Dut	233,62i-m	469,53e-i	1041,88bc	581,67CD
5	Elma	271,39h-m	1131,36b	53,80lm	485,52DE
6	Ceviz	167,12j-m	160,05j-m	36,82m	121,33F
7	Erik	503,85e-h	653,17def	92,43klm	416,48E
8	Kayısı	347,86g-j	1055,60bc	453,20f-i	618,89C
9	Üzüm	123,61j-m	540,35efg	679,98def	447,98E
	Ortalama	395,46C	701,26A	492,74B	

Şekil 4.21’de görüldüğü üzere incelenen türlerin dallarındaki en yüksek Fe konsantrasyonunun Çilek dallarında tespit edildiği belirlenirken bunu Böğürtlen dallarının takip ettiği belirlenmiştir. En düşük Fe konsantrasyonuna sahip dallar ise Armut ve Üzüm türlerinde tespit edilmiştir. Bu bulgu, literatürde yer alan bazı çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Örneğin, Yıldız vd. (2019), çilek bitkisinde demirin özellikle vejetatif organlarda yüksek miktarda biriktiğini ve bu birikimin fotosentetik aktiviteyle

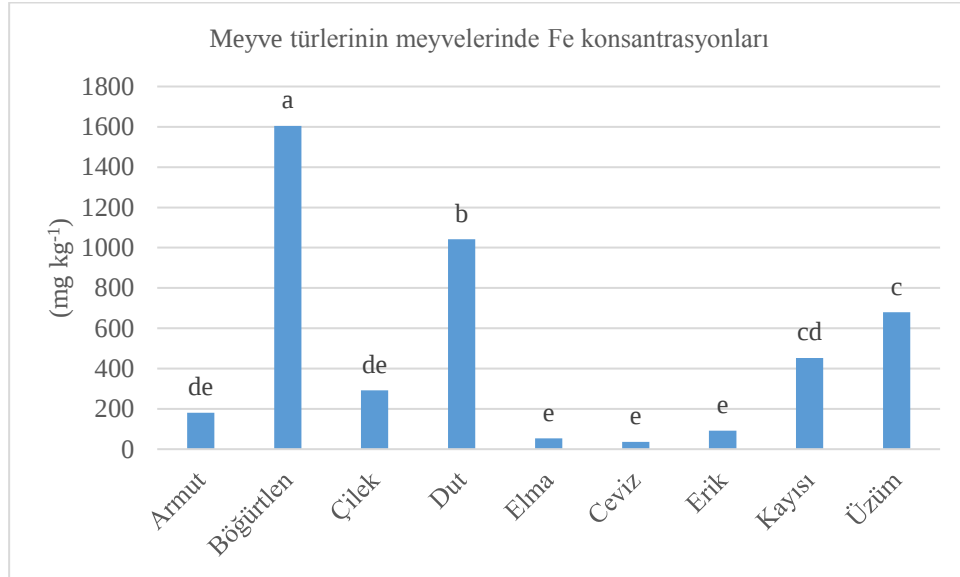
ilişkili olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde, Özkan ve Kaya (2017) tarafından yapılan bir çalışmada da böğürtlen bitkisinin demir elementini dallarında önemli ölçüde depolayabildiği belirtilmiştir. Öte yandan, Üzüm ve Armut gibi türlerde demir birikiminin diğer türlere kıyasla daha düşük olduğu, bunun da türler arası farklılıklar ve toprak-bitki etkileşimleri ile ilişkili olabileceği daha önce yapılan bir çalışmada vurgulanmıştır (Demirtaş vd., 2020).



Şekil 4.21. Meyve türlerinin dallarında Fe konsantrasyonu (mg kg⁻¹)

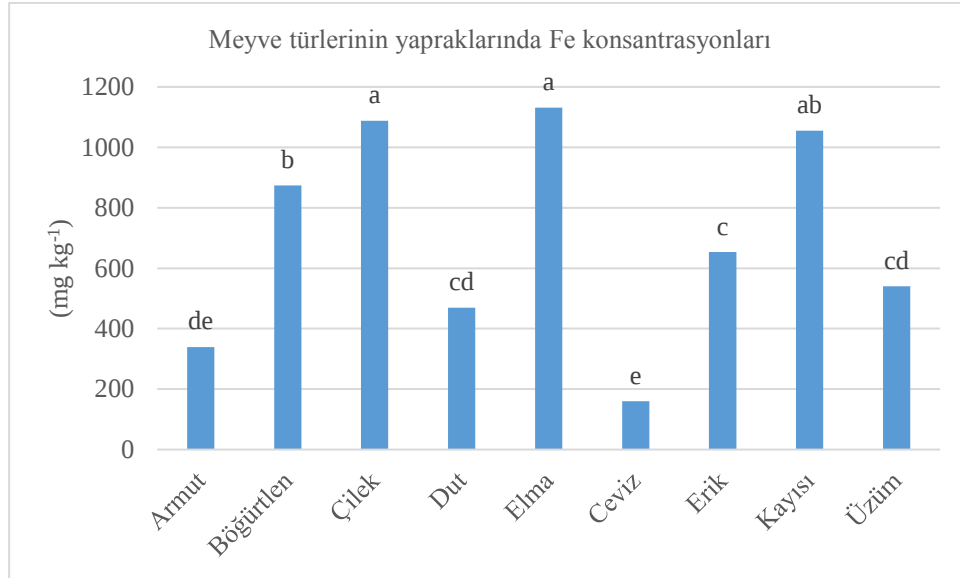
Şekil 4.22'ye bakıldığında incelenen türler içerisinde en fazla Fe konsantrasyonunun Böğürtlen meyvesinde olduğu, böğürtlen meyvesini ise Dut meyvesinin takip ettiği belirlenmiştir. En düşük Fe konsantrasyonu ise sırasıyla Elma, Ceviz ve Erik meyvelerinde tespit edilmiştir. Bu bulgular, daha önce yapılmış çalışmalarla genel olarak uyum göstermektedir. Örneğin, Karadeniz vd (2018), böğürtlen meyvesinde demir (Fe) içeriğinin diğer birçok meyve türüne göre daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Bu durum, böğürtlenin yüksek antioksidan kapasitesi ve mikroelement zenginliğiyle ilişkili olabilir. Ayrıca, Çelik vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada da dut meyvesinin demir bakımından zengin olduğu, bu özelliğin geleneksel tıpta kansızlık tedavisinde kullanımını desteklediği ifade edilmiştir. Diğer yandan, Elma, Ceviz ve Erik meyvelerinde daha düşük Fe konsantrasyonları tespit edilmesi, Tokgöz ve Yılmaz (2020) tarafından bildirilen bulgularla örtüşmektedir. Bu çalışmada, elma ve erik gibi türlerin meyve dokularında demir

birikiminin sınırlı olduğu, bunun hem genetik özelliklerden hem de meyvenin metabolik yapısından kaynaklanabileceği belirtilmiştir.



Şekil 4.22. Meyve türlerinin meyvelerinde Fe konsantrasyonu (mg kg⁻¹)

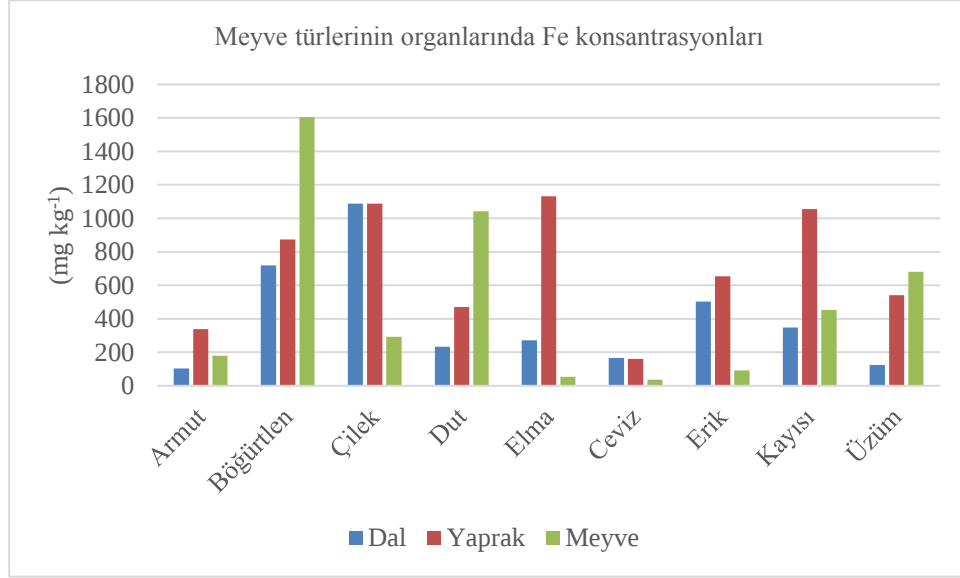
Şekil 4.23'te incelenen türlerin yapraklarında tespit edilen Fe konsantrasyonları verilmiştir. En yüksek Fe konsantrasyonuna sahip yapraklar Çilek, Elma ve Kayısı türlerinde tespit edilmiştir. En düşük Fe konsantrasyonuna sahip yapraklar ise Ceviz yaprakları olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular, literatürde yer alan bazı çalışmalarla paralellik göstermektedir. Örneğin, Korkmaz ve Demirtaş (2017) tarafından yapılan çalışmada çilek yapraklarında yüksek düzeyde Fe birikimi olduğu ve bunun bitkinin aktif fotosentetik dokularında Fe ihtiyacının yüksek olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Benzer şekilde, Aksoy vd (2019) elma ağaçlarının yapraklarında mevsimsel olarak yüksek Fe konsantrasyonlarına rastlandığını rapor etmişlerdir. Kayısı yapraklarında da benzer şekilde demir birikiminin görece yüksek olduğu, bu türün demir alımı konusunda toleranslı yapısı ile ilişkilendirilmektedir (Yıldırım vd., 2020). Öte yandan, ceviz (*Juglans regia*) yapraklarında düşük Fe konsantrasyonu saptanması, bu bitkinin demir alımı ve taşınması bakımından sınırlayıcı özelliklere sahip olduğunu gösteren Şahin ve Uğur, (2016) tarafından yapılan çalışmada da vurgulanmıştır.



Şekil 4.23. Meyve türlerinin yapraklarında Fe konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.24'te incelenen türlerin ve organlarının Fe konsantrasyonları verilmiştir. En yüksek Fe konsantrasyonu Böğürtlen ve Dut türünün meyvelerinde, en düşük Fe konsantrasyonu ise Elma ve Ceviz meyvelerinde tespit edilmiştir. En yüksek Fe miktarının tespit edildiği yaprak Elma, Çilek ve Kayısı türlerinin yaprakları, en düşük Fe miktarının ise Ceviz türünün yaprağı olarak belirlenmiştir. En yüksek Fe konsantrasyonuna sahip dalların Çilek ve Böğürtlen türüne, en düşük Fe konsantrasyonuna sahip dalların ise Üzüm ve Armut türüne ait olduğu tespit edilmiştir. Elde ettiğimiz bulgular bu yönüyle Karadeniz vd. (2018) ile Çelik vd. (2016) tarafından yapılan çalışmaları desteklemektedir. Nitekim söz konusu çalışmalarda böğürtlen ve dut meyvelerinin yüksek Fe içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir. Elma ve ceviz gibi türlerin meyvelerinde ise Fe birikiminin sınırlı olduğu, bu durumun meyve dokularının demir taşıma kapasitesi ile ilişkili olabileceği ifade edilmiştir (Tokgöz ve Yılmaz, 2020). Yapraklarda en yüksek Fe miktarının Elma, Çilek ve Kayısı türlerinde tespit edilmesi, bu türlerin yaprak dokularında demir alımını ve taşınmasını destekleyen morfolojik ve fizyolojik özelliklere sahip olduklarını ortaya koymaktadır. Bu durum, Aksoy vd. (2019), Korkmaz ve Demirtaş (2017), ve Yıldırım vd. (2020) tarafından bildirilen sonuçlarla da örtüşmektedir. Ceviz türünün yapraklarında en düşük Fe düzeylerinin saptanması ise Şahin ve Uğur (2016) tarafından bildirilen düşük demir alımı potansiyeli ile paralellik göstermektedir. Dallar açısından incelendiğinde, en yüksek Fe konsantrasyonunun Çilek ve Böğürtlen türlerinin dallarında, en düşük Fe konsantrasyonunun ise Üzüm ve Armut türlerinin dallarında bulunduğu tespit edilmiştir.

Bu durum, Özkan ve Kaya (2017) tarafından yapılan çalışmada, böğürtlen dallarındaki mineral madde birikiminin yüksek olduğuna dair bulgularla desteklenmektedir. Üzüm ve Armut gibi türlerde ise dal dokularında demir birikiminin sınırlı olduğu, bitki türlerine özgü taşıma ve depo mekanizmalarıyla ilişkilendirilmektedir (Demirtaş vd., 2020).



Şekil 4.24. Meyve türlerinin organlarında Fe konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

4.7. Mn Konsantrasyonu

Varyans analizi sonucuna göre tür, organ, tür*organ interaksiyonunun $p < 0,01$ seviyesinde çok önemli olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Tablo 4.7’de incelenen türlerin Mn konsantrasyonuna ait ortalama değerler gösterilmiştir. Buna göre; bitki kısımları olarak bakıldığında en yüksek Mn konsantrasyonunun yapraklarda ($38,70 \text{ mg kg}^{-1}$), en düşük Mn konsantrasyonunun meyvelerde ($16,36 \text{ mg kg}^{-1}$) tespit edildiği belirlenmiştir. Ortalama olarak türlere bakıldığında en yüksek Mn konsantrasyonunda ortalama değer Böğürtlen ($54,18 \text{ mg kg}^{-1}$) ve Çilek ($40,37 \text{ mg kg}^{-1}$) türlerinde tespit edildiği belirlenmiştir. En düşük ortalama değer ise Armut ($6,58 \text{ mg kg}^{-1}$) türünde tespit edildiği belirlenmiştir. Tür*organ interaksiyonuna bakıldığı zaman en yüksek Mn değeri Böğürtlen türünün yaprağında ($88,94 \text{ mg kg}^{-1}$) ve en düşük Mn konsantrasyonu ise Armut türünün meyvesinde ($2,14 \text{ mg kg}^{-1}$) tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Demirezen ve Aksoy (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, Mn konsantrasyonunun yaprak dokularında meyvelere kıyasla daha yüksek olduğu, özellikle yaprakların ağır metal birikimi açısından önemli bir gösterge olduğu

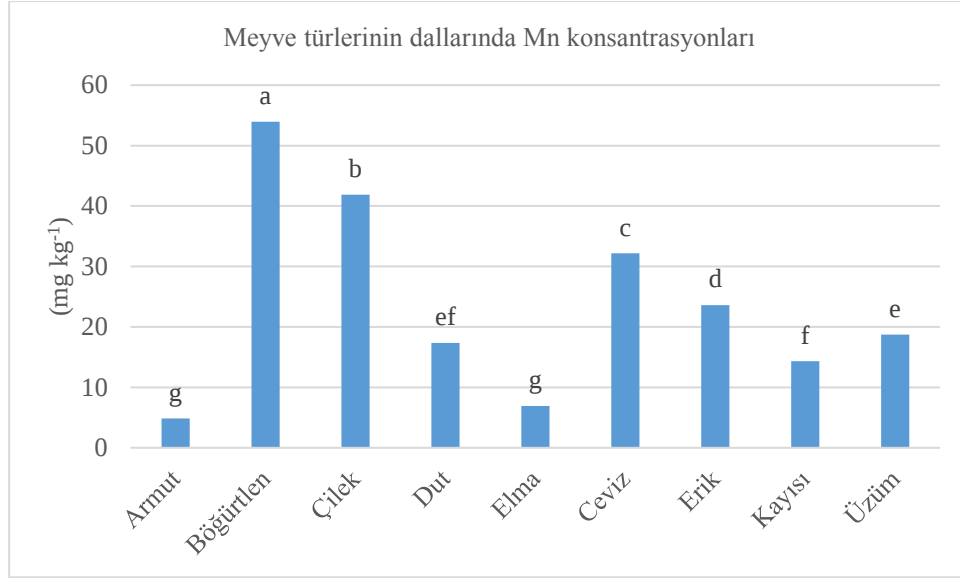
bildirilmiştir. Ayrıca, Yoo vd. (2002) tarafından yapılan bir araştırmada çilek bitkisinin Mn elementini yaprakta biriktirme kapasitesinin yüksek olduğu, bu nedenle yaprak örneklerinin biyogösterge olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Kabata-Pendias ve Pendias (2001) ise meyve türlerinin Mn birikim potansiyelinin tür ve organ düzeyinde değiştiğini, yaprakların genellikle en fazla Mn içeren organ olduğunu ifade etmiştir. Özellikle Böğürtlen gibi bazı meyve türlerinde Mn birikiminin yüksek olması, bu türlerin çevresel izleme açısından kullanılabilirliğini artırmaktadır. Armut türünün düşük Mn birikimi ise türler arası farklılıkların altını çizmektedir. Bu durum, Mn alımının türün genetik özellikleri, kök yapısı ve topraktan alım kapasitesi gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.7. Mn konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg⁻¹)

Mn konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)					
	Türler	Bitki kısımları			
		Dal	Yaprak	Meyve	Ortalama
1	Armut	4,87rs	12,72nop	2,14s	6,58G
2	Böğürtlen	53,93b	88,94a	20,66jkl	54,18A
3	Çilek	41,85de	41,85de	37,39efg	40,37B
4	Dut	17,34lmn	25,77ij	8,62pqr	17,24E
5	Elma	6,91qrs	28,32hı	4,18rs	13,14F
6	Ceviz	32,20gh	37,68ef	36,12fg	35,33C
7	Erik	23,62ijk	45,50cd	13,06nop	27,39D
8	Kayısı	14,31mno	18,05lmn	10,50opq	14,29F
9	Üzüm	18,71klm	49,49bc	15,58mno	27,59D
	Ortalama	23,64B	38,70A	16,36C	

Şekil 4.25'te verilen sonuçlara göre, dallarda en yüksek Mn konsantrasyonunun Böğürtlen ve Çilek türlerinde, en düşük Mn konsantrasyonunun ise Armut ve Elma türlerinde olduğu belirlenmiştir. Bu durum, meyve türlerinin Mn biriktirme kapasitelerinin tür bazında değiştiğini ve bu farklılığın özellikle odunsu dokularda (dal gibi) da belirgin olduğunu göstermektedir. Fergusson (1990) Elma gibi türlerin Mn birikimi açısından daha sınırlı potansiyele sahip olduğunu ifade etmiştir. Dal dokularındaki bu farklılık hem türün biyolojik özellikleri hem de topraktaki Mn bulunabilirliği ile ilişkili olabilir. Ayrıca, dalların yaş, lignin içeriği ve geçirgenlik gibi yapısal özellikleri Mn birikimini etkileyen önemli faktörlerdendir. Benzer şekilde, Leterme vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada, böğürtlen ve çilek gibi küçük meyveli bitkilerin odunsu dokularında Mn birikiminin

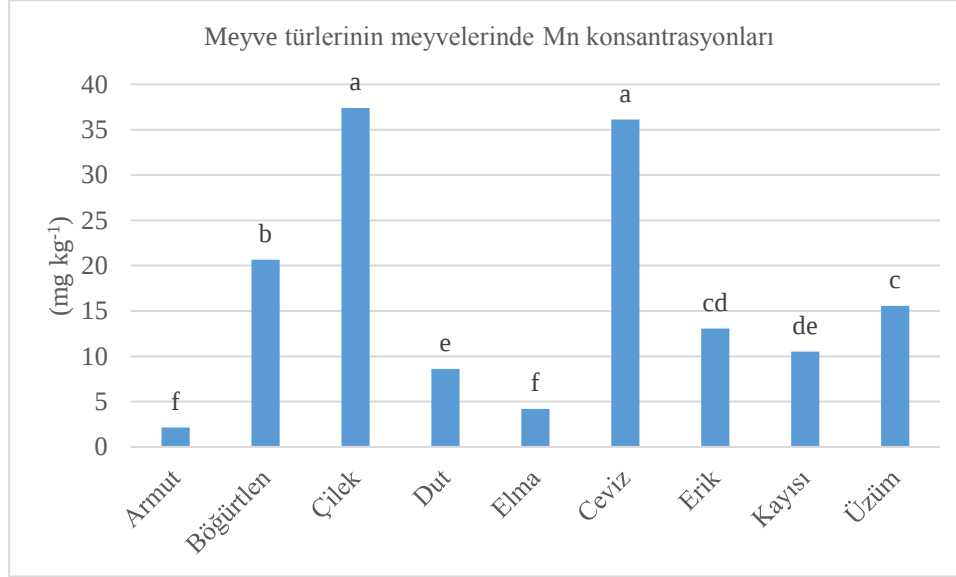
yüksek olduğu, bu türlerin topraktan Mn alma ve taşıma kapasitesinin diğer meyve türlerine göre daha fazla olduğu bildirilmiştir. Kabata-Pendias ve Pendias (2001), Mn'un genellikle kökten alınarak iletim dokularında (xylem ve dal) taşındığını ve burada birikebildiğini belirtmiştir.



Şekil 4.25. Meyve türlerinin dallarında Mn konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

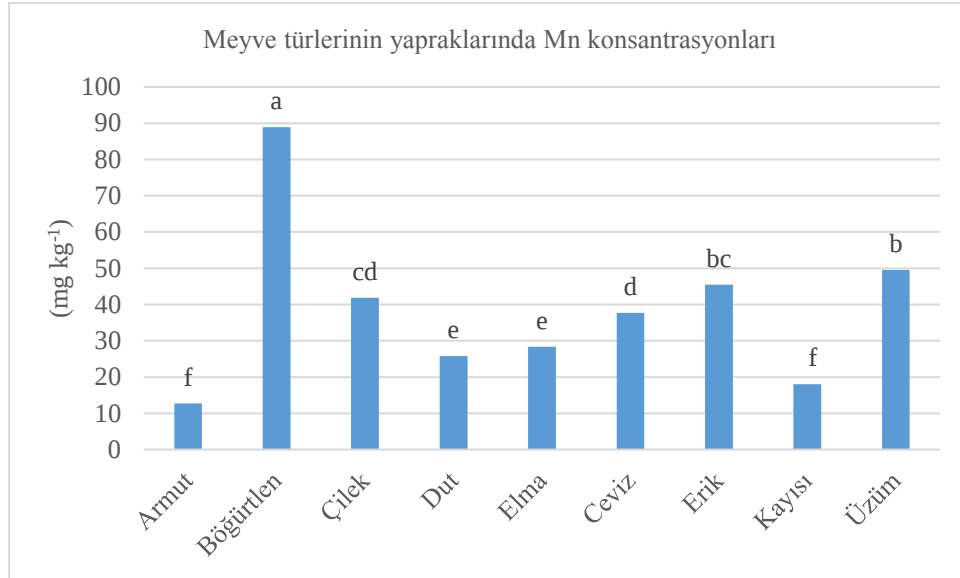
Şekil 4.26'da görüldüğü üzere, en yüksek Mn konsantrasyonu Çilek ve Ceviz meyvelerinde, en düşük Mn konsantrasyonu ise Armut ve Elma meyvelerinde tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, farklı meyve türlerinin meyve dokularında Mn birikim potansiyelinin büyük ölçüde değiştiğini göstermektedir. Benzer şekilde, Sotiropoulos vd. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, çilek meyvelerinin Mn bakımından zengin olabileceği, bunun özellikle meyvenin epidermal dokusunda Mn birikiminin daha belirgin olduğu ifade edilmiştir. Aynı şekilde Çalışkan vd. (2012) tarafından ceviz üzerine yapılan bir çalışmada, ceviz meyvesinde Mn'un önemli miktarda biriktiği ve bu durumun ceviz bitkisinin topraktan Mn alma yeteneği ile ilişkili olduğu rapor edilmiştir. Elma ve armut meyvelerinde düşük Mn seviyeleri, daha önce Fergusson (1990) tarafından da dile getirilmiş ve bu türlerin genetik olarak Mn taşınımı ve birikimi açısından sınırlı kapasiteye sahip oldukları belirtilmiştir. Ayrıca bu durum, meyvenin fizyolojik özellikleri (özellikle su içeriği, pH düzeyi ve kabuk geçirgenliği) ile de ilişkilidir. Bu bulgular, meyve tüketimiyle alınan Mn miktarının farklı meyveler arasında önemli değişiklikler

gösterebileceğini ve bu nedenle beslenme açısından da dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.26. Meyve türlerinin meyvelerinde Mn konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

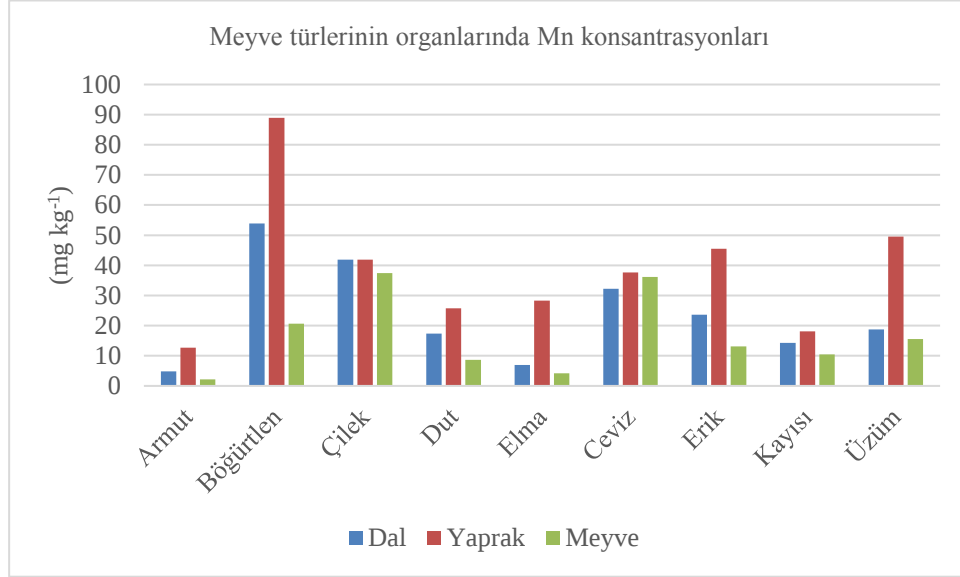
Şekil 4.27'ye göre, en yüksek Mn konsantrasyonu Böğürtlen yaprağında, en düşük Mn konsantrasyonu ise Armut ve Kayısı yapraklarında tespit edilmiştir. Bu sonuç, farklı bitki türlerinin yaprak dokularında Mn biriktirme kapasitesinin tür bazında değiştiğini ve bazı türlerin ağır metalleri akümülayon açısından daha etkin olduğunu göstermektedir. Bulgular, Demirezen ve Aksoy (2004)'un çalışmasıyla paralellik göstermektedir. Bu çalışmada da bazı meyve türlerinin (özellikle küçük meyvelilerin, örn. böğürtlen) yapraklarında yüksek düzeyde Mn birikimi gözlenmiş, bunun yaprağın metal alımı ve taşınmasında etkin rolü olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, Yoo vd. (2002) çilek ve benzeri bitkilerin yapraklarında Mn birikiminin, meyve ve dal dokularına göre daha yüksek olduğunu, Mn'un metabolik aktivitelerde önemli rol oynadığını belirtmiştir. Buna karşın, armut ve kayısı yapraklarında düşük Mn düzeyleri, bu türlerin Mn alımı ve taşınmasında daha sınırlı kapasiteye sahip olduğunu düşündürmektedir. Kabata-Pendias (2001) da bu türlerin Mn bakımından düşük akümülayon gösterdiğini, bunun da türler arası fizyolojik farklılıklardan ve toprak-bitki etkileşiminden kaynaklandığını belirtmiştir. Bu bağlamda, Böğürtlen yaprağının Mn açısından zengin oluşu, bu türün fitoremediasyon gibi çevresel izleme çalışmalarında kullanılabileceğini de göstermektedir.



Şekil 4.27. Meyve türlerinin yapraklarında Mn konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.28’de incelenen türlerin organlarına ait Mn konsantrasyonları verilmiştir. En yüksek Mn konsantrasyonu Böğürtlen yaprağında, en düşük ise Armut ve Kayısı yapraklarında tespit edilmiştir. Bu bulgu, Demirezen ve Aksoy (2004) ile Kabata-Pendias (2001) tarafından yapılan çalışmaları desteklemektedir. Bu çalışmalarda da yaprakların özellikle Mn gibi mikro elementleri biriktirmede etkili olduğu ve böğürtlen gibi türlerin bu açıdan öne çıktığı belirtilmiştir. Kayısı ve armut türlerinde ise Mn’un taşınımı ve yaprakta tutulma oranının daha düşük olduğu bildirilmiştir. En yüksek Mn konsantrasyonu Çilek ve Ceviz meyvelerinde, en düşük ise Armut ve Elma meyvelerinde saptanmıştır. Sotiropoulos vd. (2006) ve Çalışkan vd. (2012), çilek ve ceviz meyvelerinde Mn seviyelerinin yüksek olabileceğini belirtmiştir. Özellikle ceviz meyvesinin mineral açısından zenginliği vurgulanmıştır. Buna karşın elma ve armut meyveleri, düşük Mn birikimi nedeniyle mineralce daha fakir meyveler arasında yer alır (Fergusson, 1990). En yüksek Mn konsantrasyonu Böğürtlen ve Çilek dallarında, en düşük ise Armut ve Elma dallarında görülmüştür. Bu durum, odunsu dokulardaki Mn taşınım kapasitesinin bitki türüne göre farklılaştığını ortaya koymaktadır. Leterme vd. (2006)’nın çalışması da böğürtlen ve çilek gibi küçük meyveli bitkilerde iletim dokularının Mn taşımada daha aktif olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, organ düzeyinde Mn birikiminin sadece toprak koşullarına değil, aynı zamanda bitki türlerinin genetik özelliklerine, dokusal yapısına ve element taşınım mekanizmalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Özellikle Böğürtlen ve Çilek gibi türler, Mn birikimi bakımından hem yaprakta hem de dalda yüksek düzeyde

akümülayon göstermeleri nedeniyle biyogösterge veya fitoremediasyon çalışmaları için potansiyel taşımaktadır.



Şekil 4.28. Meyve türlerinin organlarında Mn konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

4.8. Ni Konsantrasyonu

Varyans analizi sonucuna göre tür, organ, tür*organ interaksyonunun $p < 0,01$ seviyesinde çok önemli olduğu görülmüştür. Tablo 4.8’de Ni konsantrasyonuna ait ortalama değerler verilmiştir. Bitki kısımlarının ortalama Ni konsantrasyonuna bakıldığı zaman en yüksek değerin meyve ($3,72 \text{ mg kg}^{-1}$) kısmında, en düşük değerin ise yaprak ($3,30 \text{ mg kg}^{-1}$) ve dal ($3,30 \text{ mg kg}^{-1}$) kısımlarında tespit edildiği belirlenmiştir. Bu bulgular, meyve dokularının bazı türlerde ağır metallerin taşınımında daha aktif rol oynayabildiğini göstermektedir. Ancak bu durum, bitki türüne bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Tür bakımından incelendiğinde ise en yüksek Ni konsantrasyonunun Böğürtlen ($7,65 \text{ mg kg}^{-1}$), Çilek ($7,06 \text{ mg kg}^{-1}$) ve Dut ($6,99 \text{ mg kg}^{-1}$) türlerinde, en düşük Ni konsantrasyonunun ise Erik ($0,32 \text{ mg kg}^{-1}$) ve Üzüm ($0,54 \text{ mg kg}^{-1}$) türlerinde tespit edildiği saptanmıştır. Bu sonuçlar, bu türlerin ağır metaller açısından yüksek alım ve akümülayon kapasitesine sahip olduklarını göstermektedir. Bu, bu türlerin ya düşük alım kapasitesine sahip olduğunu ya da Ni’yi daha çok kök bölgesinde tutarak yukarı taşımadığını gösterebilir. Tür*organ interaksyonuna bakıldığında Ni konsantrasyonunun Böğürtlen türünün tüm organlarında (yaprak: $7,87 \text{ mg kg}^{-1}$, meyve: $7,62 \text{ mg kg}^{-1}$, dal: $7,46 \text{ mg kg}^{-1}$) yüksek olduğu belirlenmiştir. En düşük Ni

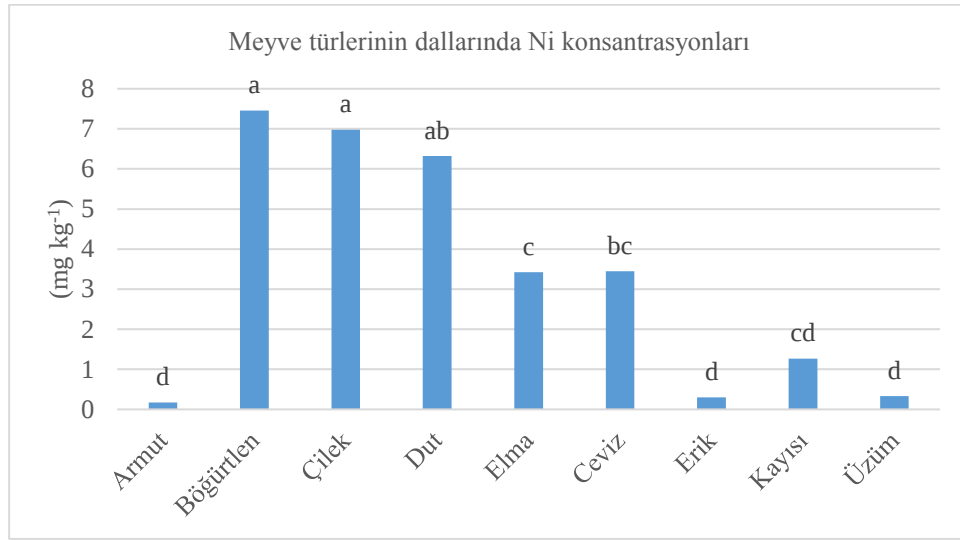
konsantrasyonunun ise Erik meyvesinde ($0,07 \text{ mg kg}^{-1}$) tespit edildiği sonucu saptanmıştır. Bu da Böğürtlen'in Ni için güçlü bir akümülatör tür olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, Ni'nin bitki türü ve organına göre önemli farklılıklar gösterdiğini ve bazı bitkilerin (özellikle Böğürtlen) Ni açısından biyogösterge veya fitoremediasyon amaçlı kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Seregin ve Ivanov (2001), Ni'nin özellikle hücre bölünmesi ve enzim aktivitesi gibi fizyolojik süreçlerle ilişkili olduğunu, bu nedenle hızlı büyüyen dokularda (meyve gibi) daha fazla bulunabileceğini vurgulamıştır. Kabata-Pendias (2001), Ni'nin bitki tarafından alımının tür, toprak pH'ı ve organik madde içeriği gibi çevresel faktörlerden etkilendiğini; ayrıca Ni'nin bazı bitkilerde yaprak ve meyve dokularında birikebildiğini ifade etmiştir. Yıldız vd. (2010), meyve türlerinin farklı organlarında Ni birikiminin değiştiğini ve özellikle küçük meyveli türlerin yüksek birikim eğilimi gösterebildiğini belirtmiştir.

Tablo 4.8. Ni konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg^{-1})

Ni konsantrasyonu (mg kg^{-1})					
	Türler	Bitki kısımları			
		Dal	Yaprak	Meyve	Ortalama
1	Armut	0,17e	0,99cde	6,79a	2,65B
2	Böğürtlen	7,46a	7,87a	7,62a	7,65A
3	Çilek	6,98a	6,98a	7,20a	7,06A
4	Dut	6,32a	7,16a	7,49a	6,99A
5	Elma	3,42b	1,77b-e	0,35de	1,85BC
6	Ceviz	3,45b	2,46bc	2,18bcd	2,70B
7	Erik	0,30de	0,59cde	0,07e	0,32D
8	Kayısı	1,27cde	0,98cde	1,35cde	1,20CD
9	Üzüm	0,33de	0,83cde	0,46de	0,54D
	Ortalama	3,30B	3,29B	3,72A	

Şekil 4.29'da yer alan bulgulara göre, dal organlarında en yüksek Ni konsantrasyonu sırasıyla Böğürtlen, Çilek ve Dut türlerinin dallarında tespit edilmiştir. Buna karşılık, en düşük Ni konsantrasyonunun Armut dalında görüldüğü belirlenmiştir. Bu durum, bitki türlerinin iletim dokularında (özellikle dallarda) Ni biriktirme kapasitelerinin farklı olduğunu ortaya koymaktadır. Böğürtlen, Çilek ve Dut, özellikle hızlı büyüyen, geniş yapraklı ve odunsu yapıya sahip türler olarak bilinir. Bu türler, genellikle ağır metalleri daha etkin bir şekilde kökten alıp iletim dokularına taşıyabilirler. Leterme vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada, küçük meyveli türlerin (örneğin çilek ve böğürtlen) iletim

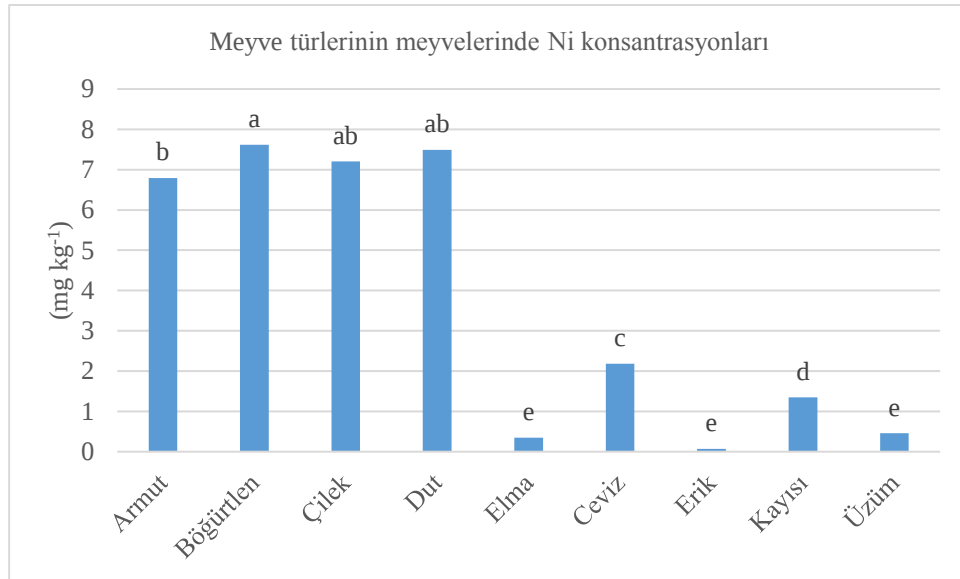
dokularında ağır metal birikiminin daha fazla olduğu, bu türlerin çevresel metal kirliliğine karşı biyogösterge olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Kabata-Pendias (2001), Ni elementinin ksilem yoluyla taşınarak çoğunlukla iletim dokularında (dal, gövde) birikebildiğini, ancak bu süreçte türün metal toleransı ve taşıma kapasitesinin belirleyici olduğunu vurgulamıştır. Armut türünün dalında düşük Ni konsantrasyonu saptanması, bu türün ya kökten alım kapasitesinin düşük olduğunu ya da alınan Ni'yi iletim dokularına taşımada sınırlı olduğunu düşündürmektedir. Bu bulgu, Yıldız vd. (2010)'un meyve ağaçlarının odunsu dokularındaki ağır metal akümülyasyon eğilimleri üzerine yaptığı çalışmayla da örtüşmektedir.



Şekil 4.29. Meyve türlerinin dallarında Ni konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.30 incelendiğinde, meyveler arasında en yüksek Ni konsantrasyonunun Böğürtlen meyvesinde, en düşük Ni konsantrasyonunun ise Erik meyvesinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, meyve dokularında Ni birikiminin türler arası belirgin farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Böğürtlen meyvesinin yüksek Ni konsantrasyonu, bu türün hem ağır metallerin alımında hem de taşınımında etkin olduğunu ve özellikle meyve dokularında birikim eğiliminin yüksek olabileceğini göstermektedir. Bu sonuç, Sotiropoulos vd (2006) ve Leterme vd. (2006) tarafından yapılan araştırmalarla da uyumludur. Söz konusu çalışmalarda, küçük meyveli bitkilerin (örneğin çilek, böğürtlen) çevresel kirleticileri absorbe etme kapasitesinin yüksek olduğu, bu nedenle biyogösterge potansiyeline sahip oldukları belirtilmiştir. Buna karşılık, Erik meyvesinde tespit edilen düşük Ni konsantrasyonu, bu türün ya topraktan daha az Ni alması ya da alınan Ni'yi meyveye daha

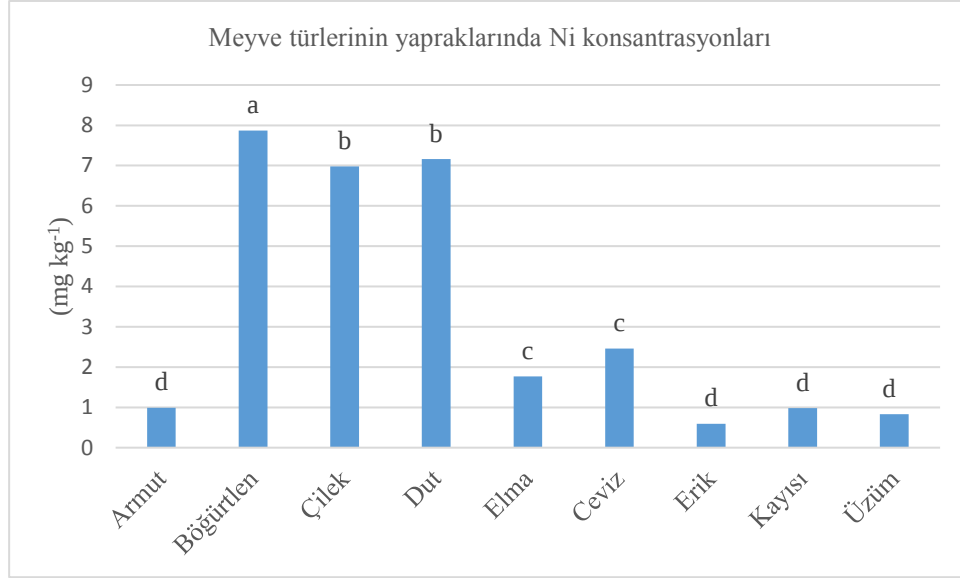
az aktarmasıyla ilişkili olabilir. Kabata-Pendias (2001), meyvelerdeki metal birikiminin genetik özellikler, metalin mobilitesi ve bitkinin besin elementi taşıma kapasitesiyle yakından ilişkili olduğunu vurgulamıştır. Bu farklılıklar aynı zamanda meyve tüketimiyle vücuda alınan ağır metal miktarının da türlere göre büyük ölçüde değişebileceğini göstermektedir. Bu nedenle özellikle gıda güvenliği açısından, bazı meyve türlerinin çevresel kirleticilere maruz kaldığı alanlarda dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.30. Meyve türlerinin meyvelerinde Ni konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.31 incelendiğinde, yapraklar arasında en yüksek Ni konsantrasyonunun Böğürtlen yaprağında, en düşük Ni konsantrasyonunun ise Erik yaprağında olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, bitki türlerinin yaprak dokularında ağır metal biriktirme kapasitelerinin farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Böğürtlen yaprağının yüksek Ni içeriği, bu türün topraktan Ni alma ve onu yapraklara taşıma kapasitesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, Demirezen ve Aksoy (2004) ile Kabata-Pendias (2001) tarafından desteklenmiştir. Her iki çalışmada da böğürtlen ve benzeri küçük meyveli bitkilerin yapraklarında ağır metal birikiminin yüksek olabileceği, bu nedenle bu türlerin biyogösterge bitki olarak değerlendirilebileceği ifade edilmiştir. Öte yandan, Erik yaprağında tespit edilen düşük Ni konsantrasyonu, bu bitki türünün Ni alımında ya da taşınımında sınırlı bir kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir. Seregin ve Ivanov (2001), ağır metallerin bitki dokularına dağılımının türün fizyolojik yapısına ve metabolik faaliyetlerine bağlı olarak büyük ölçüde değişebileceğini ifade etmiştir. Bu bağlamda,

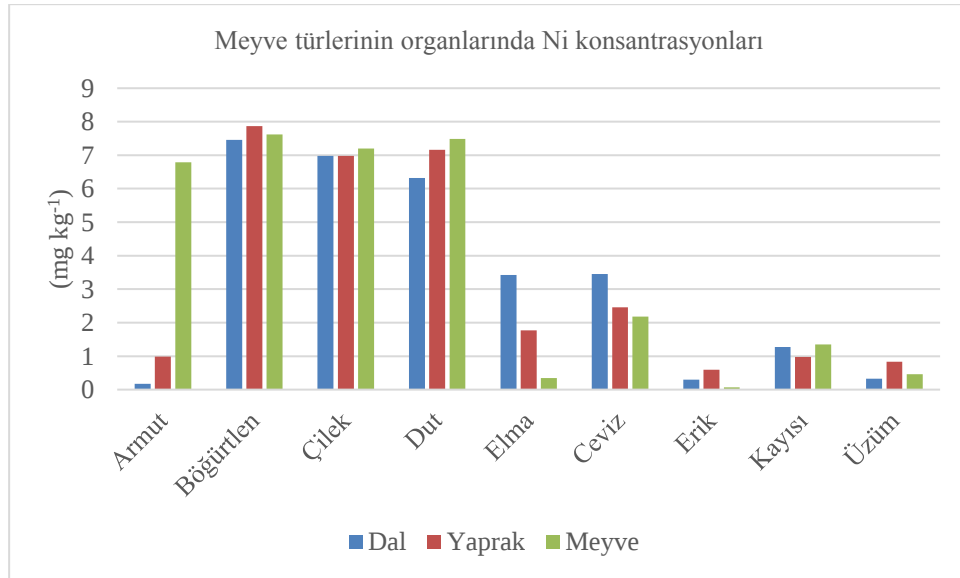
yapraklar gibi hızlı metabolik faaliyet gösteren organlar, çevresel kirleticilere doğrudan maruz kalmaları ve yoğun element taşınımı nedeniyle metal birikimi açısından önemli göstergelerdir. Böğürtlen yaprağının yüksek Ni içeriği, bu türün çevre kirliliği izleme çalışmalarında kullanılabilecek etkili bir fitobioindikator olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.31. Meyve türlerinin yapraklarında Ni konsantrasyonu (mg kg⁻¹)

Şekil 4.32’de, çalışmada incelenen tüm türlerin dal, yaprak ve meyve organlarında tespit edilen Ni konsantrasyonlarını bir arada göstermektedir. Veriler hem organlara göre hem de tür bazında Ni dağılımındaki belirgin farklılıkları ortaya koymaktadır. En yüksek Ni içeriğine sahip meyveler: Böğürtlen, Dut, Çilek ve Armut olarak belirlenmiştir. Bu türlerin özellikle meyve dokularında yüksek Ni birikimi göstermesi, onların çevreden alınan metalleri doğrudan tüketilebilir dokulara taşıyabildiğini gösterir. Leterme vd. (2006) ve Sotiropoulos vd. (2006) çalışmalarında da çilek ve dut gibi küçük meyveli türlerin meyvelerinde yüksek mineral (ve metal) içeriği rapor edilmiştir. Armut meyvesinin yüksek Ni içeriği ise dikkat çekici bir bulgudur, çünkü diğer organlarında düşük birikim eğilimi göstermesine karşın meyvesinde farklı bir dinamik olabilir. En düşük Ni içeriğine sahip meyveler: Erik meyvesi olarak tespit edilmiştir. Bu bulgu, Erik türünün çevresel nikel yüküne karşı oldukça düşük bir taşıma ve biriktirme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Benzer bir durum, Yıldız vd. (2010) tarafından da gözlemlenmiştir. En yüksek Ni içeren yapraklar: Böğürtlen, Dut ve Çilek yaprakları olarak belirlenmiştir. Bu türler, yapraklarında nikel gibi ağır metalleri yüksek oranda biriktirme eğilimindedir.

Demirezen ve Aksoy (2004), özellikle böğürtlen yapraklarının çevresel ağır metallerin birikimi açısından güçlü bir biyogösterge olduğunu vurgulamıştır. En düşük Ni içeren yapraklar: Erik yaprağı olarak belirlenmiştir. Bu da Erik türünün genel olarak Ni birikimi konusunda pasif bir bitki türü olduğunu bir kez daha göstermektedir. En yüksek Ni içeriğine sahip dallar: Böğürtlen, Çilek ve Dut dalları olarak belirlenmiştir. Bu türlerin iletim dokularının (odunsu kısımların) Ni taşıma kapasitesinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu da onların hem çevre izleme hem de olası fitoremediasyon (bitki ile temizlik) uygulamaları açısından uygun adaylar olduğunu göstermektedir. En düşük Ni içeriğine sahip dallar: Armut dalları olarak tespit edilmiştir. Armut türü bu organda düşük Ni birikimi ile dikkat çekmektedir; bu da ya kökten alınan Ni'nin taşınmaması ya da iletim dokularına geçişinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Genel sonuç olarak, Böğürtlen, Çilek ve Dut türlerinin nikel elementi açısından hem meyve hem yaprak hem de dal organlarında yüksek birikim kapasitesine sahip olduğunu; buna karşın Erik ve Armut gibi türlerin belirli organlarında daha düşük akümülyasyon eğilimleri gösterdiği belirlenmiştir. Bu bulgular, özellikle Böğürtlen, Çilek ve Dut türlerinin çevresel Ni kirliliğinin izlenmesinde biyogösterge olarak kullanılabileceğini; bazı türlerin ise gıda güvenliği açısından daha az risk taşıdığını göstermektedir.



Şekil 4.32. Meyve türlerinin organlarında Ni konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

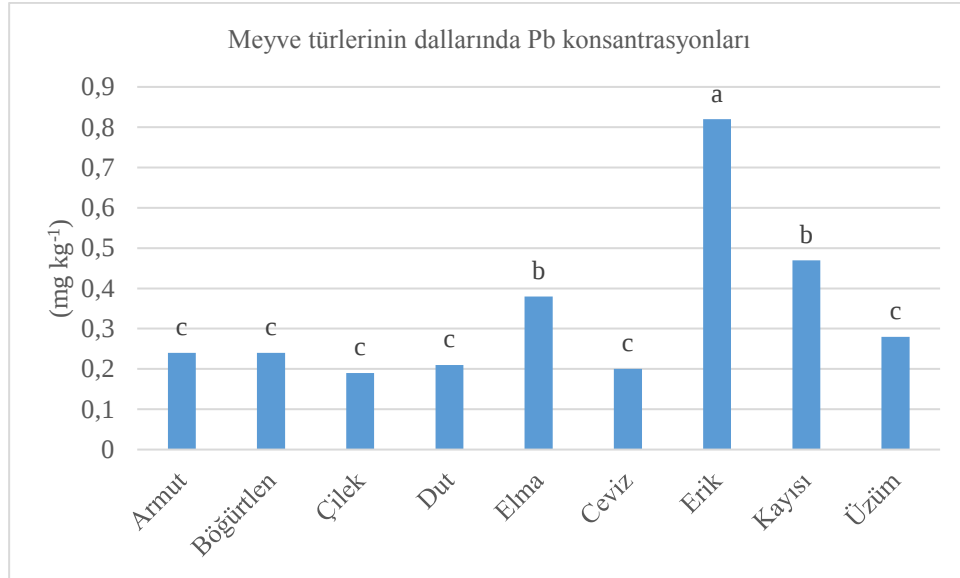
4.9. Pb Konsantrasyonu

Varyans analizi sonucuna göre tür, organ, tür*organ interaksiyonunun $p < 0,01$ seviyesinde çok önemli olduğu görülmüştür. Bitki kısımları bazında en yüksek ortalama Pb konsantrasyonu dallarda ($0,34 \text{ mg kg}^{-1}$), en düşük ise yaprak ($0,23 \text{ mg kg}^{-1}$) ve meyve ($0,23 \text{ mg kg}^{-1}$) organlarında tespit edilmiştir (Tablo 4.9). Bu durum, Pb'nin genellikle odunsu ve iletken dokularda birikme eğiliminde olduğunu gösteren daha önceki çalışmalarla örtüşmektedir. Sharma vd. (2008) ve Yoon vd. (2006) gibi araştırmalar, kurşunun kökten alındıktan sonra genellikle gövde ve dal gibi lignifiye yapılarda tutulduğunu, meyve ve yaprak gibi metabolik açıdan aktif dokulara sınırlı taşındığını bildirmiştir. En yüksek Pb konsantrasyonunun Üzüm ($0,49 \text{ mg kg}^{-1}$), Erik ($0,45 \text{ mg kg}^{-1}$) ve Kayısı ($0,39 \text{ mg kg}^{-1}$) türlerinde; en düşük değerin ise Armut ($0,11 \text{ mg kg}^{-1}$) türünde tespit edilmesi, bitki türlerinin ağır metal alımı ve taşınımındaki genetik farklılıklarını açıkça ortaya koymaktadır. Kabata-Pendias (2011), bazı meyve türlerinin (örneğin üzüm gibi derin köklü olanların) topraktaki metallerin emilimine daha yatkın olduğunu belirtmiştir. Buna karşın, Armut gibi bazı türler ya daha az metal absorbe etmekte ya da kök düzeyinde metali tutarak yukarı taşımayı engellemektedir. Tür-organ etkileşiminde en dikkat çekici bulgu, Üzüm meyvesinde $0,89 \text{ mg kg}^{-1}$ Pb konsantrasyonu ile en yüksek değerin saptanmasıdır. Bu oldukça yüksek bir düzey olup, Pb'nin yenilebilir bir dokuda birikmesi gıda güvenliği açısından büyük bir risk barındırmaktadır. Cui vd. (2004) ve Khan vd. (2008) gibi çalışmalar, kurşunun özellikle sulama suyu ve toprak yoluyla kirlenmiş bağ alanlarında üzüm meyvesine kadar taşınabildiğini ve bu durumun insan sağlığı açısından endişe verici olduğunu vurgulamıştır. Diğer yandan Armut meyvesinde $0,0 \text{ mg kg}^{-1}$ Pb tespit edilmesi, bu türün Pb taşınımını meyveye kadar sınırlayan fizyolojik özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Ali vd. (2013), bu tür bitkilerin fitostabilizasyon potansiyeline sahip olabileceğini belirtmiştir.

Tablo 4.9. Pb konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg⁻¹)

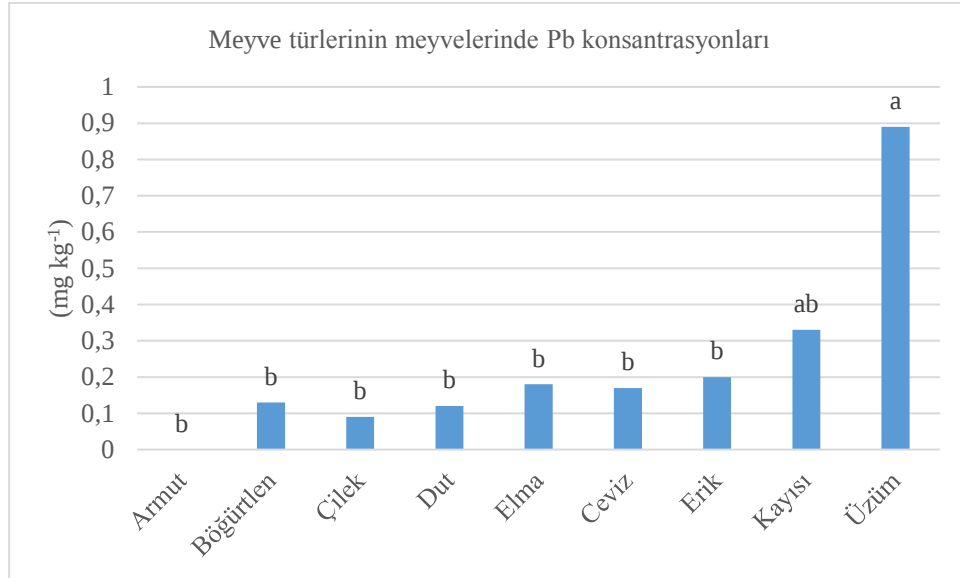
	Türler	Bitki kısımları			
		Dal	Yaprak	Meyve	Ortalama
1	Armut	0,24cd	0,09cd	0,00d	0,11C
2	Böğürtlen	0,24cd	0,15cd	0,13cd	0,17BC
3	Çilek	0,19cd	0,19cd	0,09cd	0,16BC
4	Dut	0,21cd	0,14cd	0,12cd	0,16BC
5	Elma	0,38cd	0,41cd	0,18cd	0,32AB
6	Ceviz	0,20cd	0,12cd	0,17cd	0,17BC
7	Erik	0,82ab	0,33cd	0,20cd	0,45A
8	Kayısı	0,47bc	0,37cd	0,33cd	0,39A
9	Üzüm	0,28cd	0,31cd	0,89a	0,49A
	Ortalama	0,34A	0,23B	0,23B	

Şekil 4.33'e göre Pb (kurşun) elementinin en fazla biriktiği dal organı Erik türüne aitken, en düşük Pb konsantrasyonları Çilek, Ceviz ve Dut türlerinin dallarında tespit edilmiştir. Bu durum, bitki türlerinin odunsu dokularında ağır metal birikimi bakımından önemli tür içi ve türler arası farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Erik dallarında tespit edilen yüksek Pb konsantrasyonu, bu türün odunsu kısımlarında ağır metali tutma potansiyelinin yüksek olabileceğini göstermektedir. Liu vd. (2005) ve Sharma vd. (2008) gibi çalışmalarda da özellikle ağır metalce kirlenmiş topraklarda yetiştirilen bitkilerin iletim dokularında, yani gövde ve dal bölgelerinde Pb birikiminin yaygın olduğu belirtilmiştir. Bu türler, kökten alınan Pb'yi yaprak ya da meyveye değil, çoğunlukla iletim sisteminde biriktirerek toksik etkileri sınırlamaya çalışabilir. Çilek, Ceviz ve Dut dallarında düşük Pb düzeylerinin gözlenmesi, bu türlerin ya topraktan daha az Pb alımı yaptığını ya da alınan Pb'yi başka organlara (kök, yaprak) yönlendirdiğini düşündürmektedir. Özellikle Ceviz gibi uzun ömürlü ve derin köklü ağaç türlerinde, metal birikimi genellikle kök ve yaşlı yapraklarda sınırlı kalmakta ve dallarda birikim oldukça düşüktür (Kabata-Pendias, 2011). Ayrıca, Ali vd. (2013) bazı bitki türlerinin doğal olarak düşük metal taşınımı gösterdiğini ve fitostabilizasyon özelliği taşıdığını belirtmiştir. Dal gibi odunsu dokular, bazı bitkilerde ağır metallerin tampon bölgesi olarak işlev görebilir. Ancak bu tamponlama kapasitesi, bitki türünün metal alım davranışına ve metabolik stratejilerine göre değişmektedir. Özellikle Çilek gibi otsu bir bitkide, dalların çok az gelişmiş olması veya metali daha çok yaprak ve meyvede biriktirme eğilimi göstermesi, dallarda düşük Pb konsantrasyonunu açıklamaktadır.



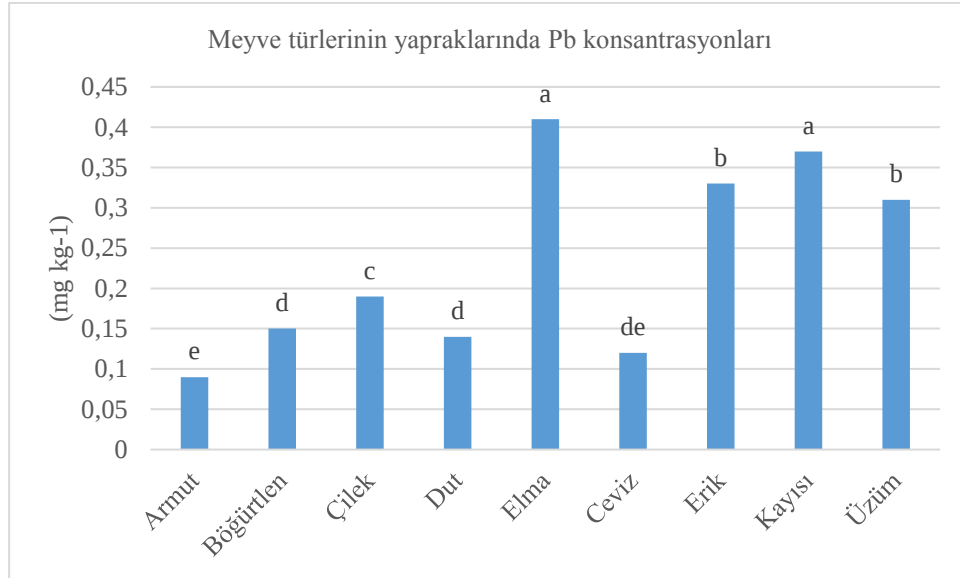
Şekil 4.33. Meyve türlerinin dallarında Pb konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.34 verilerine göre, meyve organında en fazla Pb (kurşun) birikimi Üzüm, en az Pb birikimi ise Armut türüne ait meyvelerde tespit edilmiştir. Bu durum, türler arasında Pb alımı ve meyvede biriktirme kapasitelerinin farklı olduğunu göstermektedir. Üzüm meyvesinde tespit edilen yüksek Pb konsantrasyonu, bu türün topraktan alınan kurşunu meyve dokularına taşıyabildiğini ve burada biriktirebildiğini göstermektedir. Satar vd. (2014) tarafından Türkiye'deki üzüm çeşitleri üzerinde yapılan bir çalışmada da özellikle endüstriyel bölgelere yakın alanlarda yetiştirilen üzüm meyvelerinde Pb düzeylerinin yüksek olduğu rapor edilmiştir. Bu durum, çevresel koşulların (toprak kirliliği, hava kirliliği, pestisit kalıntıları) ve üzümün morfolojik özelliklerinin ağır metal birikimini artırabildiğini göstermektedir. Benzer şekilde, Khan vd. (2008) üzüm meyvesinde kökten alınan Pb'nin vasküler sistem yoluyla taşınıp meyveye aktarılabilirliğini belirtmiştir. Armut meyvesinde tespit edilen düşük Pb konsantrasyonu, bu türün meyve dokularında kurşun biriktirme eğiliminin oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Demirezen ve Aksoy (2006) Türkiye'de yetiştirilen çeşitli meyve ve sebzelerde yaptıkları çalışmada, armut meyvesinde Pb birikiminin diğer meyve türlerine göre daha düşük olduğunu ve bu türün meyveye Pb taşınımını sınırlayan bir metabolik özelliğe sahip olabileceğini vurgulamıştır. Bu bulgu aynı zamanda Armut türünün, meyve güvenliği açısından tüketici sağlığına yönelik riskin daha düşük olduğu meyveler arasında değerlendirilebileceğini göstermektedir.



Şekil 4.34. Meyve türlerinin meyvelerinde Pb konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

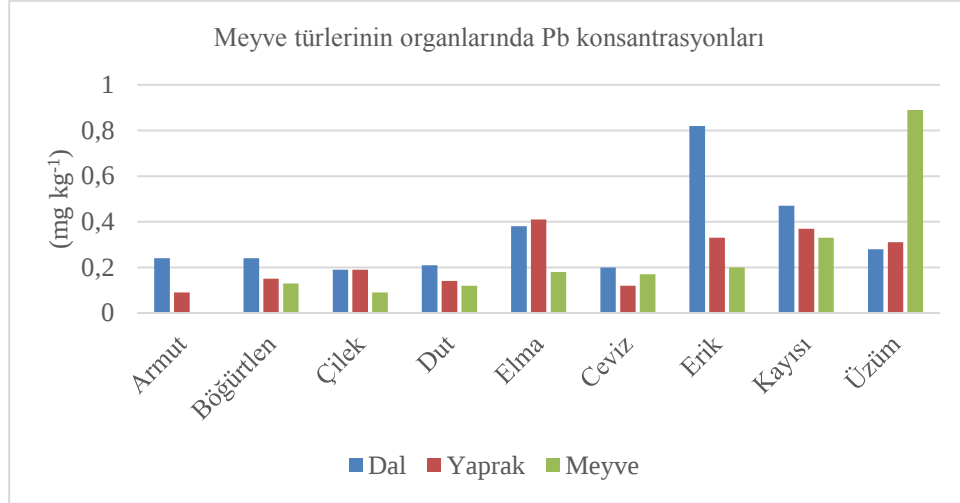
Şekil 4.35 verilerine göre, yaprak organında Pb (kurşun) birikimi açısından en yüksek değer Elma (*Malus domestica*) yapraklarında, en düşük değer ise Armut (*Pyrus communis*) yapraklarında tespit edilmiştir. Bu bulgular, farklı türlerin yaprak dokularının ağır metal alımında ve akümüülasyonunda farklı kapasitelere sahip olduğunu göstermektedir. Yapraklarda yüksek Pb birikimi, genellikle iki ana yolla gerçekleşir: (1) kök aracılığıyla topraktan alınan Pb'nin ksilem yoluyla taşınması, (2) yaprak yüzeyine doğrudan atmosferik çökeltme (örneğin egzoz gazları, sanayi emisyonları). Güleriyüz vd. (2010), elma yapraklarının çevresel kirlleticileri yaprak yüzeyinde tutma ve alma kapasitesinin yüksek olduğunu, özellikle karayollarına yakın yetiştirilen elmalarda Pb seviyelerinin yaprakta yüksek çıktığını belirtmiştir. Benzer şekilde, Çelik ve Türkyılmaz (2005) tarafından yapılan bir çalışmada, elma ağaçlarının yapraklarında Pb'nin biriktiği ve bunun tarım yapılan bölgenin kirlilik düzeyine duyarlı olduğu vurgulanmıştır. Armut yapraklarında tespit edilen düşük Pb düzeyi, bu türün ya Pb'yi absorbe etme kapasitesinin düşük olduğunu ya da yapraklarda tutulan Pb'yi hızla detoksifiye ettiğini göstermektedir. Demirezen ve Aksoy (2006) çalışmalarında, Armut yapraklarında Pb birikiminin minimal düzeyde olduğunu, bu nedenle Armut'un fitoremediasyon kapasitesinin düşük ancak tüketici açısından daha güvenli bir tür olabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 4.35. Meyve türlerinin yapraklarında Pb konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.36’da incelenen tüm meyve türlerine ait üç organın (meyve, yaprak ve dal) Pb (kurşun) konsantrasyonları bir arada gösterilmektedir. Bu şekle göre: Meyve kısmında, en yüksek Pb konsantrasyonu Üzüm meyvesinde, en düşük Pb konsantrasyonu ise Armut meyvesinde tespit edilmiştir. Yaprak organında, en yüksek Pb konsantrasyonu Kayısı, Elma ve Erik yapraklarında; en düşük Pb konsantrasyonu ise Armut yapraklarında gözlemlenmiştir. Dal organında, en yüksek Pb konsantrasyonu Erik dallarında, en düşük Pb konsantrasyonu ise Çilek, Dut ve Ceviz türlerinin dallarında belirlenmiştir. Bu sonuçlar, özellikle ağır metal birikiminin türler arasında değişebileceğini ve meyve dokusunda birikimin tüketim açısından risk oluşturabileceğini ortaya koymaktadır. Yapraklarda en yüksek Pb konsantrasyonu Kayısı, Elma ve Erik türlerinde gözlenmiş; Armut türünün yapraklarında ise oldukça düşük düzeyde Pb bulunmuştur. Dallarda ise Pb birikiminin en yüksek olduğu tür Erik, en düşük olduğu türler ise Çilek, Dut ve Ceviz olarak belirlenmiştir. Literatürde, benzer şekilde Pb’nin bazı meyve türlerinde yüksek düzeylerde birikebildiği bildirilmiştir. Örneğin Tokaloğlu vd (2007), kentsel alanlarda yetiştirilen sebze ve meyvelerde Pb birikiminin türler arası belirgin farklılıklar gösterdiğini ve özellikle üzüm gibi türlerde Pb düzeylerinin yüksek olabildiğini vurgulamıştır. Ayrıca, Sharma ve Dubey (2005), Pb’nin bitki dokularında en fazla kök ve dal gibi destek dokularında biriktiğini, ancak yaprak ve meyvelerde de taşınabildiğini belirtmiştir. Bu bağlamda, çalışmamızdaki bulgular hem toksikolojik açıdan hem de bitkisel biyobirikim süreçlerinin anlaşılması açısından önemlidir. Sonuç olarak, Üzüm, Elma, Erik ve Kayısı

gibi türlerin bazı organlarında tespit edilen yüksek Pb seviyeleri, bu ürünlerin yetiştirildiği çevredeki olası Pb kirliliği kaynaklarının araştırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Özellikle insan tüketimine sunulan meyve kısımlarında ağır metal birikiminin minimum düzeyde olması, halk sağlığı açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 4.36. Meyve türlerinin organlarında Pb konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

4.10. Zn Konsantrasyonu

Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre, Zn konsantrasyonu ortalama olarak en yüksek dal (19,40 mg kg⁻¹) kısmında, en düşük ise meyve (9,02 mg kg⁻¹) kısmında tespit edilmiştir. Türler arasında en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu Erik (20,01 mg kg⁻¹) türünde, en düşük ise Üzüm (9,58 mg kg⁻¹) ve Dut (10,88 mg kg⁻¹) türlerinde belirlenmiştir. Tür ve organ etkileşiminde ise en yüksek değer Erik dalında (45,23 mg kg⁻¹), en düşük değer Armut meyvesinde (0,73 mg kg⁻¹) saptanmıştır (Tablo 4.10). Bu bulgular, daha önce yapılmış çeşitli çalışmalarla hem paralellik hem de farklılık göstermektedir: Tokaloğlu vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, Erzurum ilinde toplanan sebze ve toprak örneklerinde Zn konsantrasyonunun 2,3–37,5 mg kg⁻¹ arasında değiştiği bildirilmektedir. Bu aralık, çalışmadaki dal kısmında saptanan yüksek Zn konsantrasyonu ile örtüşmektedir. Demirezen ve Aksoy (2004), çeşitli sebzelerde yaptıkları çalışmada Zn konsantrasyonunun 5–30 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini ve özellikle yapraklı sebzelerde birikimin daha fazla olduğunu belirtmiştir. Bu, dal ve yaprak gibi vejetatif kısımlarda Zn'nin daha fazla biriktiğini gösteren çalışma bulgusuyla uyumludur. Kacar ve İnal (2008), çinkonun bitki

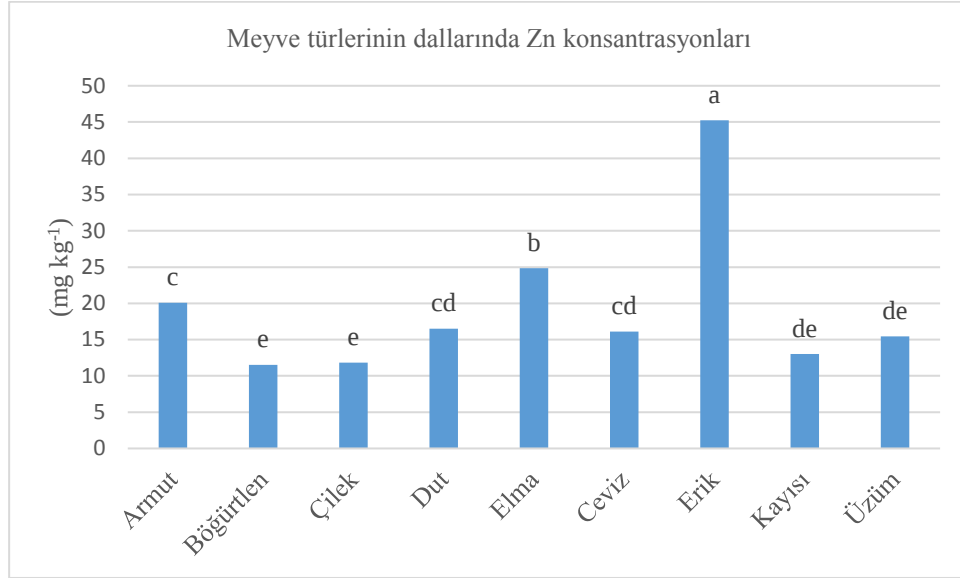
fizyolojisinde önemli bir mikro besin elementi olduğunu, genellikle yaprak ve genç dokularda biriktiğini, meyve gibi üreme organlarında ise nispeten daha az bulunduğunu belirtmişlerdir. Bu, meyvelerde Zn düzeyinin düşük olmasını açıklamaktadır. Yaman vd. (2013), meyve ağaçlarında yapılan analizlerde Zn konsantrasyonlarının organlara göre farklılık gösterdiğini, özellikle bazı türlerde dal ve yapraklarda birikimin daha yüksek olduğunu raporlamışlardır. Bu da çalışmada ortaya konulan tür*organ interaksyonu bulgularını desteklemektedir.

Tablo 4.10. Zn konsantrasyonuna ait ortalama değerler (mg kg⁻¹)

	Türler	Bitki kısımları			
		Dal	Yaprak	Meyve	Ortalama
1	Armut	20,10c**	14,64def	0,73n	11,82CD**
2	Böğürtlen	11,52f-ı	9,49h-k	12,20e-ı	11,07CDE
3	Çilek	11,82e-ı	11,82e-ı	13,87def	12,50CD
4	Dut	16,50cd	11,61f-ı	4,52lm	10,88DE
5	Elma	24,86b	7,29kl	3,15mn	11,76CD
6	Ceviz	16,12d	7,79jkl	26,10b	16,67B
7	Erik	45,23a	10,19g-k	4,62lm	20,01A
8	Kayısı	13,01d-h	13,76d-g	11,31f-j	12,69C
9	Üzüm	15,43de	8,61ijk	4,69lm	9,58D
	Ortalama	19,40A**	10,58B	9,02C	

Şekil 4.37'ye göre, en yüksek Zn konsantrasyonu Erik (*Prunus domestica*) türünün dalında (45,23 mg kg⁻¹), en düşük Zn konsantrasyonu ise Böğürtlen (*Rubus fruticosus*) ve Çilek (*Fragaria vesca*) türlerinin dallarında tespit edilmiştir. Bu bulgu, türler arası Zn alımı ve dağılımının farklılık gösterdiğini ve özellikle odunsu dokularda tür bazlı birikim potansiyelinin değiştiğini ortaya koymaktadır. Satar vd. (2015), meyve ağaçlarında Zn elementinin yaprak ve dal gibi vejetatif dokularda daha yüksek oranlarda bulunduğunu; meyveye göre daha fazla Zn akümüle ettiğini raporlamıştır. Erik gibi odunsu yapıya sahip türlerde Zn birikimi, toprak yapısı, türün kök yapısı ve taşıma kapasitesiyle ilişkilidir. Korkmaz ve Korkmaz (2017), toprak ve bitki örneklerinde yaptıkları çalışmada, Çilek bitkisinin Zn'yi sınırlı miktarda alıp özellikle yaprak ve gövde dokularında düşük düzeyde biriktirdiğini belirtmiştir. Demirezen ve Aksoy (2004) de, Çilek ve benzeri otsu türlerde Zn konsantrasyonlarının 5–15 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini; bu değerın meyve ağaçlarının odunsu kısımlarındaki Zn düzeylerine göre daha düşük olduğunu göstermiştir. Zn'nin bitkilerdeki dağılımı, sadece ortam koşullarıyla değil, aynı zamanda türlerin genetik

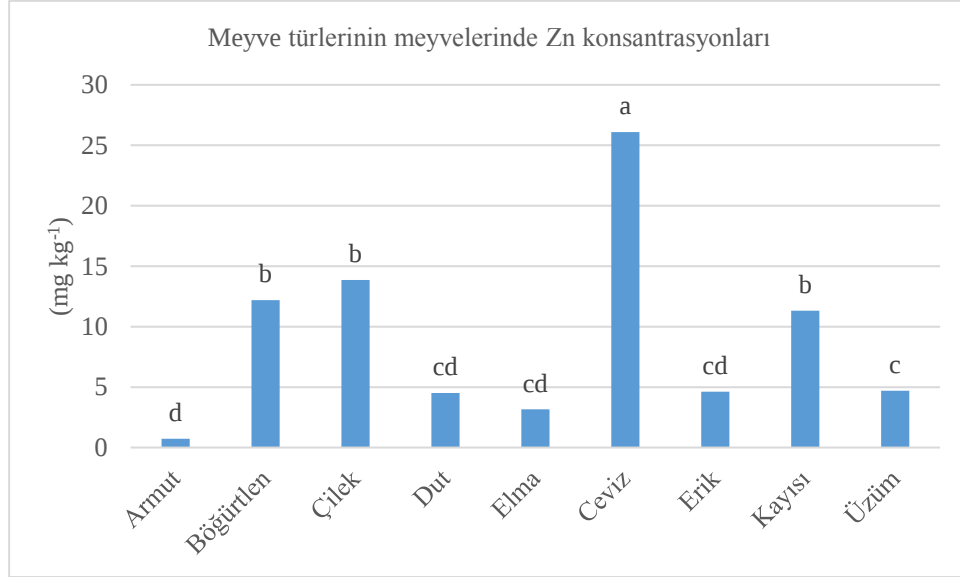
özellikleri, kök yapıları ve element taşıma mekanizmaları ile doğrudan ilişkilidir. Odunsu bitkilerde genellikle Zn'nin dallarda birikimi daha yüksek olurken, otsu ve yüzeysel köklü türlerde bu birikim sınırlı kalabilmektedir (Alloway, 2008).



Şekil 4.37. Meyve türlerinin dallarında Zn konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.38 incelendiğinde, çalışmada değerlendirilen türlerin meyve kısımlarındaki Zn konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu şekle göre, en yüksek Zn konsantrasyonu Ceviz (*Juglans regia*) türünün meyvelerinde, en düşük Zn konsantrasyonu ise Armut (*Pyrus communis*) türünün meyvelerinde tespit edilmiştir. Bu durum, türlerin meyve dokularında Zn biriktirme kapasitelerinin farklılık gösterdiğini ve özellikle Ceviz türünün Zn alımı ve taşınmasında daha etkin bir tür olduğunu ortaya koymaktadır. Ceviz meyvesinin, yağ ve protein içeriği yüksek, yapısal olarak yoğun ve besin taşınımı bakımından aktif bir meyve olması, Zn gibi mikro besinlerin meyveye taşınmasını kolaylaştırmaktadır. Yaman vd. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, ceviz meyvesinde Zn konsantrasyonu 25–40 mg kg⁻¹ aralığında bulunmuş ve ceviz meyvesinin Zn biriktirme kapasitesinin yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu bulgu, Şekil 4.38’de yer alan yüksek Zn düzeyi ile paralellik göstermektedir. Milošević vd. (2014) de, farklı ceviz çeşitlerinde yaptıkları analizlerde meyvede biriken Zn düzeylerinin hem toprak yapısı hem de çeşide göre değişmekle birlikte genel olarak yüksek olduğunu raporlamışlardır. Armut meyvesinin daha suluk, daha az yağ içeren ve daha geçirgen bir dokuya sahip olması, Zn gibi mikro elementlerin meyveye taşınmasında sınırlayıcı olabilir. Ayrıca bazı armut

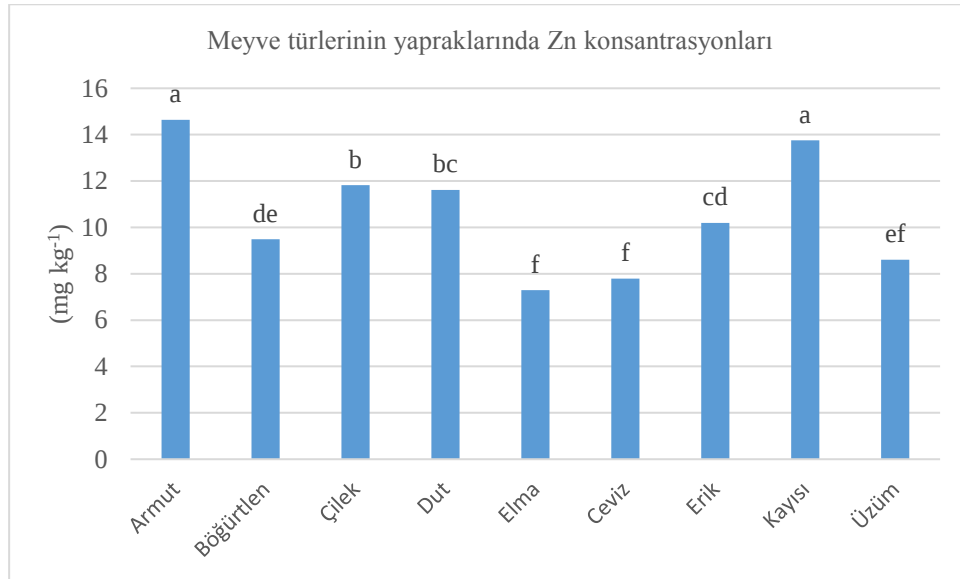
türlerinde Zn eksikliğine daha duyarlı genetik yapılar olduğu bildirilmiştir. Güneş vd. (2011), armut meyvelerinde Zn seviyelerinin diğer meyve türlerine kıyasla daha düşük olduğunu ve bazı çeşitlerde bu düşüklüğün fizyolojik bozukluklara (örn. kloroz) neden olabileceğini belirtmiştir.



Şekil 4.38. Meyve türlerinin meyvelerinde Zn konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.39 incelendiğinde, çalışmada değerlendirilen meyve türlerinin yaprak organlarındaki Zn konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu değerlendirmeye göre, en yüksek Zn konsantrasyonu Armut (*Pyrus communis*) ve Kayısı (*Prunus armeniaca*) türlerinin yapraklarında, en düşük Zn konsantrasyonu ise Elma (*Malus domestica*) ve Ceviz (*Juglans regia*) türlerinin yapraklarında tespit edilmiştir. Bu bulgular, yaprak dokularında Zn birikiminin türlere özgü olarak farklılık gösterdiğini ve özellikle Armut ile Kayısı türlerinin Zn'yi vejetatif dokularında daha etkin bir şekilde biriktirdiğini ortaya koymaktadır. Acar ve İnal (2008), Zn'nin bitkide özellikle genç yapraklarda ve büyüme noktalarında yoğunlaştığını ve aktif taşıma sistemiyle yapraklara taşındığını bildirmiştir. Armut ve Kayısı gibi türlerde, yüksek metabolik aktiviteye sahip yaprak dokuları bu birikimi artırabilmektedir. Erdal vd. (2016), Iğdır yöresinde yapılan bir çalışmada Kayısı yapraklarında Zn konsantrasyonunun 25–40 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini ve yaprak dokusunun bu elementi önemli ölçüde depolayabildiğini raporlamıştır. Bu bulgu, Kayısı yapraklarında yüksek Zn tespit edilmesiyle uyumludur. Yaman vd. (2013), Ceviz ve Elma türlerinde yaprak Zn düzeylerinin diğer türlere kıyasla daha düşük olduğunu ve

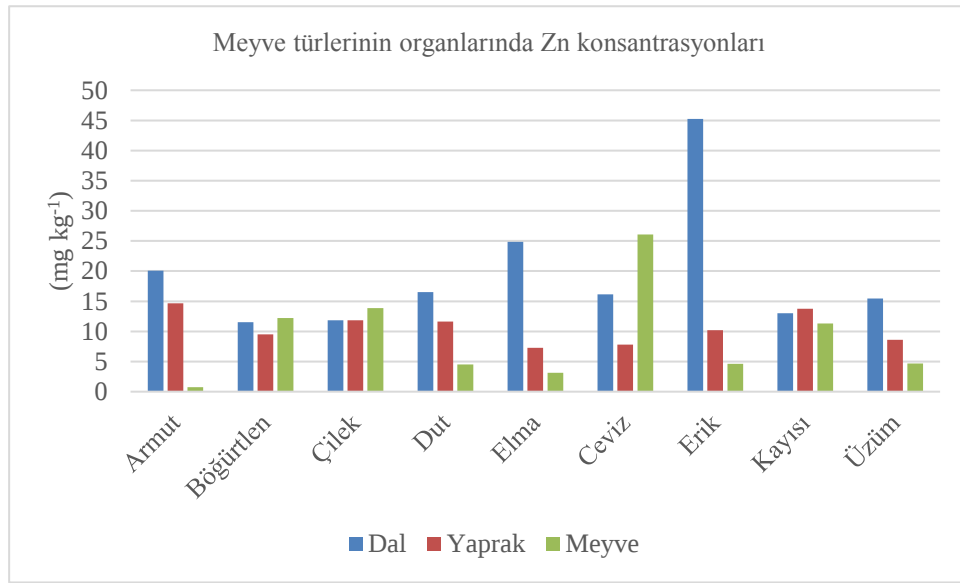
özellikle Ceviz’de yapraktaki Zn eksikliğinin yaygın olduğunu belirtmiştir. Bu durum hem toprak Zn alımının sınırlılığı hem de elementin dallardan yapraklara taşınmasındaki kısıtlılıkla ilişkilendirilmektedir. Alloway (2008) ise, Zn eksikliğine karşı daha duyarlı türlerde (örneğin Elma) yapraklarda kloroz ve gelişim geriliği gibi semptomların görüldüğünü, bu türlerin Zn alımında genetik olarak daha düşük kapasiteye sahip olduğunu vurgulamıştır.



Şekil 4.39. Meyve türlerinin yapraklarında Zn konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

Şekil 4.40’ta, çalışmada incelenen meyve türlerinin üç farklı organında (dal, yaprak, meyve) ölçülen Zn (çinko) konsantrasyonlarına ait karşılaştırmalı veriler sunulmaktadır. Dal bakımından değerlendirildiğinde, en yüksek Zn içeriği Erik (*Prunus domestica*) türünün dallarında, en düşük Zn içeriği ise Böğürtlen (*Rubus fruticosus*) ve Çilek (*Fragaria vesca*) türlerinin dallarında tespit edilmiştir. Yaprak organı incelendiğinde, en yüksek Zn konsantrasyonu Armut (*Pyrus communis*) yapraklarında; en düşük Zn konsantrasyonu ise Elma (*Malus domestica*), Üzüm (*Vitis vinifera*) ve Ceviz (*Juglans regia*) yapraklarında belirlenmiştir. Meyvede, en yüksek Zn konsantrasyonu Ceviz meyvesinde, en düşük Zn konsantrasyonu ise Armut meyvesinde tespit edilmiştir. Bu bulgular, türler ve organlar arasında Zn alımı ve birikiminin belirgin biçimde farklılık gösterdiğini ortaya koymakta ve bitki fizyolojisinde hem genetik faktörlerin hem de morfolojik özelliklerin etkili olduğunu göstermektedir. Satar vd. (2015), Erik ve benzeri meyve ağaçlarında Zn’nin çoğunlukla odunsu dokularda (dal, gövde) depolandığını ve Zn taşınımının bu kısımlarda daha yoğun

gerçekleştiğini bildirmiştir. Korkmaz ve Korkmaz (2017), Çilek bitkisinde Zn alımının düşük olduğunu, dal ve yaprak gibi organlarda Zn birikiminin sınırlı olduğunu raporlamıştır. Kacar ve İnal (2008), Zn'nin genellikle genç yapraklarda yoğunlaştığını ve aktif metabolik yapılarla taşındığını vurgulamıştır. Alloway (2008), bazı meyve türlerinin Zn taşınımında genetik sınırlamalar nedeniyle eksiklik semptomları gösterebileceğini, özellikle Elma ve Ceviz gibi türlerin Zn eksikliğine yatkın olduğunu ifade etmiştir. Yaman vd. (2013) ve Milošević vd. (2014), Ceviz meyvesinde Zn konsantrasyonunun yüksek olduğunu ve insan beslenmesinde önemli bir mineral kaynağı olduğunu belirtmişlerdir.

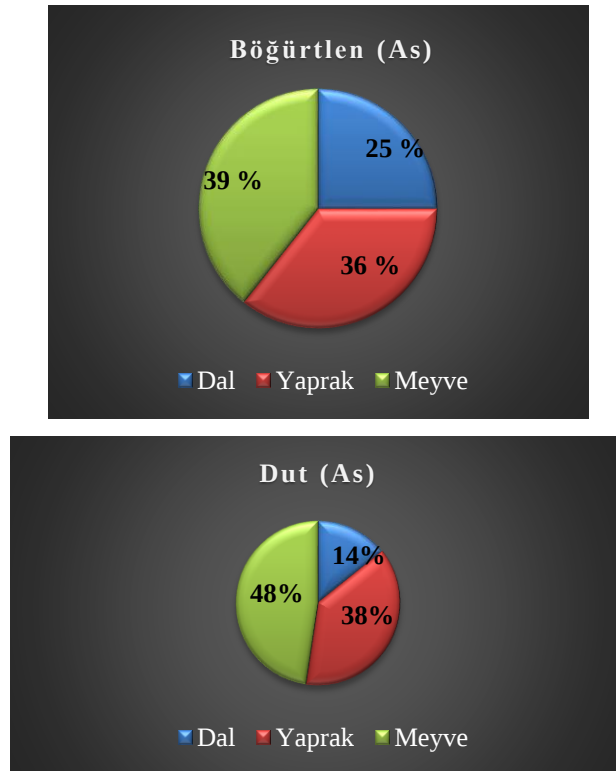


Şekil 4.40. Meyve türlerinin organlarında Zn konsantrasyonları (mg kg⁻¹)

4.11. Dal ve Yapraklara Göre Meyvelerinde, Daha Fazla Metal Akümüle Eden Türler

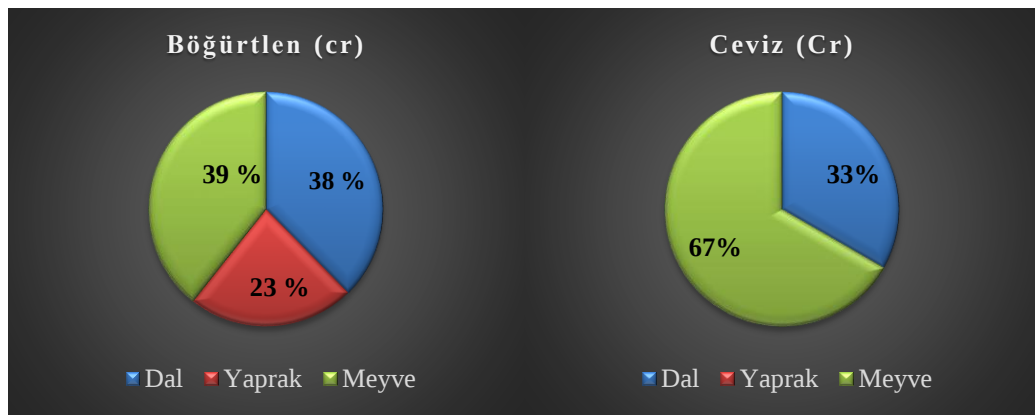
Metal akümüle edilmesi, bitkinin topraktan aldığı elementlerin (örneğin Zn, Cu, Fe, Pb, Cd vb.), çeşitli organlarında kök, gövde, yaprak, meyve birikmesi anlamına gelir. "Meyvede metal akümüle edilmesi" ise bu elementlerin meyve dokusunda birikmesidir. Bu çalışmada Böğürtlen (*Rubus fruticosus*) meyvesinde arsenik (As) birikiminin bitki organlarına göre dağılımı, dalda %25, yaprakta %36 ve meyvede %39 olarak belirlenmiştir. Dut (*Morus alba*) meyvesinde ise As birikimi oranları dalda %14, yaprakta %38 ve meyvede %48 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.41). Her iki türde de As elementinin en fazla meyve dokularında biriktiği, en az ise dal dokusunda biriktiği görülmektedir. Bu sonuçlar, meyve dokularının arsenik akümülyasyonunda önemli bir hedef doku olabileceğini göstermektedir.

Özellikle Dut meyvesinde As birikiminin %48 gibi yüksek bir orana ulaşması, bu türün çevresel arsenik varlığında fitotoksik riskin doğrudan tüketiciye yansıyabileceğini göstermektedir. Bulgular, arsenik birikiminin bitkilerdeki dağılımına ilişkin daha önce yapılan çalışmalarla büyük ölçüde uyumludur. Örneğin: Finnegan ve Chen (2012), arsenik alımının ksilem-floem taşınımı yoluyla bazı türlerde meyve dokularına kadar ulaşabildiğini belirtmiş, yaprak ve meyvede özellikle arsenat (As^{5+}) formunun baskın olduğunu bildirmiştir. Zhao vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, arsenik içeren topraklarda yetiştirilen bazı meyve türlerinde, As'un özellikle metabolik olarak aktif olan meyve ve genç yapraklarda biriktiği ve bu birikimin bitki türü ile organına göre değişkenlik gösterdiği rapor edilmiştir. Türkiye’de yapılan bir araştırmada, Karadeniz Bölgesi’nden toplanan bazı meyve türlerinde meyve dokusunda arsenik birikimi saptanmış; bu birikimin özellikle kirli sanayi bölgelerine yakın örneklemelerde daha yüksek olduğu vurgulanmıştır (Yaman, 2006). Bu literatür ışığında, çalışmanızda elde edilen bulguların, arsenik kontaminasyonunun tüketilebilir bitki kısımlarında birikme riski taşıdığını gösteren mevcut bilgilerle tutarlı olduğu söylenebilir. Aynı zamanda bu türler, potansiyel arsenik biyokümülatörü olarak değerlendirilebilir.



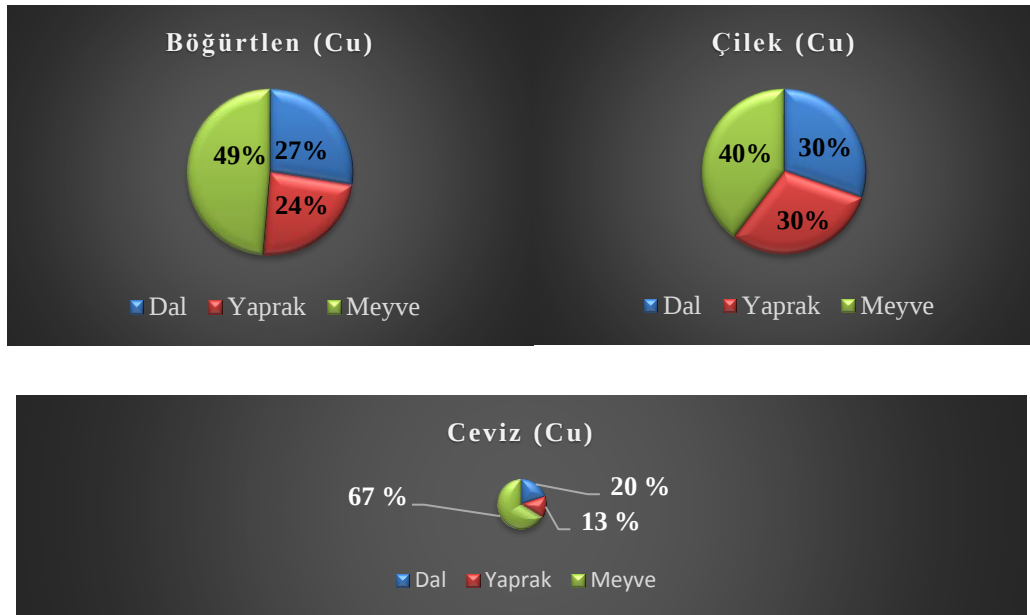
Şekil 4.41. Meyvesinde daha fazla As içeren türler.

Şekil 4.42'ye göre, Böğürtlen (*Rubus fruticosus*) meyvesinde krom (Cr) birikiminin bitki organlarına göre dağılımı; dalda %38, yaprakta %23 ve meyvede %39 oranında gerçekleşmiştir. Ceviz (*Juglans regia*) meyvesinde ise bu oranlar dalda %33, yaprakta %0 ve meyvede %67 olarak belirlenmiştir. Bu bulgulara göre, özellikle ceviz türü, Cr elementini yoğun şekilde meyve dokusunda biriktiren bir tür olarak öne çıkmaktadır. Ceviz meyvesinde %67 oranındaki Cr birikimi, diğer bitki kısımlarına göre oldukça yüksek olup, bu durum Cr'un floem taşınımı ile doğrudan meyve dokusuna yönlendiğini ve bu türün meyvesinin Cr açısından yüksek bir akümülyasyon potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Böğürtlen türünde ise dağılım daha dengeli olmakla birlikte, Cr'un en çok meyvede biriktiği dikkat çekmektedir. Shanker vd. (2005), Cr'un bitki fizyolojisinde toksik bir metal olduğunu ve bazı türlerde Cr'un, özellikle meyve ve tohum gibi üreme dokularında birikebildiğini ifade etmiştir. Cr'un taşınabilirliği sınırlı olmasına rağmen, belirli türlerin meyveye yüksek oranda Cr taşınmasına neden olabildiği belirtilmiştir. Zayed ve Terry (2003), Cr'un köklerde yoğun şekilde tutulduğunu, ancak bazı bitkilerde özellikle Cr (III) formunun floem taşınımıyla meyve ve yaprak gibi yukarı dokulara ulaşabildiğini vurgulamıştır. Cr (III)'ün bitki tarafından alınması Cr (VI)'ya göre daha sınırlı olmakla birlikte, bazı bitki türlerinde meyvede birikim oranları yüksek bulunmuştur. Türkiye'de yapılan bazı bölgesel çalışmalar da ceviz ve benzeri ağaç türlerinin meyvelerinde Cr birikimine rastlandığını bildirmiştir. Bu çalışmalar, endüstriyel ve madencilik faaliyetlerine maruz kalan bölgelerde yetişen ağaçların meyvelerinde Cr birikiminin gıda güvenliği açısından risk oluşturabileceğini vurgulamıştır (Demirezen ve Aksoy, 2004).



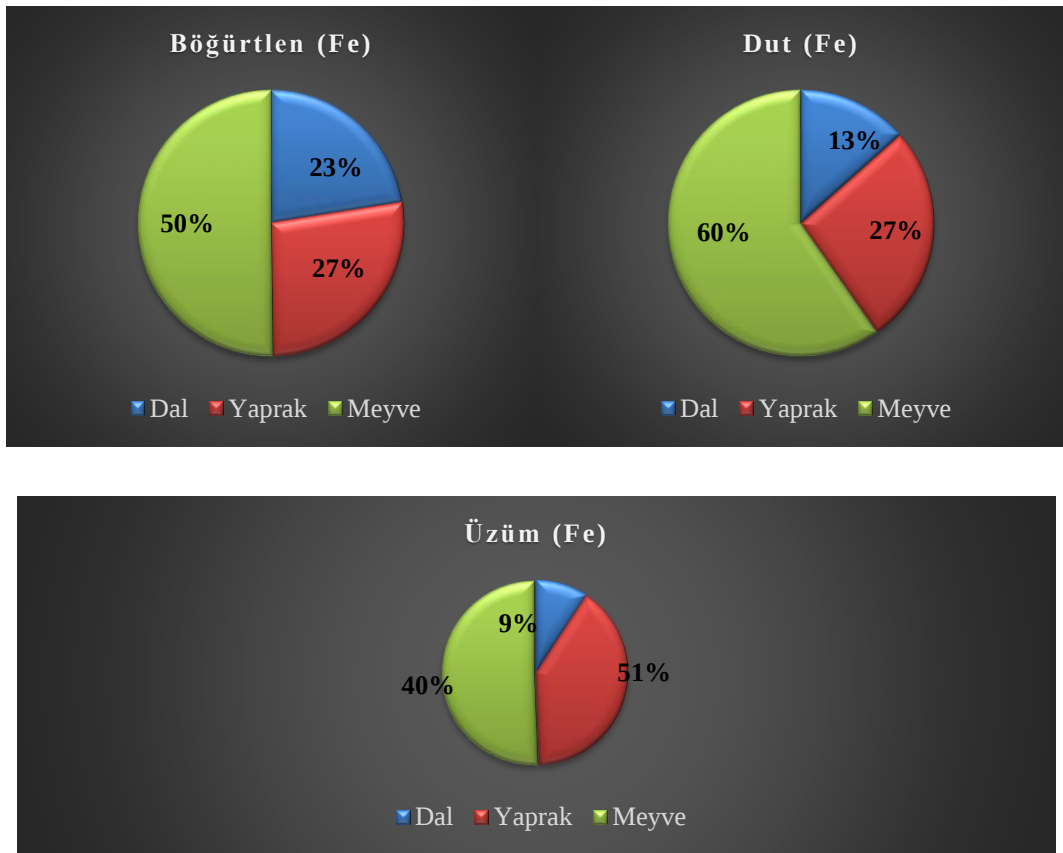
Şekil 4.42. Meyvesinde daha fazla Cr içeren türler

Şekil 4.43'e göre, Böğürtlen (*Rubus fruticosus*) meyvesinde bakır (Cu) birikiminin bitki organlarına göre dağılımı; dalda %27, yaprakta %24 ve meyvede %49 oranında gerçekleşmiştir. Ceviz (*Juglans regia*) meyvesinde ise bu oranlar dalda %20, yaprakta %13 ve meyvede %67 olarak belirlenmiştir. Çilek (*Fragaria vesca*) meyvesinde dalda %30, yaprakta %30 ve meyvede ise %40 Cu birikimi olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, özellikle Ceviz türü, Cu birikimini büyük oranda meyve kısmında gerçekleştirmektedir. Böğürtlen ve Çilek türlerinde de meyvede birikim baskındır ancak oranlar daha dengelidir. Bu durum, söz konusu türlerin Cu taşınımında farklı fizyolojik stratejilere sahip olduğunu göstermektedir. Alloway (2013), Cu'un esansiyel bir mikroelement olduğunu, ancak fazlalığının toksik etkiler gösterebileceğini belirtmiştir. Cu'un bitkide floem aracılığıyla taşındığını ve genellikle aktif dokularda (örneğin meyveler) birikebildiğini ifade etmiştir. Yruela (2005), bakırın özellikle fotosentez, lignin biyosentezi ve oksidatif savunma sistemlerinde görevli olduğunu, bu nedenle yaprak ve meyve gibi metabolik olarak aktif organlarda yüksek oranlarda birikebildiğini bildirmiştir. Ceviz gibi türlerde meyvede yüksek Cu birikimi, bu türün meyve dokusunda Cu taşıma ve tutma kapasitesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Kabata-Pendias (2011), toprakta yüksek Cu içeriği bulunan alanlarda yetişen bitkilerde, özellikle meyve dokularında aşırı Cu birikiminin yaygın olduğunu ve bu birikimin türler arasında önemli farklılıklar gösterebileceğini vurgulamıştır.



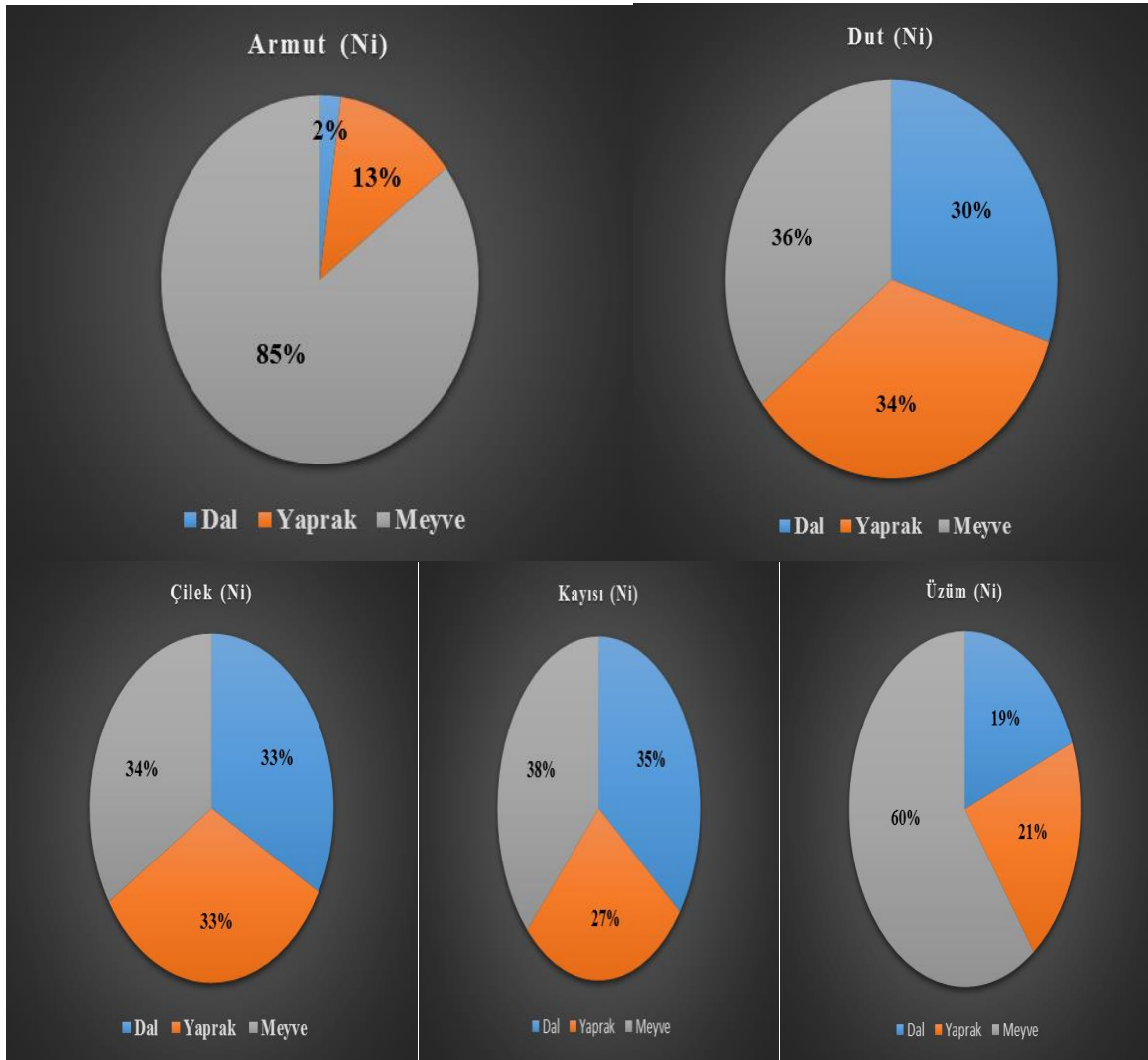
Şekil 4.43. Meyvesinde daha fazla Cu içeren türler

Meyvesinde daha fazla Fe içeren türlere ait oransal dağılımlar Şekil 4.44'te verilmiştir. Böğürtlen meyvesinin meyvesinde %50, yaprağında %27 ve dalında ise %23 oranında, dut meyvesinin meyvesinde %60, yaprağında %27 ve dalında ise %13, üzüm meyvesinin meyvesinde %40, yaprağında %51 ve dalında ise %9 oranında Fe biriktiği belirlenmiştir. Fe birikiminin meyve kısmında yoğunlaştığı türler özellikle dut ve böğürtlenle belirgindir. Bu sonuçlar, bazı meyve türlerinin Fe'yi gıda olarak tüketilen organlarda depolama kapasitesinin yüksek olabileceğini göstermektedir. Böğürtlen ve Dut türlerinde yüksek Fe birikimi, daha önce yapılan bazı çalışmalarda da desteklenmiştir. Örneğin: Böğürtlen meyvesinde Fe içeriğinin 5,9–7,8 mg/kg arasında değiştiği ve yapraklarında bu değerin daha düşük olduğu bildirilmiştir (Mikulic-Petkovsek vd., 2012). Dut türlerinde Fe birikiminin özellikle meyvelerde yüksek düzeyde olduğu, yapraklarda ise daha az olduğu görülmüştür (Gündoğdu vd., 2013). Üzümde ise yaprakta daha fazla Fe biriktiği görülmektedir. Bu sonuç, üzüm yaprağının geleneksel tüketim şekli (örneğin sarma yapımı gibi) açısından önemli olabilir. Literatürde de üzüm yapraklarında meyveye kıyasla daha fazla Fe bulunduğu rapor edilmiştir (Ribéreau-Gayon vd., 2006).



Şekil 4.44. Meyvesinde daha fazla Fe içeren türler

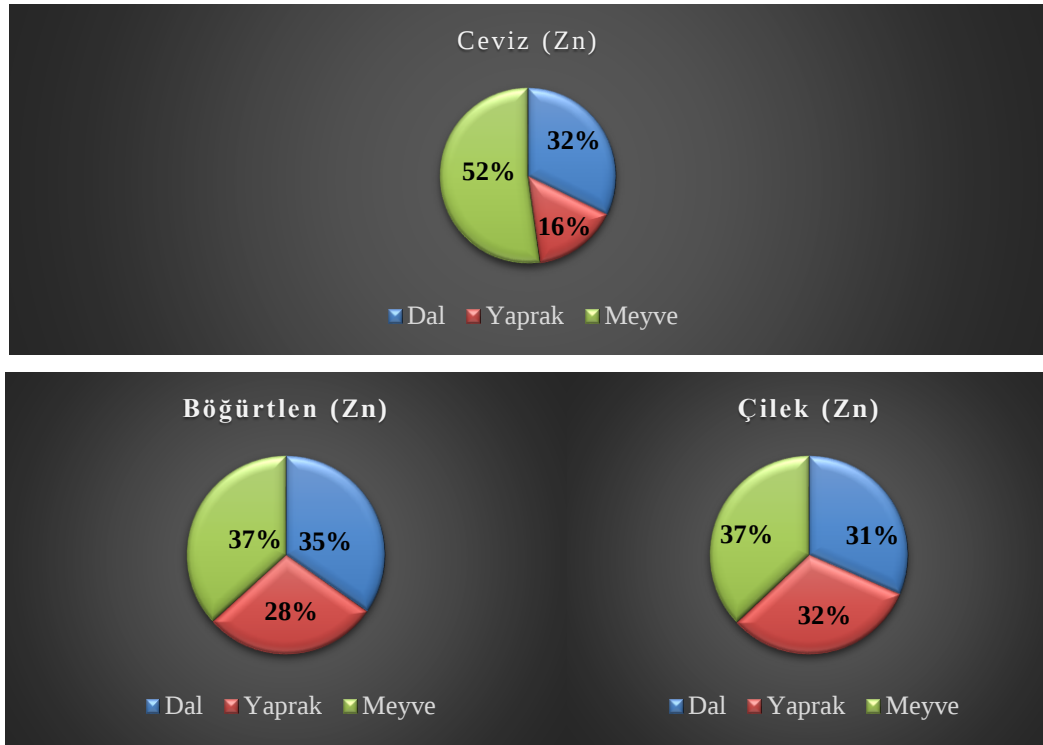
Meyvesinde daha fazla Ni içeren türlerin meyve, dal ve yapraklarında biriken Ni miktarına ait oransal dağılım Şekil 4.45’de verilmiştir. Armut meyvesinin meyvesinde %85, dalında %2 ve yaprağında ise %13, dut meyvesinin dalında %30, yaprağında %34 ve meyvesinde ise %36, çilek meyvesinin dalında %33, yaprağında %33 ve meyvesinde ise %34, kayısı meyvesinin dalında %35, yaprağında %27 ve meyvesinde ise %38, üzüm meyvesinin dalında %19, yaprağında %21 ve meyvesinde ise %60 oranında Ni birikimi olduğu belirlenmiştir. Armut (*Pyrus communis*) türü meyvesinde %85 oranında Ni biriktirmekte olup, bu oran oldukça yüksektir. Bu durum, armut meyvesinin nikel açısından bir birikim organı olabileceğini göstermektedir. Ancak literatürde armutta Ni birikimine dair sınırlı veri bulunmaktadır. Yine de *Pyrus* türlerinin topraktan metallerin alımına açık olduğu ve özellikle kirli bölgelerde ağır metal birikimi gösterebildiği bildirilmiştir (Sharma ve Dubey, 2005). Dut (*Morus spp.*) dengeli bir dağılım göstermekte; her üç organda da neredeyse eşit düzeyde Ni birikmiştir. Bu türün fitoremediasyon potansiyeline sahip olduğu literatürde de belirtilmiştir (Yoon vd., 2006). Çilek (*Fragaria × ananassa*) türü de tıpkı dut gibi dengeli bir dağılım sergilemekte, bu da çileğin Ni elementini tüm bitki dokularında benzer oranlarda depoladığını gösterir. Çilek bitkisinin yapraklarında ve meyvesinde nikel birikimi görülebileceği daha önceki çalışmalarla da desteklenmiştir (Kaczynska vd., 2015). Kayısı (*Prunus armeniaca*) türü Ni’yi en fazla meyvesinde (%38) ve dalında (%35) biriktirmiştir. Bu da meyvede ağır metal birikimi açısından dikkatli olunması gerektiğini gösterir. *Prunus* türlerinin, özellikle metal kirliliğine açık alanlarda yaprak ve meyvelerinde metal biriktirebildiği rapor edilmiştir (Radojevic ve Bashkin, 2006). Üzüm (*Vitis vinifera*) türü ise meyvesinde %60 oranında Ni biriktirmektedir. Bu sonuçlar, üzüm meyvesinin nikel için bir birikim organı olabileceği görüşünü destekler. Ribéreau-Gayon vd (2006), bağcılıkta çevresel koşullara bağlı olarak meyvelerde bazı metal birikimlerinin görülebildiğini belirtmiştir.



Şekil 4.45. Meyvesinde daha fazla Ni içeren türler

Meyvesinde daha fazla Zn içeren türlerin dal yaprak ve meyvelerinde biriken Zn miktarlarının oransal dağılımı Şekil 4.46’da verilmiştir. Cevizin dalında biriken Zn oranı %32, yaprağında biriken zn oranı %16 ve meyvesinde biriken zn oranı ise %52 olarak belirlenmiştir. Böğürtlen meyvesinde dalda biriken zn oranı %35, yaprakta biriken zn oranı %28 ve meyvede biriken zn oranı ise %37 olarak tespit edilmiştir. Çilek meyvesinde dalda biriken zn oranı %31, yaprakta biriken zn oranı %32 ve meyvede biriken zn oranı ise %37 olarak belirlenmiştir. Literatürde ceviz meyvesinin Zn bakımından zengin olduğu rapor edilmiştir. Özellikle mineral madde içeriği yüksek gıdalar arasında yer alır (Küçükyılmaz vd., 2013). Bununla birlikte, Zn’nin özellikle toprakta yeterli olduğu koşullarda ceviz meyvesinde biriktiği bildirilmiştir (Karakaya vd., 2015). Bu sonuçlar, böğürtlenin Zn’yi

yalnızca meyvede değil, vejetatif dokularda da depoladığını göstermektedir. Mikulic-Petkovsek vd. (2012), böğürtlen meyvelerinde ortalama 2.3–3.5 mg/kg Zn konsantrasyonu bildirmiştir. Bu oranlar yaprak ve dalda daha düşüktür. Bu durum, çileğin Zn elementini bitkinin tüm kısımlarında dengeli bir şekilde depoladığını gösterir. Kaczynska vd. (2015), çilekte Zn birikiminin çevresel koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini, ancak yaprakta ve meyvede benzer düzeylerde bulunabildiğini belirtmiştir.



Şekil 4.46. Meyvesinde daha fazla Zn içeren türler

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı meyve türleri ve bunların dal, yaprak ve meyve organlarında ağır metal birikim düzeyleri incelenmiş ve elde edilen bulgular literatür ışığında değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, ağır metallerin bitki organlarında nasıl dağıldığını ortaya koymak ve gıda güvenliği ile çevresel riskler açısından olası sonuçları tartışmaktır. Araştırma sonuçlarına göre, türler arasında ve organlar bazında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Genel eğilim, ağır metallerin dal ve yaprak gibi vejetatif organlarda daha yüksek oranlarda biriktiğini, meyve organlarında ise görece daha düşük düzeylerde bulunduğunu göstermektedir. Bu durum, bitkilerin toksik elementleri daha çok büyüme ve taşıma işlevi gören kısımlarında depolama eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, böğürtlen, çilek ve dut gibi küçük meyveli türlerde Cd, Cr ve As gibi toksik elementlerin yüksek düzeyde biriktiği belirlenmiştir. Bu türlerin yüzeysel kök yapıları nedeniyle toprağın üst tabakasındaki metalleri daha kolay absorbe ettiği düşünülmektedir. Ayrıca bu bitkilerin ince dalları ve geniş yaprak yüzeyleri, metal taşınımını kolaylaştırmakta ve birikimin artmasına neden olmaktadır. Buna karşılık ceviz ve armut gibi türlerde ağır metal birikimi oldukça düşük seviyelerde kalmıştır. Özellikle ceviz türünün hem meyve hem de yapraklarında çok düşük değerler tespit edilmiştir. Bu durum, ceviz bitkisinin metal alımını sınırlayan fizyolojik ve genetik özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Sonuçlar ayrıca, bazı meyve türlerinin çevresel kirliliğin biyolojik göstergesi (biyomonitor) olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Örneğin, böğürtlen ve kayısı gibi türler yüksek birikim kapasiteleri sayesinde çevresel risklerin tespitinde kullanılabilir. Bu türler aynı zamanda fitoremediasyon (kirleticilerin bitkiler aracılığıyla topraktan uzaklaştırılması) çalışmalarında da değerlendirilebilir. Buna karşılık ceviz ve armut gibi düşük birikim özelliği gösteren türler, tüketici sağlığı açısından daha güvenli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Çalışmadan elde edilen bir diğer önemli bulgu, organ bazındaki farklılıklardır. Genel olarak en yüksek metal birikimi dallarda, ardından yapraklarda, en düşük ise meyvelerde tespit edilmiştir. Bu bulgu, meyvelerin tüketim açısından daha düşük risk taşıdığını gösterse de bazı türlerde (örneğin böğürtlen meyvesinde Cd, üzüm meyvesinde

Pb, armut meyvesinde Ni) dikkat edilmesi gereken seviyeler gözlenmiştir. Özellikle meyve kısmı doğrudan tüketilen türlerde bu durum halk sağlığı açısından önem taşımaktadır.

Bulgular, ağır metal birikiminin sadece bitki türüne bağlı olmadığını, aynı zamanda çevresel koşulların da etkili olduğunu göstermektedir. Toprak pH'sı, organik madde miktarı, sulama suyunun kalitesi ve atmosferik kirlilik gibi faktörler, bitkilerin ağır metal alımını doğrudan etkilemektedir. Örneğin, yol kenarında yetiştirilen türlerin Pb birikiminin daha yüksek olduğu; endüstriyel bölgelerde yetiştirilen türlerde ise Cr ve Ni düzeylerinin arttığı daha önce yapılan araştırmalarla da ortaya konmuştur.

Gıda güvenliği açısından değerlendirildiğinde; meyve dokularında ağır metal birikimi genel olarak düşük olsa da bazı türlerde riskli seviyelere yaklaşan değerler görülmüştür. Bu nedenle özellikle böğürtlen, dut, kayısı ve üzüm gibi türlerde üretimden tüketime kadar geçen süreçte ağır metal içerikleri düzenli olarak izlenmelidir. Armut ve ceviz gibi düşük metal biriktiren türler, kirlilik riski yüksek bölgelerde gıda güvenliği açısından daha güvenli bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Doğrudan yaprakları tüketilen asma gibi bitkilerde, yapraklardaki ağır metal birikimi halk sağlığı açısından özel önem taşımaktadır. Bu nedenle asma yaprağı gibi ürünlerde düzenli analizler yapılmalı, gerekli durumlarda tüketim sınırlandırılmalıdır. Çevresel izleme ve fitoremediasyon durumu açısından incelendiğinde; böğürtlen, çilek ve dut gibi yüksek metal akümülayonuna sahip türler, çevresel kirliliğin tespitinde biyolojik gösterge olarak kullanılabilir. Bu türler ayrıca fitoremediasyon çalışmalarında da değerlendirilebilir. Özellikle Ni ve Cr birikiminde öne çıkan böğürtlen ve kayısı türleri, kirlenmiş alanların temizlenmesinde kullanılabilecek potansiyel bitkilerdir. Derin köklü bitkiler (örneğin üzüm) ağır metalleri daha çok alt tabakalardan çektiği için toprak profili hakkında da bilgi sağlayabilir. Tarımsal uygulamalar ve yönetim stratejileri noktasında tarım yapılan alanlarda düzenli olarak toprak analizleri yapılmalı; yüksek metal içerikli bölgelerde uygun tür seçimi ile risk en aza indirilmelidir. Yol kenarı, sanayi bölgeleri ve madencilik alanları gibi kirlilik riski yüksek yerlerde hassas türlerin yetiştirilmesinden kaçınılmalıdır. Tarımda kullanılan gübre ve ilaçların ağır metal içerikleri kontrol edilmeli; bakır içerikli ilaçların (örneğin bordo bulamacı) aşırı kullanımından kaçınılmalıdır. Bu çalışmada ortaya konan bulguların daha geniş coğrafi alanlarda doğrulanması önemlidir. Farklı iklim ve toprak koşullarında yapılacak araştırmalar, sonuçların genellenebilirliğini artıracaktır. Ağır metal birikiminde etkili olan genetik ve fizyolojik faktörlerin moleküler düzeyde araştırılması, daha dayanıklı

çeşitlerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Uzun vadeli izleme çalışmalarıyla, tüketici sağlığına yönelik risklerin daha sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Sonuç olarak, bu çalışma farklı meyve türleri ve organları arasında ağır metal birikimi bakımından önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Böğürtlen, çilek ve dut gibi türler yüksek birikim kapasiteleri nedeniyle çevresel risklerin izlenmesinde önemli rol oynayabilirken; ceviz ve armut gibi türler gıda güvenliği açısından daha güvenli seçenekler sunmaktadır. Elde edilen bulgular hem tüketici sağlığı hem de çevresel yönetim açısından dikkate alınması gereken önemli veriler sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

Abacı-Bayar, A. A. ve Boyacı, S. (2021). Bazı meyve bahçelerinin beslenme durumlarının belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(4), 940–950.

Aksoy, E., Doğan, M. ve Kaya, M. (2019). Elma (*Malus domestica*) yapraklarında mevsimsel mikroelement dağılımı. *Bahçe Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, 9(1), 18–26.

Ali, H., Khan, E. and Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881.

Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Springer Science and Business Media.

Arora, M., Kiran, B., Rani, S., Rani, A., Kaur, B. and Mittal, N. (2008). Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. *Food Chemistry*, 111(4), 811–815.

Baker, A. J. M. (1981). Accumulators and excluders -strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3(1–4), 643–654.

Broadley, M. (2000). *Nutrition of Higher Plants* (3rd ed., pp. 1–27). Academic Press, London.

Brown, J. C. (1978). Mechanism of iron uptake by plants. *Plant, Cell and Environment*, 1(4), 249–257.

Chunilall, V., Kindness, A. and Jonnalagadda, S. B. (2005). Heavy metal uptake by two edible *Amaranthus* herbs grown on soils contaminated with lead, mercury, cadmium and nickel. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 40(3), 375–384.

Clemens, S., Palmgren, M. G., ve Krämer, U. (2002). A long way ahead: Understanding and engineering plant metal accumulation. *Trends in Plant Science*, 7(7), 309–315.

Cui, Y. J., Zhu, Y. G., Zhai, R. H., Chen, D. Y., Huang, Y. Z., Qiu, Y. and Liang, J. Z. (2004). Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China. *Environment International*, 30(6), 785–791.

Çalışkan, O., Özgen, M., Serçe, S. and Kaya, C. (2012). Mineral content of different walnut (*Juglans regia* L.) genotypes. *Scientia Horticulturae*, (133), 111–114.

Çelik, A., ve Demir, T. (2005). Van ilinde yetiştirilen bazı sebzelerde ağır metal düzeylerinin araştırılması. *Ekoloji Dergisi*, 14(55), 1–5.

Çelik, A., ve Türkyılmaz, B. (2005). Determination of heavy metal accumulation in roadside orchard plants in Kayseri, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 101(1–3), 123–136.

Çelik, F. Yücecan, S. ve Aydın, A. F. (2016). Dut meyvesinin (*Morus* spp.) besin öğeleri ve sağlık üzerine etkileri. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 44(3), 245–251.

Delhaize, E., and Ryan, P. R. (1995). Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiology*, 107(2), 315–321.

Demir, T., Tüfekci, M., ve Çelik, A. (2011). Üzüm bitkisinde (*Vitis vinifera* L.) ağır metal birikimi üzerine bir araştırma. *Ekoloji Dergisi*, 20(80), 20–25.

Demiray, T., Yaman, M., ve Başaran, N. (2016). Determination of heavy metal contents of some fruits grown in Kahramanmaraş region. *Turkish Journal of Agriculture- Food Science and Technology*, 4(5), 331–336.

Demirezen, D., ve Aksoy, A. (2004). Accumulation of heavy metals in *Typha angustifolia* (L.) and *Potamogeton pectinatus* (L.) living in Sultan Marsh (Kayseri, Turkey). *Chemosphere*, 56(7), 685–696.

Demirezen, D., ve Aksoy, A. (2004). Heavy metal levels in vegetables in Turkey are within safe limits for Cu, Zn, Ni and exceeded for Cd and Pb. *Journal of Food Quality*, 27(5), 410–415.

Demirhan Aydın, Ş. (2017). Yol kenarı bahçelerinde yetiştirilen Zivzik narında ağır metal durumunun belirlenmesi [Yüksek lisans tezi, Siirt Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr>.

Demirtaş, A., Yılmaz, M., ve Çetin, H. (2020). Bazı meyve türlerinde mikroelement (Fe, Zn, Mn) dağılımının organlara göre karşılaştırılması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3), 415–422.

Dixit, V., Pandey, V. and Singh, A. (2002). Heavy metal toxicity in plants: a review on chromium. *Environmental Pollution*, (120), 35-44.

Doğan, M. (2018). Çilekte kadmiyum toksisitesi altındaki bitkiler üzerine hümkik asit ve silikonun etkileri [Yüksek lisans tezi, Siirt Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

El Rasafi, T., Oukarroum, A., Haddioui, A., Song, H., Kwon, E. E., Bolan, N., Tack, F. M. G., Sebastian, A., Prasad, M. N. V. And Rinklebe, J. (2022). Cadmium stress in plants: A critical review of the effects, mechanisms, and tolerance strategies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(5), 675-726.

EPA (Environmental Protection Agency). (2023). *Priority Pollutants List*. www.epa.gov.

Erdal, I., Yazıcı, A., ve Turan, M. (2016). Iğdır yöresinde yetiştirilen kayısı ağaçlarında yaprak analizleri ile beslenme durumu belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 97–104.

Fashola, M. O., Ngole-Jeme, V. M. and Babalola, O. O. (2016). *Heavy metal pollution from gold mines: environmental effects and bacterial strategies for resistance*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(11), 1047.

Fergusson, J. E. (1990). The heavy elements: Chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon Press.

Finnegan, P. M., and Chen, W. (2012). Arsenic toxicity: effects on plant metabolism. *Frontiers in Physiology*, (3), 182.

Ghosh, M. and Singh, S. P. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(1), 1–18.

Guerinot, M. L. and Yi, Y. (1994). Iron: nutritious, noxious, and not readily available. *Plant Physiology*, 104(3), 815-820.

Güleryüz, G., Arslan, H. and Karavelioglu, Y. (2010). Determination of atmospheric heavy metal pollution using leaves of fruit trees. *Ekoloji*, 19(74), 74–81.

Gündoğdu, M., Kaçar, Y. A. ve Dursun, N. (2013). Farklı meyve türlerinde mineral madde içeriklerinin belirlenmesi. *Gıda*, 38(5), 307–314.

Güneş, A., Çelik, H., İnal, A., ve Alpaslan, M. (2011). *Bitki Besleme ve Gübreleme*. Ankara: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

Hassan, M. U., Chattha, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Aamer, M., Nawaz, M. and Khan, T. A. (2019). Nickel toxicity in plants: reasons, toxic effects, tolerance mechanisms, and remediation possibilities—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 12673-12688.

Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew B. B and Beeregowda K. N. (2014). *Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals*. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2): 60–72.

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils and plants* (3rd ed.). CRC Press.

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (2001). *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press.

Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants* (4th ed.). CRC Press.

Kabataş, N., Ünal, M., ve Topçu, A. (2009). Ceviz (*Juglans regia* L.) meyvesi ve yaprağında bazı ağır metal (Pb, Cd, Cu, Zn) düzeylerinin araştırılması. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(2), 13–18.

Kacar, B., ve İnal, A. (2008). *Bitki Besleme*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

Kaczynska, E., Królak, E. and Bosiacki, M. (2015). Heavy metal contents in selected fruit and vegetables from the area of Poland. *Environmental Protection and Natural Resources*, 26(4), 37–40.

Karadeniz, F., Durst, R. W. and Wrolstad, R. E. (2018). Böğürtlen ve benzeri küçük meyvelerde fenolik bileşikler ve mineral madde içeriği. *Gıda*, 43(2), 89–96.

Karadeniz, M., ve Osma, E. (2019). Malatya’da Yetişen Akdutlarda (*Morus alba* L.) Ağır Metal Birikiminin Belirlenmesi. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 12(2), 893-901.

Karakaya, A., Yıldırım, B., ve Aydın, M. (2015). Bazı ceviz (*Juglans regia* L.) çeşitlerinde mineral madde içerikleri. *Turkish Journal of Agriculture- Food Science and Technology*, 3(7), 500–504.

Kaur, H. and Garg, N. (2021). Zinc toxicity in plants: a review. *Planta*, 253(6), 129.

Khan, M. S., Zaidi, A. and Wani, P. A. (2014). Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture—a review. *Agronomy for Sustainable Development*, (27), 29–43.

Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y. M., Huang, Y. Z. and Zhu, Y. G. (2008). Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution*, 152(3), 686–692.

Kochian, L. V., Hoekenga, O. A. and Piñeros, M. A. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorus efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, (55), 459-493.

Kok, B., Forbush, B. and McGloin, M. (1970). Cooperation of charges in photosynthetic O₂ evolution—I. A linear four step mechanism. *Photochemistry and Photobiology*, 11(6), 457–475.

Korkmaz, E., ve Korkmaz, M. (2017). Bazı meyve türlerinde ağır metal birikiminin karşılaştırılması. *Meyve Bilimi Dergisi*, 4(2), 45–52.

Korkmaz, M., ve Demirtaş, A. (2017). Çilek bitkisinde (*Fragaria vesca*) demir ve çinko elementlerinin yaprak dokularındaki dağılımı. *Bitki Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 110–116.

Krewski, D., Yokel, R. A., Nieboer, E., Borchelt, D., Cohen, J., Harry, J. and Rondeau, V. (2007). Human health risk assessment for aluminium, aluminium oxide, and aluminium hydroxide. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 10(sup1), 1–269.

Küçükylmaz, M., Ersoy, N., ve Gül, S. (2013). Ceviz (*Juglans regia* L.) çeşitlerinde bazı mineral madde içeriklerinin belirlenmesi. *Gıda*, 38(3), 159–165.

Lemanceau, P., Expert, D., Gaymard, F., Bakker, P. A. H. M., ve Briat, J. F. (2009). Role of iron in plant–microbe interactions. *Advances in Botanical Research*, (51), 491-549.

Leterme, P., Buldgen, A., Estrada, F. and Londoño, A. M. (2006). Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the Amazon. *Food Chemistry*, 95(4), 644–652.

Liu, W. H., Zhao, J. Z., Ouyang, Z. Y., Söderlund, L. and Liu, G. H. (2005). Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. *Environment International*, 31(6), 805–812.

Longnecker, N. E and Robson, A. D (1993). Bitkilerde çinkonun dağılımı ve taşınması. *Topraklarda ve Bitkilerde Çinko: Batı Avustralya Üniversitesi'nde düzenlenen 'Topraklarda ve Bitkilerde Çinko' konulu Uluslararası Sempozyumun Bildirileri*, 27-28 Eylül 1993 (s. 79-91). Dordrecht: Springer Hollanda.

Lopez, D. L., Smith, L. and Ott, R. T. (2001). *Acid mine drainage: Impact on the environment and remediation approaches*. *Environmental Geology*, 40(3), 327–335.

Lugon-Moulin, N., Zhang, M., Gadani, F., Rossi, L., Koller, D. and Krauss, M. (2004). Critical review of the science and options for reducing cadmium in tobacco and other crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2-3), 349–365.

Ma, J. F. and Furukawa, J. (2003). Recent progress in the research of external Al detoxification in higher plants: A mini review. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 97(1), 46-51.

Maestri, E. Marmiroli, M. Visioli, G. and Marmiroli, N. (2010). Metal tolerance and hyperaccumulation: Costs and trade-offs between traits and environment, *Environmental and Experimental Botany*, 68 (1), 1-13.

Marschner, H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd Edition. Academic Press.

Mikulic-Petkovsek, M., Slatnar, A., Stampar, F. and Veberic, R. (2012). HPLC-MS identification and quantification of flavonoids and hydroxycinnamic acids in 28 wild and cultivated berry species. *Food Chemistry*, 135(4), 2138–2146.

Milošević, T., Milošević, N. and Glišić, I. (2014). Fruit quality attributes and element concentrations in fruits of walnut (*Juglans regia* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, (165), 36–44.

Nagajyoti P. C, Lee K. D and Sreekanth T. V. M. (2010). *Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review*. *Environmental Chemistry Letters*, (8), 199–216.

Ofoe, R., Thomas, R. H., Asiedu, S. K., Wang-Pruski, G., Fofana, B. and Abbey, L. (2023). Aluminum in plant: Benefits, toxicity and tolerance mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, (13), 1085-1098.

Oladipo, M. O. (2014). *Environmental impact of mining activities on ecosystem*. Journal of Environmental Science and Technology, 7(4), 209–218.

Özkan, M., ve Kaya, C. (2017). Böğürtlen (*Rubus* spp.) bitkisinde bazı makro ve mikro elementlerin mevsimsel değişimi. Bahçe Bitkileri Dergisi, 45(2), 102–110.

Panda, S. K. and Choudhury, S. (2005). Chromium stress in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, (17), 95-102.

Pirson, A. (1937). Über die Abhängigkeit der Photosynthese von Spurenelementen, insbesondere Mangan. *Planta*, 27(3), 543–564.

Poschenrieder, C., Gunsé, B. and Barceló, J. (2008). A glance into aluminum toxicity and resistance in plants. *Science of the Total Environment*, 400(1-3), 356-368.

Radojevic, M. and Bashkin, V. N. (2006). *Practical Environmental Analysis* (2nd ed.). Royal Society of Chemistry.

Rascio, N. and Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, 180(2), 169–181.

Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., & Lonvaud, A. (2006). *Handbook of Enology: Volume 1: The Microbiology of Wine and Vinifications* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Rout, G. R. and Sahoo, S. (2015). Role of iron in plant growth and metabolism. *Agricultural Reviews*, (3), 1-24.

Salt, D. E., Blaylock, M., Kumar, N. P., Dushenkov, V., Ensley, B. D., Chet, I. and Raskin, I. (1995). *Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants*. Biotechnology, 13(5), 468–474.

Santos, E. E., Lauria, D. C. and Porto da Silveira, C. L. (2010). Assessment of daily intake of trace elements due to consumption of foodstuffs by adult inhabitants of Rio de Janeiro City. *Science of the Total Environment*, 327(1–3), 69–79.

Satar, S., Topal, M. and Bilgili, A. (2014). Determination of heavy metal concentrations in grape (*Vitis vinifera* L.) and vineyard soil samples from Manisa Province, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(5), 2889–2898.

Satar, S., Aydın, A. ve Yıldız, N. (2015). Farklı meyve türlerinde bazı mikro elementlerin dağılımı. *Toprak Su Dergisi*, 4(1), 67–74.

Seregin, I. V. and Ivanov, V. B. (2001). Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 48(4), 523–544.

Shanker, A. K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H. and Avudainayagam, S. (2005). Chromium toxicity in plants. *Environment International*, 31(5), 739–753.

Sharma, P. and Dubey R. S. (2005). *Lead toxicity in plants*. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1):35–52.

Sharma, R. K., Agrawal, M. and Marshall, F. M. (2008). Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(2), 258–266.

Singh, H. P., Mahajan, P. and Kaur, S. (2013). Chromium toxicity and tolerance in plants. *Environmental Chemistry Letters*, (11), 229–254.

Sotiropoulos, T. E., Therios, I. N. and Dimassi, K. N. (2006). Calcium, potassium, and manganese nutrition of the strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) cv. Camarosa: Effects on fruit quality and yield. *Scientia Horticulturae*, 107(2), 144–147.

Spector, M. and Winget, G. D. (1980). Purification of a manganese-containing protein involved in photosynthetic oxygen evolution and its use in reconstituting an active membrane. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 77(2), 957–959.

Sreekanth, T. V. M., Nagajyothi, P. C., Lee, K. D. and Prasad, T. N. V. K. V. (2013). Occurrence, physiological responses and toxicity of nickel in plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, (10), 1129-1140.

Şahin, Ç. (2025). Demir Madeni İşletmesi Çevresindeki Doğal Alanlarda Yayılış Gösteren Yem Bitkisi Türlerinin Ağır Metal İçeriklerinin Araştırılması ve Fitoremediasyon Kapasitelerinin Değerlendirilmesi: Bingöl-Avnik Örneği. Bingöl Üniversitesi, Gen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Şahin, M. ve Uğur, A. (2016). Ceviz (*Juglans regia* L.) fidanlarında farklı demir dozlarının yaprak besin elementi içeriğine etkisi. *Meyvecilik Araştırma Dergisi*, 3(2), 45–51.

Tchounwou P. B, Yedjou C. G, Patlolla A. K. and Sutton D. J. (2012). *Heavy metal toxicity and the environment*. In *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, pp. 133–164. Springer, Basel.

Tokalioğlu, Ş., Kartal, Ş. and Birol, G. (2003). Application of a three-stage sequential extraction procedure for the determination of extractable metal contents in highway soils. *Turkish Journal of Chemistry*, 27(3), 333–346.

Tokalioğlu, Ş., Kartal, Ş. and Günes, A. (2007). Determination of heavy metals and their speciation in vegetables and soils of Tokat, Turkey. *Food Chemistry*, 101(2), 782–788.

Tokgöz, T. ve Yılmaz, A. (2020). Bazı meyve türlerinde (elma, ceviz, erik) demir ve çinko birikiminin karşılaştırılması. *Bitkisel Araştırma Dergisi*, 9(1), 55–61.

UniProt Consortium. (2023). UniProt: the universal protein knowledgebase in 2023. *Nucleic Acids Research*, 51(D1), D523–D531.

Wang, Y., Shi, J., Wang, H., Lin, Q., Chen, X. and Chen, Y. (2007). *The influence of soil heavy metals pollution on soil microbial biomass, enzyme activity, and community composition near a copper smelter*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 67(1):75–81.

Watanabe, T., Osaki, M. and Tadano, T. (2008). Distribution and chemical speciation of aluminum in rice plants grown in solution culture. *Soil Science and Plant Nutrition*, 54(3), 333–340.

Weissenstein, L. and Sinkala, T. (2011). *Impact of mining on the environment in Zambia: A review*. *Journal of Sustainable Mining*, 10(3), 45–52.

Yaman, M. (2006). Metal levels in fruit and vegetables sold in the eastern Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 77(2), 311–318.

Yaman, M., Özcan, M. M. and Arslan, D. (2013). Heavy metal content of some fruit and vegetable samples collected from Tokat region, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(10), 8355–8360.

Yıldırım, H., Öztürk, B. ve Kaplan, M. (2020). Kayısı (*Prunus armeniaca*) çeşitlerinde yaprak besin elementi içerikleri üzerine karşılaştırmalı bir değerlendirme. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(4), 672–679.

Yıldız, H. (2003). *Bitki Besleme*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Erzurum.

Yıldız, N., Gültekin, I. ve Arslan, H. (2010). Heavy metal accumulation in different fruit species. *Asian Journal of Chemistry*, 22(10), 7743–7750.

Yıldız, N., Kaya, M. ve Uzun, H. İ. (2012). Investigation of heavy metal accumulation in different parts of some fruit species. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University*, 29(1), 57–64.

Yıldız, T., Karataş, M. ve Aksoy, A. (2019). Çilek bitkisinde demir (Fe) elementi alımı ve dağılımının gelişim dönemlerine göre incelenmesi. *Meyve Bilimi*, 6(1), 34–40.

Yokel, R. A. (2000). The toxicology of aluminum in the brain: A review. *Neurotoxicology*, 21(5), 813–828.

Yoo, K. H., Touchton, J. T. and Carver, W. L. (2002). Assessment of manganese uptake in strawberry (*Fragaria × ananassa*) plants under controlled nutrient conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 25(4), 865–878.

Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q. and Ma, L. Q. (2006). *Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site*. *Science of the Total Environment*, 368(2–3), 456–464.

Yruela, I. (2005). Copper in plants. *Brazilian journal of plant physiology*, 17, 145-156.

Yumuşakbaş, H. (2013). Malatya'nın farklı yörelerinde yetiştirilen bazı kırmızı renkli meyvelerin mineral madde miktarlarının tayini [Yüksek lisans tezi, İnönü Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Zayed, A. M. and Terry, N. (2003). Chromium in the environment: Factors affecting biological remediation. *Plant and Soil*, (249), 139–156.

Zhao, F. J., Ma, Y., Zhu, Y. G., Tang, Z., ve McGrath, S. P. (2009). Soil contamination in China: Current status and mitigation strategies. *Environmental Science & Technology*, 43(2), 409–413.

Zhao, F. J., Ma, J. F., Meharg, A. A. and McGrath, S. P. (2010). Arsenic uptake and metabolism in plants. *New Phytologist*, 181(4), 777–794.

Zhuang, P., Zou, B., Li, N. Y. and Li, Z. A. (2009). Heavy metal contamination in soils and food crops around Dabaoshan mine in Guangdong, China: Implication for human health. *Environmental Geochemistry and Health*, 31(6), 707–715.