



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



Doktora Tezi

**METAL STRESİNDEKİ BAZI TIBBİ BİTKİLERİN
FİTOREMEDİASYON POTANSİYELLERİ VE BİYOKÜTLE
KULLANIMLARI**

Tuğçe AĞBA SEVENCAN

Biyoloji Anabilim Dalı

Botanik Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Gülriz BAYÇU KAHYAOĞLU**

Haziran,2022

İSTANBUL

Bu çalışma, 30.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Biyoloji Anabilim Dalı, Botanik Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Gülriz BAYÇU KAHYAOĞLU(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Tamer ÖZCAN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Şener AKINCI
Marmara Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Serap SAĞLAM
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Filiz VARDAR
Marmara Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi

İntihal Programı Beyanı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Proje Destekleri

Bu tez hiçbir proje ya da destekten katkı almadan tamamiyle kendi imkanlarımla tamamlanmıştır.

Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri

--

ÖNSÖZ

Lisans, yüksek lisans ve doktora çalışmalarında akademik destek sağlayan, bir hocadan öte hayatta her konuda görüşünü aldığım, araştırmalarımnda bilgi ve sabrıyla bana yön veren tez danışmanım saygıdeğer pek kıymetli hocam İstanbul Üniversitesi Öğretim Üyesi **Prof.Dr. Gülriz BAYÇU KAHYAOĞLU**'na bana sağladığı her fırsatı, emeği ve güveni için çok teşekkür ederim.

Eğitim ve araştırmalarımı tamamladığım T.C. İstanbul Üniversitesi'nin laboratuvar ve çalışma alanlarını kullanmamı sağlayan Biyoloji Anabilim Dalı Başkanı **Prof.Dr. Müfit ÖZULUĞ** ve Botanik Programı Başkanı **Prof.Dr. Gül Cevahir ÖZ**'e verdikleri desteklerden dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca yaptığım çalışmaları hassasiyet ile takip eden ve kıymetli görüşleri ile tezimi tamamlamamı sağlayan tez izleme komitesi üyelerinden değerli hocam İstanbul Üniversitesi Öğretim Üyesi **Prof.Dr. Tamer ÖZCAN**'a ve değerli hocam Marmara Üniversitesi Öğretim Üyesi **Prof.Dr. Şener AKINCI**'ya zaman ayırdıkları için ve emeklerinden dolayı teşekkür ederim.

Araştırmamın bazı deney bölümlerinde laboratuvar çalışmalarımı gerçekleştirmeme izin veren ve bilgilerini paylaşan değerli hocam Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Öğretim Üyesi Doç.Dr. Mehmet Emre EREZ'e teşekkür ederim.

Tez çalışma konumun seçiminde, materyal desteğinde, yetiştirme ortamı sağlanmasında, hasat ve sonrası aşamalarda teorik, pratik ve en önemlisi manevi desteklerini esirgemeyen değerli Zeytinburnu Tıbbi Bitkiler Bahçesi Ailesine ve özellikle Marmara Üniversitesi Öğretim Üyesi Murat Dinçer ÇEKİN hocama, (manevi ablam) Ziraat Yüksek Mühendisi Merve Zengin TINMAZ, Bahçe Ziraati Teknikeri Mehmet Ali ALTIOKKA, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Teknikeri Mehmet Şirin YALVAÇ'a sağladıkları tüm destekler için çok teşekkür ederim.

Tez sürecim boyunca her aşamada yanımda olan, akademik ve manevi desteğini her zaman hissettiğim sevgili arkadaşım Uzman Biyolog Seda KARADAĞ KILINÇ' a çok teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarında destek veren Dr. Biyolog Almila ÇİFTÇİ, Biyomühendis Hasan Cenk AĞBA, Şiyar KILINÇ ve deney aşamalarında destek veren Uzm. Biy. Hilal EROĞLU, Ceyda YAZICI' ya çok teşekkür ederim.

Hayatımın tüm aşamalarında olduğu gibi tez sürecimde de her türlü desteği fazlası ile gösteren aileme özellikle annem Keziban AĞBA, babam Mahmut AĞBA, annem Saniye SEVENCAN ve kuzenim Funda CİHANSEVDİ' ye çok teşekkür ederim.

En büyük teşekkürü sabrı, emeği, maddi ve manevi desteği için sevgili eşim Sedat SEVENCAN ve tez sürecinde dünyaya gelen oğullarım Mahmut ve Murat SEVENCAN'a ediyor ve tezimi onlara atfediyorum.

Haziran 2022

Tuğçe AĞBA SEVENCAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. BİTKİLERDE STRES	3
2.1.1. Bitkilerde Metal Stresi.....	3
2.2. AĞIR METALLER.....	6
2.2.1. Kadmiyum	7
2.2.2. Civa.....	7
2.2.3. Kurşun	7
2.2.4. Arsenik	8
2.2.5. Bakır	8
2.2.6. Çinko	8
2.3. FİTOREMEDİASYON.....	9
2.3.1. Fitoremediasyon Yöntemleri	9
2.3.1.1. Metal İyonları için Kullanılabilecek Yöntemler	9
2.3.1.2. Organik Bileşikler İçin Kullanılacak Yöntemler	10
2.4. TIBBİ BİTKİ NEDİR?.....	11
2.4.1. <i>Melissa officinalis</i> L. (Melisa, oğulotu)	13
2.4.1.1. Bitkinin Yayılışı.....	13
2.4.1.2. Botanik Özellikleri	13
2.4.1.3. Kimyasal Bileşimi	13
2.4.1.4. Etki ve Kullanılışı	13
2.4.2. <i>Nigella damascena</i> L. (Şam çörekotu)	14
2.4.2.1. Familya	14

2.4.2.2. Bitkinin Yayılışı.....	14
2.4.2.3. Botanik Özellikleri	14
2.4.2.4. Kimyasal Bileşimi	15
2.4.2.5. Etki ve Kullanılışı	15
2.5. BAZI KAVRAMLARIN TANIMI	15
2.5.1. Mikoriza	15
2.5.2. Toprakta Azot Analizi	18
2.5.3. Fenolik Maddeler.....	20
2.5.4. Prolin	20
2.5.5 Klorofil İçerikleri.....	20
2.5.6. Membran Stabilité İndeksi (MSI).....	21
2.6. KAYNAK TARAMASI	21
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	25
3.1. HERBARYUM ÇALIŞMASI.....	25
3.2. ARAZİ ÇALIŞMASI.....	29
3.3. LABORATUAR ÇALIŞMASI 1	32
3.3.1. Yaş Yakma Metodu.....	33
3.3.2. Element ölçümleri İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES).....	34
3.4. DENEY ÇALIŞMALARI.....	34
3.5. MİKORİZA ÇALIŞMASI	37
3.6. AĞIR METAL UYGULAMALARI.....	39
3.7. HASAT	40
3.8. MEMBRAN STABİLİTE İNDEKSİ (MSI)	40
3.9. MİKROSKOP İNCELEMELERİ	42
3.10. LABORATUAR ÇALIŞMASI 2	43
3.11. TOPRAKTA AZOT ANALİZİ.....	44
3.12. FENOLİK ANALİZİ	45
3.13. PROLİN ANALİZİ	46
3.14. KLOROFİL İÇERİK.....	46
3.15. VERİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ.....	47
4. BULGULAR.....	48
4.1 ARAZİ ÇALIŞMASINDAN ELDE EDİLEN BULGULAR	48
4.2. DENEYSEL ÇALIŞMADAN ELDE EDİLEN BULGULAR	48
4.2.1. TOPRAK PARAMETRELERİ	48

4.2.1.1. Toprak Element Ölçümleri	48
4.2.1.2. Toprak N Ölçümleri	52
4.2.1.3. Toplam Bağıl Su İçeriği	54
4.2.1.4. Kök Enfeksiyon Yüzdesi	55
4.2.2. BİTKİ PARAMETRELERİ	56
4.2.2.1. Bitki Element Analizleri	56
4.2.2.1.1. <i>Nigella damascena</i> bitkisinin element analizleri	56
4.2.2.1.2. <i>Melissa officinalis</i> bitkisinin element analizleri	65
4.2.2.2. Büyüme Parametreleri	73
4.2.2.2.1. Boy	73
4.2.2.2.2. Ağırlık	76
4.2.2.2.3. Yaprak Sayısı	82
4.2.2.2.4. Klorofil İçerik	84
4.2.2.2.5. Fenolik İçerik	88
4.2.2.2.6. Prolin Ölçümü	91
4.2.2.2.7. İyon Sızıntısı	92
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	96
KAYNAKLAR	108
EKLER	121
ÖZGEÇMİŞ	122

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Metal iyonlarının bitkiye alınımı ve taşınması	5
Şekil 2.2: Ağır metallerin doğaya yayılımları	6
Şekil 2.3: Fitoremediasyon Yöntemleri	11
Şekil 2.4: <i>Melissa officinalis</i> L.	14
Şekil 2.5: <i>Nigella damascena</i> L.	15
Şekil 2.6: Bitki kökünde mikoriza	16
Şekil 2.7: Mikoriza çalışması	17
Şekil 2.8: Arbüskül (dallanmış) ve vesikül yapıları (oval)	18
Şekil 3.1: <i>Melissa officinalis</i> L. türüne ait ISTE herbaryum örneği	26
Şekil 3.2: <i>Nigella damascena</i> L. türüne ait ISTE herbaryum örneği	27
Şekil 3.3: Arazi çalışması yapılan lokasyonlar	30
Şekil 3.4: Sislioba ve Şükrüpaşa lokasyonlarından toplanan örnekler	30
Şekil 3.5: Şam çörekotu Tekirdağ Selimpaşa yol kenarı	31
Şekil 3.6: Radweg hassas terazide kuru ağırlıkların tartımı	32
Şekil 3.7: Berghoff Yaş Yakma Cihazı	33
Şekil 3.8: <i>Nigella damascena</i> ve <i>Melissa officinalis</i> tohum örnekleri	34
Şekil 3.9: Kum sterilizasyonu	35
Şekil 3.10: İklim odası (Yetiştirme ortamı)	35
Şekil 3.11: Bitkilerde gözlemlenen ilk çimlenme	36
Şekil 3.12: 15 günlük fideler	37
Şekil 3.13: Saksılara açılan 7 cm çukurlar ve mikoriza uygulaması	38
Şekil 3.14: Deney seti (Mikorizalı – Mikorizasız)	39
Şekil 3.15: Bitki hasatları	40
Şekil 3.16: Adwa cihazı	41
Şekil 3.17: EC ölçümleri için su banyosunda bekletilen örnekler	41
Şekil 3.18: Mikoriza kolonizasyon incelemesi	42
Şekil 3.19: Mikoriza için kök kolonizasyonu incelemesi	43
Şekil 3.20: Berghoff teflon vessellar	44
Şekil 3.21: Bitki element analizi kalibrasyon	44

Şekil 3.22: Gerhardt marka Vadopest modeli distile cihazı	45
Şekil 3.23: Gallik asid standart regresyon eğrisi	46
Şekil 4.1: <i>Nigella damascena</i> toprakta N analizi	53
Şekil 4.2: <i>Melissa officinalis</i> toprakta N analizi	53
Şekil 4.3: <i>Nigella damascena</i> toplam bağıl su içeriği	54
Şekil 4.4: <i>Melissa officinalis</i> toplam bağıl su içeriği	55
Şekil 4.5: <i>Nigella damascena</i> kök enfeksiyon yüzdesi	55
Şekil 4.6: <i>Melissa officinalis</i> kök enfeksiyon yüzdesi	56
Şekil 4.7: <i>Nigella damascena</i> gövde ve kök uzunluğu	74
Şekil 4.8: <i>Melissa officinalis</i> gövde ve kök uzunluğu	76
Şekil 4.9: <i>Nigella damascena</i> yaprak yaş ve yaprak ağırlığı	77
Şekil 4.10: <i>Nigella damascena</i> kök yaş ve kuru ağırlığı	78
Şekil 4.11: <i>Melissa officinalis</i> yaprak yaş ve kuru ağırlığı	80
Şekil 4.12: <i>Melissa officinalis</i> yaprak yaş ve kuru ağırlığı	81
Şekil 4.13: <i>Nigella damascena</i> yaprak sayısı	82
Şekil 4.14: <i>Melissa officinalis</i> yaprak sayısı	83
Şekil 4.15: <i>Nigella damascena</i> klorofil a, klorofil b ve total klorofil içerikleri	85
Şekil 4.16: <i>Melissa officinalis</i> klorofil a, klorofil b ve total klorofil içerikleri	87
Şekil 4.17: <i>Nigella damascena</i> türünün fenolik madde içeriği	88
Şekil 4.18: <i>Melissa officinalis</i> türünün fenolik madde içeriği	90
Şekil 4.19: <i>Nigella damascena</i> türünün prolin madde içeriği	91
Şekil 4.20: <i>Melissa officinalis</i> türünün prolin madde içeriği	92
Şekil 4.21: <i>Nigella damascena</i> türünün iyon sızıntısı	93
Şekil 4.22: <i>Melissa officinalis</i> türünün iyon sızıntısı	95

Şekil tablosu ögesi bulunamadı.

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Besin elementlerinin toprak içerisindeki sınırları	19
Tablo 3.1: <i>Nigella damascena</i> L. bitkisine ait ulaşılan lokasyonlar	27
Tablo 3.2: <i>Nigella damascena</i> (Çörekotu) türünün arazi lokasyonları	30
Tablo 3.3: Arazi bitkileri yaş ve kuru ağırlıkları	32
Tablo 3.4: Ingestad Besi Çözeltisi	36
Tablo 4.1: Arazi örnekleri element ölçümleri	48
Tablo 4.2: Mikoriza varlığına göre <i>Nigella damascena</i> kontrol toprak elementleri	49
Tablo 4.3: Mikoriza varlığına göre <i>Nigella damascena</i> Zn toprak elementleri	49
Tablo 4.4: Mikoriza varlığına göre <i>Nigella damascena</i> Cd toprak elementleri	50
Tablo 4.5: Mikoriza varlığına göre <i>Melissa officinalis</i> kontrol toprak elementleri	51
Tablo 4.6: Mikoriza varlığına göre <i>Melissa officinalis</i> Zn toprak elementleri	51
Tablo 4.7: Mikoriza varlığına göre <i>Melissa officinalis</i> Cd toprak elementleri	52
Tablo 4.8: <i>Nigella damascena</i> mikorizasız kontrol grubunda organlara göre bitki element analizi	57
Tablo 4.9: <i>Nigella damascena</i> mikorizalı kontrol grubunda organlara göre bitki element analizi	58
Tablo 4.10: <i>Nigella damascena</i> mikorizasız Zn grubunda organlara göre bitki element analizi	60
Tablo 4.11: <i>Nigella damascena</i> mikorizalı Zn grubunda organlara göre bitki element analizi	61
Tablo 4.12: <i>Nigella damascena</i> mikorizasız Cd grubunda organlara göre bitki element analizi	63
Tablo 4.13: <i>Nigella damascena</i> mikorizalı Cd grubunda organlara göre bitki element analizi	64
Tablo 4.14: <i>Melissa officinalis</i> mikorizasız kontrol grubunda organlara göre bitki element analizi	66
Tablo 4.15: <i>Melissa officinalis</i> mikorizalı kontrol grubunda organlara göre bitki element analizi	67
Tablo 4.16: <i>Melissa officinalis</i> mikorizasız Zn grubunda organlara göre bitki	

element analizi	68
Tablo 4.17: <i>Melissa officinalis</i> mikorizalı Zn grubunda organlara göre bitki element analizi	70
Tablo 4.18: <i>Melissa officinalis</i> mikorizasız Cd grubunda organlara göre bitki element analizi	71
Tablo 4.19: <i>Melissa officinalis</i> mikorizalı Cd grubunda organlara göre bitki element analizi	73
Tablo 5.1: Metallerin toksisite değerleri	96
Tablo 5.2: Türlerin kök kolonizasyonu	104
Tablo 5.3: <i>Nigella damascena</i> türünün Cd birikimi	105
Tablo 5.4: <i>Melissa officinalis</i> türünün Cd birikimi	106

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
----------	----------

Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
B	: Bor
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cu	: Bakır
Cr	: Krom
CdSO ₄	: Kadmiyumsülfat
Fe	: Demir
HCl	: Hidroklorik asit
Hg	: Civa
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
N	: Azot
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
Zn	: Çinko
ZnSO ₄ 7H ₂ O	: Çinkosülfat

Kısaltmalar	Açıklama
-------------	----------

cm	: Santimetre
g	: gram
g/m ³	: gram/metreküp
mg	: miligram
mg/l	: miligram/litre
mg/kg	: miligram/kilogram

ml	: mililitre
M+	: mikorizalı
M-	: mikorizasız
µl	: mikrolitre



ÖZET

DOKTORA TEZİ

METAL STRESİNDEKİ BAZI TIBBİ BİTKİLERİN FİTOREMEDİASYON POTANSİYELLERİ VE BİYOKÜTLE KULLANIMLARI'

Tuğçe AĞBA SEVENCAN

İstanbul Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Gülriz BAYÇU KAHYAOĞLU

Ağır metal kirlenmesi çağın en önemli çevre sorunlarından birisi haline gelmiştir. Farklı kaynaklardan havaya, toprağa, suya yayılım gösteren bu metaller; limit değerlerin üzerinde toksik etki göstererek doğayı ve dolayısıyla canlıları etkileyebilmektedirler. Tıbbi bitki kullanımlarının son yıllarda artmasıyla beraber her yönüyle çalışmalar hızlanmaktadır. Tedavi amacıyla uzun yıllardır kullanılan bu bitkiler yaşam ortamlarındaki kirlenmelerden etkilenip bünyelerinde bu kirlenmeyi tutabilir ya da farklı metabolik olaylarına dahil edebilirler. Tıbbi bitkilerin tedaviye yönelik kullanılan kısımlarının (drog) fitoremediasyon potansiyelleri konusundaki kaynak kısıtlılığı sebebiyle böyle bir araştırmaya ihtiyaç duyulmuştur.

Çalışma kapsamında Marmara Bölgesinde doğal yayılım gösteren *Nigella damascena* (Şam çörekotu) ve *Melissa officinalis* (Melisa) tıbbi bitki türleri seçilmiş ve doğadan toplanan ölçümlerle element içeriği belirlenmiştir. Üretim faaliyetlerinde kullanılan kirleticilerin etkilerini azaltmak ve bitki savunma mekanizmasını geliştirmek *Rhizophagus intraradices* (fungus+bitki simbiyotik birliktelik) mikoriza türü çalışmaya eklenmiştir. Deney grubu mikorizalı ve mikorizasız iki set şeklinde kurulmuş ve her set kendi içerisinde kontrol, Zn ve Cd olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Tohum çimlenmesi sonrasında mikoriza uygulaması yapılmış ve enfeksiyon süresi sonunda arazi ölçüm sonuçlarına göre belirlenen 60µM CdSO₄ ve 700 µM ZnSO₄ 7H₂O konsantrasyonları deney saksılarına uygulanmıştır.

Deney süresince morfolojik ölçümler ve hasat sonrasında ekofizyolojik ölçümler ile element analizleri (ICP-OES) yapılmıştır. Mikorizalı ve mikorizasız gruplarda Cd metalinin toksik etkisi Zn metaline göre daha yüksek bulunmuş ve iki bitki türünde de kök bölgesinde mikoriza kolonizasyonu oluşmuş fakat metabolik etkileri anlamlı olarak gözlenememiştir. Mikorizanın bitki savunma mekanizmasını etkileyerek bazı element alımlarını engellediği ve Zn uygulaması ile etkisinin bir miktar arttığı gözlemlenmiştir. Ağır metallerin mikoriza etkisi ile kök ve gövde bölgelerinde yoğunlaştığı ortaya konmuştur.

Haziran 2022, 140 sayfa.

Anahtar kelimeler: Fitoremediasyon, Ağır metal, *Nigella damascena*, *Melissa officinalis*, *Rhizophagus intraradices*

SUMMARY

PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF SOME MEDICINAL PLANTS UNDER METAL STRESS AND THEIR BIOMASS UTILIZATION

Ph.D. THESIS

Tuğçe AĞBA SEVENCAN

İstanbul University
Institute of Graduate Studies in Sciences
Department of Biology

Supervisor : Prof. Dr. Gülriz BAYÇU KAHYAOĞLU

Heavy metal pollution has become one of the most important environmental problems of the age. These metals, which spread from different sources to the air, soil and water; They can affect nature and therefore living things by showing toxic effects above the limit values. With the increase in the use of medicinal plants in recent years, studies in all aspects are accelerating. These plants, which have been used for therapeutic purposes for many years, can be affected by the pollution in their living environment and keep this pollution in their body or include them in different metabolic events. Such a study was needed due to resource constraints on the phytoremediation potential of medicinal plants (drugs) used for treatment.

Within the scope of the study, *Nigella damascena* (Damascus black cumin) and *Melissa officinalis* (Melissa) medicinal plant species, which spread naturally in the Marmara Region, were selected and their elemental content was determined by measurements collected from nature. To reduce the effects of pollutants used in production activities and to improve plant defense mechanism, *Rhizophagus intraradices* (fungus + plant symbiotic association) mycorrhiza species was added to the study. The experimental group was established as two sets with and without mycorrhiza, and each set was divided into three groups as control, Zn and Cd. After the seed germination, mycorrhiza application was made and at the end of the infection period, 60µM CdSO₄ and 700 µM ZnSO₄ 7H₂O concentrations determined according to the field measurement results were applied to the experimental pots.

During the experiment, morphological measurements and post-harvest ecophysiological measurements and elemental analyzes (ICP-OES) were performed. The toxic effect of Cd metal was found to be higher than Zn metal in mycorrhizal and non-mycorrhizal groups, and mycorrhizal colonization occurred in the root zone in both plant species, but its metabolic effects were not observed significantly. It has been observed that mycorrhiza inhibits some element uptake by affecting the plant defense mechanism, and its effect increases slightly with Zn application. It has been revealed that heavy metals are concentrated in the root and stem regions with the effect of mycorrhizae.

June 2022, 140 pages.

Keywords: Phytoremediation, Heavy metal, *Nigella damascena*, *Melissa officinalis*, *Rhizophagus intraradices*



1. GİRİŞ

Küresel ısınma, iklim değışiklikleri, artan nüfus, kentleşme gibi birçok sebeple değışen doğa döngüsü canlılar için tehdit edici sonuçlar doğurabilmektedir. Temelde değışen ve kirlenen hava, toprak, su gibi yaşam kaynaklarımız birçok etkiyi de beraberinde getirmekte ve özellikle tüketim kültürü ile yenilenemeyen ve sürdürülemeyen kaynaklara ulaşabilmektedir. Canlıları doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen bu dünya düzeninden yaşam döngüleri olumsuz etkilenmektedir. Doğal dengeye uyumsuz yaşam tarzları, taşıt kullanımlarındaki aşırılık, temiz suyun bilinçsiz kullanımı, kaynakların plansız kullanımı, tarımda uygun olmayan üretim teknikleri ve sulamalar gibi birçok etki ile doğaya en çok zarar veren ve yine bu döngüde en çok zarar gören insandır [1].

Özellikle toprak, tarım ilaçları, kirli sular, gıda işleme ve pişirme ekipmanları ile vücuda alınan birçok kimyasal madde ve ağır metaller hedef organlarda birikerek tümör oluşumu, kısırlık, zeka geriliğı gibi etkilere sebep olabilmektedir [1]. Son yıllarda tüm insanlığın temiz gıda arayışı ve üretimi özellikle bitki dünyası için yeni alanlar açmıştır. Organik tarım ve iyi tarım uygulamaları birçok ülkenin önemli politikaları ve teşviklerinden olmuştur.

Ağır metaller yüksek yoğunluğa sahip (5g/m^3 ve üzeri) ve az düzeyde bulunsa dahi toksik etki yaratabilen, ekolojik döngüyü ve temiz gıdaya ulaşılabilirliği tehdit eden, canlılarda birikerek hedef organlara ya da organizmanın yapı ve işleyişine zarar verebilen metal ya da metalloidler olarak bilinirler. Ağır metaller doğada dönüşmez ve bozunmazlar [2]. Yarı ömürleri oldukça uzundur bu sebeple etkileri uzun süreli ve kalıcıdır.

Bitki etkinliğı arttırmak, ihtiyacı olan besin ve suya ulaşabilmesi için geliştirdiğı mekanizmalar üzerinde yapılan çalışmalarda simbiyotik yaşam üzerinde fazlasıyla durulmaktadır. Bitki ve mantar arasında kurulan bu simbiyotik yaşama uyum sağlayan mikorizal mantarlar tarımsal faaliyetlerde verim artırımını, ürün kalitesi ve hasat süresi uzunluğı gibi olumlu etkileri sebebiyle çalışmalarda kullanılmaktadır.

Drog; bitkilerin kök, gövde, yaprak, çiçek ya da tohum gibi organlarının tedavi amacıyla kullanılan kısımlarıdır. Bitki türüne, yetiştiği iklim koşullarına, barındırdığı etken maddelere göre içeriği ve etkisi değişmektedir.

Fitoremediasyon (yeşil ıslah) uygulamalarında kullanılan bitkiler özellikle kök bölgesiyle kirlenmelere maruz kalmakta ve bitki iletim sistemi ile taşınmakta, birikmekte ya da farklı maddelere dönüştürülerek döngülere katılabilmektedir. Bu bağlamda sağlık açısından kullanılan tıbbi bitkilerin yetiştiği ortam koşulları önemsenmeli kirlilik birikip birikmediği iyi analiz edilmelidir.

Tez çalışmamızda ekolojik dengenin korunması ve kirlenmelere çözüm olması umuduyla Cd ve Zn metal stresindeki *Nigella damascena* (Çörekotu) ve *Melissa officinalis* (Melisa) türlerinin fitoremediasyon uygulamaları ve biyokütle kullanımları araştırılmıştır. Bu tıbbi bitkilerin ağır metal tutma kapasiteleri ve etkisini incelemek amacıyla ayrıca mikorizal simbiyotik yaşam olasılığı denenmiştir.

Amacımız Cd ve Zn ile kirlenmiş alanlarda yetişen; tıbbi olarak tohum ve tohum yağı tüketilen *Nigella damascena* (çörekotu) ve yaprak drogundan çayı tüketilen *Melissa officinalis* (melisa) türlerinin ağır metal ve element birikimini incelemek ve mikorizal uygulamalar için uygun olup olmadığını araştırarak literatüre yeni çalışma alanları açmaktır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. BİTKİLERDE STRES

Canlılar aleminde en geniş yere sahip olan bitkilerin fizyolojik ve metabolik döngüleri son dönemde daha da önem kazanan ekolojik araştırmalarda odak noktası haline gelmiştir. Gittikçe azalan bitki çeşitliliği, su kaynakları ve arazi alanları ileriki yıllar için besin ve su kıtlıkları konusunda tehdit oluşturmaktadır. Hammadde, besin, enerji gibi birçok alanda bitkilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bitkiler yaşamları boyunca değişen çevresel koşullardan etkilenerek stres durumuna girebilirler. Bitkilerde stres biyotik veya abiyotik kaynaklı olabilir. Biyotik stres türlerine; mantar, bakteri, virüs gibi mikroorganizmalar, diğer bitki türleri ya da hayvan türleri örnek verilebilir. Abiyotik stres türlerine ise; su stresi, sıcaklık stresi, ışık stresi, metal stresi, tuzluluk stresi, radyasyon ve manyetik stresi örnek verilebilir [22]. Özellikle abiyotik stres faktörleri tarımsal üretimde kayıpları oldukça arttırmakta ve verimin düşmesine sebep olmaktadır [23]. Tüm stres türlerinde bitkinin fizyolojisi, anatomisi ya da morfolojisinde çeşitli değişiklikler meydana gelir. Bitki kimi zaman stres koşuluna adaptasyon sağlarken kimi zaman karşı koymak için çeşitli düzenekler oluşturur; bu stresin ve bitkinin türü ile strese dozu ile yakından ilgilidir [24].

2.1.1. Bitkilerde Metal Stresi

Bitkilerin öncelikli yaşam alanı olan toprak ağır metallerle doğrudan ilişkili olan bir ortamdır. Toprak; içeriğinde kompleks yapılar oluşturarak bozulmalara sebep olur [25]. Bu sebeple özellikle tarımsal üretim ve verimde toprağın ağır metal kirlenmesine maruz kalmamış olması beklenmektedir. Özellikle geri dönüşüm esasına dayanan atık su ve çamurların tarımsal alanlarda yeniden kullanımı kontrollü şekilde yapılmaz ise toprağın ağır metal içeriğinin artacağı ve bunun için bazı bitkilerin indikatör olarak kullanılabileceği bildirilmiştir [26, 27]. Zengin mikroorganizması ve elementleriyle toprak bitki için muazzam bir yaşam alanıdır. Bitkilerin besin elementleri yaşamları için alınması gereken önemli maddelerdir. Her elementin bitki beslenmesindeki önemi farklıdır bu yüzden dengeli şekilde alması ya da kontrollü şekilde verilmesi gerekir. Ağır metaller toprağın yapısı, pH'sı, element içeriği, bitki türü ya da fizyolojisine göre değişmek koşuluyla besin elementlerinin bitki tarafını alımını engelleyebilir ya da arttırabilir [28]. Bazı ağır metaller bitki metabolizmasında birçok aktivitede rol alabilir,

burada önemli olan maruz kaldığı dozdur. Örneğin Mg (magnezyum) ve Zn (çinko) yüksek dozlarda toksik etki gösterirken fotosentez reaksiyonu ve enzim sistemleri için oldukça gerekli mikro elementlerdir [29]. Ağır metallerin türlerine göre etki ettikleri alanlar farklı olsa da genel olarak bitkilerde aşağıdaki etkiler gözlenmektedir [30] [31].

- Kök ve gövde uzunluğunda kısılma
- Tohum çimlenmesi ve büyümede gecikme
- Enzim ve protein sistemlerinde bozulma
- Fotosentez ve solunum döngülerinde bozulma
- Gen, DNA ve RNA da mutasyon

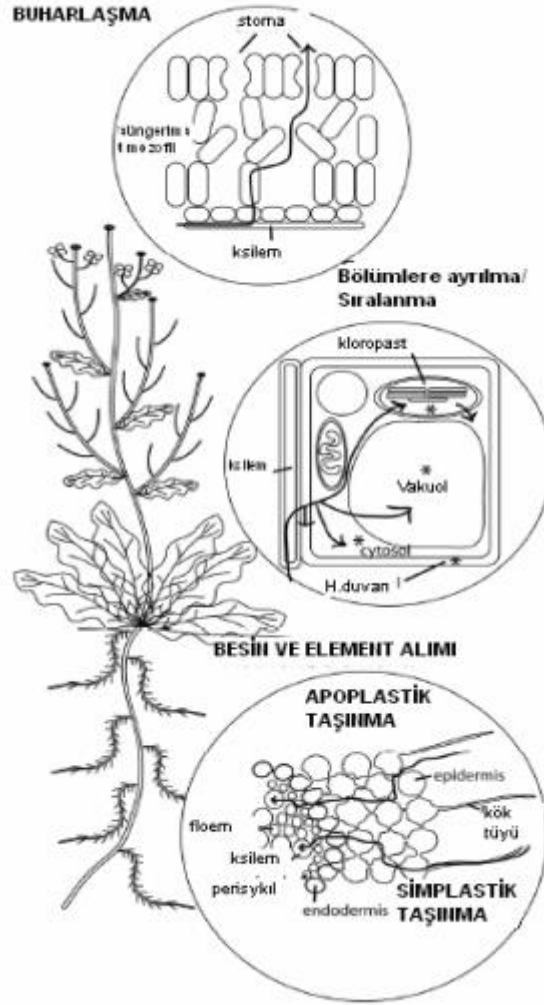
Ayrıca Yerli ve ark. (2020) tarafından bildirildiği gibi bitki ağır metal toksisitesinden etkilense dahi geliştirdikleri adaptasyonlarla hayatlarını sürdürebilir [23];

- Hücre çeperine bağlanma
- Ağır metali vakuolde depolama
- Ağır metali kökte tutarak taşınmasını engelleme
- Belirli alanlarda biriktirme
- Farklı yapılarla (Protein, enzim gibi) bağlanma
- Sekonder metabolit üreterek etkisini azaltma

Bunların dışında ağır metallere karşı bitkilerin moleküler düzeyde geliştirdiği bazı sinyaller bulunur [19]

- Hücre içi dengenin sağlanması
- Prolin ve ısı şoku proteinleri gibi özel maddelerin salgılanması
- Serbest radikallerin oluşturulması

Topraktaki ağır metallerin bitki bünyesine alınması kökler vasıtası ile olur. Metaller taşıdıkları elektronlar sebebiyle lipofilik (yağ bazlı maddeleri çözücü) özelliği olan hücre çeperinden ancak taşıyıcı zar proteinleri ile alınabilirler [32][33]. Kökten alınan metal iyonları sürgünlere kadar kök basıncı ve transpirasyon etkileri ile taşınır. Taşınma için ksilem kanalını kullanması gerekir (Şekil 2.1) [34]. Bazı durumlarda kökten alınan bu metal iyonları bileşik haline gelir ve taşınamazlar.



Şekil 2.1: Metal iyonlarının bitkiye alınımı ve taşınması

Metal stresine maruz kalmış bitkiler türlerine ve metabolizmalarına göre bazı stratejiler geliştirebilirler [35];

Metali dışlayanlar; Toprakta alınan metali sürgünlere taşımayıp köklerinde tutanlar

Metali gösterenler (indikatör); Toprakta alınan metali toprak üstü biyokütlesinde biriktiren türler. Bunlar hasat edildiklerinde toprak metal konsantrasyonu ile aynı miktarda ağır metal içerirler.

Akümülatörler; Toprak üstü biyokütlesinde toprak konsantrasyonundan daha fazla metal tutabilen türler. Bu grupta bünyesinde topraktaki metal konsantrasyonunun 50-500 mislini biriktirebilen hiperakümülatör türler de yer alır [36][37][38]. Topraktaki metal iyonlarını bu denli organizmalarına alabilen türler yeşil ıslah dediğimiz Fitoremediasyon için değerlendirilebilirler.

2.2. AĞIR METALLER

2.2.1. Kadmiyum

Kadmiyum yarı ömrünün uzun olması ve düşük dozlarda bile yüksek toksisite gösterebilen en tehlikeli ağır metallere biridir [6]. Doğada genellikle saf hali yerine kadmiyum sülfat, sülfid, oksit, klorür halleriyle bulunur. Kadmiyum en çok uçak, gemi gibi taşıt kaplamaları, otomotiv sanayi, elektronik eşya, pil ve sanayi boya ları üretimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca zirai gübre, sigara, endüstri üretimlerinde ve taşıt kullanımı sonucu doğaya salınan yanmış gazlar kadmiyum kirliliğinin en önemli kaynaklarıdır. Kadmiyum bitkinin yaşamsal faaliyetlerine; azot ve karbonhidrat işleyişini değiştirebilmesi sebebiyle zarar verebilmektedir. Bazı enzim türlerinin reaksiyonunu, fotosentez mekanizmasını, su taşınımını engellediği, klorofil sentezini baskılayıp yıkımını arttırdığı bilinmektedir [7]. Özellikle kök bölgesinde gösterdiği olumsuz etkiler ile bitkiye su ve mineral girişi azalmaktadır. Bu durum birçok metabolik olayın yavaşlamasına ya da engellenmesine sebep olmaktadır [8].

2.2.2. Civa

Doğada element, organik veya inorganik olarak bulunan civa oda sıcaklığında sıvı formda bulunur. Civa en çok takı ve güzellik ürünlerinin üretiminde, plastik, kağıt ve boya üretiminde, pestisitlerde, tıbbi ve laboratuvar cihazlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Ayrıca element halindeyken oda sıcaklığında buharlaştığında, amalgam dolgu şeklinde kullanıldığında ve metil civa şeklinde gıda maddesi olarak tüketildiğinde civa zehirlenmelerine kadar gidebilecek kirlilik oluşturmaktadır. Özellikle sucul Canlılarda civa birikimi önemsenmiş ve araştırmalara yön vermiştir [9].

Civa genellikle bitkilerde çimlenme yüzdesini, ağırlığı, kök uzunluğunu azaltabilmektedir [10]. Kromozomlarda dengesiz bölünmeler, üreme potansiyelinde azalma ya da durma ve mutasyonlar civa etkileri olarak bildirilmiştir [11].

2.2.3. Kurşun

Kurşun antropojenik aktiviteler sonucu kirlilik meydana getiren ilk metaldir. Doğada element ya da bileşik olarak bulunabilir. Kozmetik ürünlerinde, yapı tesisat malzemelerinde, altının işleme aşamalarında, çocuk oyuncaklarında, insektisitlerde, sanayi ve egzoz gazlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [12]. Kurşun kaplı su boruları, sigara, organik formda kurşunun uçucu olması ve özellikle gıda ve suya karışması kurşun kirliliğini oluşturmaktadır [13]. Çevre

kirlenmesinin %80 civarının kurşun kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Tratojen etkenler sınıfında bulunmaktadır.

Kurşunun bitki kloroplastı yerine kromoplastta etki gösterip, solunum döngüsünde bazı basamakları engellediği, su kanallarını ve yaprak stoma açıklıklarını baskıladığı, mitokondri aktivitesi ve yağ metabolizmasına zarar verdiği de bilinmektedir [14].

2.2.4. Arsenik

Ağır metaller içinde metalloid özellik gösteren elementtir. Ağır metaller içinde metalloid özellik gösteren elementtir. Doğada element, gaz, organik ve inorganik şekilde bulunabilmektedir. Silah ve tüfek mermi üretimi, fosfatlı gübre üretimi, endüstriyel atıkların ortadan kaldırılması gibi faaliyetler arsenik kirliliğine sebep olurken bitki bünyesinde ve su kaynaklarında doğal olarak arseniğe rastlanmaktadır. Geçmiş dönemlerde antibiyotik olan penisilinin icadından önce tıbbi tedavilerde arsenik kullanıldığı da bildirilmiştir [15][16].

Arsenik suda çözünüp taşınma potansiyeli yüksek bir ağır metal olduğundan bitkinin kökleri etrafında yoğun şekilde gözlenirken sürgünlere doğru dozu azalarak ilerlemektedir. Fitoketalinler ile birleşerek bitkinin belirli bölgelerinde birikebilmektedir. Bitki metabolizmasında gerilemelere sebep olmaktadır. Bitki verimi ve meyve kalitesini de düşürdüğü bilinmektedir [17].

2.2.5. Bakır

Kayaçlarda, su kaynaklarında ve organizma yapılarında doğal olarak bulunur. Deri ve inşaat sanayinde, pestisit ve yapıştırıcı üretiminde, çocuk boyalarında ve hatta veterinerlikte bile kullanılmaktadır. Hava, su, gıda gibi birçok yolla organizmaya dahil olabilir [18].

Bakır elementi yeterli düzeyde bitki bünyesinde bulunması gereken mikro besin elementlerindendir. Fazlalığında hücre çeperinde bozulmalara, klorofil metabolizmasının değişmesi sebebiyle azalmasına ve klorozise sebep olabilir. Önemli enzim aktivasyonların engellenmesine ve dolayısıyla DNA hasarı ve mutasyona kadar ilerleyebilen yapısal bozukluklara sebep olabilmektedir [19]

2.2.6. Çinko

Su kaynakları ve kayaçlarda klorat, sülfat ve nitrat şekillerinde bulunabilir. Otomobil ve inşaat sanayinde, oyun parklarında ve birçok metal kaplamalarda kullanılmaktadır. Özellikle

galvanizleme işleminde canlılar için oldukça toksik etki gösterebilmektedir. Klorür formunda tekstil, temizlik maddesi ve pil yapımında kullanılır. Oksit formunda diş macunları ve poşet yapımında kullanılabilir [20].

Çinko da bakır da olduğu gibi bitki için gerekli elementlerdendir. Yüksek konsantrasyonda ise özellikle kök incilmesi ile alınan madde miktarı azalır ve böylece gerilemeler görülür. Kloroz, nekroz ve yaprak kıvrılmaları meydana getirmekte, organel ve doku parçalanmalarına sebep olabilmektedir [21].

2.3. FİTOREMEDİASYON

Doğal kaynakların kirliliği ve tükenmesi tehdidi gün geçtikçe daha da artan bir sorun haline gelmektedir. Remediasyon (iyileştirme) teknikleri yaşam formları ve ekolojik çevrede meydana gelen kimyasal kirleticilerin bertarafı için kullanılmaktadır [39]. Toprak, hava, su gibi kaynaklarda birçok sebepten ötürü (volkan patlaması, deprem gibi doğal afetler, petrol sızıntılarının suya karışması, maden alanlarındaki kirlenme gibi) meydana gelen bu kirlenmelerin yok edilmesi uzun ve maliyetli bir süreçtir. Özellikle son yıllarda mikroorganizmalar ve bitki türleri araştırmalara dahil edilerek kirlenme tutma potansiyellerine göre bu tür çevre kirliliklerini bertaraf etmede kullanılabilir (bioremediasyon).

Hiperakümülatör bitki türleri yüksek dozda ağır metal tutma ve bunları çeşitli döngülerle etkisiz hale getirebilme kapasiteleri sebebiyle pestisit, gübre ve diğer kimyasallarla kirlenmiş tarım arazileri ve maden alanları gibi üretim yapılan bölgelerde fito-ıslah çalışmalarına yön verebilmektedir. Bu çalışmalar kirlenme ve bitki türüne göre yerinde (insitu) ya da doğal alanının dışında (eksitu) yapılabilir.

2.3.1. Fitoremediasyon Yöntemleri

2.3.1.1. Metal İyonları için Kullanılabilecek Yöntemler

2.3.1.1.1. Fitoekstraksiyon; metal iyonları bitki kökleri tarafından absorbe edilir ve sürgünlere doğru taşınarak biriktirilir ve bitki hasadı ile bertaraf edilebilir. Bu yöntem Cd, Pb, Ni, Cu ve Zn gibi metallerin yok edilmesine yönelik kullanılabilir [40]. Yüksek kontamine alanlarda yaşamına devam edebilmesi ve ağır metal tutma kapasitelerinin de yüksek olması sebebiyle hiperakümülatör bitki türleri tercih edilir [41]

2.3.1.1.2. Rizofiltrasyon; bu yöntemde kullanılacak bitkinin kök sisteminin iyi gelişmiş olması gerekmektedir. Kirlenmiş suların arıtımında kullanılabilir. Bu yöntem Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn ve U gibi metallerin yok edilmesine yönelik kullanılabilir [42].

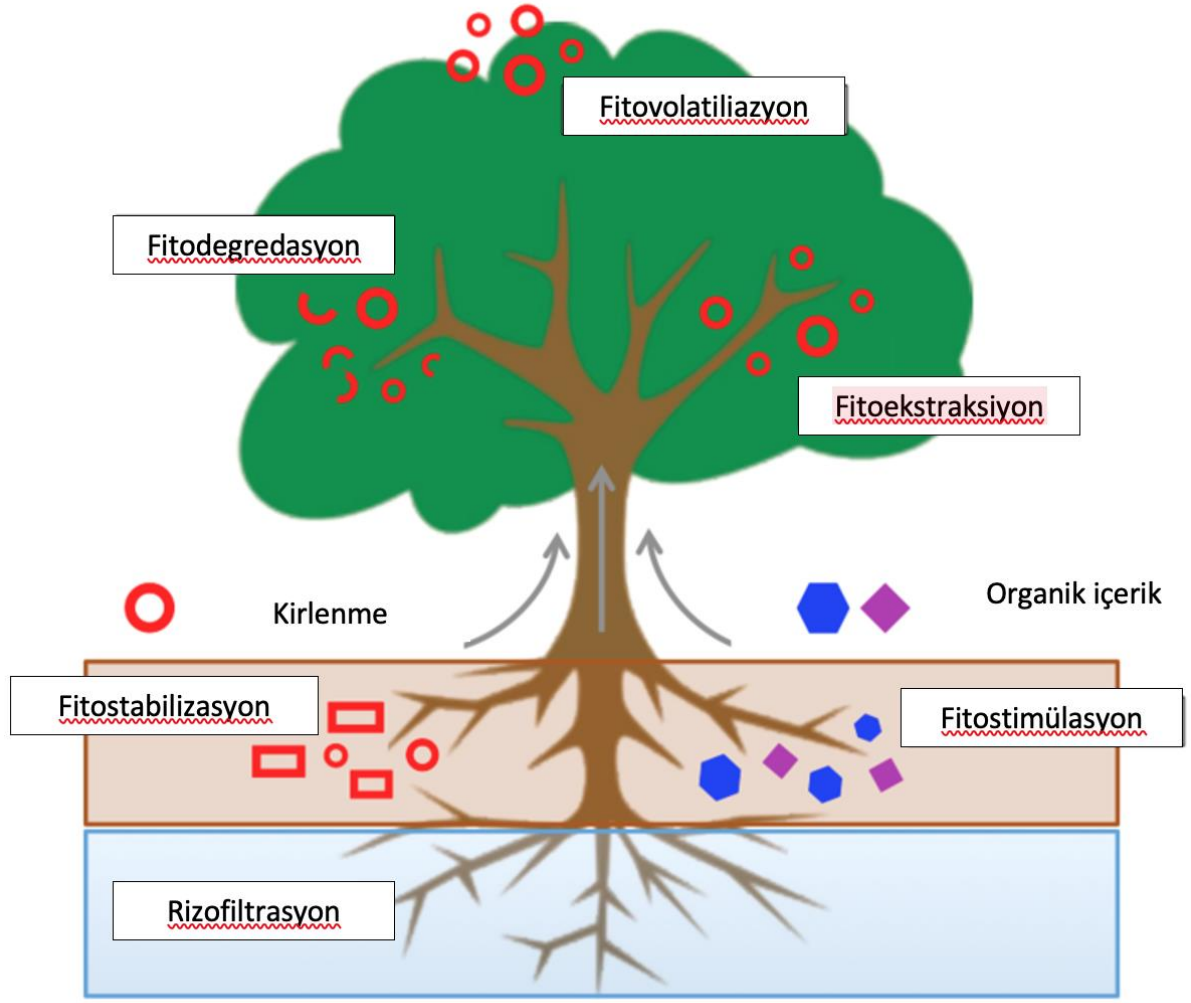
2.3.1.1.3. Fitostabilizasyon; bu yöntemde kullanılacak bitkinin yayılıcı kök sistemine sahip olması gerekir. Bitki kökleri topraktaki metalleri hareketsiz hale getirerek sabitler. Toksik etkiyi bu şekilde düşürebilir. Genellikle toprak kayması, su kaynaklarına metal iyonlarının sızması gibi durumların önlenmesinde kullanılır [43]. Bu yöntem As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn gibi metallerin yok edilmesine yönelik kullanılabilir [44].

2.3.1.2. Organik Bileşikler İçin Kullanılacak Yöntemler

2.3.1.2.1. Fitodegradasyon (Transformasyon); bu yöntemde kullanılacak bitkinin enzim yapısının belirli aktiviteleri yapabilmesi gerekir. Toprakta kökler vasıtası ile alınan kirleticiler bitki tarafından yapılan enzimatik reaksiyonlarla daha küçük ve farklı bileşiklere dönüştürülerek kullanılabilir hale getirilebilir. Özellikle toprakta bulunan petrol ve türevi kirleticiler için kullanılabilir [45].

2.3.1.2.2. Rizodegradasyon; bu yöntemde bitki türü kadar toprak mikroorganizması da önemli işlev görmektedir. Bitki topraktaki kirleticiyi köklerinde toprak mikroorganizmaları ile işbirliği yaparak farklı maddelere dönüştürebilirler. Özellikle yakıt ve solvent gibi kirleticilerin yok edilmesine yönelik kullanılabilirler. Mikroorganizmalar parçalanmış ürünleri kullanabilir ve biriktirebilirler. Bitkiler ise metabolik olaylarda rol alırlar. Bu yöntemin en önemli avantajı yerinde bertaraf durumudur [40].

2.3.1.2.3. Fitovolatilizasyon; bu yöntemde metabolizmaya alınan ağır metaller sürgünlere kadar ilerlerken birçok değişime uğrayarak daha az zararlı uçucu maddeler şeklinde havaya karışır. As, Hg ve Se gibi iyonlar uçucu özellik gösterebilirler [46].



Şekil 2.3: Fitoremediasyon Yöntemleri [47]

2.4. TIBBİ BİTKİ NEDİR?

Tarih öncesi çağlardan bugüne sembolik, görsel ya da metin kayıtlarına bakıldığında insanoğlunun varoluşundan bu yana bitkiler hayatlarının bir parçası olmuştur. Bitkilerle ilgili tedavi amaçlı ilk kayıtlara MÖ 5000’li yıllarda Mezopotamya’da rastlanmıştır [48]. Gıda, barınma, kıyafet, savaş aletleri, aksesuar ve birçok alanda bitkilerden yararlanılmışlardır. Bu kadar yakın etkileşimde oldukları bitkilerin fayda ve zararlarını gördükçe hastalık ve yaralanma gibi tıbbi olaylarda bu bitkileri kullanmaya başlamışlardır [49]. Etnobotanik araştırmalar ile yıllar boyu süren deneyimlerle edinilmiş bilgiler gün yüzüne çıkmakta bu bilgiler yalnızca geçmiş dönemde değil günümüzde de birçok ülkede çok önemli bir yer tutmaktadır ve kullanılmaktadır [50].

Türkiye coğrafi, jeolojik ve iklimsel özellikleri sebebiyle oldukça önemli bir konuma sahiptir. Avrupa-Sibirya, İran-Turan ve Mezopotamya iklim kuşaklarını bir arada bulunduran Türkiye bu kuşakların biyoçeşitlilik özelliklerinin tümünü içermektedir. Oldukça zengin olan bitki çeşitliliği etnobotanik, tür tanım ve teşhisleri, geleneksel ve modern tıp gibi alanlarda ilgi çekici hale gelmiştir.

Yapı faaliyetlerinin artması, bilinçsiz sökülme, yabancı durumdakilerin korunamaması gibi birçok sebeple ülkemizdeki bitki çeşitliliği de azalmaya yüz tutmuştur. Yapılan son revizelerle ülkemizde tür sayısı (takson, kültür ve dış kaynaklılar dahil) 11.707 ve henüz tüm araştırmalar tamamlanmamış olsa da endemik bitki oranı yaklaşık 4.000 civarındadır [51]. Bu türlerin yaklaşık 1.000 e yakını tıbbi amaçla çeşitli şekillerde kullanıldığı bildirilmiştir [52].

Tıbbi ve aromatik bitkiler sekonder metabolik dediğimiz fenolik bileşikler, alkaloidler, saponinler gibi maddeler üretmektedir. Bu bileşiklerde bulunan bazı etken maddeler çeşitli etkilere sebep olmaktadır. Bu maddeler bitki türüne, sekonder metabolit türüne, çevre koşullarına göre değişiklik gösterebilirler. Abiyotik stres koşullarında sekonder metabolitlerin miktar ve kalitesinin arttığı bilinmektedir. Özellikle uçucu yağ üretimini teşvik ettiği bildirilmiştir. Bu maddeler özellikle ilaç sanayinde saflaştırılarak ham madde olarak kullanılabilir. Bazıları toksik etki gösterse bile belirlenmiş şekil ve konsantrasyonları ile tedavide kullanılabilir [53]. Antifungal, antiseptik, antiromatizmal, antihistaminik ve daha birçok şekilde etkisi görülmüş bu etken maddeler sentetik ilaçlar kadar etki gösterebilir [54]. Hatta sentetik ilaçlar belirli rahatsızlıklar üzerine çalışarak o rahatsızlığa etki edebilecek maddelerin birleştirilmesiyle oluşturulmakta iken tıbbi bitkiler belki de yüzlerce etken madde içerebilir. Ayrıca sentetik ilaçlar oldukça maliyetli ve yan etkileri yüksek olabilmektedirler [55]. Tıbbi bitkiler yalnızca sıvı ya da kapsül preparat şeklinde değil çay, tentür, baharat, gıda, krem, pomat, uçucu ve sabit yağ gibi formlarda da tedavi amacıyla kullanılmaktadır [56]. Bu sebeple bilinçsiz kullanımda toksik özellik gösterme potansiyelleri oldukça yüksektir. Kullanımlar için ülkelerin oluşturdukları farmakope kriterlerine göre standartlar oluşturulması ve denetimlerle kalite standartlarına uygun şekilde hekim, eczacı ya da uzman tarafından dozu belirlenerek uygulanması gerekmektedir. Türkiye’de son yıllarda Tarım - Orman Bakanlığı ve Sağlık Bakanlığının önderliğinde birçok çalışma ile tıbbi bitkilerin kullanımına, erişilebilirliğine, üretilebilirliğine öncelik verilmektedir. Yaygın kullanım alanına sahip tıbbi bitkilerin birçoğu ağır metal stresinde hiperakümülatör olarak kullanılan bitki türleridir. Özellikle gıda, çay ve yağ formları doğrudan bitki biyokütlesi ile ilgili olduğundan yetiştirildiği ortamın temiz olması, ağır metal ya da herhangi bir kirlenici

ile maruziyetinin olmaması, çevre koşullarında diğer Canlı gruplarıyla etkileşimi çok önemlidir. Bunun için toprak ve toksisite analizleri, su kaynaklarının analizi, etken madde yüzdeleri gibi konular gündeme gelmektedir. Bu konular özellikle ziraat ve botanik alanında yeni araştırmalara ışık tutmuştur.

2.4.1. *Melissa officinalis* L. (Melisa, oğulotu)

Lamiaceae (Ballıbabagiller) familyasına ait olan oğulotu bitkisinin Latince ismi; *Melissa officinalis* L., sinonim isimleri; *Calamintha officinalis* Moench, *Melissa graveolens* Host, *Thymus melissa* E.H.L Krause. Türkçe isimleri; melisa, limonotu şeklinde geçmektedir.

2.4.1.1. Bitkinin Yayılışı

Dünya genelinde Kuzey İran ve Irak, Bulgaristan, Romanya ve İspanya' da doğal yayılışı mevcuttur. Türkiye'de Anadolu sınır bölgeleri ve Akdeniz'de doğal yayılışı mevcuttur [57].

2.4.1.2. Botanik Özellikleri

20-150 cm yükselebilen, dik uzayan, tüylü, limon kokulu çok yıllık otsu bit bitkidir. Lamiaceae familya özelliği olan dört köşeli gövde dallanmış, salgı ve örtü tüyleriyle kaplıdır. Yapraklar karşılıklı dizili, basit, ovat ya da eliptik şekilli, yumuşak tüylü saplı ve dişli kenarlıdır. Çiçekler çift dudaklı, beyaz, beyazımsı pembe ya da eflatun renklerindedir. Ülkemizde yaprak ve tüy farklılaşmasına göre tespit edilmiş 3 alt türü bulunur. ssp. *officinalis*, ssp. *inodora* ve ssp. *altissima*. Bunlardan yalnızca subsp. *officinalis* türü tıbbi amaçla kullanılmaktadır [58].

2.4.1.3. Kimyasal Bileşimi

Acı glikozitler, fenolik asitler, flavonoidler, tanenler, terpenoidler ve uçucu yağ içermektedir. Bu maddeler bitkinin yetiştiği çevre ve iklim koşullarına, hasat zamanına, saklama koşullarına ve kullanılacak drogun kuru ya da yaş olmasına göre değişiklik gösterebilir. Tıbbi olarak yaprak ve aromatik uçucu yağı kullanılmaktadır [59].

2.4.1.4. Etki ve Kullanılışı

Oğul otu infüzyon, sıvı ekstre, tentür ve uçucu yağ formlarında tedavi amaçlı kullanılmaktadır. Geleneksel olarak; infüzyon ve dekoksasyon şeklinde yatıştırıcı, sindirim kolaylaştırıcı, gaz söktürücü ve yara temizleyici olarak kullanılmaktadır [60].

Tıbbi olarak; antiviral, antimikrobiyal, antiseptik, spazm sökücü, yatıştırıcı, antidiyabetik gibi etkiler göstermektedir [61][62].



Şekil 2.4: *Melissa officinalis* L.

2.4.2. *Nigella damascena* L. (Şam çörekotu)

2.4.2.1. *Familiya*

Ranunculaceae (Düğünçiçeğigiller) familyasına ait olan çörekotu bitkisinin Latince ismi; *Nigella damascena* L., Türkçe isimleri; mevzekotu, şam çörekotu şeklinde geçmektedir.

2.4.2.2. *Bitkinin Yayılışı*

Dünya genelinde Batı Afrika, Güney Avrupa, İran, Suriye ve Türkiye'ye kadar yayılış göstermektedir. Türkiye'de ise Akdeniz, Ege ve Marmara'da doğal yayılışı mevcuttur [63].

2.4.2.3. *Botanik Özellikleri*

20-100 cm yükselebilen, yumuşak gövde ve tüylü, iki yıllık otsu bir bitkidir. Yapraklar iplik şeklinde ve dallıdır. Çiçekler genellikle mavi, mor ve pembemsi renktedir. Kapsül meyveleri olgunlaşınca açılır. Tohumlar yaklaşık 5 mm, çıkıntılı ve grimsi renktedir [64].

2.4.2.4. Kimyasal Bileşimi

%30 oranında sabit tohum yağı, protein, saponin, alkaloidler, tanen ve uçucu yağ içerir [65].

2.4.2.5. Etki ve Kullanılışı

Şam çörekotu infüzyon, tütsü ve sabit yağ formlarında tedavi amaçlı kullanılmaktadır.

Geleneksel olarak; sabit yağı kozmetik amaçlı, infüzyonu söktürücü olarak kullanılmaktadır [58].

Tıbbi olarak; antialerjik, ateş düşürücü, gaz giderici ve bağışıklık sistemini kuvvetlendirici olarak tedavide kullanılmaktadır. Tohum yağında bulunan “Damascenine” alkaloidi uyuşturma özelliği sebebiyle ağrı kesici olarak kullanılabilir [66].



Şekil 2.5: *Nigella damascena* L.

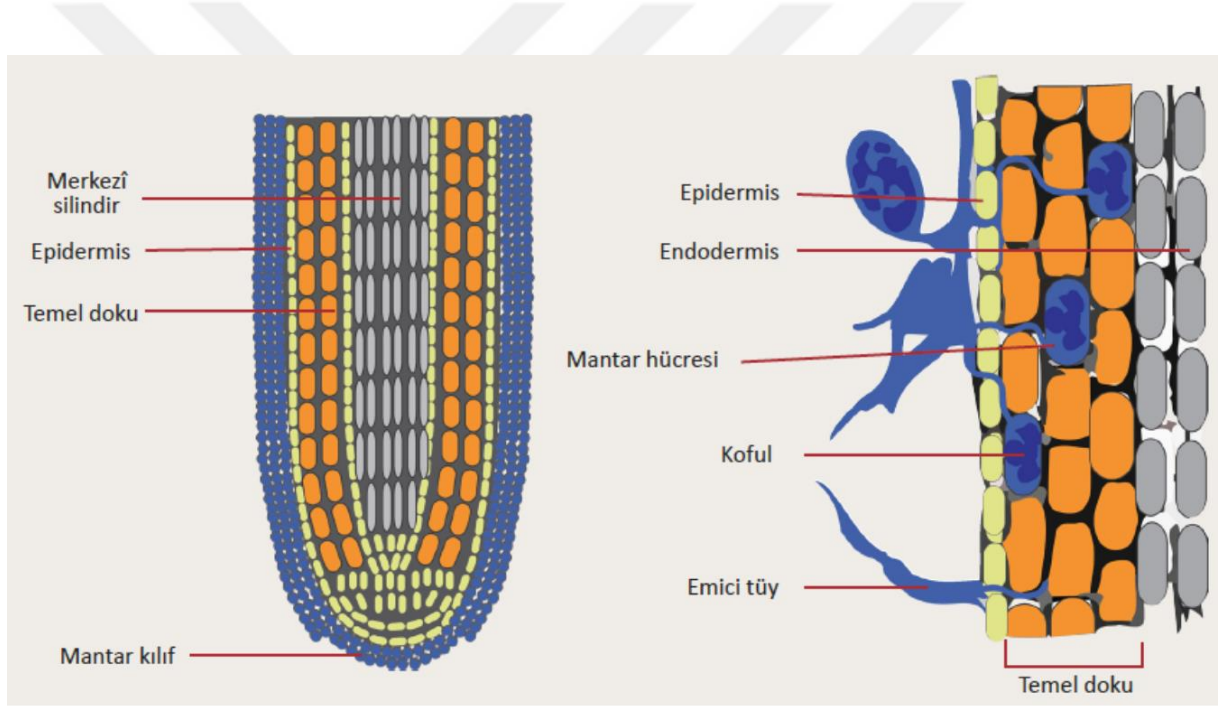
2.5. BAZI KAVRAMLARIN TANIMI

2.5.1. Mikoriza

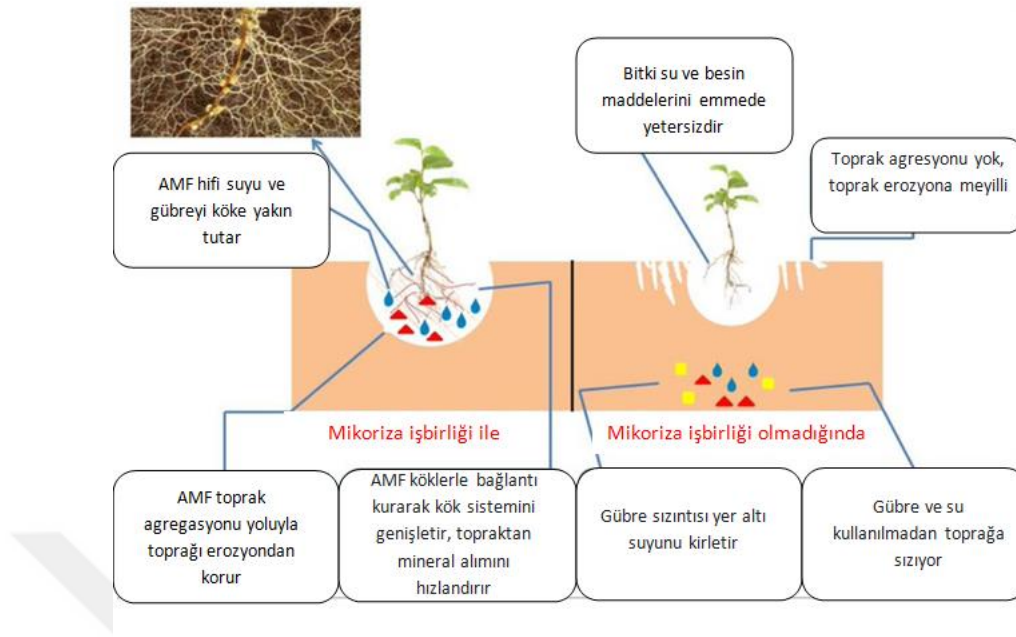
Yeni dünya düzeninde şehirleşme, Canlı sayısı ve tüketimdeki artışla birlikte ihtiyaç ve ihtiyaç çeşitleri de paralel olarak artmaktadır. Öncelikle doğal kaynaklar kullanılarak bu ihtiyaçlar karşılanmaya çalışılmaktadır. Bu döngüde doğal kaynakların olumsuz etkilenmesi, ekolojik kaynakların ve dengenin bozulması, gübre ve pestisit kullanımlarla kirlenmelerin hızla artması olası olumsuz etkilerin başında gelmektedir. Bunun dışında yaşam için önemli bir etmen olan gıda üretimi için toprak ve bitkilerin iyileştirme çalışmaları son yıllarda tüm dünya ülkelerinde öncelikli alan olarak ilk sıraya yerleşmiştir. Bitki gelişimi ve hastalıklarında, stres ve diğer çevresel faktörlere karşı tolerans geliştirmesinde birçok biyolojik etmene başvurulmuştur.

Birçok çalışma ve deney sonucunda elde edilen verilen bitkiler tarafından özellikle kök bölgesinde geliştirilen koruma mekanizmaları bulunduğunu göstermiş ve simbiyotik ilişkileri akla getirmiştir. Bunlardan en önemlileri mikoriza ve nodül oluşumu olarak belirtilmiştir.

Myco ve rhiza (Mantar ve kök) kelimeleri ile tanımlanmış bu terim bitki kökleri ve toprakta bulup bitki köklerine tutunan Zygomycotina ve Basidiomycotina şubelerine ait fungus türlerinin birlikte oluşturdukları karşılıklı yaşamdır. Arkeolojik kazılardan elde edilen fosillerde 400 milyon yıl öncesine ait mikorizal birliktelikler kaydedilmiştir [67]. Köklerde oluşan hiflerin yoğunluğu oldukça önemlidir. Kökün ulaşamadığı toprak kısımlarına ulaşarak bitkiye su ve mineral sağlamakta karşılığında bitkiden karbon ihtiyacını karşılamaktadır.



Şekil 2.6: Bitki kökünde mikoriza



Şekil 2.7: Mikoriza çalışma prensibi [68]

Genel olarak 4 tip mikoriza kaydedilmesine rağmen tarım açısından iki grup önem kazanmıştır.

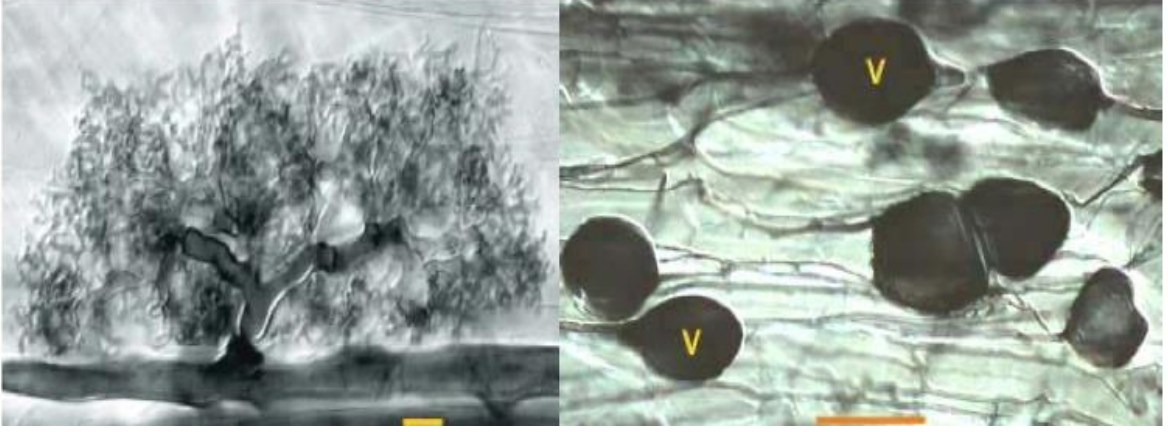
Ektomikoriza (EM)

Endomikoriza (Vesiküler-Arbüsküler)

Ektomikoriza genellikle *Fagus*, *Betula*, *Castanea*, *Salix*, *Populus*, *Quercus*, *Tilia* gibi birçok ağaç ve çalı türlerinde ve *Poaceae* gibi tek yıllıkların kök hücreler arası boşluklarda miselleri tutarak fungus kütlelerini kök dışında kolonize olur ve iki yapı oluştururlar. Harting ağı diye adlandırılan kök yüzeyini çevreleyen bir de kök korteksinin yüzeyinde oluşan hif yapısı.

Endomikorizada fungus bitki kökün korteks kısmının hem hücreler arası hem de hücre içi boşluklarında kolonize olurken kökün dış kısmına misel ve çoğalma için gerekli yapılarını çıkarır.

Vesikül (yağ içerikli oval yapılar) ve arbüskül (kök yapısındaki dallanmayı andıran yapılar) yapıları farklılaşmaktadır. Fakat arbüskül yapısı vasküler sistemi olan bitkilerin yaklaşık %80 için uygun olduğundan daha çok arbüskül üzerinde durulmaktadır. [69,70,71,72]



Şekil 2.8: Arbüskül (dallanmış) ve vesikül yapıları (oval)

Mikorizalar spor ile çoğalmaktadır ve sporların miktar ve kaliteleri için;

- Sıcaklık (opt 30°C)
- Işık (min 12 saat)
- pH (6-7) koşulları önemlidir.

Koşullar bitki ve çevreye göre değişebilmektedir. Mikoriza türlerinin yaşam şartları uygun olduğunda;

- Bitkinin besin ve su ihtiyacını karşılar (özellikle azot ve fosfor)
- Besin ve suyun taşınımını hızlandırır
- Özellikle ektomikoriza türlerinde patojenlerin saldırısına karşı bazı engeller oluşturarak kökte koruma sağlar
- Stres altında sekonder metabolit üretiminde artırma (özellikle su stresi)
- Bitkinin stres ve patojenlere karşı toleransı artırma (antibiyotik üretme)
- Bitki hormonlarının üretimini artırma
- Ağır metal alımı ve zararlarını azaltma [73, 74, 75]

2.5.2. Toprakta Azot Analizi

Azot; bitkilerin yapısal bileşiklerinde yer alan ve yaşamsal önemi olan bir elementtir. Ve birçok metabolik olayın yanı sıra klorofil molekülü, ATP, ADP gibi enerji basamakları, enzim ve asitlerin yapılarında yer alır. Bitki büyüme ve gelişmesinde, karbonhidrat ve protein içeriklerinde, ürün veriminde, hasat süresi, patojen ve stres toleransı ile yakından ilişkilidir. Bitkilerin büyük kısmının yaşam ortamı topraktır ve gerekli olan elementlerin kaynağı topraktan sağlanmaktadır. Toprakta bulunan N; atmosfer ve organik humus

kaynaklı olabilmektedir. Toplam azot (N) oranı değişiklik göstermekle birlikte %0,15- %0,3 arasında değişebilmektedir. Azot bulunduğu toprakta; element, organik ya da inorganik bileşikler şeklinde bulunabilmektedir. Element şeklinde gaz ya da suda çözünmüş, organik şekilde genellikle protein ya da amino grupları şeklinde veya farklı organik formlarda, inorganik şekilde nitrik oksit, azot dioksit, nitrit, nitrat, amonyum ve amonyak gibi formlarda bulunabilmektedir. Bitki için en faydalı formlar amino asit ve amid azotlarıdır [77, 78, 79].

Son yıllarda özellikle tarım arazilerine bilinçsiz gübre uygulanması sonucu toprak içeriğinde azot, fosfat, potasyum gibi elementlerin aşırı artması sonucu bitki gelişimi olumsuz etkilenmekte ve istenilmeyen sonuçlar ve kayıplar meydana getirmektedir. Toprakta olması gereken N,P,K oranları iyi değerlendirilmeli, bitki türüne ve ihtiyacına göre uygun seviyede tutulmalıdır (Tablo 2) [80].

Toprakta azot analizleri için Dumas ve Kjeldahl olarak iki yöntem kullanılabilmektedir. Çalışmamızda da yaygın olarak kullanılan Kjeldahl yönteminden yararlanılacaktır.

Tablo 2.1: Besin elementlerinin toprak içerisindeki sınırları

Besin Elementi	Eşik Deęerler	Tanı
Toplam N (%)	<0.045	Çok az
	0.045-0.09	Az
	0.09-0.17	Yeterli
	0.17-0.32	Fazla
	>0.32	Çok fazla
P (Mg/kg)	<2.5	Çok az
	2.5-8.0	Az
	8.0-25.0	Yeterli
	25.0-80.0	Fazla
	>80.0	Çok fazla
K (Mg/kg)	<50	Çok az
	50-140	Az
	140-370	Yeterli
	370-1000	Fazla
	>1000	Çok fazla

2.5.3. Fenolik Maddeler

Bitkilerin yaşamsal faaliyetleri sonucunda meydana gelen sekonder metabolitlerden birisi olan fenolik bileşikler yapılarında bir ya da daha fazla hidroksil grubu taşırlar ve bitki metabolizmasında doğrudan oluşur. En temel düzeyde tek hidroksil grubu içeren “benzen” olarak bilinir ve bu yapıya fenol adı verilmektedir. Diğer fenolik bileşikler bu fenol yapısından türemektedir. Fenolik asit, kumarin, flavonoid lignin, tanen gibi bileşikler bu gruba yer almaktadır [81, 82]. Genel olarak fenolik asitler ve flavonoidler olarak iki ana gruba ayrılırlar. Genel olarak bitkilerde tat, renk ve antioksidan oluşumunda rol oynadıkları bilinmektedir. Antioksidan açıdan yüksek özellik göstermelerinin sebebi asidik yapılarıyla açıklanmaktadır. Fenolik bileşikler bitkilerde patojen maddelerin zararlı etkilerine karşı koruyucu özellik göstermektedir. Fenolik bileşikler eczacılık, kozmetik ve gıda sektöründe kullanılmaları dışında insan sağlığı üzerindeki etkileri sebebiyle de çalışmalarda ilgi görmektedir [83,84,85].

2.5.4.Prolin

Bitkiler; içinde bulundukları stres koşullarına farklı moleküler tepkiler verebilmektedirler [86]. Bünyelerinde ürettikleri birçok madde ile tolerans mekanizmaları geliştirmektedirler. Aminoasit türlerinden birisi olan prolin; bitkinin stres koşulları altında miktarını arttırarak savunma sağlamaktadır [87]. Bununla birlikte birçok metabolik olayda rol almaktadır [88].

Bunlar;

Hücre kayıplarını engelleyen önemli bir antioksidandır

Protein sentezi ve parçalanmasında rol oynar

Doku zedelenme ve yaralanmasında yenileyicidir

Bitki bünyesindeki çözelti-su dengesini korur [89, 90].

2.5.5 Klorofil İçerikleri

Yeşil renkli klorofil pigmenti; bitkilerde, alglerde ve fotosentetik bakterilerde bulunur. Işık enerjisini absorbe ederek fotosentezde kullanılmasını ve kimyasal enerjiye çevrilmesini sağlayan moleküldür. Fotosentez reaksiyonunda merkez pigment denilmesinin sebebi budur.

Klorofil içerik bitkideki fotosentez aktivitesini izlemenin tek yoludur.

Sekiz değişik klorofil molekül çeşidi bulunur. Klorofil a, klorofil b en bilinenleridir.

Organogenez olayında anahtar rol oynar.

2.5.6. Membran Stabilite İndeksi (MSI)

Stres fizyolojisi çalışmalarında kontrol edilen kısım hücrelerin geçirgenliğinin kontrol edildiği hücre membranlarıdır. Strese karşı tolerans oranı da bu şekilde kontrol edilebilmektedir [76]. Hücre membranlarının zarar görüp görmediği hücreden geçen elektriksel iletkenliğin hesaplanması ile gözlemlenebilir. Sızan elektrolitin miktarı fazla ise bitki dayanıklılığının az olduğundan bahsedilebilir. Yaprak ve kök en çalışılan organlar olarak bilinmektedir. MSI değeri türe, strese maruziyete, stresin şiddetine ve sekonder metabolitlere göre değişebilmektedir.

2.6. KAYNAK TARAMASI

Toprak ve toprak içeriğinde kadmiyum etkilerinin araştırıldığı çalışmada mikroorganizmal büyümelerin ve aktivitelerin kirliliğe neden olan kadmiyum tarafından azaldığı ortaya konmuştur [94].

Yem bitkilerinden sorgum bitkisinde Cd, Cr ve Ni ağır metalleri ile yapılmış çalışmada 6 farklı ppm dozu ile Cd metali uygulanmıştır. Çalışma sonunda Cd birikiminin en fazla kök bölgesinde biriktiği çeşit farklılıklarında üst organlara bir miktar taşındığı gözlenmiştir. Morfolojik ölçümlerde ilk 2 dozun (0 ve 25 ppm) dışında bozulmalar görüldüğü bildirilmiştir. Cr stresinde meyve oluşumu ve verimde ciddi düşüşler olduğu bildirilmiştir. Tüm bitkide dağılım gösteren Ni metali en az olumsuz etkiyi göstermiştir [95].

Son yıllarda önemi gittikçe artan organik gübrelerle yapılan çalışmada Cd ile kirletilmiş toprakta mısır bitkisi yetiştirilmesindeki etkileri araştırılmıştır. Cd stresi bitkide farklı element konsantrasyonlarını etkilemiştir. Örneğin azotta azaltırken, fosfor ve potasyumda artış gözlemlenmiştir. Ayrıca organik içerikli gübrenin metal alımını yoğun mineral içerikli gübreden daha fazla arttırdığı bildirilmiştir. Çalışmada ön plana çıkan başka bir sonuç yine son yıllarda toprak verimliliğini arttırdığı bilinen solucan gübresi ile ilgilidir. Solucan gübresi uygulanan bitkiler maruz kaldıkları Cd stresinde antioksidan özellikteki enzim aktivasyonu ile savunma oluşturmaktadır [96].

Ekim öncesi çeltik tohumları üzerinde yapılan uygulamaların tohum çimlenmesi, büyüme, gelişme ve 5 farklı dozda Cd alımı üzerine yapılan çalışmada yüksek dozdaki Cd uygulamasında (400 mg/L) tüm çeşitlerde olumsuz etki görülmüş ve birikimin kök bölgesinde olduğu bildirilmiştir [97].

Brassicaceae (Turpgiller) familyasına ait 3 tür ile yapılan çalışmada Zn, Cd ve As metalleri farklı dozlarda uygulanmış ve etkileri izlenmiştir. Ve üç metal türünün de tohum çimlenmesi ve toprak altı büyümesinde olumsuz etkiler gösterdikleri bildirilmiştir [98].

Cd ve Pb ağır metal stresi altındaki fotosentetik bitkiler ile ilgili yapılan çalışmada klorofil a ve b ile enzimatik reaksiyonların olumsuz etkilendiği ve yine aynı deneyde kullanılan arbüsküler mikoriza yokluğunda fotosentez pigmentlerinin (karotenoid ve klorofil) çok daha fazla zarar gördüğü bildirilmiştir [99].

Cd metali ile kirlenmiş toprakta rizobakteri ve mikorizal mantar uygulamalarıyla büyümesi izlenen Kekre (*Acroptilon repens*) bitkisinin deney çalışmalarında iki uygulamanın da gövde kuru ağırlığını arttırdığı ve Cd alımını azalttığını bunun yanında kontrol grubunda stresten etkilenerek fotosentez metabolizması üzerinde olumsuz etkiler görünürken AMF ve PGPR uygulamalarıyla olumsuz etkilerin azaldığı gösterilmiştir [100].

Domates bitkisinin 10,20 ve 50 ppm Cd, Cu, Pb stresi altında yaprak ve köklerindeki enzimatik aktivitelerin incelendiği çalışmada Cu metalinin tüm dozlarda enzim aktivitelerini azalttığı, Pb metalinde 50 ppm dışındakilerin bir miktar azaltıp sonra arttırdığı, Cd metalinin ise tüm dozlarında enzim artımına sebep olduğu bildirilmiştir [101].

Pakistan’da boya sanayi çevresinde yetişen yeşil yapraklı sebzelerde (ıspanak, kişniş, lahana, turp, karnabahar, marul) bulunan Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn ağır metal düzeyleri ölçülmüş ve özellikle Pb içeriğinin tüm bitkilerde görüldüğü bildirilmiştir. Yapraklardaki birikime bakıldığında genel sıralama $Pb > Zn > Cr > Cu > Cd$ şeklindedir. Lahana en fazla Cd içeriğine sahip bitki iken turp Pb içeriği en fazla olan bitki olarak rapor edilmiştir [102].

Fitoterapik tedavilerde kullanılan on tıbbi bitkinin yerel 5 lokasyondan toplanarak Pb, As, Hg, Cd ve Al gibi insan sağlığı için zararlı ağır metal içeriklerinin ölçüldüğü çalışmada çöp döküm alanı, üniversite kampüsü, yol kenarı, fiziki bahçe ve ormanlık alan bölgelerinden yalnızca ormanlık alanda Dünya Sağlık Örgütü’ nün belirttiği değerlerin çok altında ağır metal ölçümleri bildirilmiştir. Tedavide kullanılan tıbbi bitkilerin mutlaka ağır metal içeriğinin araştırılması vurgulanmıştır [103].

İran’da bitkisel ilaç olarak kullanılan 11 tıbbi bitki türünde yapılan çalışmada Cd ve Pb içerikleri incelenmiştir. İzin verilen Cd içerik limiti 0,3 Mg/g iken antidiyabet etki gösteren ve yaprakları kullanılan keçisedefotu bitkisinde bu değer 1,75Mg/g olarak belirlenmiştir. İzin verilen Pb içerik limiti 10 Mg/g iken hipertansiyonu düşürücü ve yağ metabolizmasını düzenleyici etkiler gösteren ve meyveleri kullanılan sarımsak bitkisinde bu değer 52,74 Mg/g olarak belirlenmiştir [104,105]

Elodea bitkisinin Mn, Zn, Cu, Cd, Ni stresi altında gövde büyümesi, fotosentez, protein ve yağ metabolizması, enzimatik reaksiyonları üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada klorofil içeriğinde azalmanın en fazla Mn ve Cu stresi altında, karotenoid içeriğinde azalmanın yine Cu stresi altında, enzim aktivasyonları ve fotosentetik pigmentlerin içeriğini arttırdığı ve gövde büyümesini geciktirdiği bildirilmiştir [106].

Bir mangrove bitkisi olan *Bruguiera sexangula* türünde farklı konsantrasyonlarda Hg, Cd ve Pb ağır metal stresi altındaki anatomik değişikliklerinin incelendiği çalışmada her üç metalin tüm konsantrasyonlarında kök birikimlerinin gövde ve yapraktan daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Deney sonunda en yüksek konsantrasyondaki Hg (0,04 Mg/l), Pb (8 Mg/l) ve Cd (8Mg/l) streslerde sürgünün ucunun kızarması, klorozis, yetersiz büyüme gibi etkiler gösterdiği rapor edilmiştir [107].

Cd, Co, Zn ve Pb metallerinin nitrat tuzlarının üç bitki türünün (Cajanus, siyah mercimek, buğday) tohum çimlenmesi ve fide büyümesi üzerine yapılan çalışmada metal konsantrasyonları arttıkça prolin miktarının da arttığı bildirilmiştir. Burada Cd metalinin prolin birikiminde en güçlü, Zn metalinin ise en zayıf etki gösterdiği belirtilmiştir [108].

Gıda ve yem bitkilerinden biri olan arpanın Cd stresindeki fizyolojik ve biyokimyasal parametre değişikliklerinin araştırıldığı çalışmada CdCl_2 şeklinde 10,20 ve 30 mM şeklinde metal uygulaması sonuCu çimlenmede yüzdesinin, büyüme ve gelişme parametrelerinin, fotosentetik pigmentlerinin, protein sentezinin ve prolin birikiminin artan metal konsantrasyonu ile azadığı bildirilmiştir [109].

Arbüsküler mikorizal (AM) bir grup olan *Glomus mosseae* grubunun iki kültürünün sporlarının pırasa bitkisi üzerinde yapılan çalışması sonucu özellikle 2. kültür kolonisinde metal kirlenme oranının azaldığı ve bu mikoriza grubunda bitkiye alınan ağır metal miktarının azaldığı bunun da engelleyici sistemleri ile ilgili olabileceği bildirilmiştir [110].

Glomus türü mikorizal misellerinde çalışılan farklı gen ekspresyonları ile bitkide ağır metal toleransında hali hazırda var olan proteinleri kodlayan genlerin farklı metal streslerinde farklı tepkiler verdiğini göstermiştir. Bunlara örnek vermek gerekirse metabolik taşıyıcı, metallothionein, ısı şoku proteini örnek verilebilir. Bu çalışmada Zn ile kirlenmiş toprakta karayonca bitkisinin köklerindeki değişiklikler izlenmiş protein genlerinin uyarıldığı, reaktif oksijenden kaynaklı hasarların giderilmesi için genlerin uyarıldığı bildirilmiştir [111].

Pb ($100 \mu\text{mol L}^{-1}$) ve Cu ($200 \mu\text{mol L}^{-1}$) ağır metal stresi altındaki dut fide yapraklarının fotosentetik işlev ve reaktif oksijen metabolizmasındaki değişikliklerin takip edildiği çalışmada

özellikle enzim aktivitelerinin Pb stresinde, ışık periyodları ve oksidatif hasarın ise Cd stresinde daha yüksek olduğu bildirilmiştir [112].

Aromatik bitkilerden biri olan fesleğen ile ilgili tarımsal alan, sanayi alanı olarak ayrılan iki grupta ve 3 farklı dozda kullanılan Ni, Cu ve Zn metallerinin etkilerinin araştırıldığı çalışmada en fazla fizyolojik ve hücrel hasar Cu ve Zn izlenmiştir. Ayrıca artan Cu konsantrasyonu ile hücrel hasar, oksidatif stres metabolizması ve enzim metabolizması hasarları daha da artmıştır. Cu stresi alerjenik protein profilini arttırırken, yüksek konsantrasyondaki Cu ve Zn stresinin total protein ve antioksidan kapasitesini azalttığı bildirilmiştir. Ni stresi düşük stres etkileri göstermiştir [113].

Peynir küfü olarakta bilinen ve indol asetik asit üreten *Penicillium roqueforti* mantar endofitinin ağır metalle kirlenmiş toprakta yetişen buğday bitkisine etkisinin araştırıldığı çalışmada aşıllı bitkilerin strese yüksek direnç gösterdiği, bitki büyümesinde ve mineral alımında artış yaptığı, sürgün ve köklerde ağır metal birikiminin daha az olduğu görülmüştür [114].

Tuz ve ağır metal stresine aynı anda maruz bırakılan ve bir halofit olan bataklık papatyasının çoklu strese karşı geliştirdiği mekanizmalar ile ilgili yapılan araştırmalarda Cd metalinin kök dışında gövdeye iletildiği, stres faktörlerinin bitki büyümesini teşvik eden fitohormonların toplam konsantrasyonunu etkilememiş bazılarına (oksin, giberellin gibi) azaltıcı etki gösterdiğini bildirmişlerdir [115].

Bitki savunma mekanizmasında rol oynayan metil jasmonatın çilek bitkisi (*Camarosa* cinsi) üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada Cd konsantrasyonun artmasına rağmen uygulama yapılmış bitkilerde morfolojik (uzunluk, ağırlık gibi) büyümenin devam ettiği gözlemlenmiş ve stres etkilerini düşürdüğü bildirilmiştir [116].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. HERBARYUM ÇALIŞMASI

Tez için yapılan ön çalışmalar sonucunda literatür bilgisine ulaşamayan *Nigella damascena* ve *Melissa officinalis* bitkilerinin ağır metal ve mikoriza etkisi altındaki değişimlerini gözlemlemek amaçlanmıştır. İlk olarak seçilen bitkilerin doğal yetiştirme ortamları incelenmek üzere arazi çalışmaları düşünülmüş ve bunun için planlama yapılmıştır.

Sistemantik botanik çalışmaları için önemli bir kaynak olan ve Türkiye’de doğal yayılım gösteren bitkilerin kayıt altına alındığı “Flora of Turkey” kaynağından yararlanmak üzere Zeytinburnu Tıbbi Bitkiler Bahçesi kütüphanesine başvurulmuştur. İlgili familyalar taranarak seçilen bitkilere ait Türkiye lokasyonları kaydedilmiştir.

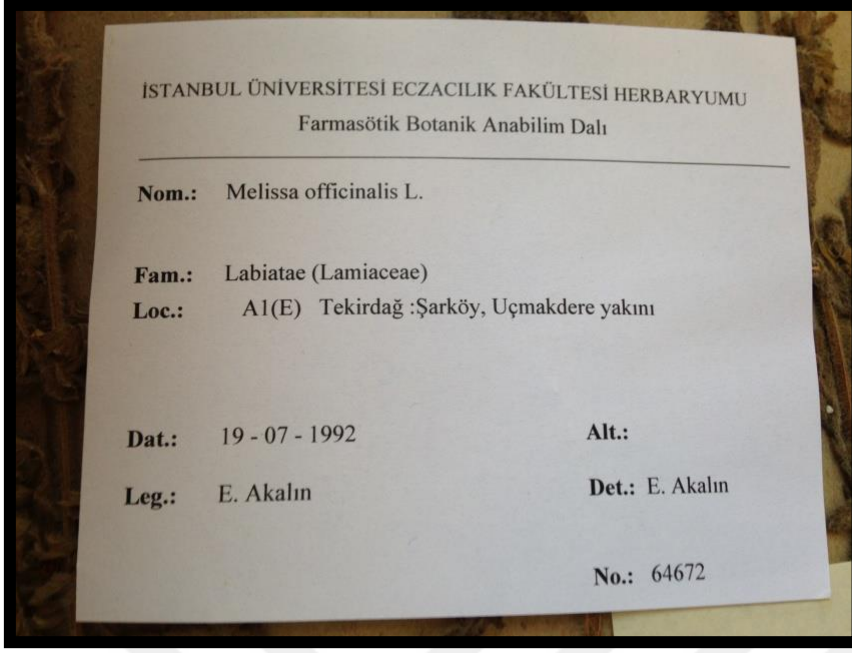
Herbaryum örnekleri ile lokasyon alanlarını karşılaştırmak üzere;

- İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Herbaryumu (ISTF)
- İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Herbaryumu (ISTE)
- İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Herbaryumuna (ISTO)

Herbaryumlara bizzat gidilerek örnekler incelenmiştir.

Ege Üniversitesi Botanik Programı Herbaryumu (IZEF) kaynaklarından da herbaryum örnekleri e-posta yoluyla kaydedilmiştir.

Elde edilen tüm örnekler karşılaştırılmış ve İstanbul şartlarına uygunluğu ve bitki yetiştirme açısından iklimsel sorunlar yaşanmaması için Marmara Bölgesi lokasyonları arazi planlamasına dahil edilmiştir.



Şekil 3.1: *Melissa officinalis* L. türüne ait ISTE herbarium örneği

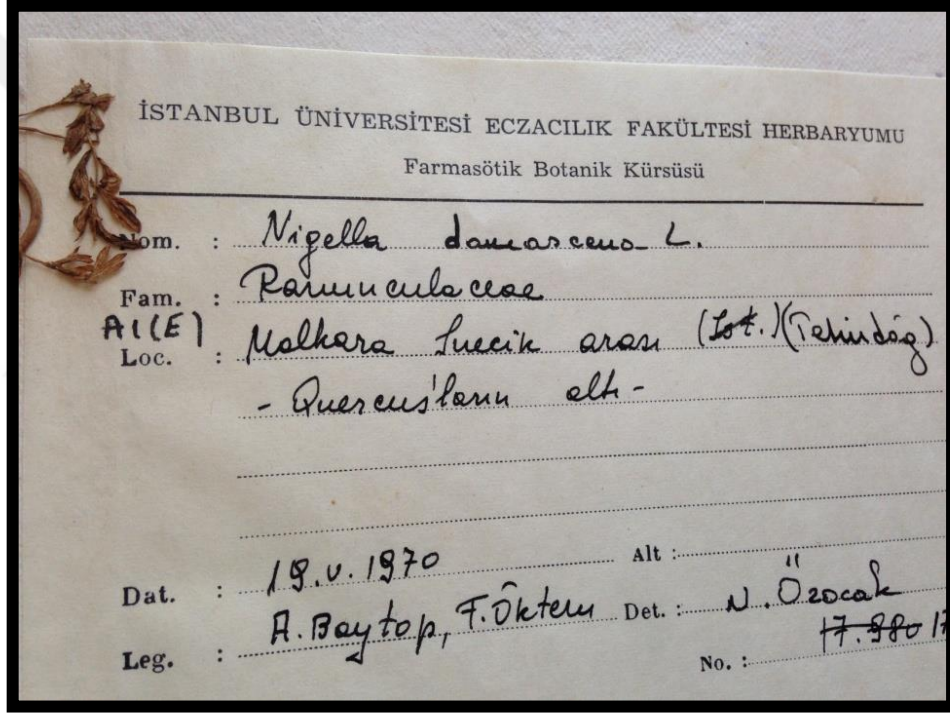
Tablo 1: *Melissa officinalis* L. bitkisine ait ulaşılan lokasyonlar

Tür: *Melissa officinalis* L.

Familiya: Lamiaceae

İstanbul	Sarıyer	Rumelihisarı
İstanbul	Emirgan Boyacıköy	Tohumlu
Bursa		Çiçekli
Bursa	Uludağ Teferrüç Gökdere	Çiçekli
İstanbul	Sarıyer	Rumelihisarı Mezarlık
Kırklareli	sislioba mutludere yol boyu	
Bursa	Şevketiye	
Kırklareli	Mahya dağı veliha köprüsü	
Kırklareli	Yiğitbaşı Karakolu, mutlu dere kenarı, kavaklık tarla içi, orman kenar	
Kırklareli	Şükrüpaşa, aziziye arası, mutlu dere boyu, meşe gürgen ormanı, dere kenarı	
Edirne	Kavakormanı altı	
Tekirdağ	Şarköy, uçmak dere yakını	
İstanbul	Yeniköy	Berrin Torolsan Yalısı
Muğla	Fethiye	Kemer-Taşocağı
İzmir	Selçuk	Pamucak plajı dolayları
Çanakkale	Gökçeada	Marmaris burnu
Çanakkale	Gökçeada	Dereköy'den Merkez'e doğru, Bursalı hayratı çeşmesinden 2 km.
Çanakkale	Gökçeada	Dereköy'den Merkez'e doğru, Bursalı hayratı çeşmesinden 2 km.
Çanakkale	Gökçeada	Aydıncık burnu, Tuzgölü civarı
Çanakkale	Gökçeada	Yarızodo-Vuno tepesi arası

İzmir	Bornova	Bornova'dan Manisa'ya 15 km. tepe karakolu inişi eski yol girişi
Balıkesir	Havran	Çakırdere köyüne 3 km. kala
İzmir	Gümüldür	Karacadağ-Değirmendere mevkii
İzmir	Balçova	Baraj civarı yol kenarı
Muğla		Sandras dağ, SW foothills 4 km.SW of the village of Ağla
Muğla	Milas	Milas-Ören arası 13 km.
İzmir	Bornova	Ege Üniversitesi içi
Isparta	Eğirdir	Eğirdir-Pınarlı arası
Çanakkale	Gökçeada	İncirburnuna 1 km.kala
Bolu	Düzce	



Şekil 3.2: *Nigella damascena* L. türüne ait ISTE herbarium örneği

Tablo 3.1: *Nigella damascena* L. bitkisine ait ulaşılan lokasyonlar

Tür: *Nigella damascena* L.

Familiya: Ranunculaceae

İstanbul	Beylerbeyi	
İstanbul	Aydos tepe	
İstanbul	Tuzla	
Balıkesir	Marmara adası, güney cephe	
İstanbul	Çınarcık	
İstanbul	Florya	
İstanbul	Şile yolu samandıra kavşağından 3 km önce	
İstanbul	Başbüyük mah. Maltepe	

Edirne	Koru dağları	Orman kamp yeri civarı
Tekirdağ	Şarköy kavak yolu Gelibolu yol ayrımından 3 km	
Tekirdağ	Tekirdağ Malkara yolu Tekirdağa 500 m kala	
İstanbul	Anadolu hisarı körfez arası yol kenarı yamaçlar	
İstanbul	Kısıklı Çamlıca yolu yol kenarında	
Çanakkale	Kurudağ Jandarma karakolu yakını	
Tekirdağ	Hayrabolu arası tekirdağ dan 20 km ileride"	
Kırklareli	Midye vize yolu Midye' den km	Quercus altı
İstanbul	Çatalca subaşı köyü çevresi	Buğday tarlası kenarı
İstanbul	Arnavutköy Kız Koleji Bahçesi	
İstanbul	Olimpiyat köyü	Eski taş ocağına giden yol kenarı (kayabaşıkoyu)
İstanbul	ÇatalCa subaşı piknik alanı yol kenarı	
Edirne	Keşan ipsala arası	
Edirne	Koru dağı yerli su ilerisi	
Tekirdağ	Saray'dan 4 km	
Edirne	Gelibolu'ya 25 km Dirikköy civarı	
Kırklareli	Lüleburgaz Çorlu Yolu kepirtepe civarı	
Tekirdağ	İstanbul'a 10 km kala	Quercus altı
Tekirdağ	Hayrabolu yolu Tekirdağ 19. km	
İstanbul	İhsaniye	
Tekirdağ	Malkara inecik arası	
Kırklareli	Babaeski Kırklareline 32 km	
Kırklareli	Lüleburgaz Çorlu Yolu kepirtepe civarı	
İstanbul	Yalova	
İstanbul	Bahçeşehir	Batı yamaçları
İstanbul	Üsküdar	Kısıklı ÇamlıCa yol kenarı
İstanbul	Sarıyer	Makide bayırlarda
İstanbul	Sarıyer	
İstanbul	Yalova	
KoCaeli	Gebze	Eskihisar yolu 1,5 km yol kenarı
KoCaeli	Gebze	
İstanbul	Silivri	Değirmendere
İstanbul	İçerenköy	Küçük bakkalköy
KoCaeli	İzmit	
İstanbul	ÇatalCa	Hadımköy - Kumçukuru
İstanbul	Yeşilköy	
İstanbul	KoCaeli	Ağva-Kandıra yolu
İstanbul	Bakırköy-Halkalı İstasyon Karşısı	Tarla kenarı
İstanbul	Sarıyer	Şifasuyu
İstanbul	Çatalca	Hadımköy
İstanbul	Bakırköy- Yeşilköy	Demiryolu kenarı
İstanbul	Çekmece	Nükleer Araştırma Merkezi
İzmir	Bornova	Ege Üniversitesi içi
İsparta	Eğirdir	Eğirdir-Pınarlı arası
Çanakkale	Gökçeada	İncirburnuna 1 km.kala
Bolu	Düzce	

Izmir	Bornova	Ege Üniversitesi içi
Isparta	Eğirdir	Eğirdir-Pınarlı arası
Çanakkale	Gökçeada	İncirburnuna 1 km.kala
Bolu	Düzce	

3.2. ARAZİ ÇALIŞMASI

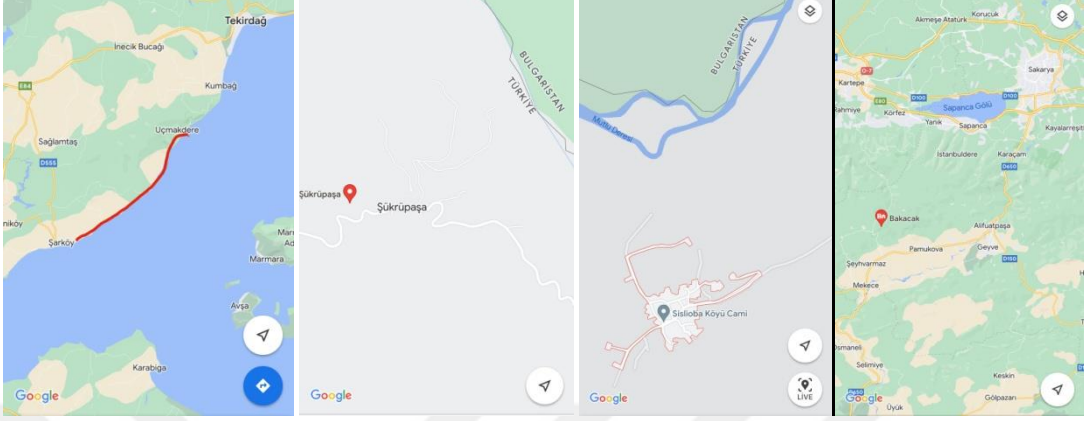
İlk lokasyon her iki türden de herbaryum örneklerinin kaydedildiği Tekirdağ iliydi. Özel araç ile İstanbul – Tekirdağ arası ulaşım sağlandı. Şarköy – Uçmakdere arası lokasyonlar tek tek kontrol edildi. Araç ile ulaşım sağlanamayan bölgelere yaya olarak ulaşıldı. Bazı lokasyonlar GPS ile bulundu. Bazılarına yöre halkının yardımı ile ulaşıldı. Lokasyonlarda *Nigella damascena* ve *Melissa officinalis* türlerinin taze formu ve tohumlarına ulaşılamadı.

İkinci lokasyon olarak Kırklareli Şükrüpaşa köyü Mutlu Dere etrafındaki meşe-gürgen ormanı derinliklerine köy muhtarı yönlendirilmesi ile inildi. Melisa türünün taze örneğine rastlandı. Etraf taranarak başka örnekler de bulunduktan sonra bitki vejetasyonuna zarar vermeden 2 örnek taze haliyle kökten dikkatlice sökülerek alındı. Taze örneğin alındığı bölgeden kürek yardımı ile yaklaşık 25 cm'den toprak örneği de alındı ve hazırlanmış etiketli poşetlere konularak tartıldı. Tüm bilgiler kaydedildi. Ve araziye uygun hassas tartı ile organlar parçalanarak tek tek tartıldı ve yaş ağırlıklar belirlenerek her bir örnek ve o örneğin her bir organı için ayrılmış ve etiketlenmiş poşetlere yerleştirildi. 1 adet herbaryum örneği alındı. Arazide preslenerek koruma altına alındı.

Üçüncü lokasyon olarak Kırklareli ili Demirköy ilçesi Sislioba köyünde *Melissa officinalis* türüne ulaşmak üzere belirlendi. Yol üzerinde diğer bir *Melissa officinalis* lokasyonu olan Kırklareli ili Demirköy ilçesi Mahya dağı Veliha köprüsü (eskiköprü) etrafı kontrol edildi. Lokasyonda değişimler olduğu için örneğe rastlanamadı. Sislioba köyüne ulaşıldığında köy halkından lokasyonun tam Bulgaristan sınırına denk geldiğini öğrenildi. Lokasyona çok yakın bir yerdeki arı kovanlarının etrafında doğal olarak yetişen *Melissa officinalis* vejetasyonunun olduğu yöre halkından öğrenildi ve yardımlarıyla bölgeye ulaşıldı. Kovanların etrafında bulunan ve çiçekli haldeki *Melissa officinalis* türünden 2 taze köklü örnek ve 1 herbaryum örneği alındı. Taze örneğin alındığı bölgeden kürek yardımı ile toprak örneği de alındı ve hazırlanmış etiketli poşetlere konularak tartıldı ve kaydedildi. Taze örnekler de organlarına ayrılarak tartılıp hazırlanan etiketli poşetlere koyuldu ve kaydedildi.

Dördüncü lokasyon olarak ağustos ayında üçüncü lokasyon olarak seçilen Sakarya ili Adapazarı ilçesi Bakacak köyüne araç ile gidildi. Köyün 150 metresinde dere kenarına doğru yaya olarak

inildi. Dere boyu taranarak *Melissa officinalis* türünün çiçekli haline rastlandı. 2 taze köklü örnek ve 1 herbaryum örneği alındı. Taze örnekler arazide organlarına ayrılarak tartılıp hazırlanan etiketli poşetlere koyuldu ve kaydedildi.



Şekil 3.3: Arazi çalışması yapılan lokasyonlar



Şekil 3.4: Sisioba ve Şükrüpaşa lokasyonlarından toplanan örnekler

Nigella damascena L. türü için yapılan farklı bölgelere farklı zamanlarda yapılan 3 arazi çalışmasında örneğe rastlanamadı. Kentleşme sebebiyle lokasyonlara yeni yerleşim alanları yapıldığı görüldü.

Tablo 3.2: *Nigella damascena* (Çörekotu) türünün arazi lokasyonları

1.	Edirne Kuru Dağları Orman Kampı Civarı (1974)
2.	Tekirdağ Şarköy Kavak yolu Gelibolu yol ayrımından 3 km (1975)
3.	Tekirdağ Hayrabolu arası Tekirdağ' dan 20 km ileride quercus ormanaltı (1971)
4.	Kırklareli Midye - Vize yolu Midye' den 6 km ileride quercus ormanaltı (1975)
5.	Edirne Keşan - İpsala arası (1973)
6.	Çanakkale Dirikköy civarı Gelibolu' ya 25 km (1975)

7.	Tekirdağ Saray Vize arası Saray' dan 4 km (1975)
8.	Kırklareli Lüleburgaz - Çorlu yolu Kepirtepe civarı çam ağaçları ile ağaçlandırılmış bir tepe (1975)
9.	Tekirdağ İstanbul - Saray yolu İstanbul' a 104 km kala quercus altı (1973)
10.	Tekirdağ Malkara - İncecik arası quercus altı (1970)
11.	Babaeski - Kırklareli yolu Kırklareli' ne 32 km kala quercus altı (1975)

Gidilen lokasyonlar dışında da *Nigella damascena* türü arandı ve Tekirdağ - Kırklareli arazi çalışmasında Tekirdağ ili Selimpaşa ilçesi yol kenarında türe rastlandı. Yalnızca 7-8 kök bitki bulunabildi. Etraf taranarak başka örnekler rastlanamayınca bitki vejetasyonuna zarar vermeden 2 örnek taze haliyle kökten dikkatlice sökülerek alındı. Taze örneğin alındığı bölgeden kürek yardımı ile yaklaşık 25 cm' den toprak örneği de alındı ve hazırlanmış etiketli poşetlere konularak tartıldı. Tüm bilgiler kaydedildi. Ve araziye uygun hassas tartı ile organlar parçalanarak tek tek tartıldı ve yaş ağırlıklar belirlenerek her bir örnek ve o örneğin her bir organı için ayrılmış ve etiketlenmiş poşetlere yerleştirildi. 1 adet herbaryum örneği alındı. Arazide preslenerek koruma altına alındı.



Şekil 3.5: Şam çörekotu Tekirdağ Selimpaşa yol kenarı

3.3. LABORATUAR ÇALIŞMASI 1

Alınan örneklerin madde içeriklerini belirlemek için kuru ağırlık üzerinden çalışmalar yapılacaktır. Bu yüzden örnekler 70 °C de yaklaşık 1-2 gün etüve konularak kurutuldu ve kuru ağırlık tespiti için tekrar tartıldı. Kurutma ve tartma çalışmalarında ayrı ayrı poşetler kullanıldı ve tüm bilgiler kaydedildi.



Şekil 3.6: Radwag hassas terazide kuru ağırlıkların tartımı

Belirlenen yaş ve kuru ağırlıkların ışığında bitkilerin su içeriği hesaplanacaktır.

Su içeriği (%): [(taze ağırlık-kuru ağırlık)/taze ağırlık X 100]

Tablo 3.3: Arazi bitkileri yaş ve kuru ağırlıklar

Örnek Adı	Yaş Ağırlık				Kuru Ağırlık			
	Kök	Gövde	Yaprak	Toprak	Kök	Gövde	Yaprak	Toprak
<i>Melissa officinalis</i> (Sislioba 1)	3 gr	6 gr	3 gr	250.2 gr	0,924 gr	1.503 gr	0,827 gr	191.230 gr
<i>Melissa officinalis</i> (Sislioba 2)	2 gr	4 gr	1 gr	410 gr	0,396 gr	0,697 gr	0,770 gr	287.255 gr
<i>Melissa officinalis</i> (Şükrüpaşa)	2 gr	5 gr	4 gr	90.2 gr	1.983 gr	4.077 gr	2.473 gr	80.936 gr
<i>Melissa officinalis</i> (Adapazarı)	1,6 gr	6.2 gr	3 gr gr	193 gr	1.212 gr	1.160 gr	1.019 gr	112.067 gr
<i>Nigella damascena</i> (Selimpaşa)	1 gr	1 gr	1 gr	360 gr	0.724 gr	2.034 gr	0.851 gr	294.355 gr

Kurutulmuş ve homojen olarak toz haline getirilmiş bitki örnekleri ile elekten geçirilmiş kuru toprak örnekleri element ölçümleri için mikrodalga sistemi ile yaş olarak yakıldı (Şekil 3.7).

Yapılan yaş yakma yöntemi element analizlerinde çokça tercih edilen bir yöntemdir. Berghoff cihazı ile yapılan yaş yakma prensibi yüksek basınç sistemi içerisinde gerçekleşmektedir. Organik madde kullanılan sıvı içerisinde çözünmektedir. Kullanılacak olan asit türü ve yöntem

örneğe göre iyi seçilmeli ve metod oluşturulmalıdır. Sıvı çözücü olarak genellikle sülfürik asit, nitrik asit, perklorik asit ya da bunların kombinasyonları kullanılmaktadır.

3.3.1. Yaş Yakma Metodu

Çözücülerin kaynama noktaları baz alınarak yaklaşık 300°C’de yakma işlemi gerçekleştirilmektedir. Element bozunma ve kayıpları daha az görülmektedir. Genel olarak tüm organik materyal tamamen yanmakta ve çözünmektedir. Kullanılan çözücüler ve yüksek basınçlı kaplar sebebiyle tehlikeli olabilmektedir. Fakat diğer yakma türlerine göre daha kolay ve pratiktir.



Şekil 3.7: Berghoff Yaş Yakma Cihazı

Yüksek lisans tez çalışmasında kullanılan metottan yararlanılmıştır.

0,2 gr kuru, toz örnek tartılarak mikrodalga fırının özel teflon tüplerine (DAP-100 vessel) alındı. Denemeler sonucu en iyi sonuç veren 10 ml HNO₃ (Yüksek saflıkta %65, laboratuvar çalışmalarına uygun nitrik asit, Merck) eklenerek emniyet diskleri yerleştirilip kapakları sıkıca kapatılmıştır.

Uygun sıcaklık ve basınç dereceleri belirlendi ve yaş yakma istenen zaman dilimi ayarlanarak tamamlandı. Kuru organik maddenin tamamen parçalanarak inorganik çözelti haline geçtiği örnekler ilk olarak 9mm’lik külsüz filtre kağıdı ile (Whatman-42) süzüldü ve 25ml’lik balon jöjelere aktarılarak Ultrapure (Elga) deiyonize su ile 25ml’ye seyreltildi.

Element ölçümleri İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopisi (Perkin Elmer, ICP-OES 7000 DV) ile yapıldı.

Element stoklarından istenilen oranda karıştırılarak iyon tayini için standartlar hazırlandı.

Kalibrasyon solüsyonu için saf su ile hazırlanmış %1 lik HNO₃ çözeltisi kullanıldı.

Tüm örnekler 1/10 oranında deiyonize su ile sulandırılarak 15 ml lik tüplere aktarıldı ve ölçüm için cihaz tablasına yerleştirildi. Ölçümlerde yüksek saflıkta argon ve azot gazı kullanıldı. Sonuçlar kaydedildi.

3.3.2. Element ölçümleri İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES)

İndüktif Eşleşmiş Argon Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi sulu çözeltilerde çözünmüş haldeki elementlerin analizlerinde kullanılan bir yöntemdir. Cihazın çalışma prensibi elektromanyetik indüksiyonla yüksek sıcaklıklara (6000-10000 °K) ulaştırılan argon plazması tarafından örneğin uyarılması, uyarılan elementlerin yaydıkları spesifik dalga boylarına ve emisyon şiddetine göre belirlenmesine dayanır [117].

Birçok elementin nitel ve nicel analizleri yapılır. Çift yönlü görüntüleyici optikleri ile ppb-ppm düzeylerinde analizler yapılabilir.

3.4. DENEY ÇALIŞMALARI

Nigella damascena (Çörekotu) ve *Melissa officinalis* (Melisa) türlerinin doğal tohumları Zeytinburnu Tıbbi Bitkiler Bahçesi'nden temin edildi (Şekil 3.8). Ekimden önce soğuklanması için 1 hafta +4°C' de bekletildi.



Şekil 3.8: *Nigella damascena* ve *Melissa officinalis* tohum örnekleri

Deneyin ilerleyen aşamalarında uygulanacak olan mikorizanın yaşam ortamı uygunluğu ve ağır metal kirlenmesinin daha az görüldüğü kum; ekim için uygun materyal olarak seçildi. İstanbul Üniversitesi Botanik bahçesinde (İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ağaç A.Ş.' den temin edilmiş) ekimler için istiflenmiş kum öncelikle çuvallardan alınarak uygun eleklerden geçirilerek elendi.

Kum sterilizasyonu için öncelikle laboratuarda bulunan otoklav cihazı kullanıldı. 121°C’ de 1,5 saat bekletildikten sonra etüve alınan kum 70°C’de 12 saatte burada bekletildi (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Kum sterilizasyonu

Tohum ekimi için çok gözlü saksı (multipot) kullanıldı. Kayıpları önleme amacıyla saksının altı bantlandı ve kum saksılara paylaştırıldı. Yetiştirme ortamı olarak uygun sıcaklık ve neme sahip olan iklim odası seçildi.



Şekil 3.10: İklim odası (Yetiştirme ortamı)

Ekilen tohumlar her 48 saatte bir 10 ml distile su ile sulandılar. Tohum ekiminden 5 gün sonra *Nigella damascena* (Şam çörekotu) tohumlarında ve 10 gün sonra *Melissa officinalis* (Melisa) tohumlarında ilk çimlenmeler gözlemlendi.

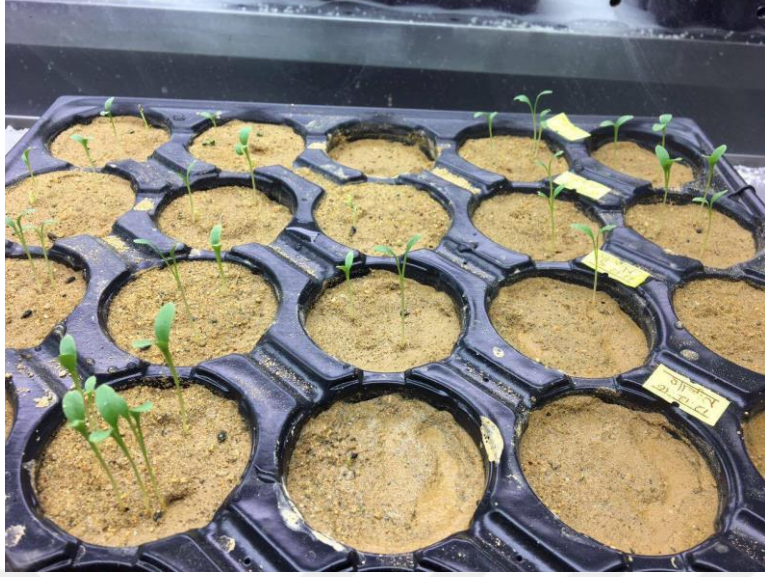


Şekil 3.11: Bitkilerde gözlemlenen ilk çimlenme

Çimlenmeden yaklaşık 30 gün sonra rutin sulamaya haftada 2 kez besi solüsyonu (Ingestad) eklendi (Tablo 3.4) [118].

Tablo 3.4: Ingestad Besi Çözeltisi

Makro ve Mikro Element Tuzları	Stok Çözeltideki Miktar (g/L)	Besi Çözeltisindeki Stok Çözelti Miktarı (ml/L)
KH_2PO_4	32.930	2.00
K_2SO_4	29.070	2.00
$\text{MgSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$	30.420	4.00
$\text{CaCl}_2, 2\text{H}_2\text{O}$	11.000	4.00
NH_4NO_3	56.000	5.00
$\text{MnCl}_2, 4\text{H}_2\text{O}$	1.443	1.00
$\text{NaMoO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$	0.018	1.00
H_3BO_3	0.018	1.00
$\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$	0.08	1.00
$\text{ZnSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$	1.440	1.00
$\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$	7.000	
+	+-----	1.00
Titriplex III EDTA	9.300	



ŞEKİL 3.12: 15 Günlük Fideler

3.5. MİKORİZA ÇALIŞMASI

Deney için planlanmış olan mikoriza uygulaması için mikoriza türü araştırıldı ve AMF çeşidi olarak *Rhizophagus intraradices* (sinonim *Glomus intraradices*) türü seçildi. Uygun mikoriza türü özel bir firmadan temin edildi.

AMF (*Rhizophagus intraradices*) kullanımının nedenleri;

- Çalışılan kara bitkilerinin yaklaşık %90 ile uyumlu ilişki kuruyor olması
- Bitki büyümesi ve yetiştirilmesinde olumlu etkiler
- Bitki su ve besin alımında artış
- Toprak içeriğini zenginleştirme
- Patojen engelleme
- Özellikle ağır metal stresinde tolerans (ağır metali dengeleme) örneğin kadmiyumun köke doğru ilerlemesine engel olur [119, 71]

Mikoriza Uygulaması

Multipotta büyümeye devam eden bitkiler steril kumla doldurulan tekli saksılara şaşırtma yapılmadan önce saksıların ortasına açılan 7cm lik çukurlara 5 gr mikoriza sporları eklendi ve bitkiler multipottan tekli saksılara şaşırtıldı.



Şekil 3.13: Saksılara açılan 7 cm çukurlar ve mikoriza

Uygulanan mikorizanın oluşturduğu değişimleri gözlemlemek için uygulama sonrasında tüm bitkilerin ağırlıkları ölçüldü.

Hazırlanan bitkiler iki set halinde iklim odasına yerleştirildi.



Şekil 3.14: Deney seti (Mikorizalı – Mikorizasız)

Mikoriza uygulanan bitkilerin gelişim evreleri kontrol edildi ve rutin sulama ile Ingestad besi solüsyonu eklenerek belirlenen büyüme evresine gelene kadar bekletildi (60 gün).

Bu süreçte çeşitli değişimler ölçüldü ve kaydedildi.

3.6. AĞIR METAL UYGULAMALARI

2 aylık süre sonunda arazi örneklerinden alınan element analizi sonuçlarına göre uygulanacak ağır metal türü ve konsantrasyonu belirlendi. Uygulama metoduna çeşitli yayınlar incelenerek karar verildi.

2 bitki türü içinde mikorizalı ve mikorizasız deney saksıları; kontrol, Cd stresi ve Zn stresi uygulanan olmak üzere 3 gruba ayrıldı. Cd metali CdSO_4 şeklinde ve $60\mu\text{M}$ konsantrasyonunda, Zn metali $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ şeklinde ve $700\mu\text{M}$ konsantrasyonunda uygulandı. Her iki metal stresi de %50'lik hazırlanmış Ingestad besi solüsyonu içerisinde bitkilere verildi. Gün aşırı bu işlem uygulanarak yaklaşık 3 hafta ağır metal stresine devam edildi.

3.7. HASAT

Deney süresinde morfolojik değişimler izlendi. Bu süre sonunda bitkiler deney grupları göz önüne alınarak bitki boyu, yaprak sayısı ve kök uzunluğu ölçülerek hasat edildi (Şekil 3.15). Kök, gövde, yaprak ve kum şeklinde ayrı ayrı bölünerek gerekli görülen organlar önce çeşme suyu daha sonra ise distile su ile yıkandı ve yaş ağırlıkları belirlemek üzere tartıldı. Diğer ölçümlerde kullanmak üzere gerekli organlardan gerekli miktarda ayrılarak uygun protokollerde saklandı.



Şekil 3.15: Bitki hasatları

3.8. MEMBRAN STABİLİTE İNDEKSİ (MSI)

Hasat sırasında Membran Stabilite İndeksi (MSI) için 0.1 gr taze yaprak örnekleri alındı, önce musluk suyu ve daha sonra saf su ile yıkandı. Örnekler tüplere alındı ve 10 ml saf su eklenerek sıcak su banyosunda 40° C' de 30 dak. bekletilip EC1 değeri ölçüldü. Bu değeri portatif Adwa

(Advanced, Digital, Water, Analysis) cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 3.16). Sonra 100° C’ de 10 dak. bekletilerek (Şekil 23) EC2 değeri ölçüldü.

MSI= [1- (C₁ / C₂)] x 100 formülüne göre hesaplama yapılmıştır.



Şekil 3.16: Adwa cihazı

Şekil 3.17: EC ölçümleri için su banyosunda bekletilen örnekler

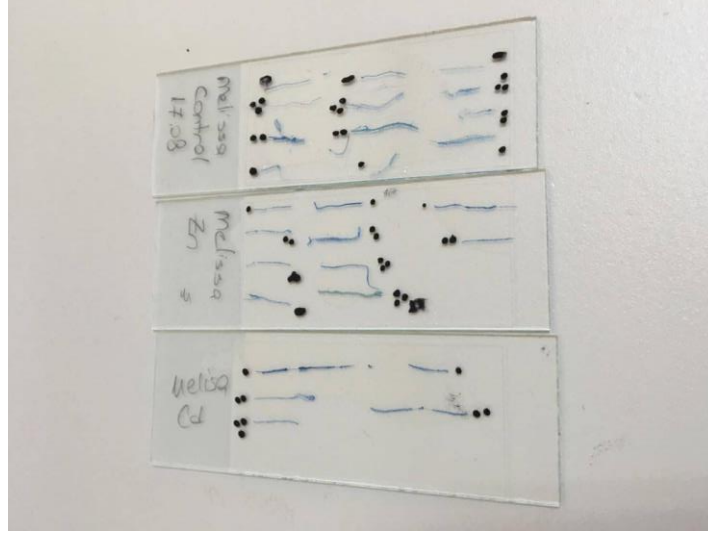
Kök Membran Permeabilitesi değişiklikleri için 0.1 gr taze kök örnekleri alındı. 16 ml distile su içeren tüplerde oda sıcaklığında 24 saat bekletildi ve EC1 değeri ölçüldü. Sonra 100° C’ de 10 dak. bekletilerek hücre ölümü sağlandı.

REL= (C_{live} / C_{dead}) x 100 formülüne göre hesaplama yapılmıştır.

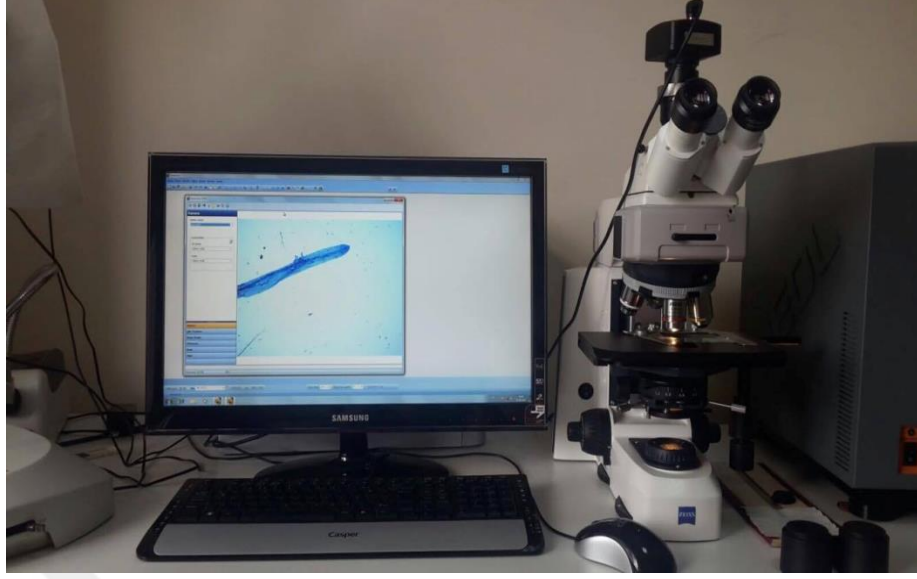
Hasat edilen tüm organlar ölçümlerde kullanmak üzere ayrı ayrı paketlenerek etüvde 80 C°’ de 48 saat kurutuldu. Kurutma işlemi tamamlandığında kuru ağırlık alınmak üzere tartıldı. Daha sonra yapılacak olan element analizi için her organ ayrı ayrı öğütüldü ve kilitli poşetlere koyularak saklandı.

3.9. MİKROSKOP İNCELEMELERİ

Kökte mikorizal enfeksiyon ve aktivasyon değişimlerini izlemek üzere önce mikoriza uygulanmış örneklerin köklerine Philips ve Hayman (1970) boyama protokolü uygulandı. Öncesinde köklerden 1 cm alındı ve deiyonize su ile yıkanarak %10 luk KOH içerisinde 90° C' de 10 dak. bekletildi. Kökler deiyonize su ile yıkanarak mürekkep asetik asitte (1:1:8= mürekkep: %10 asetik asit: H₂O) 90° C' de 15 dak. bekletilerek boyandı. Boyanmış köklerden lam üzerine 10 kök gelecek şekilde seçilmiş ve gliserin damlatılarak Zeiss Axio Scope A1 ışık mikroskobu ile incelendi. Bu inceleme sırasında kameram V.3.1.0.0 programı da kullanıldı ve fotoğraf ekilerek sayım işlemi yapıldı (Şekil 3.18,3.19).



Şekil 3.18: Mikoriza kolonizasyon incelemesi



Şekil 3.19: Mikoriza için kök kolonizasyonu incelemesi

3.10. LABORATUAR ÇALIŞMASI 2

Hasat edilen ve öğütülen bitki örnekleri EPA 3050 metodu ile 0.5 gr. tartıldı ve vessellarda 10 ml HNO_3 ile karıştırıldı. Ve uygun ayarlar yapılarak (200°C de 60 dak) mikrodalga fırında yaş yakma yapıldı. Vessellar dikkatli şekilde çeker ocakta açılarak 50 ml tüplere saf suyla tamamlandı (Şekil 3.20). ICP OES cihazı için wattman filtre kağıtlarında süzülerek uygun hale getirildi.

Hasat sırasında elenen ve kurutulan toprak örnekleri EPA 3051 metodu ile 0.5 gr. tartıldı ve 9 ml HNO_3 ve 3 ml HCl asit ile karıştırıldı. Ve uygun ayarlar yapılarak (175°C ye 60 dak) mikrodalga fırında yaş yakma yapıldı. Vessellar dikkatli şekilde çeker ocakta açılarak 50 ml tüplere saf suyla tamamlandı. ICP OES cihazı için Whattman filtre kağıtlarında süzülerek uygun hale getirildi

Element ölçümleri İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopisi (Perkin Elmer, ICP-OES 7000 DV) ile yapıldı. Element stoklarından istenilen oranda karıştırılarak iyon tayini için standartlar hazırlandı. Kalibrasyon solüsyonu için saf su ile hazırlanmış %1 lik HNO_3 çözeltisi kullanıldı. Ölçümlerde yüksek saflıkta argon ve azot gazı kullanıldı.



Şekil 3.20: Berghoff teflon vessellar



Şekil 3.21: Bitki element analizi kalibrasyon

3.11. TOPRAKTA AZOT ANALİZİ

Topraktaki azot oranını belirlemek üzere Kjeldahl yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre topraktaki azot H_2SO_4 ile yakılarak amonyuma dönüştürülecek ve amonyum destilasyonu ile açığa çıkan amonyak ölçülecektir.

Analizin yakma, destilasyon ve titrasyon aşamaları bulunmaktadır.

Kurutulan ve öğütülen toprak örneklerinden 0.5 gr. tartıldı ve khjeldal tüpüne aktarıldı. Üzerine 2 khjeldal tableti ve 0.2 gr. devarda' s alloy konuldu. 20 ml H_2SO_4 eklenerek yaş yakma cihazının uygun ayarında ($400^{\circ}C$ ' de 40 dak.) yakıldı. Soğutularak 90 ml saf su ilave edildi. % 32' lik NaOH ile distile edildi. % 2 lik H_3BO_3 içeren çözeltiden 70 ml erlene konur. Distile olan ve erlende toplanan numune 0.1N H_2SO_4 ile titre edilerek azot değeri bulunur (Şekil 3.22).



Şekil 3.22: Gerhardt marka Vadopest modeli distile cihazı

3.12. FENOLİK ANALİZİ

Folin-CioCalteu Methodu ile ölçülmüştür. Bu metod fenol miktarını gözlemlemek üzere Singleton ve arkadaşlarının çalışmaları sonucunda ortaya konulmuştur [120,121].

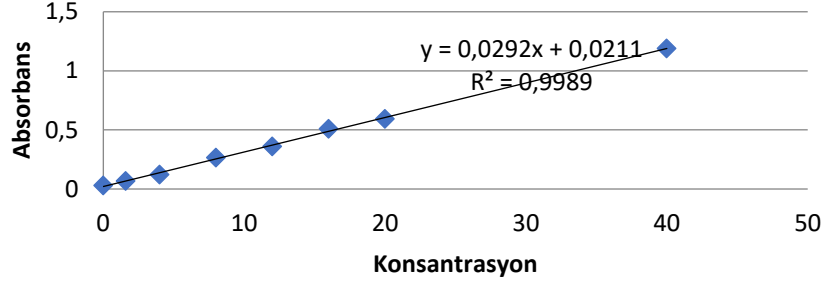
Fenolik madde içeriği bitki ekstraktlarının FCR reaktifi ve Na_2CO_3 ile verdiği reaksiyonu sonucu elde edilen yeşil rengin elde edilmesi esasına dayanmaktadır.

Hazırlanan her bir konsantrasyonu için ayrı ayrı tüplere 1'er ml ekstrakt konuldu. Üzerlerine 1'er ml FCR (Folin-CioCalteu) reaktifi ilave edildi. 3 dakika oda sıcaklığında inkübasyona bırakıldı. Daha sonra 1 ml doygun (% 7 Na_2CO_3) ilave edildi

Bu aşamada köpürme ve yeşil renk oluşumu beklendi. Üzerine 10 ml distile su eklendi. Daha sonra 90 dakika oda sıcaklığında karanlıkta inkübasyona bırakıldı. 725 nm dalga boyunda absorbansı alındı.

Kör; 1 ml çözücü + 1 mL FCR + 1 mL % 7'lik Na_2CO_3 ve 7 mL'ye distile su.

Standart ise gallik asitin farklı konsantrasyonları ile (0.05-0.1-0.25-0.5 ve 1 Mg/mL) çözeltileri ile hazırlanmıştır [121].



Şekil 3.23: Gallik asid standart regresyon eğrisi

3.13. PROLİN ANALİZİ

Tolerant ve hassas olarak seçilen çeltik çeşitleri için prolin miktarı, spektrofotometrik olarak Asit-Ninhidrin metodu ile belirlendi [122,123]. İlk olarak 100 Mg bitki örneği %40'lık 2 ml metanolle homojenize edildi. Elde edilen homojenattan 1 ml alınarak üzerine 1 ml glasiyal asetik asit ilave edildi ve bu karışımın üzerine 6 M ortofosforik asit (3:2 v/v) eklendi. Hazırlanan reaksiyon karışımına 25 Mg ninhidrin eklenerek karışımın 1 saat 100 °C de inkübe olması sağlandı. Daha sonra reaksiyon karışımını içeren tüpler soğutularak 5 ml toluen ilave edildi ve iyice karıştırıldıktan sonra iki farklı faz oluşumu gözlemlendi. Prolin miktarının belirlenmesi için üstteki fazın absorbansı 528 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçüldü. Yaprak dokularındaki prolin miktarı, L-prolin standardı kullanılarak grafik yardımıyla hesaplandı ve µmol g-1 taze ağırlık olarak ifade edildi.

$$\text{Absorbans} = 1.5278x + 0.0245, R^2: 0.9985$$

3.14. KLOROFİL İÇERİK

Total klorofil, klorofil a, klorofil b ve karotenoid içeriği ölçümleri Arnon (1949)'a göre yapıldı. Sıvı nitrojen ile toz haline getirilen taze bitki materyalinden 0.25 g alınarak 2 ml %80'lik aseton ile havanda homojenize edildi. Homojenat, filtre kağıdından süzülerek daha sonra %80'lik aseton ile 5 ml'ye tamamlandı. Bitki ekstraktları 5000 rpm'de 5 dk. santrifüj edilip, absorbans değerleri UV-Vis spektrofotometrede klorofil-a için 663, klorofil-b için 645 ve karotenoid için

480 nm’de ölçüldü. Fotosentetik pigmentlerin miktarları aşağıdaki formüllere göre hesaplanarak Mg g⁻¹ cinsinden ifade edildi.

$$\text{Klorofil-a} = [\Delta A_{663} \times 12.70 - \Delta A_{645} \times 2.69]$$

$$\text{Klorofil-b} = [\Delta A_{645} \times 22.90 - \Delta A_{663} \times 4.68]$$

$$\text{Total klorofil} = [\Delta A_{645} \times 20.2 + \Delta A_{663} \times 8.02]$$

$$\text{Karotenoid} = [\Delta A_{480} + \Delta A_{663} \times 0.114 - \Delta A_{645} \times 0.638 / 112.50]$$

{ ΔA : Belirtilen dalga boylarındaki absorbans değerini, V: ml cinsinden son ekstraksiyon hacmini, W: g cinsinden analiz için alınan bitki miktarını ifade etmektedir}

3.15. VERİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Araştırmada elde edilen veriler SPSS (Statistical Package for Social Sciences) for Windows 22.0 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistiksel yöntemleri olarak ortalama, standart sapma kullanılmıştır. İki bağımsız grup arasında ölçümlerin karşılaştırılmasında t-testi, ikiden fazla bağımsız grup arasında ölçümlerin karşılaştırılmasında Tek yönlü (One way) Anova testi kullanılmıştır. Anova testi sonrasında farklılıkları belirlemek üzere tamamlayıcı post-hoc analizi olarak Scheffe testi kullanılmıştır. Anlamlılık düzeyi (p) 0,05 olarak alınmıştır. Ayrıca iki değişkenli istatistik analizler için GraphPad Prism programı kullanılmıştır.

4. BULGULAR

4.1 ARAZİ ÇALIŞMASINDAN ELDE EDİLEN BULGULAR

Materyal metod kısmında belirtilen arazi lokasyonların toplanan bitkilerin kök, gövde, yaprak, toprak kısımlarının ICP-OES analiz cihazında ölçülmüş element sonuçları;

Tablo 4.1: Arazi örnekleri element ölçümleri

Örnek	Fe ppm	Ni ppb	Ca ppm	Mn ppb	Mg ppm	Cd ppb	Pb ppb	K ppm	Zn ppb	Cu ppb
N toprak	166.427	685.029	215.599	3597.76	35.505	0	0	11.930	294.721	108.906
N kök	2.232	13.811	41.949	195.575	1.506	2.503	0	90.970	188.547	24.993
N gövde	0.867	8.280	49.354	102.967	1.594	2.949	3.075	116.999	143.337	30.504
N yaprak	0.889	10.394	115.311	299.824	4.712	2.761	0	108.207	319.687	36.832
M toprak	162.440	298.766	310.140	4528	82.331	0.963	4.447	15.160	429.153	291.793
M kök	5.685	16.184	37.664	363.402	6.515	2.927	2.355	105.141	126.748	114.827
M gövde	1.466	12.204	55.072	195.627	4.596	2.947	2.198	199.446	193.235	91.292
M yaprak	7.559	14.760	113.670	251.512	12.969	2.782	4.492	165.713	187.016	80.665

N: *Nigella damascena*

M: *Melissa officinalis*

4.2. DENEYSEL ÇALIŞMADAN ELDE EDİLEN BULGULAR

4.2.1. TOPRAK PARAMETRELERİ

4.2.1.1. Toprak Element Ölçümleri

Element ölçümleri İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopisi (Perkin Elmer, ICP-OES 7000 DV) ile yapıldı.

4.2.1.1.1. *Nigella damascena* bitkisinin kontrol grubunda toprakta mikoriza varlığına göre metal içerikleri:

Mikoriza varlığına göre Ca ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0.022<0.05$).

Mikorizasız olanların Ca ölçümleri ($\bar{x}=5986,378$), mikoriza olanların Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=4264,375$) yüksek bulunmuştur. Mg, K, Fe, Cu, Mn ölçümleri mikoriza varlığına göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$) (Tablo 4.2).

Tablo 4.2: Mikoriza varlığına göre *Nigella damascena* kontrol toprak elementleri

Kontrol Grubu	Grup	Ort	Ss	sd	p
Mg	M-	2272,804	124,603	6	0,207
	M+	2169,200	77,264		
K	M-	755,469	44,249	6	0,514
	M+	781,700	60,936		
Ca	M-	5986,378	859,071	6	0,022
	M+	4264,375	699,569		
Fe	M-	14088,822	523,174	6	0,228
	M+	13310,025	987,909		
Cu	M-	6,020	0,279	6	0,334
	M+	6,357	0,555		
Mn	M-	207,514	20,830	6	0,980
	M+	207,936	24,933		

M-: Mikorizasız, M+: Mikorizalı

4.2.1.1.2. *Nigella damascena* bitkisinin Zn grubunda toprakta mikoriza varlığına göre metal içerikleri:

Mg, K, Ca, Fe, Cu, Mn ölçümleri mikoriza varlığına göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$) (Tablo 4.3).

Tablo 4.3: Mikoriza varlığına göre *Nigella damascena* Zn toprak elementleri

Zn Grubu	Grup	Ort	Ss	sd	p
Mg	M-	2543,000	385,825	6	0,209
	M+	2988,000	501,693		
K	M-	1057,875	392,013	6	0,384
	M+	857,900	43,655		
Ca	M-	4873,375	615,994	6	0,139
	M+	7326,375	2464,031		
Fe	M-	15076,900	940,806	6	0,122
	M+	17695,550	2472,521		
Cu	M-	9,447	3,318	6	0,259
	M+	7,019	1,805		
Mn	M-	384,440	90,593	6	0,074
	M+	263,963	18,404		

M-: Mikorizasız, M+: Mikorizalı

4.2.1.1.3. *Nigella damascena* bitkisinin Cd grubunda toprakta mikoriza varlığına göre metal içerikleri:

Mg, K, Ca, Fe, Cu, Mn ölçümleri mikoriza varlığına göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$) (Tablo 4.4).

Tablo 4.4: Mikoriza varlığına göre *Nigella damascena* Cd toprak elementleri

Cd Grubu	Grup	Ort	Ss	sd	p
Mg	M-	2156,075	134,925	6	0,235
	M+	2585,050	577,804		
K	M-	754,700	9,486	6	0,216
	M+	929,300	223,487		
Ca	M-	4160,775	354,747	6	0,184
	M+	5694,425	1787,245		
Fe	M-	13664,375	842,862	6	0,266
	M+	15144,250	2121,926		
Cu	M-	6,182	0,651	6	0,241
	M+	7,899	2,343		
Mn	M-	206,331	3,151	6	0,053
	M+	306,647	64,475		

M-: Mikorizasız, M+: Mikorizalı

4.2.1.1.4. *Melissa officinalis* bitkisinin kontrol grubunda toprakta mikoriza varlığına göre metal içerikleri:

Mikoriza varlığına göre K ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0.014<0.05$).

Mikorizasız olanların K ölçümleri ($\bar{x}=1445,625$), mikorizalı olanların K ölçümlerinden ($\bar{x}=944,875$) yüksek bulunmuştur.

Mikoriza varlığına göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0.000<0.05$).

Mikorizasız olanların Fe ölçümleri ($\bar{x}=22585,500$), mikorizalı olanların Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=15306,450$) yüksek bulunmuştur.

Mikoriza varlığına göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0.046<0.05$).

Mikorizasız olanların Mn ölçümleri ($\bar{x}=314,250$), mikorizalı olanların Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=218,075$) yüksek bulunmuştur. Mg, Ca, Cu ölçümleri mikoriza varlığına göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$) (Tablo 4.5).

Tablo 4.5: Mikoriza varlığına göre *Melissa officinalis* kontrol toprak elementleri

Kontrol Grubu	Grup	Ort	Ss	sd	p
Mg	M-	1897,460	1681,367	6	0,490
	M+	2557,225	120,821		
K	M-	1445,625	46,342	6	0,014
	M+	944,875	202,761		
Ca	M-	6739,175	2808,622	6	0,400
	M+	5363,500	104,254		
Fe	M-	22585,500	2087,216	6	0,000
	M+	15306,450	185,571		
Cu	M-	6,544	1,960	6	0,779
	M+	6,846	0,170		
Mn	M-	314,250	58,417	6	0,046
	M+	218,075	3,931		

M-: Mikorizasız, M+: Mikorizalı

4.2.1.1.5. *Melissa officinalis* bitkisinin Zn grubunda toprakta mikoriza varlığına göre metal içerikleri:

Mg, K, Ca, Fe, Cu, Mn ölçümleri mikoriza varlığına göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$) (Tablo 4.6).

Tablo 4.6: Mikoriza varlığına göre *Melissa officinalis* Zn toprak elementleri

Zn Grubu	Grup	Ort	Ss	sd	p
Mg	M-	2312,575	299,818	6	0,078
	M+	1060,910	973,139		
K	M-	748,700	189,139	6	0,401
	M+	956,625	404,389		
Ca	M-	4807,175	618,874	6	0,633
	M+	5524,600	2665,535		
Fe	M-	13805,875	1397,182	6	0,461
	M+	13136,475	937,040		
Cu	M-	5,694	1,190	6	0,649
	M+	5,394	0,081		
Mn	M-	212,950	28,975	6	0,863
	M+	209,825	18,808		

M-: Mikorizasız, M+: Mikorizalı

4.2.1.1.6. *Melissa officinalis* bitkisinin Cd grubunda toprakta mikoriza varlığına göre metal içerikleri:

Mg, K, Ca, Fe, Cu, Mn ölçümleri mikoriza varlığına göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Tablo 4.7: Mikoriza varlığına göre *Melissa officinalis* Cd toprak elementleri

Cd Grubu	Grup	Ort	Ss	sd	p
Mg	M-	3692,925	936,681	6	0,485
	M+	3234,525	802,353		
K	M-	1133,450	23,361	6	0,381
	M+	1318,525	361,104		
Ca	M-	9562,200	3884,234	6	0,169
	M+	6069,900	1183,496		
Fe	M-	23335,150	5400,287	6	0,264
	M+	19084,075	4223,062		
Cu	M-	7,447	0,151	6	0,368
	M+	8,834	2,623		
Mn	M-	309,225	104,127	6	0,336
	M+	240,600	78,350		

M-: Mikorizasız, M+: Mikorizalı

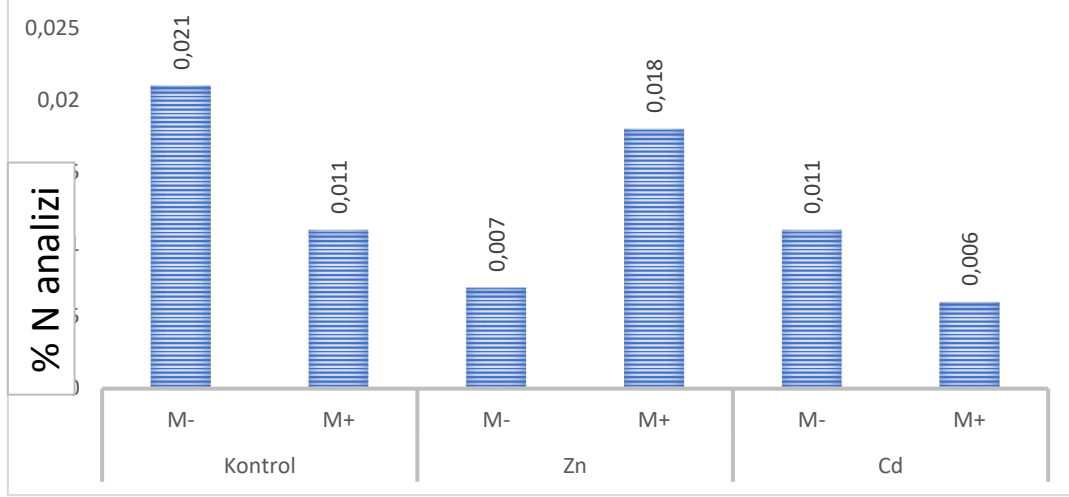
4.2.1.2. Toprak N Ölçümleri

4.2.1.2.1. *Nigella damascena* bitkisinde farklı grup ve mikoriza varlığına göre toprakta N analiz sonuçları:

Kontrol grubunda mikorizaya göre N ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0.017<0.05$). Mikorizasız olanların N ölçümleri ($\bar{x}=0,021$), mikoriza olanların N ölçümlerinden ($\bar{x}=0,011$) yüksek bulunmuştur.

Zn grubunda mikorizaya göre N ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0.000<0.05$). Mikorizalı olanların N ölçümleri ($\bar{x}=0,018$), mikorizasız olanların N ölçümlerinden ($\bar{x}=0,007$) yüksek bulunmuştur.

Cd grubunda N ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$) (Şekil 4.1).



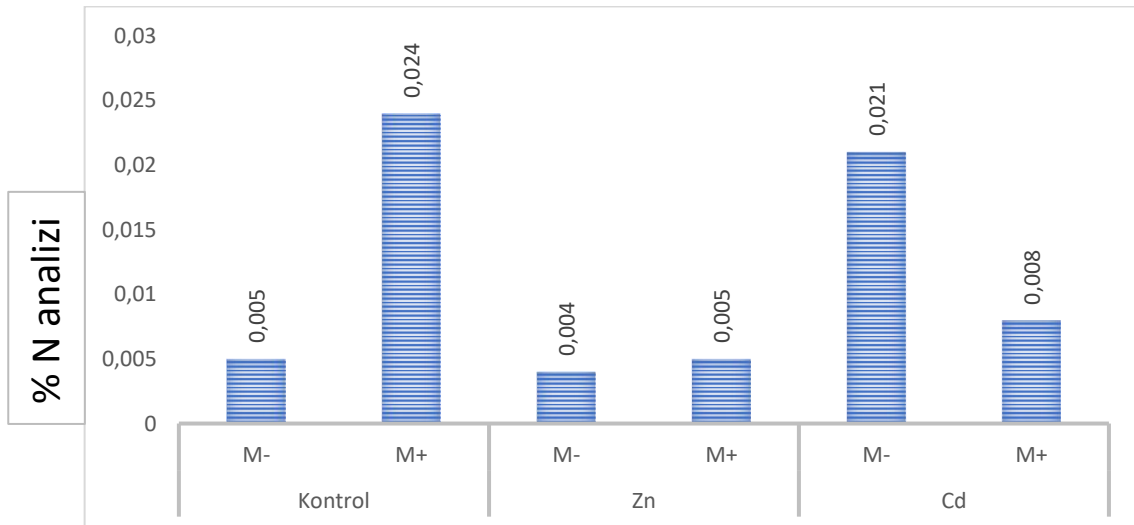
Şekil 4.1: *Nigella damascena* toprakta N analizi

4.2.1.2.2. *Melisa officinalis* bitkisinde farklı grup ve mikoriza varlığına göre toprakta N analiz sonuçları:

Kontrol grubunda mikorizaya göre N ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0.000<0.05$). Mikorizalı olanların N ölçümleri ($\bar{x}=0,024$), mikorizasız olanların N ölçümlerinden ($\bar{x}=0,005$) yüksek bulunmuştur.

Zn grubunda N ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Cd grubunda mikorizaya göre N ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0.000<0.05$). Mikorizasız olanların N ölçümleri ($\bar{x}=0,021$), mikorizalı olanların N ölçümlerinden ($\bar{x}=0,008$) yüksek bulunmuştur ($p>0,05$) (Şekil 4.2).

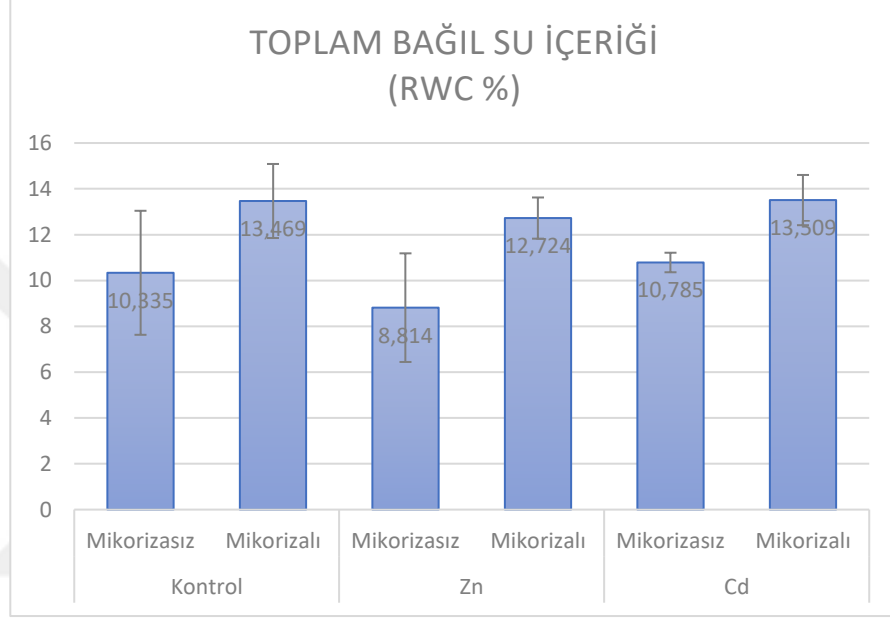


Şekil 4.2: *Melissa officinalis* toprakta N analizi

4.2.1.3. Toplam Bağlı Su İçeriği

4.2.1.3.1. *Nigella damascena* toprakta toplam bağlı su içeriği

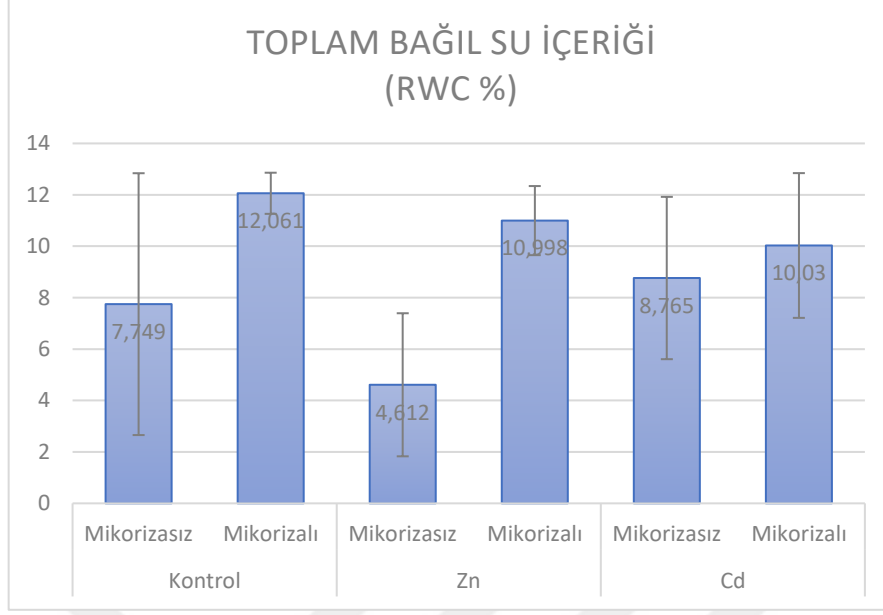
Nigella damascena türünde kontrol gruplarında toprak içeriğinin mikorizasız ve mikorizalı türlerdeki bağlı su içeriklerinde anlamlı fark görülmemiştir. Zn ve Cd gruplarında anlamlı fark görülmüştür ($p < 0,01$).



Şekil 4.3: *Nigella damascena* toplam bağlı su içeriği

4.2.1.3.2. *Melissa officinalis* toprakta toplam bağlı su içeriği

Melissa officinalis türünde kontrol, Zn ve Cd gruplarında toprak içeriğinin mikorizasız ve mikorizalı türlerdeki bağlı su içeriklerinde anlamlı fark görülmemiştir ($p > 0,05$).



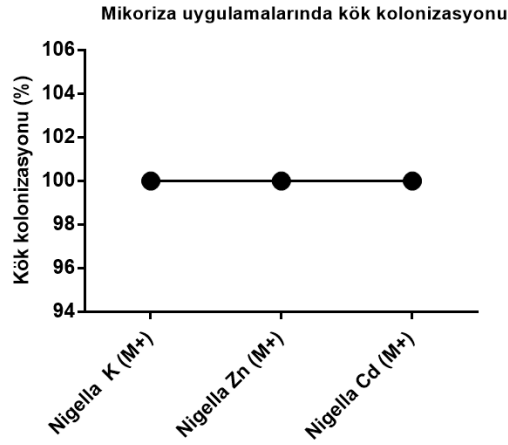
Şekil 4.4: *Melissa officinalis* toplam bağıl su içeriği

4.2.1.4. Kök Enfeksiyon Yüzdesi

Kök bölgesi mikoriza kolonizasyonu kontrol, Zn ve Cd değerleri ölçümleri ışık mikroskopunda sayım yapılarak gözlenmiştir.

4.2.1.4.1. *Nigella damascena*

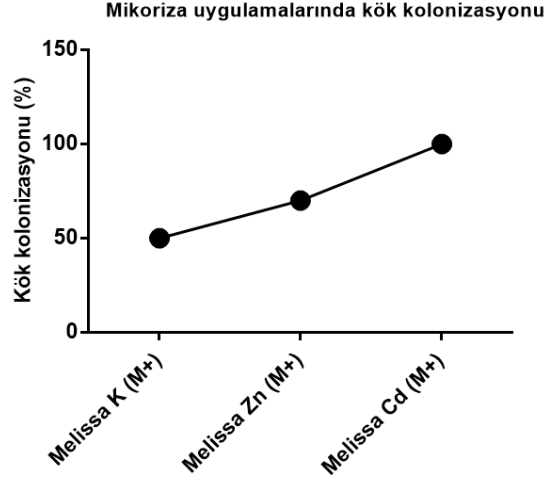
Kontrol, Zn ve Cd uygulamalarında %100 kök kolonizasyonu gözlenmiştir.



Şekil 4.5: *Nigella damascena* kök enfeksiyon yüzdesi

4.2.1.4.2. *Melissa officinalis*

Kontrol grubu %50, Zn grubu %70 ve Cd grubu %100 kök kolonizasyonu gözlenmiştir.



Şekil 4.6: *Melissa officinalis* kök enfeksiyon yüzdesi

4.2.2. BİTKİ PARAMETRELERİ

4.2.2.1. Bitki Element Analizleri

4.2.2.1.1. *Nigella damascena* bitkisinin element analizleri

4.2.2.1.1.1. *Nigella damascena* bitkisinin mikorizasız kontrol grubunda organlara göre metal içerikleri:

Organa göre Fe değerleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0.05$). Farkın nedeni; kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=2712,700$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=563,995$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=2178,305$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=563,995$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0.05$). Farkın nedeni; kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=11,058$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=3,738$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=7,870$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=3,738$) yüksek olmasıdır. Kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=11,058$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=7,870$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0.05$). Farkın nedeni; kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=186,860$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=72,988$) yüksek

olmasıdır. Yaprığın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}$ =182,250), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}$ =72,988) yüksek olmasıdır.

Mg, K, Ca ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir($p>0.05$).

Tablo 4.8: *Nigella damascena* mikorizasız kontrol grubunda organlara göre bitki element analizi

Kontrol M-	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	1818,008	699,106	0,454	0,653	
	Gövde	2026,570	56,163			
	Yaprak	2177,770	36,388			
Fe	Kök	2712,700	696,832	23,294	0,001	1>2 3>2
	Gövde	563,995	6,843			
	Yaprak	2178,305	25,010			
Cu	Kök	11,058	1,930	27,034	0,001	1>2 3>2 1>3
	Gövde	3,738	0,951			
	Yaprak	7,870	0,184			
Mn	Kök	186,860	32,851	19,867	0,001	1>2 3>2
	Gövde	72,988	26,475			
	Yaprak	182,250	0,339			
K	Kök	6944,840	1771,105	0,484	0,657	
	Gövde	7910,745	3575,295			
	Yaprak	5421,640	1898,073			
Ca	Kök	8932,670	888,579	5,106	0,108	
	Gövde	7510,620	476,703			
	Yaprak	18047,295	6115,180			

4.2.2.1.1.2. *Nigella damascena* bitkisinin mikorizalı kontrol grubunda organlara göre metal içerikleri:

Organa göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}$ =2709,580), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}$ =178,855) yüksek olmasıdır. Yaprığın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}$ =1083,875), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}$ =178,855) yüksek olmasıdır. Kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}$ =2709,580), yaprığın Fe ölçümlerinden ($\bar{x}$ =1083,875) yüksek olmasıdır.

Organa göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,016<0.05$). Farkın nedeni; kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}$ =11,885), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}$ =1,220) yüksek olmasıdır. Kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}$ =11,885), yaprığın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}$ =4,710) yüksek olmasıdır.

Organa göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; yaprağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=134,305$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=85,240$) yüksek olmasıdır. Kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=85,240$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=10,515$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=134,305$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=10,515$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Ca ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,004<0.05$). Farkın nedeni; yaprağın Ca ölçümlerinin ($\bar{x}=12024,360$), kökün Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=6364,650$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Ca ölçümlerinin ($\bar{x}=12024,360$), gövdenin Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=6438,255$) yüksek olmasıdır.

Mg, K ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0.05$).

Tablo 4.9: *Nigella damascena* mikorizalı kontrol grubunda organlara göre bitki element analizi

Kontrol M+	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	1277,630	449,183	0,457	0,671	
	Gövde	1097,190	5,671			
	Yaprak	1334,855	3,118			
Fe	Kök	2709,580	6,732	165631,407	0,000	1>2
	Gövde	178,855	2,128			3>2
	Yaprak	1083,875	3,118			1>3
Cu	Kök	11,885	2,510	22,569	0,016	1>2
	Gövde	1,220	0,283			1>3
	Yaprak	4,710	1,216			
Mn	Kök	85,240	1,386	7686,402	0,000	3>1
	Gövde	10,515	0,247			1>2
	Yaprak	134,305	1,025			3>2
K	Kök	9408,055	3308,970	2,890	0,200	
	Gövde	3663,620	9,489			
	Yaprak	5535,650	2620,835			
Ca	Kök	6364,650	218,538	60,955	0,004	3>1
	Gövde	6438,255	949,991			3>2
	Yaprak	12024,360	295,429			

4.2.2.1.1.3. *Nigella damascena* bitkisinin mikorizasız Zn grubunda organlara göre metal içerikleri:

Organa göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0.05$). Farkın nedeni; kökün Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}=715,235$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=422,870$) yüksek

olmasıdır. Yaprığın Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}=591,540$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=422,870$) yüksek olmasıdır. Kökün Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}=715,235$), yaprağın Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=591,540$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; kökün Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=14,090$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=2,825$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=8,225$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=2,825$) yüksek olmasıdır. Kökün Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=14,090$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=8,225$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0.05$). Farkın nedeni; kökün Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}=239,980$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=71,728$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=268,323$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=71,728$) yüksek olmasıdır.

Organa göre K ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,008<0.05$). Farkın nedeni; kökün K Ölçümlerinin ($\bar{x}=19374,725$), gövdenin K ölçümlerinden ($\bar{x}=8449,125$) yüksek olmasıdır. Kökün K ölçümlerinin ($\bar{x}=19374,725$), yaprağın K ölçümlerinden ($\bar{x}=8985,310$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Ca ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,005<0.05$). Farkın nedeni; yaprağın Ca Ölçümlerinin ($\bar{x}=32826,000$), kökün Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=10383,090$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Ca Ölçümlerinin ($\bar{x}=32826,000$), gövdenin Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=5803,250$) yüksek olmasıdır.

Mg ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir($p>0.05$).

Tablo 4.10: *Nigella damascena* mikorizasız Zn grubunda organlara göre bitki element analizi

Zn M-	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	3456,513	260,533	4,036	0,056	
	Gövde	2503,075	729,181			
	Yaprak	2439,248	604,824			
Fe	Kök	715,235	96,565	16,662	0,001	1>2
	Gövde	422,870	75,059			3>2
	Yaprak	591,540	23,515			1>3
Cu	Kök	14,090	1,542	124,056	0,000	1>2
	Gövde	2,825	0,799			3>2
	Yaprak	8,225	0,230			1>3
Mn	Kök	239,980	84,453	16,423	0,001	1>2
	Gövde	71,728	32,951			3>2
	Yaprak	268,323	5,827			
K	Kök	19374,725	1760,774	35,226	0,008	1>2
	Gövde	8449,125	1369,927			1>3
	Yaprak	8985,310	1218,218			
Ca	Kök	10383,090	964,663	47,411	0,005	3>1
	Gövde	5803,250	2088,496			3>2
	Yaprak	32826,000	4601,710			

4.2.2.1.1.4. *Nigella damascena* bitkisinin mikorizalı Zn grubunda organlara göre metal içerikleri:

Organa göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; kökün Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=2899,285$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=2070,630$) yüksek olmasıdır. Kökün Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=2899,285$), yaprağın Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1916,290$) yüksek olmasıdır. Gövdenin Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=2070,630$), yaprağın Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1916,290$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; kökün Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}=2407,840$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=321,080$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}=241,670$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=321,080$) yüksek olmasıdır. Kökün Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}=2407,840$), yaprağın Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=241,670$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$).

Organa göre K ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0.05$). Farkın nedeni; yaprağın K ölçümlerinin ($\bar{x}=2441,735$), kökün K ölçümlerinden ($\bar{x}=11791,345$) yüksek olmasıdır. Yaprığın K ölçümlerinin ($\bar{x}=2441,735$), gövdenin K ölçümlerinden ($\bar{x}=3011,200$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Ca ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,010<0.05$). Farkın nedeni;

Mn ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir($p>0.05$).

Tablo 4.11: *Nigella damascena* mikorizalı Zn grubunda organlara göre bitki element analizi

Zn M+	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	2899,285	86,444	268,658	0,000	1>2
	Gövde	2070,630	34,314			1>3
	Yaprak	1916,290	10,126			2>3
Fe	Kök	2407,840	13,138	317,847	0,000	1>2
	Gövde	321,080	132,370			3>2
	Yaprak	241,670	3,889			1>3
Cu	Kök	10,210	0,042	228,120	0,000	
	Gövde	2,318	0,551			
	Yaprak	3,595	0,163			
Mn	Kök	68,805	0,728	3,140	0,131	
	Gövde	62,390	38,930			
	Yaprak	125,945	0,728			
K	Kök	11791,345	401,912	140,813	0,001	3>1
	Gövde	3011,200	856,801			3>2
	Yaprak	2441,735	524,327			
Ca	Kök	9992,900	1168,466	30,316	0,010	
	Gövde	7705,590	2111,704			
	Yaprak	19963,725	1607,430			

4.2.2.1.1.5. *Nigella damascena* bitkisinin mikorizasız Cd grubunda organlara göre metal içerikleri:

Organa göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0.05$). Farkın nedeni; kökün Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=1731,413$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=480,673$) yüksek olmasıdır. Kökün Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=1731,413$), yaprağın Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=791,743$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; kökün fe ölçümlerinin ($\bar{x}=2094,850$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=617,013$) yüksek

olmasıdır. Yaprığın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=1543,913$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=617,013$) yüksek olmasıdır. Kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=2094,850$), yaprağın Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=1543,913$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; kökün Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=15,713$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=3,318$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=7,108$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=3,318$) yüksek olmasıdır. Kökün Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=15,713$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=7,108$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0.05$). Farkın nedeni; kökün Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}=292,558$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=72,010$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=339,183$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=72,010$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Ca ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,026<0.05$). Farkın nedeni; kökün Ca Ölçümlerinin ($\bar{x}=10794,755$), gövdenin Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=3665,260$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Ca Ölçümlerinin ($\bar{x}=13866,460$), gövdenin Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=3665,260$) yüksek olmasıdır.

K ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir($p>0.05$).

Tablo 4.12: *Nigella damascena* mikorizasız Cd grubunda organlara göre bitki element analizi

Cd M-	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	1731,413	99,557	19,643	0,001	1>2 1>3
	Gövde	480,673	216,369			
	Yaprak	791,743	449,782			
Fe	Kök	2094,850	472,720	27,852	0,000	1>2 3>2 1>3
	Gövde	617,013	58,222			
	Yaprak	1543,913	116,043			
Cu	Kök	15,713	2,676	40,653	0,000	1>2 3>2 1>3
	Gövde	3,318	0,883			
	Yaprak	7,108	1,991			
Mn	Kök	292,558	73,247	15,606	0,001	1>2 3>2
	Gövde	72,010	11,847			
	Yaprak	339,183	100,769			
K	Kök	15755,780	6307,590	4,234	0,134	
	Gövde	8911,275	1129,129			
	Yaprak	5135,750	75,165			
Ca	Kök	10794,755	1520,386	15,671	0,026	1>2 3>2
	Gövde	3665,260	85,235			
	Yaprak	13866,460	2857,814			

4.2.2.1.1.6. *Nigella damascena* bitkisinin mikorizalı Cd grubunda organlara göre metal içerikleri:

Organa göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; gövdenin Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=6309,395$), kökün Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1681,890$) yüksek olmasıdır. Kökün Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=1681,890$), yaprağın Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=779,495$) yüksek olmasıdır. Gövdenin Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=6309,395$), yaprağın Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=779,495$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; yaprağın Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}=1777,160$), kökün Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=610,550$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}=1777,160$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=563,710$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; gövdenin Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=1,480$), kökün Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=0,000$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=8,230$), kökün Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=0,000$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=8,230$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=1,480$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; gövdenin Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}=68,505$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=47,220$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}=62,160$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=47,220$) yüksek olmasıdır. Gövdenin Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}=68,505$), yaprağın Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=62,160$) yüksek olmasıdır.

Organa göre K ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; kökün K ölçümlerinin ($\bar{x}=2661,805$), gövdenin K ölçümlerinden ($\bar{x}=398,155$) yüksek olmasıdır. Yaprığın K ölçümlerinin ($\bar{x}=464,155$), gövdenin K ölçümlerinden ($\bar{x}=398,155$) yüksek olmasıdır. Kökün K ölçümlerinin ($\bar{x}=2661,805$), yaprağın k ölçümlerinden ($\bar{x}=464,155$) yüksek olmasıdır.

Ca ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir($p>0.05$).

Tablo 4.13: *Nigella damascena* mikorizalı Cd grubunda organlara göre bitki element analizi

Cd M+	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	1681,890	0,707	5855,952	0,000	2>1
	Gövde	6309,395	93,854			1>3
	Yaprak	779,495	14,446			2>3
Fe	Kök	610,550	0,354	1507,058	0,000	3>1
	Gövde	563,710	1,612			3>2
	Yaprak	1777,160	43,346			
Cu	Kök	0,000	0,000	880,227	0,000	2>1
	Gövde	1,480	0,226			3>1
	Yaprak	8,230	0,283			3>2
Mn	Kök	47,220	0,283	5861,054	0,000	2>1
	Gövde	68,505	0,205			3>1
	Yaprak	62,160	0,014			2>3
K	Kök	2661,805	0,021	12647,584	0,000	1>2
	Gövde	398,155	24,402			3>2
	Yaprak	464,155	13,852			1>3
Ca	Kök	4951,025	0,007	8,261	0,060	
	Gövde	8387,680	1198,376			
	Yaprak	7402,295	915,696			

4.2.2.1.2. *Melissa officinalis* bitkisinin element analizleri

4.2.2.1.2.1. *Melissa officinalis* mikoriza uygulanmamış kontrol grubunda organlara göre metal içerikleri:

Organa göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; yaprağın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=4530,960$), kökün Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=2474,038$) yüksek olmasıdır. Kökün Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=2474,038$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1709,450$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=4530,960$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1709,450$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; kökün Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}=5720,848$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=871,560$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}=1186,780$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=871,560$) yüksek olmasıdır. Kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=5720,848$), yaprağın Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=1186,780$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; kökün Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=17,230$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=6,535$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=9,470$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=6,535$) yüksek olmasıdır. Kökün Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=17,230$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=9,470$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,017<0.05$). Farkın nedeni; kökün Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}=133,440$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=108,960$) yüksek olmasıdır. Kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=133,440$), yaprağın Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=106,240$) yüksek olmasıdır.

K, Ca ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0.05$) (Grafik 1).

Tablo 4.14: *Melissa officinalis* mikorizasız kontrol grubunda organlara göre bitki element analizi

Kontrol M-	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	2474,038	233,906	133,329	0,000	3>1
	Gövde	1709,450	27,902			1>2
	Yaprak	4530,960	3,960			3>2
Fe	Kök	5720,848	67,525	7665,941	0,000	1>2
	Gövde	871,560	23,122			3>2
	Yaprak	1186,780	13,265			1>3
Cu	Kök	17,230	1,136	115,185	0,000	1>2
	Gövde	6,535	0,106			3>2
	Yaprak	9,470	0,028			1>3
Mn	Kök	133,440	10,488	10,163	0,017	1>2
	Gövde	108,960	0,368			1>3
	Yaprak	106,240	0,424			
K	Kök	20741,395	3187,659	0,693	0,566	
	Gövde	18460,190	100,579			
	Yaprak	19843,570	1124,936			
Ca	Kök	5354,195	1852,273	4,812	0,116	
	Gövde	6024,225	2650,767			
	Yaprak	12834,115	3301,333			

4.2.2.1.2.2. *Melissa officinalis* mikoriza uygulanmış kontrol grubunda organlara göre metal içerikleri:

Organa göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,013<0.05$). Farkın nedeni; kökün Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=4685,235$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1367,815$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=5382,730$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1367,815$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0.05$). Farkın nedeni; gövdenin Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=2113,555$), kökün Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=1549,585$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=3927,790$), kökün Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=1549,585$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=3927,790$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=2113,555$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=48,565$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=6,005$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=22,850$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=6,005$)

yüksek olmasıdır. Kökün Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=48,565$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=22,850$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0.05$). Farkın nedeni; gövdenin Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}=160,515$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=63,560$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}=175,405$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=63,560$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Ca ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,017<0.05$). Farkın nedeni; kökün Ca Ölçümlerinin ($\bar{x}=19015,960$), gövdenin Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=3176,260$) yüksek olmasıdır. Kökün Ca Ölçümlerinin ($\bar{x}=19015,960$), yaprağın Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=10317,200$) yüksek olmasıdır.

K ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir($p>0.05$).

Tablo 4.15: *Melissa officinalis* mikorizalı kontrol grubunda organlara göre bitki element analizi

Kontrol M+	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	4685,235	1051,150	24,957	0,013	1>2 3>2
	Gövde	1367,815	37,894			
	Yaprak	5382,730	2,715			
Fe	Kök	1549,585	179,881	152,860	0,001	2>1 3>1 3>2
	Gövde	2113,555	29,635			
	Yaprak	3927,790	165,463			
Cu	Kök	48,565	0,544	4771,281	0,000	1>2 3>2 1>3
	Gövde	6,005	0,148			
	Yaprak	22,850	0,509			
Mn	Kök	63,560	5,289	172,164	0,001	2>1 3>1
	Gövde	160,515	2,722			
	Yaprak	175,405	9,652			
K	Kök	20059,655	1963,006	2,132	0,265	
	Gövde	14101,450	2116,922			
	Yaprak	19546,200	4727,235			
Ca	Kök	19015,960	1940,810	20,967	0,017	1>2 1>3
	Gövde	3176,260	754,540			
	Yaprak	10317,200	3697,461			

4.2.2.1.2.3. *Melissa officinalis* mikoriza uygulanmamış Zn grubunda organlara göre metal içerikleri:

Organa göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; yaprağın Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=3166,210$), kökün Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=2318,580$) yüksek olmasıdır. Kökün Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=2318,580$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1422,005$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=3166,210$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1422,005$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; kökün Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=33,905$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=8,718$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=12,535$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=8,718$) yüksek olmasıdır. Kökün Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=33,905$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=12,535$) yüksek olmasıdır.

Fe, Mn, K, Ca ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0.05$)

Tablo 4.16: *Melissa officinalis* mikorizasız Zn grubunda organlara göre bitki element analizi

Zn M-	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	2318,580	30,688	80,463	0,000	3>1
	Gövde	1422,005	204,088			1>2
	Yaprak	3166,210	69,014			3>2
Fe	Kök	451,765	9,525	0,363	0,712	
	Gövde	467,835	28,392			
	Yaprak	466,195	1,945			
Cu	Kök	33,905	0,177	511,168	0,000	1>2
	Gövde	8,718	1,189			3>2
	Yaprak	12,535	0,134			1>3
Mn	Kök	57,640	4,738	2,864	0,148	
	Gövde	68,733	6,343			
	Yaprak	65,085	0,219			
K	Kök	16720,900	5042,067	7,763	0,065	
	Gövde	16069,290	3427,870			
	Yaprak	28441,735	547,110			
Ca	Kök	4356,090	851,583	8,864	0,055	
	Gövde	3794,725	365,793			
	Yaprak	8582,415	1943,617			

4.2.2.1.2.4. *Melissa officinalis* mikoriza uygulanmış Zn grubunda organlara göre metal içerikleri:

Organa göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; yaprağın Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=4085,293$), kökün Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=2149,868$) yüksek olmasıdır. Kökün Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=2149,868$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1240,098$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=4085,293$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1240,098$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; kökün Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=16,113$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=5,860$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=9,593$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=5,860$) yüksek olmasıdır. Kökün Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=16,113$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=9,593$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; gövdenin Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}=153,065$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=56,583$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}=165,235$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=56,583$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Ca ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,002<0.05$). Farkın nedeni; yaprağın Ca Ölçümlerinin ($\bar{x}=10711,670$), kökün Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=3439,235$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Ca Ölçümlerinin ($\bar{x}=10711,670$), gövdenin Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=3668,575$) yüksek olmasıdır.

Fe, K ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir($p>0.05$).

Tablo 4.17: *Melissa officinalis* mikorizalı Zn grubunda organlara göre bitki element analizi

	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	2149,868	107,410	108,037	0,000	3>1
	Gövde	1240,098	288,871			1>2
	Yaprak	4085,293	373,552			3>2
Fe	Kök	734,135	90,709	0,300	0,748	
	Gövde	703,523	49,500			
	Yaprak	708,535	9,636			
Cu	Kök	16,113	2,889	30,396	0,000	1>2
	Gövde	5,860	1,384			3>2
	Yaprak	9,593	0,607			1>3
Mn	Kök	56,583	0,684	35,364	0,000	2>1
	Gövde	153,065	31,916			3>1
	Yaprak	165,235	13,543			
K	Kök	15560,660	851,781	2,511	0,229	
	Gövde	14388,240	484,213			
	Yaprak	18225,850	2877,684			
Ca	Kök	3439,235	384,673	85,415	0,002	3>1
	Gövde	3668,575	863,667			3>2
	Yaprak	10711,670	553,778			

4.2.2.1.2.5. *Melissa officinalis* mikoriza uygulanmamış Cd grubunda organlara göre metal içerikleri:

Organa göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; yaprağın Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=3507,085$), kökün Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=2266,993$) yüksek olmasıdır. Kökün Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=2266,993$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1060,875$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}=3507,085$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1060,875$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; kökün Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}=6725,488$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=926,735$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}=3004,243$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=926,735$) yüksek olmasıdır. Kökün Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}=6725,488$), yaprağın Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=3004,243$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,005<0.05$). Farkın nedeni; kökün Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}=158,158$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=115,770$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}=138,203$), gövdenin Mn ölçümlerinden

($\bar{x}$ =115,770) yüksek olmasıdır. Kökün Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}$ =158,158), yaprağın Mn ölçümlerinden ($\bar{x}$ =138,203) yüksek olmasıdır.

Cu, K, Ca ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir($p>0.05$).

Tablo 4.18: *Melissa officinalis* mikorizasız Cd grubunda organlara göre bitki element analizi

Cd M-	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	2266,993	283,177	49,040	0,000	3>1
	Gövde	1060,875	16,681			1>2
	Yaprak	3507,085	346,163			3>2
Fe	Kök	6725,488	486,672	84,548	0,000	1>2
	Gövde	926,735	7,319			3>2
	Yaprak	3004,243	698,361			1>3
Cu	Kök	16,405	7,223	4,491	0,056	
	Gövde	4,740	0,141			
	Yaprak	9,573	0,592			
Mn	Kök	158,158	5,884	12,448	0,005	1>2
	Gövde	115,770	1,160			3>2
	Yaprak	138,203	14,039			1>3
K	Kök	12665,250	4657,826	1,877	0,296	
	Gövde	18507,150	2239,039			
	Yaprak	20350,395	4974,362			
Ca	Kök	3522,820	1039,504	9,038	0,054	
	Gövde	3802,590	401,057			
	Yaprak	8018,325	1723,255			

4.2.2.1.2.6. *Melissa officinalis* mikoriza uygulanmış Cd grubunda organlara göre metal içerikleri:

Organa göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$). Farkın nedeni; yaprağın Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}$ =3902,725), kökün Mg ölçümlerinden ($\bar{x}$ =1952,163) yüksek olmasıdır. Kökün Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}$ =1952,163), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}$ =1124,278) yüksek olmasıdır. Yaprakın Mg Ölçümlerinin ($\bar{x}$ =3902,725), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}$ =1124,278) yüksek olmasıdır.

Organa göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,044<0.05$). Farkın nedeni; gövdenin Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}$ =796,778), kökün Fe ölçümlerinden ($\bar{x}$ =516,305) yüksek

olmasıdır. Yaprığın Fe Ölçümlerinin ($\bar{x}=795,495$), kökün Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=516,305$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,002<0.05$). Farkın nedeni; kökün Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=9,538$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=5,035$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Cu Ölçümlerinin ($\bar{x}=7,908$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=5,035$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0.05$). Farkın nedeni; gövdenin Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}=84,658$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=46,378$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mn Ölçümlerinin ($\bar{x}=102,393$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=46,378$) yüksek olmasıdır.

Organa göre K ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,030<0.05$). Farkın nedeni; yaprağın k Ölçümlerinin ($\bar{x}=17964,440$), kökün K ölçümlerinden ($\bar{x}=14460,285$) yüksek olmasıdır. Yaprığın K ölçümlerinin ($\bar{x}=17964,440$), gövdenin K ölçümlerinden ($\bar{x}=12585,970$) yüksek olmasıdır.

Organa göre Ca ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0.05$). Farkın nedeni; yaprağın Ca Ölçümlerinin ($\bar{x}=10552,160$), kökün Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=2698,085$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Ca ölçümlerinin ($\bar{x}=10552,160$), gövdenin Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=2384,075$) yüksek olmasıdır.

Tablo 4.19: *Melissa officinalis* mikorizalı Cd grubunda organlara göre bitki element analizi

Cd M+	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	1952,163	142,498	300,475	0,000	3>1
	Gövde	1124,278	231,758			1>2
	Yaprak	3902,725	85,166			3>2
Fe	Kök	516,305	29,647	4,518	0,044	2>1
	Gövde	796,778	217,598			3>1
	Yaprak	795,495	145,285			
Cu	Kök	9,538	1,757	13,569	0,002	1>2
	Gövde	5,035	0,854			3>2
	Yaprak	7,908	0,884			
Mn	Kök	46,378	11,094	19,748	0,001	2>1
	Gövde	84,658	13,851			3>1
	Yaprak	102,393	13,532			
K	Kök	14460,285	631,552	13,951	0,030	3>1
	Gövde	12585,970	182,773			3>2
	Yaprak	17964,440	1665,293			
Ca	Kök	2698,085	411,967	197,101	0,001	3>1
	Gövde	2384,075	328,996			3>2
	Yaprak	10552,160	611,563			

4.2.2.2. Büyüme Parametreleri

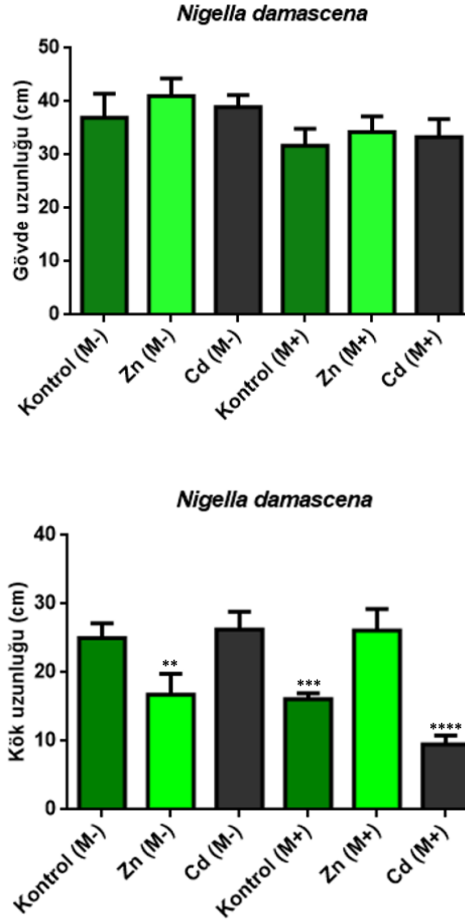
4.2.2.2.1. Boy

Çimlenme, fide büyümesi, şaşırtma, mikoriza gelişimi, ağır metal uygulamalarının ardından yaklaşık 20. Haftalık süre sonunda hasat öncesi gövde apikal ucundan kök apikal ucuna kadar olan tüm bitki boyu tam olarak ölçüldü. Aşağıda *Nigella damascena* ve *Melissa officinalis* ile ilgili boy uzunluğu grafikleri bulunmaktadır.

4.2.2.2.1.1. *Nigella damascena*

Kontrol grubuna göre gövde uzunlukları mikoriza uygulanan kontrol, Zn ve Cd grupları ile mikoriza uygulanmayan Zn ve Cd gruplarında anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$). Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ve mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0233^*$). Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ve mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0331^*$).

Kontrol grubuna göre kök uzunlukları mikoriza uygulanmayan Cd grubu ve mikoriza uygulanan Zn grubu dışında diğer gruplarda anlamlı farklılık görülmektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre yüksek ($p=0,0003^{***}$), mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre düşük ($p=0,0046^{**}$), mikoriza uygulanan Cd grubuna göre yüksek ($p=0,0001^{****}$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ve mikoriza uygulanan bitkilerin kendi arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0052^{**}$). Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ve mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$).

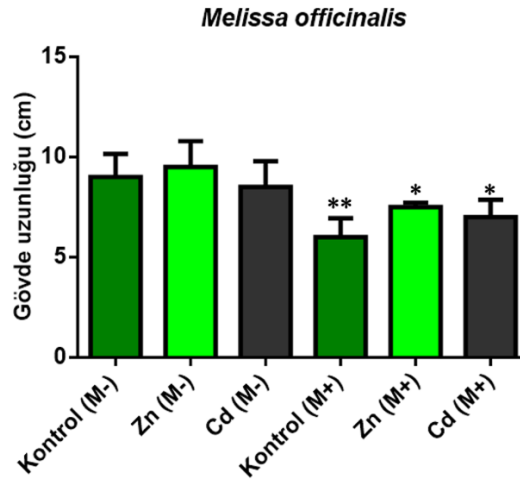


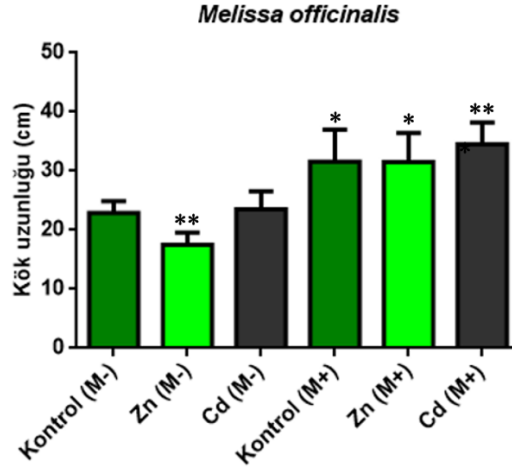
Şekil 4.7: *Nigella damascena* gövde ve kök uzunluğu

4.2.2.2.1.2. *Melissa officinalis*

Kontrol grubuna göre gövde uzunlukları mikoriza uygulanmayan Zn ve Cd gruplarında anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$). Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre yüksek ($p=0,0069^{**}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,0433^*$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre yüksek ($p=0,0323^*$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0223^*$) ve mikoriza uygulanan kontrol ile mikoriza uygulanan Zn gruplarının arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,021^*$).

Kontrol grubuna göre kök uzunlukları mikoriza uygulanmayan Cd grubu dışında diğer gruplarda anlamlı farklılık görülmektedir. Mikoriza uygulanan kontrol grubu mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre düşük ($p=0,0247^*$), mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,001^{**}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre düşük ($p=0,0178^*$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre düşük ($p=0,0015^{**}$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,002^{**}$) ve Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0039^{**}$).





Şekil 4.8: *Melissa officinalis* gövde ve kök uzunluğu

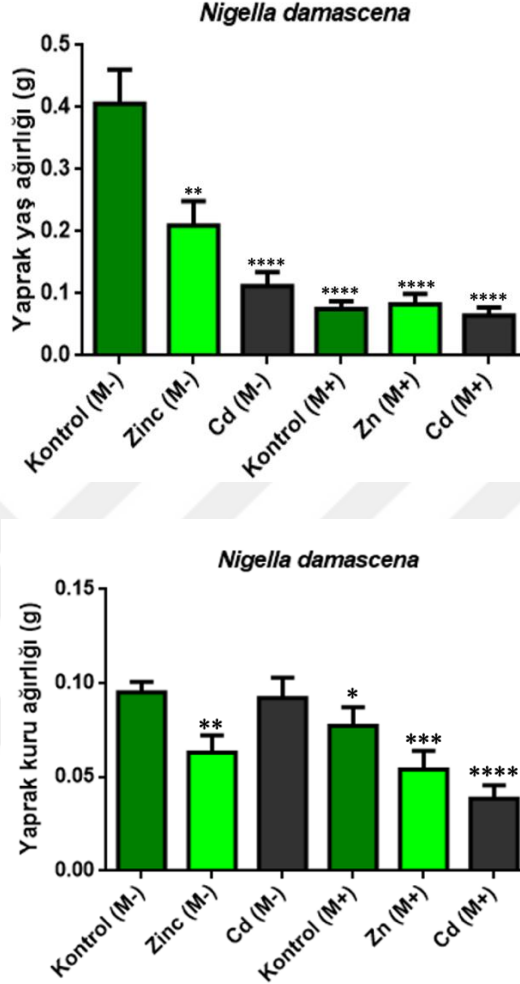
4.2.2.2.2. Ağırlık

4.2.2.2.2.1. *Nigella damascena* Yaprak Yaş-Kuru, Kök Yaş-Kuru Ağırlıkları

Kontrol grubuna göre yaprak yaş ağırlığı tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,0011^{**}$), mikoriza uygulanmayan Cd grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkilerin kendi arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,001^{**}$). Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0101^{*}$).

Kontrol grubuna göre yaprak kuru ağırlığı mikoriza uygulanmayan Cd grubu dışındaki tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,0011^{**}$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre yüksek ($p=0,0217^{*}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,0004^{***}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) bulunmuştur. Ayrıca Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0002^{***}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Zn grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0164^{*}$). Mikoriza uygulanan

kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Cd grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0007^{***}$).

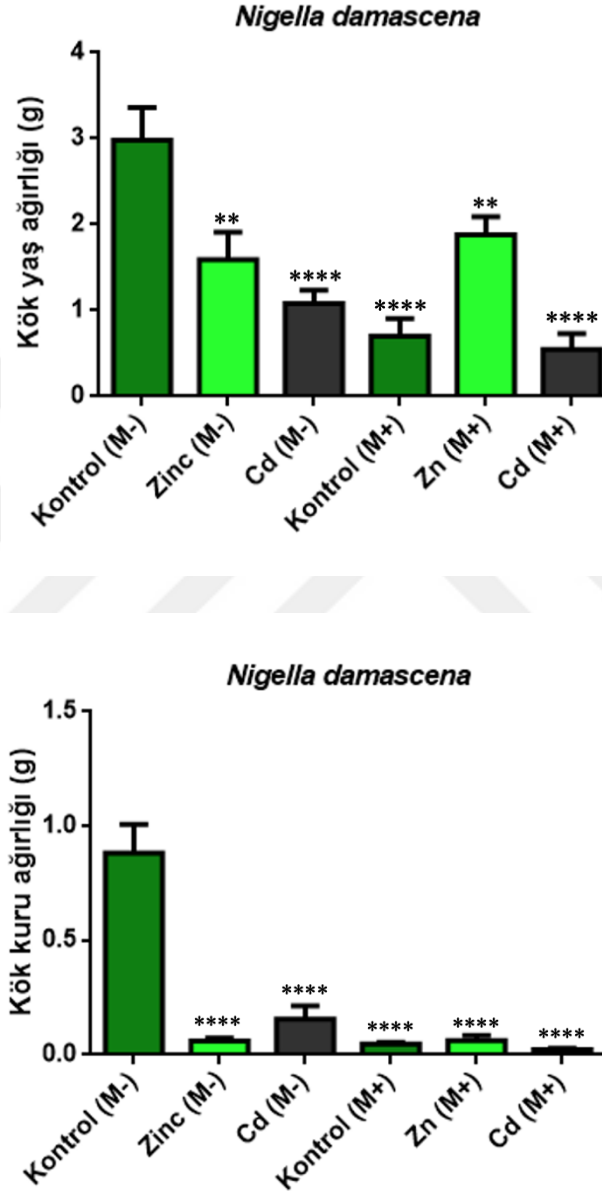


Şekil 4.9: *Nigella damascena* yaprak yaş ve kuru ağırlığı

Kontrol grubuna göre kök yaş ağırlığı tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir.

Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,0014^{**}$), mikoriza uygulanmayan Cd grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,0023^{**}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) bulunmuştur. Ayrıca Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0043^{**}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Zn grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0002^{***}$).

Kontrol grubuna göre kök kuru ağırlığı tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0,0001^{***}$). Ayrıca Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0044^{**}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Cd grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0020^{**}$).



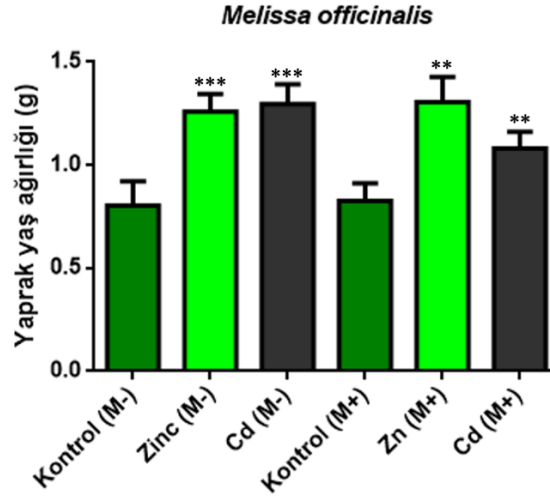
Şekil 4.10: *Nigella damascena* kök yaş ve kuru ağırlığı

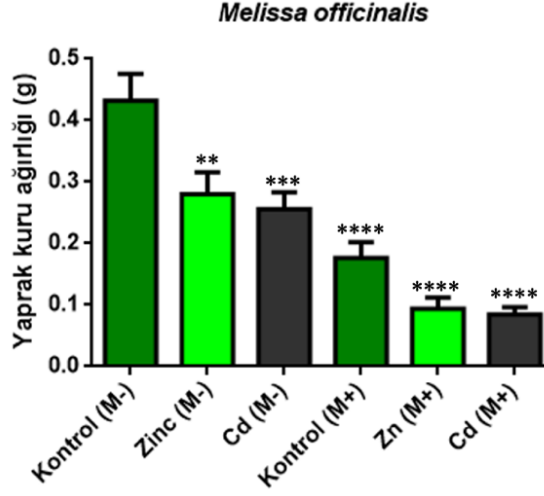
4.2.2.2.2. *Melissa officinalis* Yaprak Yaş-Kuru, Kök Yaş-Kuru Ağırlıkları

Kontrol grubuna göre yaprak yaş ağırlığında mikoriza uygulanan kontrol grubu dışında diğer gruplarda anlamlı farklılık görülmektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre düşük ($p=0,0008^{***}$), mikoriza uygulanmayan Cd grubuna göre

düşük ($p=0,0006^{***}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre düşük ($p=0,0011^{**}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre yüksek ($p=0,0086^{**}$) bulunmuştur. Ayrıca Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0131^*$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Zn grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0007^{***}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Cd grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0052^{**}$).

Kontrol grubuna göre yaprak kuru ağırlığı mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,0017^{**}$), mikoriza uygulanmayan Cd grubuna göre yüksek ($p=0,0005^{***}$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$), Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Zn grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,002^{**}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Cd grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0006^{***}$).

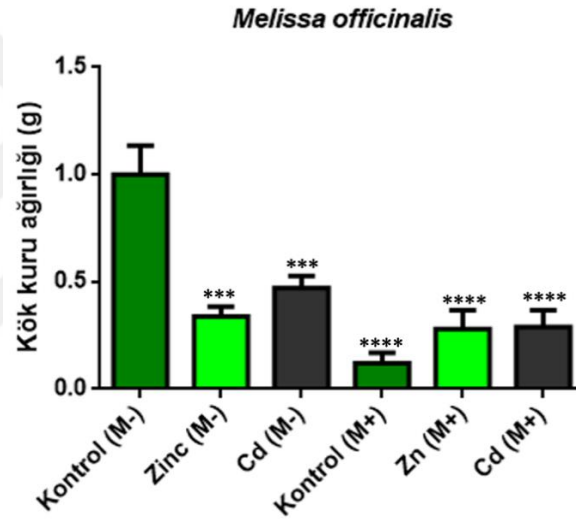
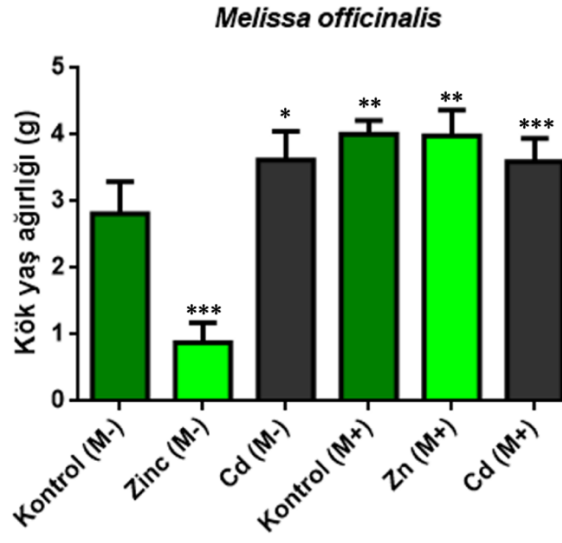




Şekil 4.11: *Melissa officinalis* yaprak yaş ve kuru ağırlığı

Kontrol grubuna göre kök yaş ağırlığı tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,0005^{***}$), mikoriza uygulanmayan Cd grubuna göre düşük ($p=0,457^*$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre düşük ($p=0,0038^{**}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre düşük ($p=0,0086^{**}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre düşük ($p=0,0377^*$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$).

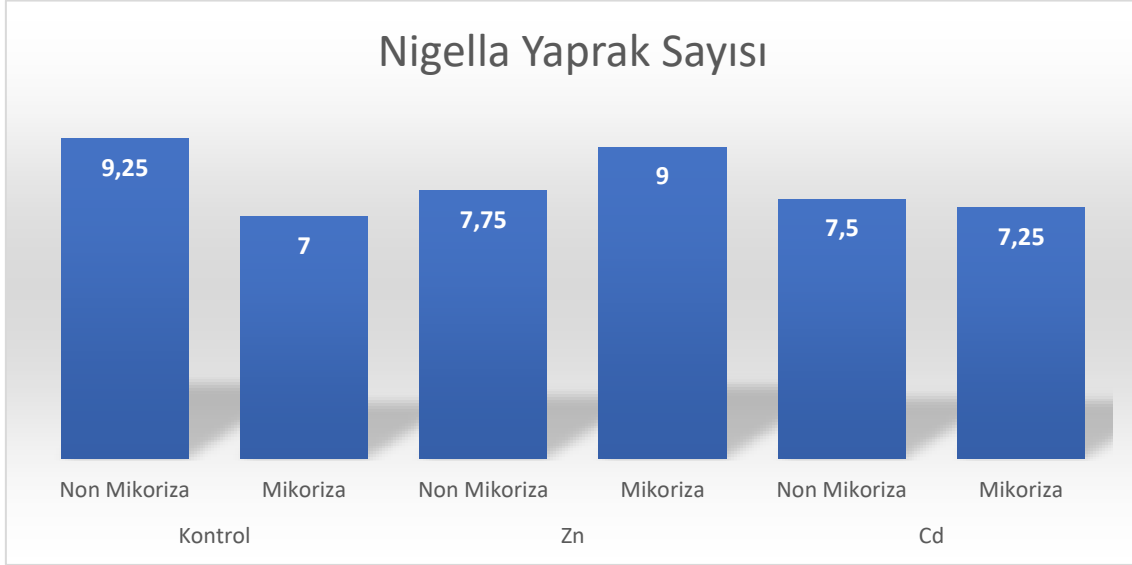
Kontrol grubuna göre kök kuru ağırlığı tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,0001^{***}$), mikoriza uygulanmayan Cd grubuna göre yüksek ($p=0,0003^{***}$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) bulunmuştur. Ayrıca Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,009^{**}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Zn grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0191^*$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Cd grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0107^*$).



Şekil 4.12: *Melissa officinalis* kök yaş ve kuru ağırlığı

4.2.2.2.3. Yaprak Sayısı

4.2.2.2.3.1. *Nigella damascena*

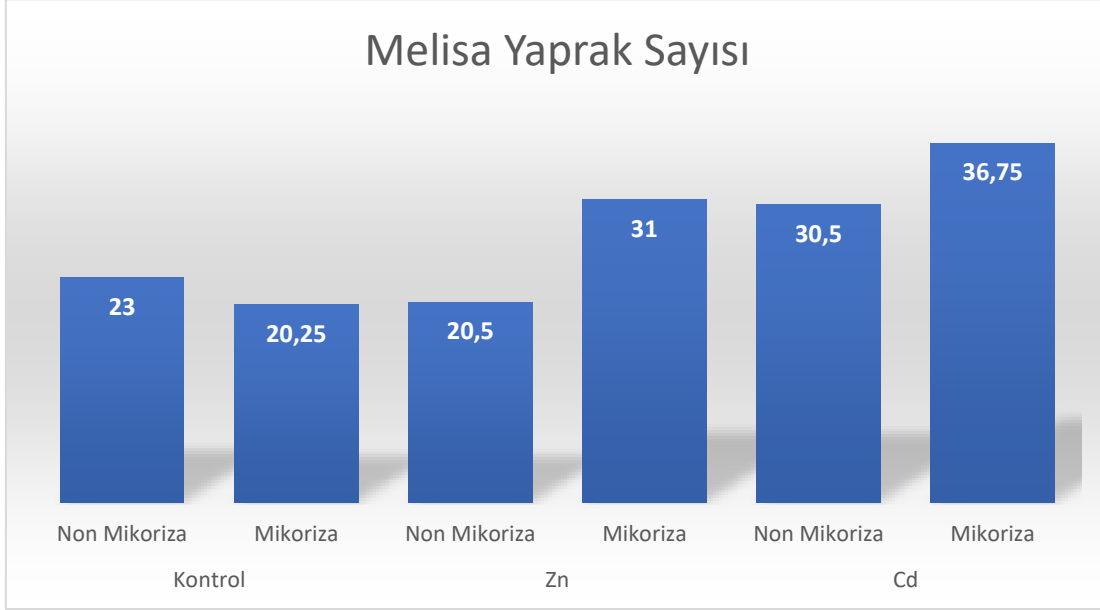


Şekil 4.13: *Nigella damascena* yaprak sayısı

Kontrol grubunda boy, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, yaprak yaş ağırlığı, yaprak kuru ağırlığı, toprak yaş ağırlık, toprak kuru ağırlık, toplam bağıl su içeriği, yaprak sayısı, kök uzunluğu ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir($p>0,05$).

Zn grubunda boy, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, yaprak yaş ağırlığı, yaprak kuru ağırlığı, toprak yaş ağırlık, yaprak sayısı, kök uzunluğu ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir($p>0,05$).

Cd grubunda mikorizaya göre yaprak kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0.006<0.05$). Mikorizasız yaprak kuru ağırlığı ölçümleri ($\bar{x}=0,113$), mikoriza yaprak kuru ağırlığı ölçümlerinden ($\bar{x}=0,013$) yüksek bulunmuştur.

4.2.2.2.3.2. *Melissa officinalis*Şekil 4.14: *Melissa officinalis* yaprak sayısı

Kontrol grubunda boy, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, yaprak yaş ağırlığı, yaprak kuru ağırlığı, toprak kuru ağırlık, toplam bağıl su içeriği, yaprak sayısı, kök uzunluğu ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Zn grubunda boy, kök kuru ağırlığı, yaprak yaş ağırlığı, yaprak kuru ağırlığı, toprak yaş ağırlık, toprak kuru ağırlık, toplam bağıl su içeriği, yaprak sayısı ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Cd grubunda mikorizaya göre yaprak kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0.002<0.05$). Mikorizasız yaprak kuru ağırlığı ölçümleri ($\bar{x}=0,363$), mikorizalı yaprak kuru ağırlığı ölçümlerinden ($\bar{x}=0,143$) yüksek bulunmuştur.

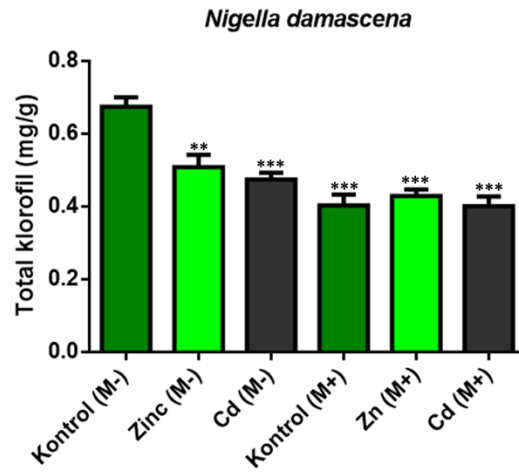
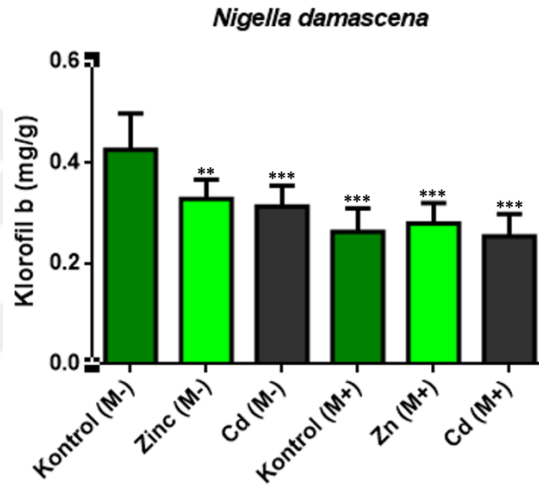
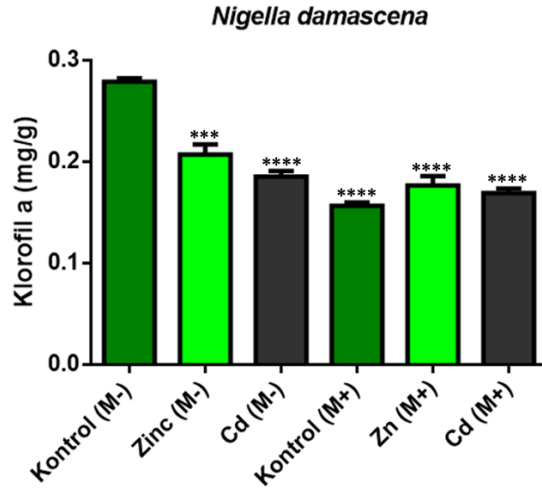
4.2.2.2.4. Klorofil İçerik

4.2.2.2.4.1. *Nigella damascena*

Kontrol grubuna göre klorofil a içeriği tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,0003^{***}$), mikoriza uygulanmayan Cd grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,018^*$). Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0171^*$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Zn grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0248^*$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Cd grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,016^*$).

Kontrol grubuna göre klorofil b içeriği tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,0036^{**}$), mikoriza uygulanmayan Cd grubuna göre yüksek ($p=0,0002^{***}$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre yüksek ($p=0,0003^{***}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,0004^{***}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre yüksek ($p=0,0002^{***}$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0191^*$). Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0013^{**}$).

Kontrol grubuna göre total klorofil içeriği tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,0025^{**}$), mikoriza uygulanmayan Cd grubuna göre yüksek ($p=0,0004^{***}$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre yüksek ($p=0,0003^{***}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre yüksek ($p=0,0002^{***}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre yüksek ($p=0,0002^{***}$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0223^*$). Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0166^*$).



Şekil 4.15: *Nigella damascena* klorofil içerikleri

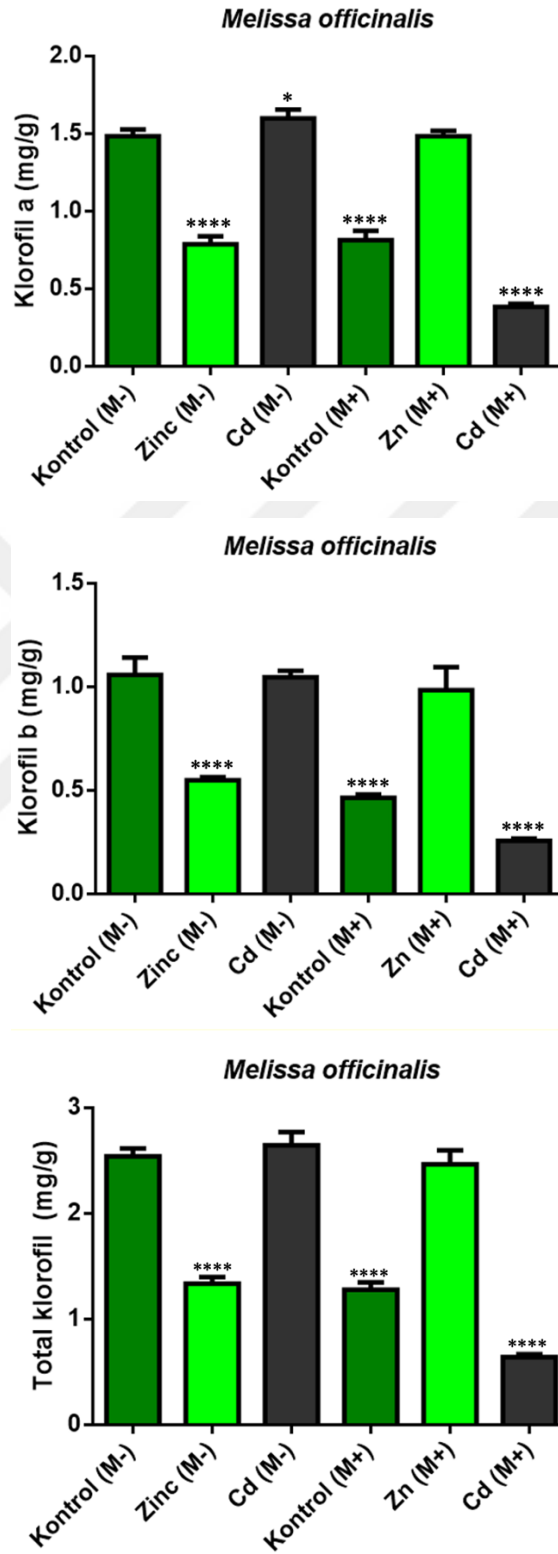
4.2.2.2.4.2. *Melissa officinalis*

Kontrol grubuna göre klorofil a içeriği mikoriza uygulanan Zn grubu dışındaki tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanmayan Cd grubuna göre düşük ($p=0,0183^*$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$). Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Zn grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Cd grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$).

Kontrol grubuna göre klorofil b içeriği mikoriza uygulanmayan Cd ve mikoriza uygulanan Zn grupları dışındaki tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,003^{***}$). Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Zn grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Cd grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$).

Kontrol grubuna göre total klorofil içeriği mikoriza uygulanmayan Cd ve mikoriza uygulanan Zn grupları dışındaki tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre yüksek ($p<0,0001^{****}$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$). Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Zn grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanan

kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Cd grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p < 0,0001^{***}$).



Şekil 4.16: *Melissa officinalis* klorofil içerikleri

4.2.2.2.5. Fenolik İçerik

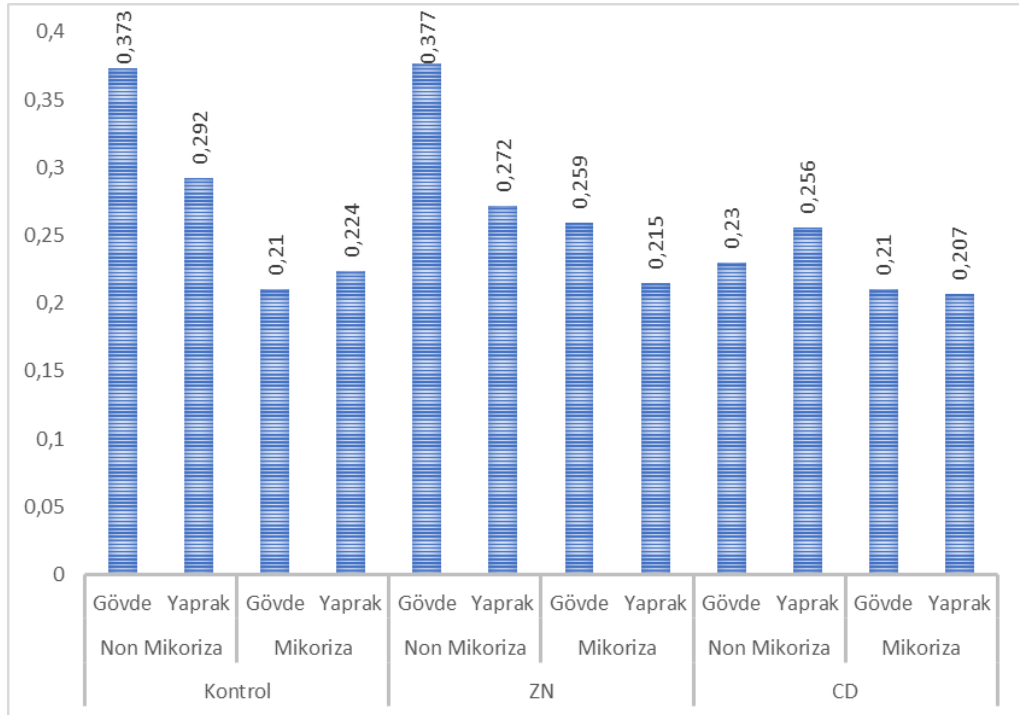
4.2.2.2.5.1. *Nigella damascena* bitkisinde fenolik içeriğin organ ve mikoriza varlığına göre ölçülmesi

Nigella damascena bitkisi kontrol grubu mikorizasız organa göre fenolik içerik toplam ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0.000<0.05$). Gövdenin fenolik içerik toplam ölçümleri ($\bar{x}=0,373$), yaprağın fenolik içerik toplam ölçümlerinden ($\bar{x}=0,292$) yüksek bulunmuştur.

Nigella damascena bitkisi kontrol grubu mikoriza organa göre fenolik içerik toplam ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0.036<0.05$). Yaprığın fenolik içerik toplam ölçümleri ($\bar{x}=0,224$), gövdenin fenolik içerik toplam ölçümlerinden ($\bar{x}=0,210$) yüksek bulunmuştur.

Nigella damascena bitkisi Zn grubu mikorizasız organa göre fenolik içerik toplam ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0.000<0.05$). Gövdenin fenolik içerik toplam ölçümleri ($\bar{x}=0,377$), yaprağın fenolik içerik toplam ölçümlerinden ($\bar{x}=0,272$) yüksek bulunmuştur.

Nigella damascena bitkisi Zn grubu mikoriza organa göre fenolik içerik toplam ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0.002<0.05$). Gövdenin fenolik içerik toplam ölçümleri ($\bar{x}=0,259$), yaprağın fenolik içerik toplam ölçümlerinden ($\bar{x}=0,215$) yüksek bulunmuştur ($p>0,05$).



Şekil 4.17: *Nigella damascena* türünün fenolik madde içeriği

4.2.2.2.5.2. *Melissa officinalis* bitkisinde fenolik içeriğin organ ve mikoriza varlığına göre ölçülmesi

Melisa officinalis bitkisi kontrol grubu mikorizasız organa göre fenolik içerik toplam ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0.000<0.05$). Yaprığın fenolik içerik toplam ölçümleri ($\bar{x}=1,866$), gövdenin fenolik içerik toplam ölçümlerinden ($\bar{x}=0,492$) yüksek bulunmuştur.

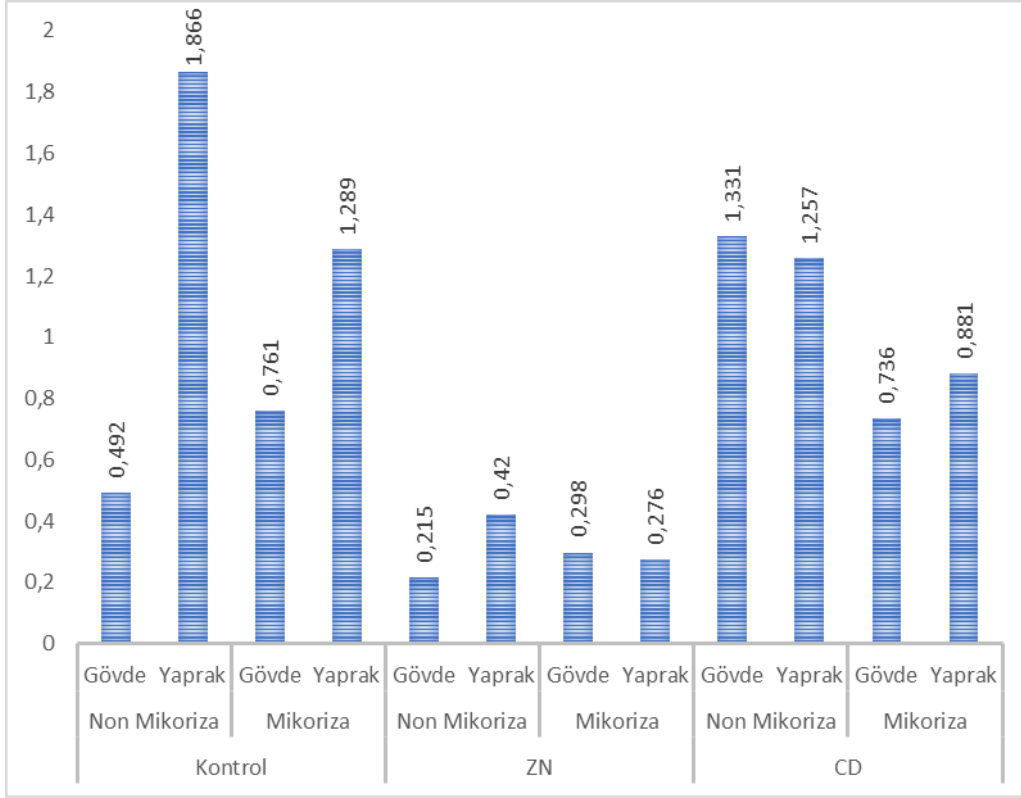
Melisa officinalis bitkisi kontrol grubu mikoriza organa göre fenolik içerik toplam ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0.000<0.05$). Yaprığın fenolik içerik toplam ölçümleri ($\bar{x}=1,289$), gövdenin fenolik içerik toplam ölçümlerinden ($\bar{x}=0,761$) yüksek bulunmuştur.

Melisa officinalis bitkisi Zn grubu mikorizasız organa göre fenolik içerik toplam ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0.000<0.05$). Yaprığın fenolik içerik toplam ölçümleri ($\bar{x}=0,420$), gövdenin fenolik içerik toplam ölçümlerinden ($\bar{x}=0,215$) yüksek bulunmuştur.

Melisa bitkisi Zn grubu mikoriza organa göre fenolik içerik toplam ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0.001<0.05$). Gövdenin fenolik içerik toplam ölçümleri ($\bar{x}=0,298$), yaprağın fenolik içerik toplam ölçümlerinden ($\bar{x}=0,276$) yüksek bulunmuştur.

Melisa bitkisi Cd grubu mikorizasız fenolik içerik toplam ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Melisa bitkisi Cd grubu mikoriza organa göre fenolik içerik toplam ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0.000<0.05$). Yaprığın fenolik içerik toplam ölçümleri ($\bar{x}=0,881$), gövdenin fenolik içerik toplam ölçümlerinden ($\bar{x}=0,736$) yüksek bulunmuştur.

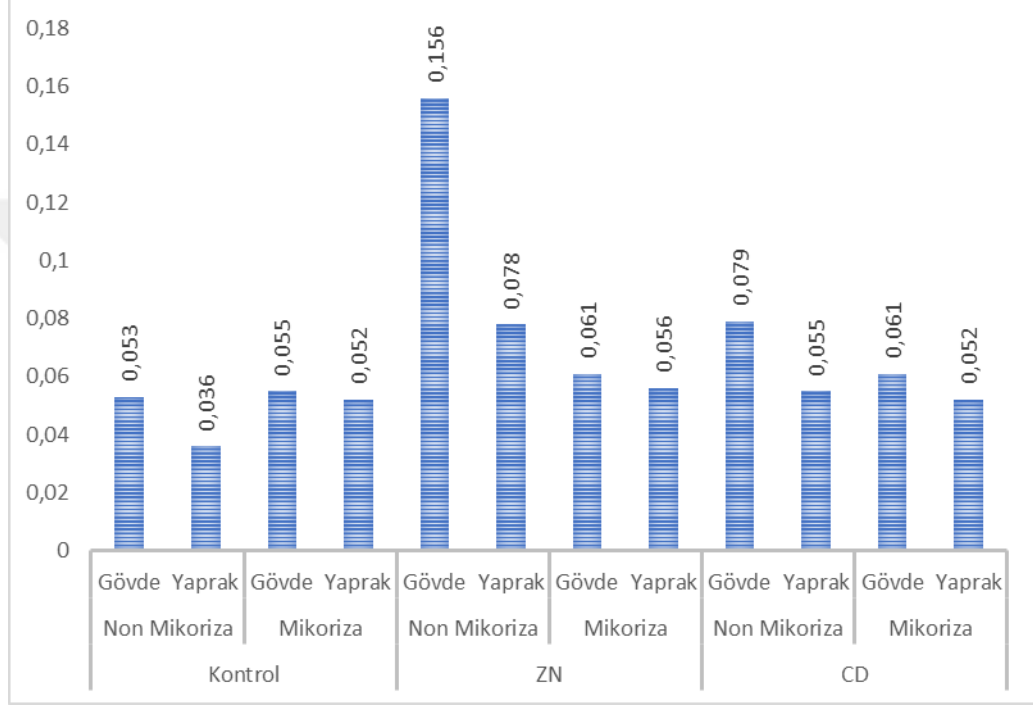


Şekil 4.18: *Melisa officinalis* türünün fenolik madde içeriği

4.2.2.2.6. Prolin Ölçümü

4.2.2.2.6.1. *Nigella damascena* bitkisinde prolin ölçümünün organ ve mikoriza varlığına göre ölçülmesi

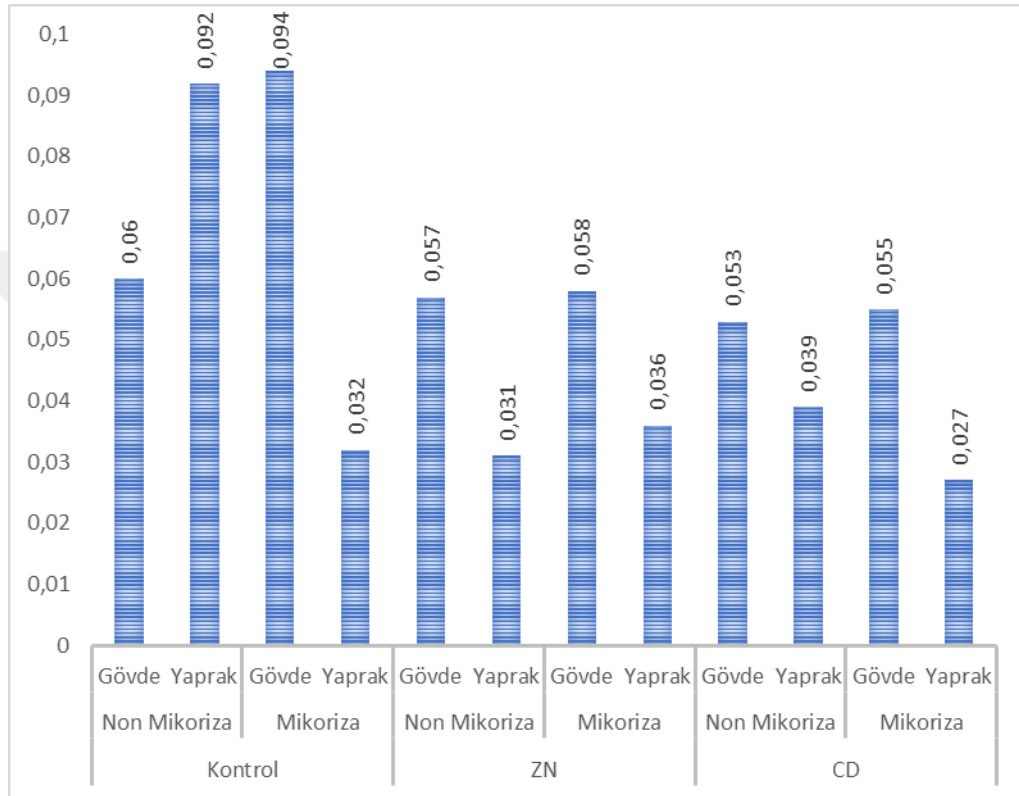
Gruplarda mikorizasız ve mikorizalı durumlarda prolin ölçümleri organlara göre anlamlı farklılık göstermemektedir($p>0,05$).



Şekil 4.19. *Nigella damascena* türünün prolin birikimi

4.2.2.2.6.2. *Melissa officinalis* bitkisinde prolin ölçümünün organ ve mikoriza varlığına göre ölçülmesi

Gruplarda mikorizasız ve mikorizalı durumlarda prolin ölçümleri organlara göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).



Şekil 4.20. *Melissa officinalis* türünün prolin birikimi

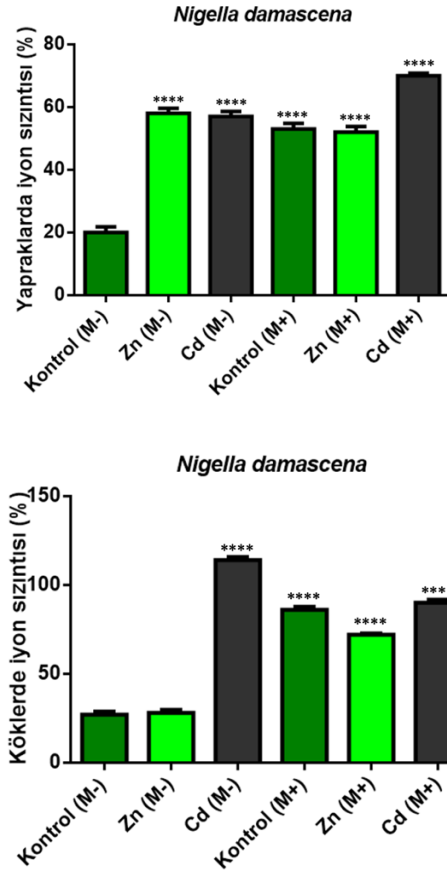
4.2.2.2.7. İyon Sızıntısı

4.2.2.2.7.1. *Nigella damascena* bitkisinin yaprak ve köklerde iyon sızıntısı

Kontrol grubuna göre yapraklarda iyon sızıntısı tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre düşük ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanmayan Cd grubuna göre düşük ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre düşük ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre düşük ($p<0,0001^{****}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre düşük ($p<0,0001^{****}$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler

arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0027^{**}$). Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Cd grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$).

Kontrol grubuna göre köklerde iyon sızıntısı mikoriza uygulanmayan Zn grubu dışındaki tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan Cd grubuna göre düşük ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre düşük ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre düşük ($p=0,0027^{**}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre düşük ($p<0,0001^{****}$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$). Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0212^{*}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Zn grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Cd grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$).

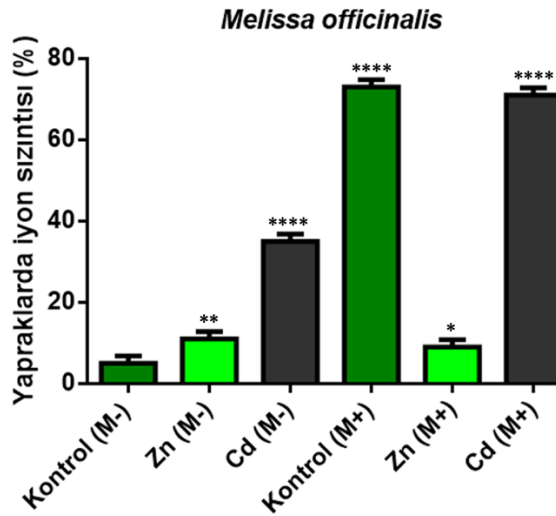


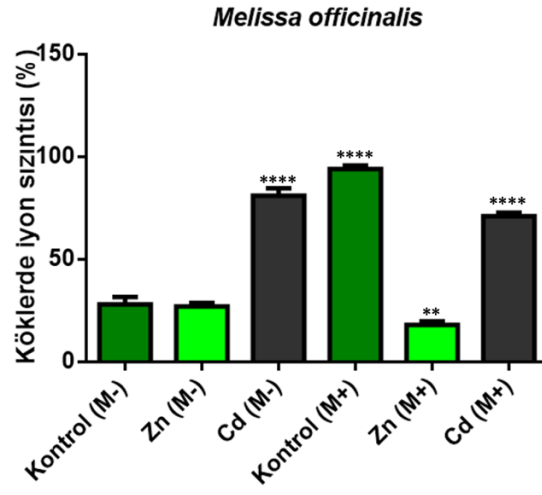
Şekil 4.21. *Nigella damascena* türünün yaprak ve kök iyon sızıntısı

4.2.2.2.7.2. *Melissa officinalis* bitkisinin yaprak ve köklerde iyon sızıntısı

Kontrol grubuna göre yapraklarda iyon sızıntısı tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu mikoriza uygulanmayan Zn grubuna göre düşük ($p=0,0035^{**}$), mikoriza uygulanmayan Cd grubuna göre düşük ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre düşük ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre düşük ($p=0,0212^*$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre düşük ($p<0,0001^{****}$) bulunmuştur. Ayrıca Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Zn grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0001^{****}$).

Kontrol grubuna göre köklerde iyon sızıntısı mikoriza uygulanmayan Zn grubu dışındaki tüm gruplarda anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan Cd grubuna göre düşük ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan kontrol grubuna göre düşük ($p<0,0001^{****}$), mikoriza uygulanan Zn grubuna göre düşük ($p=0,0027^{**}$) ve mikoriza uygulanan Cd grubuna göre düşük ($p<0,0001^{****}$) bulunmuştur. Ayrıca Zn grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0004^{***}$). Cd grubunda mikoriza uygulanmayan ile mikoriza uygulanan bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0027^{**}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Zn grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p<0,0004^{***}$). Mikoriza uygulanan kontrol grubu ve mikoriza uygulanan Cd grubu bitkiler arasında anlamlı farklılık görülmektedir ($p=0,0027^{**}$).





Şekil 4.22. *Melissa officinalis* türünün yaprak ve kök iyon sızıntısı

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ağır metal kirlenmesine maruz kalan bitkilerin büyük bir kısmı bu kirliliğe yetiştği ortamdan kök bölgesi ile direk maruz kalırken bir kısmının da yaprak bölgesinden maruz kalmaktadır. Bitkinin yetiştği ortamın ısı, nem, pH, element ve kimyasal madde içeriği, bitki türü ve özellikleri bitki bünyesine metal alım oranlarını ve taşınmasını değiştirebilir. Toleranslı bitkiler toprağa göre 3.3 kat Cd içeriği, 4.3 kat Pb ve 2.3 kat Zn içerebilmektedir [124].

Ağır metallerin bulunduğu toprak, su, bitki gibi ortamlarda izin verilen oranları FAO tarafından belirtilmiştir. Bu limitlerin üzerinde bulunmaları durumunda toksisite özellikleri gösterebilmektedirler [125].

Tablo 5.1: Metallerin toksisite değerleri

Metal türü	Arazi sulama suyu (µg/ml)	Toprak (µg/g)	Bitki (µg/g)
As	0.01	20	0.1
Cd	0.01	3	0.2
Cu	0.20	140	40
Cr	0.10	150	5
Fe	0.50	50.000	450
Hg	0.01	30	0.03
Mn	0.20	80	500
Ni	1.40	50	67
Pb	0.015	300	0.30
Zn	2.0	300	60

Metal stresine maruz kalan bitkilerde ilk olarak görülen sorunlar kök bölgesindeki kısılma, azalma, anormal yan kök oluşumlarıdır. Gövde bölgesindeki azalma, yapraklarda görülen küçülme, şekil ve nekroz bozuklukları bitki türüne ve metal maruziyetine göre değişebilmektedir [126].

Çalışmamızda *Nigella damascena* bitkisinin gövde uzunlukları sırasıyla mikoriza uygulanmayan Zn>Cd>Kont bitkileri şeklinde sıralanırken mikoriza uygulaması ile gövde boylarında azalma görülmüştür. Metal stresinde kontrol bitkilerine yakın bir gövde uzunluğuna ulaşmaları hormesis etkiden (bitkide besin yetersizliği sebebiyle Zn ve Cd metalinin kullanımı

durumu) kaynaklı olarak düşünülebilir. Mikoriza uygulaması ile gövde uzunluklarının kısılması ise bitki için gerekli olabilecek bu metallerin savunma mekanizması sebebiyle alınamaması olarak karşımıza çıkmaktadır.

Melissa officinalis bitkisinde gövde uzunluklarında mikoriza uygulanmayan bitki gruplarında gövde uzunluklarının daha yüksek olduğu görülmüş ve Zn ve Cd metali ile kontrolden daha yüksek gövde uzunlukları tespit edilmiştir. Mikoriza uygulaması ile Zn stresinde artış görülmüş, Cd stresindeki bitkilerde kontrole kıyasla daha fazla azalma gözlenmiştir.

Kök uzunlukları *Nigella damascena* türünde kontrol grubuna göre mikorizasız Cd ve mikorizalı Zn bitkileri arasında denklik olduğundan hormesis etkisi düşünülebilir. Ağır metal stresi altında kök kısılması gibi morfolojik etkilerin görülmesine paralel olarak mikorizasız Zn bitkilerinde anlamlı derecede kök kısılması görülmektedir. Mikoriza uygulaması ile kontrol ve Cd gruplarında anlamlı kısılmalar gözlenmiştir. Mikoriza uygulanan Zn grubunda kontrol seviyesinden daha yüksek kök uzunluğu görülmüştür. Burada Zn ve mikoriza sinerjisinden bahsedilebilmektedir.

Melisa officinalis türünün kök uzunluklarına bakıldığında kontrol grubuna göre mikoriza uygulanmayan Zn grubunda stres etkisi gözlenmiş ve kök boyu kısalmıştır. Burada üzerinde durulması gereken konu mikoriza etkisi ile kök uzunluğunun arttığı görülmektedir. Mikorizanın bitki morfolojisi üzerine olumlu etkisine tüm bitki gruplarında rastlanmaktadır.

Nigella damascena türünde kontrol grubuna göre tüm gruplarda yaprak yaş ağırlıkları azalmaktadır. Özellikle mikoriza uygulaması ile ağırlıklar anlamlı derecede azalmıştır. Yaprak kuru ağırlıklarda mikoriza uygulanmayan Cd grubunda hormesis etkisi gözlenmektedir. Mikoriza uygulaması ile yaprak kuru ağırlıkları anlamlı derecede azalmıştır. Mikoriza uygulamasının antagonist etki ve savunma mekanizmasını hareketlendirdiği görülmektedir. Kök yaş ağırlıkları kontrole göre tüm gruplarda azalmıştır. Burada öne çıkan mikoriza uygulaması ile öne çıkan Zn grubudur. Mikoriza ve Zn sinerjik etkisi görülmektedir. Kök kuru ağırlığı ağır metal stresi ve mikoriza etkisi ile belirgin ve anlamlı derecede azalmıştır.

Melissa officinalis türünde kontrol grubuna göre Zn ve Cd gruplarında yaprak yaş ağırlıkları daha yüksek görülmektedir. Mikoriza ve stres etkisi çok belirgin görülmemektedir. Yaprak kuru

ağırlıklarına bakıldığında Zn stres etkisi ve mikoriza etkisi görülmektedir. Kök yaş ağırlığında stres etkisi görülmektedir. Mikoriza uygulaması ile Zn grubunda sinerjik etki ile ağırlıkların kontrol düzeyine kadar arttığı görülmektedir. Mikoriza Cd grubunu etkilememiştir. Kök kuru ağırlıkları kontrole göre stres ve mikoriza uygulamaları ile anlamlı derecede azalmıştır.

Cd ve Zn metallerinin elektronik konfigürasyonlarından dolayı çeşitli kimyasal ve fiziksel benzelikleri paylaşırlar. Kökten alımları ve kökten gövdeye taşınimleri için birbirleriyle rekabet ederler. Bu metallerin antagonist ve sinerjik etkileri ile ilgili çalışmalar netlik kazanmamıştır [127].

AM mantarlarının metalle kirlenmiş toprakta stresle baş etme ve besin yönetiminde kullanıldığı bildirilmiştir [127].

İki farklı genotip bezelyenin farklı konsantrasyonlarda Cd (0,25, 50 mg/kg) ve Zn (0, 500, 1000 mg/kg) stresi altında ve mikoriza uygulaması ile değişiklikleri izlenmiştir. Toksisite oranı yüksek olan Cd metalinin bitki büyüme parametrelerinde inhibisyonu gözlenmiştir. İlgi çekici olan ise Zn ve Am uygulamalarının eş zamanlı olduğu bitkilerde Cd toksisitesi azalmıştır [128].

Toprak özellikleri, bitki türü ve bitki besin ihtiyacı mikorizal etkileri değiştirebilmektedir. Özellikle Ca, Zn, K, N ve P gibi elementleri biriktirme ve taşıma eğilimindedir [129].

Toprak karışımı ve karışımdaki harç oranları mikorizal kolonizasyon için önemli faktörlerdir. Toprakta bulunan organik içerik bitkiye taşınabileceğinden büyüme ve gelişmeye katkısı düşünülebilir [130][131].

Çalışmamızda yapılan toprak analiz sonuçlarına göre; *Nigella damascena* bitkisinin kontrol grubunda mikoriza uygulanan ve uygulanmayan bitkiler arasında Ca elementinde anlamlı fark görülmüştür.

Melissa officinalis bitkisinin kontrol grubunda mikoriza uygulanan ve uygulanmayan bitkiler arasında K, Fe, Mn elementlerinde anlamlı fark görülmüştür.

Mikoriza uygulaması ile *Nigella damascena* bitkisinde Ca element ölçümü ve *Melissa officinalis* bitkisinde K, Fe, Mn element miktarları azalmıştır bunun nedeni bitkide büyüme ya

da metabolik olaylarda oluşan element ihtiyaçlarının simbiyotik birliktelik kapsamında mikoriza tarafından sağlanmış olabileceğidir.

Vermikompost ilavesi ile yetiştirilen *Nigella sativa* türünde Zn içeren gübreye ihtiyaç potansiyelinin araştırıldığı çalışmada eklenen *Glomus mosseae* mikorizal fungusun K element içeriğini arttırdığı fakat tohumlarda P, Fe, Zn element miktarlarını değiştirmedığı gözlemlenmiştir. Eklenen Zn gübre desteği ile P, K, Fe, Zn miktarları azalmıştır. Vermikompost, Zn gübre ve mikoriza bir arada uygulandığında K ve Zn element içeriklerinde bir miktar artış gözlenirken P ve Fe element içerikleri değişmemiştir. Yalnızca *Glomus mosseae* türü mikoriza uygulaması ve Zn gübre bitki büyüme ve gelişmesini etkilememiştir. Yeterli besin bulunduğu çörekotu bitkisinde bu tür uygulamalara gerek olmadığı bildirilmiştir [132].

İran'da yapılan bir çalışmada Fe element eksikliği bulunan toprağa Fe ve Zn gübre desteği verilmiş ve *Nigella sativa* türü Fe desteğine metabolik artışlarla olumlu sonuçlar vermiş fakat Zn eksikliği bulunmadığından Zn gübre etki göstermemiştir [133].

Güvercin çiçekli bezelyelerde yapılan çalışmada arbusküler mikoriza ve Zn birlikteliği Cd toksisitesini azaltmaya yönelik sinerjik etki gösterdiği bildirilmiştir [134].

Bitki element alımlarıyla ilgili yapılan çalışmada özellikle Zn ve Cu alımlarında arbusküler mikoriza uygulamasının doğrudan etki ettiği bildirilmiştir. [135].

Cd ve Pb gibi ağır metaller bitkideki en önemli metabolik faaliyet olan fotosentezi olumsuz etkilemektedir. Bu metaller toksik etkilerin yanında K, Mg, Zn, Fe, Ca, Mn, Cu gibi elementlerin alınması ve taşınmasını etkileyebilmektedir. Mg ve Fe özellikle klorofil pigmenti için önem taşımaktadır [136].

Ağır metaller enzimler üzerine, solunum ve fotosentez gibi hayati fonksiyonların döngülerine diğer elementlerle rekabet ederek onların alımına ve taşınımına engel olarak neden olduğu bilinmektedir [137].

Yapılan bir araştırmada mikoriza aşılması turunc bitkisinin Ca, Mg ve Na içeriği mikorizasız bitkiye göre sırası ile % 41, % 36, ve % 150 oranında daha yüksek ölçülmüştür [138].

Salatalık bitkisinde mikoriza kolonizasyonu N,P,Zn, Cu elementlerinin alımında, domates bitkisinde N ve Cu elementlerinin alımında, dut kesiklerinde ise N,P,K elementlerinin alımında artış sağlamıştır [139, 140].

Bitki ICP *Nigella* nm (mikorizasız) kontrol grubunda Fe, Cu, Mn element miktarları anlamlı farklılık göstermiştir. Kök>yaprak>gövde kökten aynı oranlarda yaprağa taşınmıştır.

Am (mikorizasız) kontrol grubunda Fe elementinin kök bölgesindeki miktarı nm grubu ile yaklaşık eşit miktarlardadır (Fe: Nm: 2712,7 am: 2709,58 – Cu: nm: 11,058 am: 11.885) fakat gövde ve yaprağa taşınım mikoriza uygulaması ile azalmıştır. Am kontrol grubunda Mn miktarı yaprak>kök>gövde şeklinde farklılaşmıştır. nM grubunda anlamlı olmayan Ca değişimi am grubunda anlamlı farklılık göstererek özellikle yaprak bölgesinde Ca miktarını azaltmıştır.

Bitki ICP *Nigella damascena* Zn uygulanan mikorizasız grupta Fe, Cu, Mn ve K element miktarları anlamlı farklılık göstermiştir: Kök>yaprak>gövde.

Ca element miktarı da anlamlı farklılık göstermiştir fakat dağılım yaprak>kök>gövde şeklindedir ve yaprak ile kök arasındaki miktar yaklaşık 3:1 oranındadır.

Zn uygulanan mikorizalı grupta Mg, Fe, Cu, K, Ca element miktarları anlamlı farklılık göstermiştir. Mg, Fe, K elementlerinde değişim kök>gövde yaprak şeklinde iken Cu elementinde kök>yaprak>gövde iken Ca yaprak>kök>gövde şeklindedir. Ayrıca mikoriza uygulaması ile Fe, Cu, K element miktarlarında azalma görülmüştür. Mn ve Ca element miktarları ise Zn uygulamasında mikorizasız gruba göre bir miktar artmıştır.

Bitki ICP *nigella damascena* Cd uygulanan mikorizasız grupta Mg, Fe, Cu element miktarları anlamlı farklılık göstermiştir. Kök>yaprak>gövde. Mn ve Ca element miktarı da anlamlı farklılık göstermiştir fakat dağılım yaprak>kök>gövde şeklindedir.

Cd uygulanan mikorizalı grupta Mg, Fe, Cu, Mn, K element miktarı anlamlı farklılık göstermiştir. Mg element miktarında gövde>kök>yaprak, Fe element miktarında yaprak>kök>gövde, Cu element miktarında yaprak>gövde>kök, Mn, gövde>yaprak>kök, K element miktarında kök>yaprak>gövde şeklinde değişiklik göstermiştir.

Ayrıca mikoriza uygulaması ile Mg element miktarı gövde bölgesinde artış göstermiştir. Fe element miktarının kökte tutulumu azalmıştır. Cu element miktarının kökte ve gövdede azalmıştır. Yaprğa taşınımı bir miktar artmıştır. Mn ve K element miktarlarında genel olarak azalma görölmüştür.

Mg mikorizasız grupta genel dağılım $Zn > kontrol > Cd$, mikorizalı grupta genel dağılım $Zn > Cd > kontrol$ şeklindedir. Fakat en göze çarpan değışiklik Cd uygulanan mikorizalı bitkilerde gövde de tutulumun ve miktarın en fazla olduğudur.

Fe mikorizasız grupta genel dağılım $kontrol > Cd > Zn$ şeklindedir. Ve Cd uygulanan bitkilerde yaprğa taşınım dikkat çekmiştir. Mikorizalı bitkilerde ise Zn grubunda kök bölgesinde Cd bölgesinde tutulum görölmüşür.

Cu mikorizasız grupta genel dağılım $Cd > kontrol > Zn$ şeklindedir. Tüm gruplarda özellikle de Cd uygulanan bitkilerde kökte birikim dikkat çekmektedir.

Cu mikorizalı grupta genel dağılım $kontrol > Zn > Cd$ şeklindedir. Cd uygulanan bitkilerde tamamen yaprğa taşınım dikkat çekmektedir.

Mn mikorizasız grupta genel dağılım $Cd > Zn > kontrol$ şeklindedir. Cd uygulanan bitkilerde yaprak birikimi göze çarpmaktadır.

Mn mikorizalı grupta genel dağılım $kontrol > Zn > Cd$ şeklindedir. Kontrol ve Zn gruplarında yaprğa taşınım daha net görölebilirken Cd uygulaması ile gövdede tutulum görölebilmektedir.

K mikorizasız genel dağılım $Cd > Zn > kontrol$ şeklindedir. Kök bölgesinde tutulumlar dikkat çekmektedir.

K mikorizalı genel dağılım $kontrol > Zn > Cd$ şeklindedir. Zn kök bölgesinde kontrole göre artış, Cd kök bölgesinde kontrole ve Zn grubuna göre azalma görölmüştür.

Ca mikorizasız genel dağılım $Zn > kontrol > Cd$ şeklindedir. Özellikle yapraklara taşınım dikkat çekmektedir.

Ca mikorizalı genel dağılım $Zn > kontrol > Cd$ şeklinde mikorizasız bitkilerle paralellik göstermektedir. Zn uygulaması ile yapraktaki Ca elementinin miktarındaki artış dikkat çekmektedir.

Bitki ICP melisa mikorizasız kontrol grubunda Mg, Fe, Cu, Mn element miktarları anlamlı farklılık göstermiştir. Fe ve Cu elementleri kök>yaprak>gövde şeklinde dağılım gösterirken; Mg elementi yaprak>kök>gövde ve Mn elementi kök>gövde>yaprak olarak dağılım göstermektedir.

Am kontrol grubunda Fe ve Mn elementleri yaprak>gövde>kök şeklinde dağılım göstermiştir. Mg elementi için yaprak>kök>gövde iken Cu elementi için kök, yaprak, gövde şeklinde dağılım göstermiştir. Mg elementi mikoriza uygulamaları ile kök ve yaprak bölgesinde artık göstermiştir. Fe elementi mikoriza etkisiyle toprak üstü kısma iletilmiştir. Cu elementi mikoriza etkisiyle kök bölgesinde kontrole göre yüksek oranda birikmiş ve yaprağa doğru taşınım göstermiştir. Mikorizasız grupta anlamlı değişim göstermeyen Ca mikorizalı grupta özellikle yaprak bölgesinde birikim sağlamıştır.

Bitki ICP Melisa mikorizasız Zn grubunda Mg ve Cu element miktarları anlamlı farklılık göstermiştir. Mg element dağılımı yaprak>kök>gövde şeklinde iken Cu element dağılımı kök>yaprak>gövde şeklinde farklılık göstermiştir. Mikorizalı Zn grubunda Mg mikorizasız gruba benzer bir dağılım gösterirken yaprak bölgesinde miktar artışı dikkat çekmektedir. Cu elementinde mikorizasız gruba göre azalma görülmüştür. Mn ve Ca elementleri mikorizalı grupta anlamlı farklılık göstermiştir. Mn; yaprak>kök>gövde şeklinde ve Ca yaprak>gövde>kök şeklinde dağılım göstermiştir.

Bitki ICP Melisa mikorizasız Cd grubunda Mg, Fe, Mn element miktarları farklılık göstermiştir. Mg element dağılımı yaprak>kök>gövde şeklinde iken Fe kök>yaprak>gövde şeklinde dağılım göstermiştir. Mikoriza uygulaması ile tüm elementlerde anlamlı bir farklılık görülmüştür. Mg, Mn, K elementleri yaprak bölgesinde en yüksek miktara ulaşmışlardır. Fe elementi mikorizasız gruba göre mikorizalı grupta tüm organlarda azalmıştır. Mikorizalı grupta Cu elementi kök bölgesinde azalmıştır. K elementi miktarı yaprakta azalmıştır.

Yapılan element ölçümlerinde elementlerin birbiriyle etkileşimlerinden söz edilebilir. Fe, Zn, Mn gibi elementler klorofil ile bağlantılı elementler olduğundan stres altında miktarları azalabilmekte ve fotosentezi azaltarak büyüme parametrelerini düşürebilmektedir. Deneyimizde Cd ve Zn stresinde oluşan element düzeylerindeki değişimlerin antagonist sinerjik etkiler sebebiyle olabileceği düşünülmektedir. Bunun dışında mikoriza kolonizasyonu

bitki ve toprağın element içeriğine göre farklı etkiler gösterebilmektedir. Stres altında bitkinin toksisite etkisini hafifletebilir ya da elementlerin taşınımını durdurarak savunma oluşturabilir.

Tıbbi lavanta ile yapılan çalışmada ağır metal konsantrasyonu arttıkça azot miktarı düşmektedir [140].

Düşük besinli topraklarda bitki ile kolonizasyon oluşturmuş mikorizal mantarın özellikle P, Zn, K, N elementlerinin alımını desteklediği bildirilmiştir [141].

Mikoriza enfeksiyonu ile bağlantılı olduğu bilinen toprakta N değerleri ölçümlerine göre *Nigella damascena* bitkisi kontrol ve Cd gruplarında mikoriza uygulaması toprakta N miktarını azaltmıştır. Zn grubunda mikoriza uygulaması toprakta N miktarını artırmıştır.

Melissa officinalis bitkisi kontrol ve Zn gruplarında mikoriza uygulaması toprakta N miktarını artırmıştır. Cd gruplarında mikoriza uygulaması toprakta N miktarını azaltmıştır.

Yüksek tuz koşulları altında mikoriza uygulamasının bitkide yüksek oranda su içeriği oluşturduğu bulunmuştur. Simbiyotik yaşam kapsamında mantar hifleri bitki kökünün ulaşmadığı yerlerden su alımına etki ettiği bildirilmiştir [142].

Çalışan iki bitkinin toplam bağıl su içeriklerinde belirgin bir fark görülmemiştir.

Mikoriza uygulamalarında kök kolonizasyonunun tutma oranı bitki ile ilişkisi hakkında her zaman net bilgi veremeyebilir. Özellikle ağır metal stresli bitkilerde metal türü, fungus türü, metalin kökte tutulma ve topraktan taşınabilme oranları, hif büyümesine yardımcı glomalin üretimi, bitki türü ve fitoremediasyon potansiyeli etki etmektedir [144].

Tuz stresi altında mikoriza uygulaması yapılan *Capsicum annuum* türünde düşük tuz konsantrasyonunda mikoriza kök kolonizasyonunda azalma meydana geldiği bildirilmiştir [144].

Ocimum basilicum türünde bitkiye verilen sudaki tuz artışı ile mikorizal kök enfeksiyon oranının azaldığı bildirilmiştir [145].

Glomus intraradices mikoriza türü uygulanan çalışmamızda *Nigella damascena* ve *Melissa officinalis* türlerinde oluşan kök kolonizasyonu gösterilmiştir;

Tablo 5.2: Türlerin kök kolonizasyonu

	Kontrol (%)	Zn (%)	Cd (%)
<i>Nigella damascena</i>	100	100	100
<i>Melissa officinalis</i>	50	70	100

İki güvercin bezelye genotipi türünde Cd ve Zn stresi etkisi ve Zn/AM birlikteliğinin stres toksisitesine etkilerinin araştırıldığı çalışmada stres etkilerinin Zn ve AM birlikteliği ile azaldığını bildirmişlerdir [147].

Bu etkilerin bitkiye verilen besin elementinin yetersizliğinden olabileceği düşünülmektedir. Zn iz element olması sebebiyle ve Cd konsantrasyonun aşırı toksik konsantrasyon seçilmemesi sebebiyle metabolik olaylara dahil edildiği düşünülebilir. Mikoriza uygulamasının Zn elementi ile etkisinin arttığı kök uzunluğunda gözlenmiştir

Ağır metal toksisitesi konusunda klorofil içeriklerin değişimi dolayısıyla fotosentez metabolizmasındaki değişimler ekofizyolojik etkilere yol açmaktadır. Ölçümler sonucu *Nigella damascena* türünde klorofil a, klorofil b ve total klorofil miktarları kontrol grubuna göre Zn ve Cd stres durumlarında azalmış, mikoriza uygulandığında daha anlamlı derecede azalma gözlenmiştir.

Melissa officinalis türünde klorofil a, klorofil b ve total klorofil miktarları mikorizasız grupta kontrol ve Cd stresi altındaki bitkilerde benzerlik göstermektedir. Burada hormesis etkisi düşünülmektedir. Mikoriza uygulamasıyla Zn stresi altındaki bitkilerin klorofil içerikleri artış gösterirken kontrol ve Cd stresi altındaki bitkilerde azalma görülmektedir. Mikoriza ve Zn elementinin sinerjik etkisini klorofil içeriklerinde görebilmekteyiz.

Fenolik madde içeriklerinde *Nigella damascena* türünde mikorizasız kontrol ve Zn stresi altındaki bitkilerin gövde ve yaprak fenolik madde içeriklerindeki benzerlik dikkat çekmektedir. Cd stresi ile bu miktarlar azalmaktadır. Mikoriza uygulanan gruplarda da fenolik madde içerikleri azalmıştır. *Melissa officinalis* türünün mikorizasız ve mikorizalı gruplarda Zn stresi altındaki bitkilerde fenolik madde içeriği kontrol ve Cd stresi altındaki bitkilere göre oldukça az miktarlarda ölçülmüştür.

Lemna minor ile yapılan çalışmada Pb ve Cd ağır metallerinin birlikte etkileri incelenmiş Cd stresinde toksik etkiler gözlemlenirken, Pb ağır metal uygulamalarında büyüme parametrelerindeki artışın hormesis etkisiyle olabileceği bildirilmiştir [147].

Ağır metal stresi ile bağlantılı olan membran iyon sızıntısı için yapılan deney sonucunda *Nigella damascena* türünde yaprak iyon sızıntısı kontrol grubuna göre tüm gruplarda anlamlı şekilde artmıştır. Kök iyon sızıntısında mikoriza uygulanmayan Zn grubu hariç artış gözlenmiştir. Mikoriza ve ağır metallerin stres etkilerinin membran sızıntısını arttırdığı ve hücrelerde bozulma yapabileceği düşünülmektedir.

Melissa officinalis türünde yaprak ve kök iyon sızıntıları uygulanmayan Zn ve Cd stresinde bir miktar artmış fakat mikoriza uygulandığında kontrol grubunda anlamlı derecede artış gösterirken Zn ve Cd gruplarında azalma gözlenmektedir.

M- ve M+ <i>Nigella damascena</i> Cd (ppm)	Grup	Ort	Ss	F	p
Cd (M-)	Kök	29,633	18,747	7,349	0,013
	Gövde	10,135	4,348		
	Yaprak	0,000	0,000		
Cd (M+)	Kök	0,000	0,000	2782,562	0,000
	Gövde	4,220	0,113		
	Yaprak	0,000	0,000		

Tablo 5.3: *Nigella damascena* türünün Cd birikimi

Toksisite bakımından tehlikeli olduğu düşünülen ve tıbbi bitkilerin kullanılan organlarında biriktiği takdirde sağlık sorununa yol açabileceği düşünülen kadmiyum ağır metalinin tezimizde çalışılan bitkilerdeki birikim düzeyleri ölçülmek üzere yapılan farklı ölçümler sonucunda aşağıdaki değerlere ulaşılmıştır.

Mikorizasız grupta organa göre cd ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,013<0.05$). Farkın nedeni; kökün Cd ölçümlerinin ($\bar{x}=29,633$), gövdenin Cd ölçümlerinden ($\bar{x}=10,135$) yüksek olmasıdır. Kökün Cd ölçümlerinin ($\bar{x}=29,633$), yaprağın Cd ölçümlerinden ($\bar{x}=0,000$) yüksek olmasıdır.

Mikorizalı grupta organa göre Cd ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0.05$).

Farkın nedeni;

gövdenin Cd ölçümlerinin ($\bar{x}=4,220$), kökün cd ölçümlerinden ($\bar{x}=0,000$) yüksek olmasıdır.

Gövdenin Cd ölçümlerinin ($\bar{x}=4,220$), yaprağın cd ölçümlerinden ($\bar{x}=0,000$) yüksek olmasıdır.

M- ve M+ <i>Melissa officinalis</i> Cd (ppm)	Grup	Ort	Ss	F	p
Cd (M-)	Kök	16,663	7,449	0,308	0,744
	Gövde	14,575	0,332		
	Yaprak	18,375	4,379		
Cd (M+)	Kök	18,050	0,235	1,858	0,211
	Gövde	15,775	1,851		
	Yaprak	16,513	2,285		

Tablo 5.4: *Melissa officinalis* türünün Cd birikimi

Mikorizasız ve mikorizalı gruplarda Cd ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0.05$).

Bu sonuçlardan yola çıkarak fitoremediasyon potansiyelleri hakkında fikir yürütebilmek için bazı çalışmalar yapılmıştır.

BCF ve TF, bitkinin fitoremediasyon potansiyelinin tahmini için kullanılırlar [148].

BCF= Bitki kökündeki metal konsantrasyonu (mg. kg^{-1})

Topraktaki metal konsantrasyonu (mg. kg^{-1})

TF= Bitki gövdesindeki metal konsantrasyonu (mg. kg^{-1})

Bitki kökündeki metal konsantrasyonu (mg. kg^{-1})

TF>1 ise bitki metali kökten gövdeye iletmıştır.

BCF>10 mg.g^{-1} ise bitki hiperakümülatör

BCF>1 ise bitki akümülatör

BCF<1 ise bitki ekskluder

Cd stresi altındaki gruplarda *Nigella damascena* bitkisinde mikorizasız türlerde

TF= 0,34 mg.g^{-1} ve BCF= 14,5 mg.g^{-1} iken mikorizalı türlerde TF= 0 mg.g^{-1} ve

BCF= 0 mg.g⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre mikorizasız türlerde kök hiperakümülatör potansiyeli görülürken mikoriza uygulanan türlerde bu durum engellenmiştir. Bunun nedeni Cd ağır metalinin mikoriza tarafından bitkiden uzaklaştırılması tutulmaması olarak düşünülerek savunma mekanizmasından söz edilebilir.

Cd stresi altındaki gruplarda *Melissa officinalis* bitkisinde mikorizasız türlerde TF= 0,87 mg.g⁻¹ ve BCF= 4,7 mg.g⁻¹ iken mikorizalı türlerde TF= 0,87 mg.g⁻¹ ve BCF= 6,02 mg.g⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre mikorizasız ve mikorizalı türlerde kök akümülatör potansiyeli görülmekte ve mikorizalı türde bu oran daha yüksektir. Mikorizanın Cd iletimini engellemek için kök bölgesinde daha fazla tuttuğu düşünülebilmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deney çalışmamız sonucunda tek yıllık *Nigella damascena* ve çok yıllık *Melissa officinalis* türlerinin Cd ve Zn stresi altında toksik etkilerinin değişimini incelemek için eklenen mikoriza uygulaması her iki türde de farklı oranlarda toksisiteyi farklı şekilde arttırmıştır. Bunun sebepleri için düşünülen fikirler;

- Bitki türleri ve mikoriza – ağır metal ilişkisi
- Bitki yaşam yılları ve mikoriza kolonizasyonu ilişkisi
- Ağır metal ve mikoriza konsantrasyonları
- Element alımı ve taşınımında bitki isteği ve mikoriza-ağır metal rekabeti
- Hormesis etki (düşük toksisiteye uyum) [149]

Tüm çalışmalar sonucunda tıbbi bitki olarak kullanılan *Nigella damascena* türünün drog olarak kullanılan tohum ve tohum yağına kadar ağır metal translokasyonu olmadığı ve kök ile gövde bölgesinde metalleri tuttuğu, aynı paralelde *Melissa officinalis* türünün drog olarak kullanılan yaprak kısmında bir miktar metal birikimi olabileceği fakat toksisite için farklı konsantrasyonlarda denemelerin yapılması ile aydınlık kazanacağı düşünülmektedir.

Özellikle son yıllarda önem kazanan iyi tarım uygulamaları için fitoremediasyon potansiyelleri olduğu düşünülen *Nigella damascena* (Şam çörekotu) ve *Melissa officinalis* (Melisa) türlerinin kirli alanlarda kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu şekilde hem Cd kirlenmesinin azaltılması hem de çalışılan konsantrasyonlarda birikim oluşmayan ve drog olarak kullanılan yaprak ve tohum kısımlarının sağlık açısından bir sorun yaratmayacağı düşünülebilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Türközü, D., Şanlıer, N., 2014, Ağır metallerin gıdalara bulaşma kaynakları, Teknolojik araştırmalar, 9,29-46.
- [2]. Sarı, E., 2011, Nikelin *Daphnia magna* (Straus, 1820) (Crustacea: Cladocera) üzerine akut toksik etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3]. Çelebi, H., Gök, G., 2018, Topraklarda otoyol ve trafik kaynaklı ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24 (6), 1169-1178.
- [4]. Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K., Sutton, D.J., 2014, Heavy metals Toxicity and the environment, Author manuscript, PMID: 22945569.
- [5]. Özbolat, G., ve Tuli, A., 2016, Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri, Arşiv kaynak tarama dergisi, 25 (4):502-521.
- [6]. Goering, P.L., Waalkes, M.P., Klaassen, C.D., 1995, Toxicology of Cadmium, toxicology of metals, In: Goyer, R.A. and Cheria, M.G. (ed.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 189-214.
- [7]. Zengin, F.K., Munzuroglu, O., 2005, Effects of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. Acta Biologica Cracoviensia Series botanica, 47, 157-164.
- [8]. Asri, F.Ö., Sönmez, S., Çıtak, S., 2007, Kadmiyumun çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri, Derim, cilt 24, 32-39.
- [9]. Mahbub, K.R., et al., 2017, Mercury toxicity to terrestrial biota, Ecological indicators, Volume 74, 451-462.
- [10]. Çavuşoğlu, K., Acar, A., Yalçın, E., 2018, Cıva (Hg) ağır metal iyonunun *Allium cepa* L. (Soğan)'da teşvik ettiği fizyolojik, sitogenetik ve anatomik değişimlerin araştırılması, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6, 887-892.
- [11]. Gedik, O., Taşar, N., Kıran, Y., 2013, Cıva'nın *Allium sativum*'un kök ucu hücreleri üzerindeki mitotik etkileri, Bitlis Eren Üniversitesi fen bilimleri dergisi, Vol:2, 135-140.
- [12]. Dere, S., 2019, Kurşun kirliliğinin tarımsal üretime etkileri, International journal on mathematic, engineering and natural sciences, Vol:12, 108-118.
- [13]. Aksu, A., 2005, İstanbul Boğazı'nda metal kirliliğinin midyelerle takibi, Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.

- [14]. Nagajyoti, P.C., Lee, K.D., Sreekanth, T.V.M., 2010, Heavy metals, occurrence and toxicity for plants, Environmental chemistry letters, 8, 199-216.
- [15]. Yüksel, B., Eroğlu, A., Kayaaltı, Z., Söylemezoğlu, T., 2014, Arsenik toksisitesi ve biyolojik örneklerden analizi, Adli tıp dergisi, Cilt/Vol:29, No:3
- [16]. Yağmur, F., Hancı, H., 2002, Arsenik, Sürekli tıp eğitimi dergisi, Cilt: 11, Sayı:7, 250.
- [17]. Finnegan, P.M., Chen, W., 2012, Arsenic toxicity: the effects on plant metabolism, Frontiers in physiology, Vol:3, 182.
- [18]. Royer, A., Sharman, T., 2020, Copper Toxicity, StatPearls, ncbi.nlm.nih.gov.
- [19]. <http://openaccess.ogu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11684/556/10027122.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [20]. Ergen, Ş.F., 2017, Çinko oksit nanopartikülü ile çinko klorür'ün *Daphnia magna* (Straus) üzerine akut toksik etkileri, Trakya university journal of natural sciences, 18(2): 149-153.
- [21]. Otulak, K. Garbaczewska, G., 2014, The participation of plant cell organelles in compatible and incompatible potato virus Y-tobacco and -potato plant interaction, Acta Physiologiae Plantarum volume 36, pages85–99.
- [22]. Büyük, İ., Aydın, S.S., Aras, S., 2012, Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar, Türk hijyen ve deneysel biyoloji dergisi, 69(2):97-110.
- [23]. Korkmaz, H., Durmaz, A., 2017, Bitkilerin abiyotik stres faktörlerine verdiği cevaplar, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(2): 192-207.
- [24]. Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö., Çobanoğlu, D., 2004, Ağır metal iyonlarının (Cu⁺⁺, Pb⁺⁺, Hg⁺⁺, Cd⁺⁺) Clivia sp. bitkisi polenlerinin çimlenmesi ve tüp büyümesi üzerine etkileri. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(2), 177-182.
- [25]. Yerli, C., Çakmakçı, T., Şahin, Ü., Tüfenkçi, Ş., 2020, Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri, Türk doğa ve fen dergisi, Vol:9, Special Issue, 130-114.
- [26]. Cherfouh, R., Lucak, Y., Arezki, D., Merdy, P., 2018, Long-term, low technicality sewage sludge amendment and irrigation with treated wastewater under Mediterranean climate: impact on agronomical soil quality, Environmental science and pollution research, 25(35), DOI: 10.1007/s11356-018-3463-3.
- [27]. Elfanssi, S., Ouazzani, N., Mandi, L., 2018, Soil properties and agro-physiological responses of alfalfa (Medicago sativa L.) irrigated by treated domestic wastewater, Agricultural water management, Vol: 202, issue C, 231-240.
- [28]. Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., Pehlivan, M., 2009, Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri, Alinteri, 17 (B) ISSN:1307-3311, 14-26.

- [29]. Raven, J.A., Evans, M.C.W., Korb, R.E., 1999, The role of trace metals in photosynthetic electron transport in O₂-evolving organisms, *Photosynthesis research*, 60, 111-150.
- [30]. Sytar, O., Kumari, P., Yadav, S., Brestic, M., Rastogi, A., 2018, Phytohormone priming: regulator for heavy metal stress in plants, *Journal of plant growth regulation*, 38, 739-752.
- [31]. Alaraidh, I.A., Alsahli, A.A., Razik, E.S.A., 2018, Alteration of antioxidant gene expression in response to heavy metal stress in *Trigonella foenum-graecum* L., *South African journal of botany*, Vol: 115, 90-93.
- [32]. Yazılan, S., 2010, Dilovası Organize Sanayi Bölgesi (Gebze-Kocaeli)'ndeki ağır metal kirliliğinin bitkiler üzerine etkisi, Yüksek Lisans. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [33]. Wani, W., Masoodi, K.Z., Zaid, A., Wani, S.H., Shah, F., Meena, V.S., Wani, S.A., Mosa, K.A., 2018, Engineering plants for heavy metal stress tolerance, *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 29, 702-723.
- [34]. Lombı, E., Tearall, K.L., Howarth, J.R., Zhao, F.J., Hawkesford, M.J., Mcgrath, S.P., 2002, Influence of iron status on calcium and zinc uptake by different ecotypes of the hyperaccumulator *Thlaspi Caerulescens*, *Plant Physiology*, 128, 1359–1367.
- [35]. https://www.researchgate.net/publication/307910631_Heavy_Metal_Uptake_in_Plants
- [36]. Terzi, H., Yıldız, M., 2011, Ağır metaller ve fitoremediasyon: fizyolojik ve moleküler mekanizmalar, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11, 1-22. [https://fenbildergi.aku.edu.tr/1101/011001\(1-22\).pdf](https://fenbildergi.aku.edu.tr/1101/011001(1-22).pdf)
- [37]. Clemens, S., 2006, Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants, *Biochimie*, 88 (11), 1707-1719. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16914250/>
- [38]. Özay, C., Mammadov, R., 2013, Ağır metaller ve süs bitkilerinin fitoremediasyonda kullanılabilirliği, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt:15(1), 67-76. <http://fbe.balikesir.edu.tr/dergi/20131/BAUFBE2013-1-7.pdf>
- [39]. Dindar, E., Şağban, T.O.F., Başkaya, H.S., 2010, Kirlenmiş Toprakların Biyoremediasyon ile Islahı, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 15, Sayı 2.
- [40]. Aybar, M., Bilgin, A., Sağlam, B., 2015, Fitoremediasyon yöntemi ile topraktaki ağır metallerin giderimi, *Doğal afetler ve çevre dergisi*, Cilt:1 (1-2), 59-65.

- [41]. Surat, H., Aybar, M., 2019, Ağır metaller ile kirlenmiş alanların onarılmasında kullanılabilecek bitki türleri, Academic research in science and engineering, In: Dalkılıç, M. (ed.), Chapter 4, Gece Akademi, 71-89. https://www.researchgate.net/publication/338140480_2019_kitap_bolumu-sayfalar-71-89
- [42]. Lee, M., Yang, M., 2010, Rhizofiltration using sunflower (*Helianthus annuus* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. *vulgaris*) to remediate uranium contaminated groundwater, Journal of hazardous materials, 173, 589-596.
- [43]. Bert, V., Lors, C., Laboudigue, A., Tack, K., Damidor, D., Bureau, J., 2014, Use of phytostabilisation to remediate metal polluted dredged sediment, International symposium on sediment management (I2SM), Lille, France. pp.275-279. <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00973314/document>
- [44]. EPA, 2000, Introduction to phytoremediation, National risk management research laboratory office of research and development U.S. Environmental protection agency cincinnati, Ohio, 45268 EPA/600/R-99/107.
- [45]. Newman, L.A., Reynolds, C.M., 2004, Phytodegradation of organic compounds, current opinion in biotechnology, 15, 225-230.
- [46]. Ghosh, M., Singh, S.P., 2005, A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its bioproducts. Applied ecology and environmental research, 3, 1-18.
- [47]. Favas, P., Pratas, J., Varun, M., D'Souza, R., 2014, Phytoremediation of soils contaminated with metals and metalloids at mining areas: potential of native flora, Environmental risk assessment of soil contamination, In: Soriano, M.C.H. (ed.), Chapter 15, InTech, Croatia, 485-519.
- [48]. Acıbuca, V., Budak, D.B., 2018, Dünya’da ve Türkiye’de tıbbi ve aromatik bitkilerin yeri ve önemi, Çukurova tarım ve gıda bilimleri dergisi, 33(1): 37-44. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/515914>
- [49]. Nohutçu, L., Tunçtürk, M., Tunçtürk, R., 2019, Yabani bitkiler ve sürdürülebilirlik, Yüzüncü yıl üniversitesi fen bilimleri enstitüsü dergisi, 24 (2): 142-151
- [50]. Bak, E.F., Çifci, K., 2020, Artvin’in merkez köylerinde bazı tıbbi bitkilerin yöresel kullanımları, Artvin Çoruh Üniversitesi orman fakültesi dergisi, cilt:21, sayı:2, 318-329.

- [51]. Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babaç, M.T., 2012, Türkiye bitkileri listesi (damarlı bitkiler), Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul.
- [52]. Arslan, N., 2014, Endemik tıbbi bitkilerimiz. II. tıbbi ve aromatik bitkiler sempozyumu, Yalova, Bildiriler kitabı, s:9-21.
- [53]. Teke, N.G., Kuete, V., 2014, ACute and subacute toxicities of African medicinal plants, ToxicologiCal survey of AfriCan medicinal plants, 63-98.
- [54]. Aftab, T., 2019, A review of medicinal and aromatic plants and their secondary metabolites status under abiotic stress, Journal of Medicinal Plants, 7(3), 99-106.
- [55]. Aslan, R., 2019, Gelenekten günümüze tıbbi ve aromatik bitkiler, Ayrıntı Dergisi, 7(73).
- [56]. Varlı, M., Hancı, H., Kalafat, G., 2020, Tıbbi ve aromatik bitkilerin üretim potansiyeli ve biyoyararlılığı, Research journal of biomedical and biotechnology, 1, 24-32.
- [57]. Mill, R.R., 1982, Melissa L. in: Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Davis, PH.ed.) Vol:7, pp:262-264. Edinburgh University Press, Edinburgh.
- [58]. Baytop, T., 1999, Türkiye’de Bitkilerle Tedavi (Geçmişte ve Bugün), Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul.
- [59]. Alpınar, K., 2015, Zeytinburnu Tıbbi Bitkiler Bahçesi, Zeytinburnu Kültür Yayınları.
- [60]. Fortini, P., Di Marzio, P., Guarrera, P.M., Lorizzi, M., 2016, Ethnobotanical study on the medicinal plants in the Mainarde Mountains, Journal Ethnopharmacol, 184, 208-218.
- [61]. Demirezer, Ö.L., Ersöz, T., Saraçoğlu, İ., Şener, B., Köroğlu, A., Yalçın, F.N., 2017, FFD Monografıları Bitkiler ve Etkileri, 80, 703-714, Akademisyen Kitabevi, Ankara.
- [62]. Javid, A.Z., Haybar, H., Dehghan, P., Haghighizadeh, M.H., Mohaghegh, S.M., Ravanbakhsh, M., Mohammadzadeh, A., Bahrololumi, S.S., 2018, The effects of melissa officinalis on echocardiography, exercise test, serum biomarkers, and blood pressure in patients with chronic stable angina, Journal of herbal medicine, Vol: 11, 24-29
- [63]. Fico, G., Bader, A., Flamini, G., Cioni, P. L., Morelli, I., 2003, Essential oil of *Nigella damascena* L.(Ranunculaceae) seeds. Journal of essential oil research, 15(1), 57-58.
- [64]. Wobling, R., Leonhardt, K., 1994, Phytomedicine, 1(1):25-31.
- [65]. Farag, M.A., Gad, H.A., Heiss, A.G., Wessjohann, L.A., 2014, Metabolomics driven analysis of six *Nigella* species seeds via UPLC-qTOF-MS and GC-MS coupled to chemometrics, Food chemistry, 151, 333-342.
- [66]. Uluşu, F., Şahin, A., 2020, *Nigella damascena* L. bitkisinde farklı gübre uygulamalarının fenolojik özellikler üzerine etkileri, Avrupa bilim ve teknoloji dergisi, 18, 171-178.

- [67]. Remy, W., Taylor, T., Hass, H., Kerp, H., 1994, Four hundred-million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae, Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol.91,pp.11841-11843,December.
- [68]. Ullah, S., Amin, R., Muhammad, B., 2019, Sensitivity Of Arbuscular Mycorrhizal Fungi In Old-Growth Forests: Direct Effect On Growth And Soil Carbon Storage, EcologyandEnvironmental Research, 17(6): 13749-13758.
- [69]. Erzurumlu, G.S., Kara, E.E., 2014, Mikoriza Konusunda Türkiye’de Yapılan Çalışmalar, Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 7(2): 55-65.
- [70]. Ortaş, İ., Ergün, B., Ortakçı, D., Ercan, S., Köse, Ö., 1999, Mikoriza Sporlarının ÜretimTekniği ve Tarımda Kullanım Olanaklar, Journal of Agriculture and Forestry 23, EkSayı 4, 959-968.
- [71]. Palta, Ş., Demir, S., Şengönül, K., Kara, Ö., Şensoy, H., 2010, Arbüsküler Mikorizal Funguslar (Amf), Bitki Ve Toprakla İlişkileri, Mera Islahındaki Önemleri, Bartın Orman Fakültesi Dergisi Cilt: 12, Sayı: 18, 87-98.
- [72]. Akhtar, M.S., Abdullah, A.S.N., 2014, Mass Production Techniques of Arbuscular Mycorrhizal Fungi: Major Advantages and Disadvantages: A Review, Biosciences Biotechnology Research Asia 11(3):1199-1204.
- [73]. Walker, C., Schüsler, A., Vincent, B., Cranenbrouck, S., Declerck, S., 2021, Anchoring the species *Rhizophagus intraradices* (formerly *Glomus intraradices*), Fungal Systematics and Evolution, December, 8: 179-201.
- [74]. Delahaut, K., Mycorrhizae, 2005, A HortiCulture Information article from the Wisconsin Master Gardener website, posted 9 Sept.
- [75]. Maiti, S.K., Ghosh, D., 2020, Plant-soil interactions as a restoration tool, Climate Change and Soil Interactions, pages 689-730.
- [76]. Bajji M, Kinet J M, Lutts S 2001.The Use of The Electrolyte Leakage Method for Assessing Cell Membrane Stability as A Water Stress Tolerance Test in Durum Wheat. Plant Growth Regulation, 36: 61-70.
- [77]. Başkaya, H.S., 1987, Topraktaki organik azot bileşikleri, belirlenmeleri ve bitkiye yararlılıkları, Doğa Türk Kimya Dergisi, C. 11, 1, 8-21. Ankara.
- [78]. Johnson, C.M., ULRICH, A., 1959, Analytical methods for use in plant analysis. California Agricultural Experiment Station, Bulletin 766.

- [79]. Yardım, P., 2009, Toprak Ve Bitki Örneklerinde Toplam Azot Belirlenmesinde Kjeldahl ve Mikrodalga Yaş Yakma Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [80] FAO, 1990. Micronutrient. Assessment at the country level: an international study. FAO soil bulletin by Mikko Sillanpaa. Rome.
- [81]. Fraga, C.G., 2010, *Plant Phenolics and Human Health*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, ISBN 978-0-470-28721-7.
- [82]. Yıldız, H., Baysal, T., 2013, Bitkisel Fenoliklerin Kullanım Olanakları Ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri, Gıda Mühendisliği Dergisi, sayı 14, mayıs.
- [83]. Talla, E., Tamfu, A.N., Biyanzi, P., Sakava, P., Asobo, F.P., Mbafor, J.T., Tchuengem, N.F.F., Ndjouenkeu, R., 2014, Phytochemical screening, antioxidant activity, total polyphenols and flavonoids content of different extracts of propolis from Tekel (Ngaoundal, Adamawa region, Cameroon), The Journal of Phytopharmacology 3(5): 321-329.
- [84]. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Gıda Teknolojisi, Fenolik Bileşikler ve Doğal Renk Maddeleri, 2013, Ankara.
- [85]. Karabulut, G., Yemiş, O., 2019, Fenolik Bileşiklerin Bağlı Formları ve Biyoyararlılığı, Akademik Gıda 17(4) 526-537, DOI: 10.24323/akademik-gida.667270.
- [86]. Samancıoğlu, A., Yıldırım, E., 2015, Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bakteri Uygulamalarının Bitkilerde Kuraklığa Toleransı Arttırmadaki Etkileri, Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bakteri Uygulamalarının Bitkilerde Kuraklığa Toleransı Arttırmadaki Etkileri, ISSN:1300-9362 20(1):72-79.
- [87]. Yakıt, S., Tuna, A.L., 2006, Tuz Stresi Altındaki Mısır Bitkisinde (*Zea Mays* L.) Stres Parametreleri Üzerine Ca, Mg ve K'nın Etkileri, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2006, 19(1), 59-67.
- [88]. Bayat, R.A., Kuşvuran, Ş., Ellialtıoğlu, Ş., 2014, Üstün, A.S., Tuz Stresi Altındaki Genç Kabak (*Cucurbita pepo* L. ve *C. moschata* Poir.) Bitkilerine Uygulanan Prolin'in, Antioksidatif Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkisi, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 1(1): 25-33.
- [89]. Büyük, İ., Aydın S.S., Aras, S., 2012, Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar, Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, cilt 69, sayı 2.
- [90]. Doğru, A., 2019, Bitkilerde Düşük Sıcaklık Stresi ve Soğuğa Uyum, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, cilt 2, sayı 1, 45-52.

- [91]. Yavaş, İ., Akgül, H.N., Ünay, A., 2016, Bitkilerin Kuraklığa Dayanıklılığını Artırmaya Yönelik Uygulamalar, Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(1): 48-57.
- [94]. Liao, M., Luo, Y.K., Zhao, X.M., Huang, C.Y., 2005, Toxicity of Cadmium to soil microbial biomass and its activity: Effect of incubation time on Cd ecological dose in a paddy soil. J. Zhejiang Univ. Sci.6 B, 324–330.
- [95]. Yılmaz, H.Ş., 2019, Farklı Ağır Metal Uygulamalarının Tane Sorgum Çeşitlerinde Ağır Metal Birikimi, Morfolojik ve Yem Kalite Özelliklerine Etkisi, Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
- [96]. Özsoy, R., 2022, Farklı organik gübrelerin kadmiyum uygulanmış toprakta yetişen mısır (*Zea mays*) bitkisinin antioksidan enzim aktivitesi, kadmiyum ve besin elementi içeriklerine etkileri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi.
- [97]. Karataş, S., 2019, Priming uygulamalarının kadmiyum stresine maruz bırakılan bazı -çeltik (*Oryza sativa* L.) çeşitlerinde çimlenme, fide gelişimi ve bitki bünyesinde -biriken kadmiyum miktarları üzerine etkileri, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi -Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [98]. Yücel, E.S., 2019, Arsenik, Çinko Ve Kadmiyumun Tohum Çimlenmesi Üzerine Etkileri, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi.
- [99]. Dharia, R., Kumar, D., Kumar, H., Nepovimova, E., KuCa, K., Islam, M.T., Verma, R., 2020, Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Potential Agents in Ameliorating Heavy Metal Stress in Plants, Agronomy 10,815.
- [100]. Sadaghiani, M.H., Barin, M., Khodaverdiloo, H., Moghaddam, S.S., Damalas, C.A., Kazemalilou, 2019, Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizobacteria Promote Growth of Russian Knapweed (*Acroptilon repens* L.) in a Cd-Contaminated Soil. Journal of Plant Growth Regulation volume 38, pages113–121.
- [101]. Kısa, D., 2018, The Responses of Antioxidant System against the Heavy Metal-Induced Stress in Tomato, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 22, Sayı 1, 1-6.
- [102]. Farooq, M., Anwar, F., Rashid, U., 2008, Appraisal Of Heavy Metal Contents In Different Vegetables Grown In The Vicinity Of An Industrial Area, Pakistan Journal of Botany, 40(5): 2099-2106.

- [103]. Annan, K., Dickson, R.A., Amponsah, I.K., Nooni, I.K., 2013, The heavy metal contents of some selected medicinal plants sampled from different geographical locations, *Pharmacognosy Research*, Apr-Jun; 5(2): 103–108.
- [104].WHO, 1999, WHO Monographs on Selected Medicinal Plants: *Bulbus Allii Cepae*: World Health Organization.
- [105]. Mousavi, Z., Ziarati, P., Dehaghi, M., Qomi, M., 2014, Heavy Metals (Lead and Cadmium) in some Medicinal Herbal Products in Iranian Market, *Iranian Journal of Toxicology* Volume 8, No 24, Spring.
- [106].Maleva, M.G., Nekrasova, G.F., Borisova, G.G., Chukina, N.V., Ushakova, O.S., 2012, Effect of heavy metals on photosynthetic apparatus and antioxidant status of elodea, *Russian Journal of Plant Physiology* volume 59, pages190–197.
- [107]. Gupta, S., Chakrabarti, S.K., 2013, Effect of Heavy Metals on Different Anatomical Structures of *Bruguiera sexangula*, *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 4(4):605-609.
- [108].Saradhi, A.P.P., 1991, Proline Accumulation Under Heavy Metal Stress, *Journal of Plant Physiology* Volume 138, Issue 5, September, Pages 554-558.
- [109].Gubrelay, U., Agnihotri, R.K., Singh, G., Kaur, R., Sharma, R., 2013, Effect of heavy metal on some physiological and biochemical parameters of Barley (*Hordeum vulgare* L.), *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, Vol., 5 (22), 2743-2751.
- [110].Weissenhorn, L., Leyval, C., 1993, Berthelin, J., Cd-tolerant arbuscular mycorrhizal (AM) fungi from heavy-metal polluted soils, *Plant and Soil* volume 157, pages247–256.
- [111].Hildebrandt, U., Regvar, M., Bothe, H., 2007, Arbuscular mycorrhiza and heavy metal tolerance, *Phytochemistry* 68 139–146.
- [112].Huihui, Z., Xin, L., Zisong, X., Yue, W., Zhiyuan, T., Meijun, A., Yuehui, Z., Wenxu, Z., Nan, X., Guangyu, S., 2020, Toxic effects of heavy metals Pb and Cd on mulberry (*Morus alba* L.) seedling leaves: Photosynthetic function and reactive oxygen species (ROS) metabolism responses, *Ecotoxicology and Environmental Safety* Volume 195, 1 June 2.
- [113].Georgiadou, E.C., Kowalska, E., Patla, K., Kulbat, K., Smolinska, B., Leszczynska, J., Fotopoulos, V., 2018, Influence of Heavy Metals (Ni, Cu, and Zn) on Nitro-Oxidative Responses, Proteome Regulation and Allergen Production in Basil (*Ocimum basilicum* L.) Plants, *Frontiers in Plant Science*, 05 July.

- [114]. Ikram, M., Ali, N., Jan, G., Jan, G.F., Rahman, I.U., Iqbal, A., Hamayun, M., 2018, IAA producing fungal endophyte *Penicillium roqueforti* Thom., enhances stress tolerance and nutrients uptake in wheat plants grown on heavy metal contaminated soils.
- [115]. Wiszniewska, A., Kozminska, A., Fajerska, E.H., Dziurka, M., Dziurka, K., 2019, Insight into mechanisms of multiple stresses tolerance in a halophyte *Aster tripolium* subjected to salinity and heavy metal stress, *Ecotoxicology and Environmental Safety* Volume 180, 30 September, Pages 12-22.
- [116]. Muradoğlu, F., Baytın, R., Başak, İ., Akkuş, G., 2020, Kadmiyum Stresi Altındaki Çilek (*Fragaria x ananassa* “Camarosa”) Bitkisinde Metil Jasmonat Uygulamalarının Bazı Büyüme Parametreleri Üzerine Etkileri, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2): 714-722.
- [117]. Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, 2017.
- [118]. Tolunay, D., Bayçu, G., 2009, İstanbul’da Kent Topraklarının Cd, Pb, Zn ve Ni İçerikleri, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 59. Cilt.
- [119]. Chen, X., Song, F., Liu, F., Tian, C., Liu, S., Xu, H., Zhu, X., 2014, Effect of Different Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth and Physiology of Maize at Ambient and Low Temperature Regimes, *The Scientific World Journal*, Article ID 956141, 7 Pages
- [120]. Lussignoli, S., FracCaroli, M., Andrioli, G., Brocco, G., Bellavite, P., 1999, A microplate- based colorimetric assay of the total peroxyl radical trapping Capability of human plasma, *Analytical Biochemistry*, 269, 38–44.
- [121]. Slinkard, K., Singleton, V.L., 1977, Total Phenol Analyses: Automation and Comparison with Manual Methods, *American Journal of Enology and VitiCulture*, 28, 49-55.
- [122]. Bates L, Waldren R.P., Teare I.D., 1973, Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- [123]. Ghoulam, C., Foursy, A., Fores, K., 2002, Effects of salt stress on growth inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet Cultivars. *Environmental and Experimental Botany*. 47: 39–50.
- [124]. Stancheva, M., Rangel-Buitrago, N., Anfuso, G., Palazov, A., Stanchev, H., Correa, I., 2011, Expanding level of coastal armouring: Case studies from different countries. *Journal of Coastal Research*, SI 64 (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium), Szczecin, Poland.

- [125].WHO/FAO, 2007, Joint FAO/WHO Food Standard Programme Codex Alimentarius Commission 13th Session. Report of the Thirty-Eight Session of the Codex Committee on Food Hygiene, Houston, United States of America (07/30/13).
- [126]. Ayhan, B., Ekmekçi, Y., Tanyolaç, D., 2006, Bitkilerde ağır metal zararları ve korunma mekanizmaları, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (1), -16.
- [127]. Kanwal, S., Bano, A., & Malik, R. N., 2015, Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on metals uptake, physiological and biochemical response of *Medicago sativa* L. with increasing Zn and Cd concentrations in soil. American Journal of Plant Sciences, 6(18), 2906-2923.
- [128]. Kaur, H., Garg, N., 2021, Interactive Effects Of Zinc-Arbuscular Mycorrhizal (Am) Fungi On Cadmium Uptake, Rubisco, Osmolyte Synthesis And Yield In *Cajanus cajan* (L.) Millsp., International Journal of Sustainable Agricultural Research. Vol. 8, No. 1, pp. 17-42.
- [129]. Ortaş, İ., Ergün, B., Ortakçı, D., Ercan, S., Köse, Ö., 1999, Mikoriza Sporlarının Üretim Tekniği ve Tarımda Kullanım Olanakları, Tr. J. of Agriculture and Forestry 23, Ek Sayı 4, 959-968.
- [130]. Toro. T. and Sieverding. E. 1986, Evaluacion Cuantitativa y Cualitativa de hongos formadores de mikoriza vesiculo arbuscular en la region de Mondomo. Colombia Suelos Educativos 16 (1) 122-129.
- [131]. Simpson. D. and Daft. M. J. 1990, Spore production and mycorrhizal development in various tropical crop hosts infected with *Glomus clarum*. Plant and Soil. 121. 171-178.
- [132]. Akay, A., 2019, Zinc Fertilizer Requirement of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Grown in Soil Mixed with Different Proportions of Vermicompost, Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 7(sp2): 17-22.
- [133]. M. B. Khoulenjani, M. Salamati, 2012, Morphological reaction and yield of *Nigella sativa* L. to Fe and Zn, African Journal of Agricultural Research.
- [134]. Wang, H., Nagy, J.D., Gilg, O., Kuang, Y., 2009, The roles of predator maturation delay and functional response in determining the periodicity of predator-prey cycles, Mathematical Biosciences, 221, 1-10.
- [135]. Burzynski, M., 1987, The uptake and transpiration of water and the accumulation of lead by plants growing on lead chloride solutions, Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 56(2): 271-280.

- [136]. Rydberg, P., Sigfridsson, E., Ryde, U., 2004, On the role of the axial ligand in heme proteins: a theoretical study, JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry volume 9, pages 203–223.
- [137]. Menge, J. A., Johnson, E.L. V. ve Platt R. G. 1978. Mycorrhizal Dependency of Several Citrus Cultivars Under Three Nutrient Regimes. New Phytol., 81:553-559.
- [138]. Demir, S., S. Şensoy, E. Ocak, Ş. Tüfenkçi, E.D. Durak, Ç. Erdiñç and H. 2015, Effects of arbuscular mycorrhizal fungus, humic acid, and whey on wilt disease Caused by *Verticillium dahliae* Kleb. in three solanaceous crops . Turkish Journal of Agriculture and Forestry, (39) 2: 300-309.
- [139]. Lu, N., X. Zhou, M. Cui, Yu, J. Zhou, Y. Qin and Y. Li. 2015, Article Colonization with Arbuscular Mycorrhizal Fungi Promotes the Growth of *Morus alba* L. Seedlings under Greenhouse Conditions. Forests, 6: 734-747.
- [140]. Çarşambalı, E., 2020, Fitoremediasyon Yöntemi İle Kadmiyum Akümülayonunun Giderimi: Lavanta (*Lavandula angustifolia*) Örneği, Yüksek Lisans Tezi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı.
- [141]. Bledsoe, C., Tüfekçi, S., 2005, Ektomikorizaların Fizyo - Ekolojisi: Arazideki Uygulama Sonuçları, Dođu Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Doa Dergisi (Journal Of Doa) Sayı : 11 Sayfa: 53 – 75.
- [142]. Deveci, M. ve B. Tuğrul, 2017, Ispanakta tuz stresinin yaprak fizyolojik özelliklerine etkisi. Akademik Ziraat Dergisi, 6, 89-98.
- [143]. Dhalaria, R., Kumar, D., Kumar, H., Nepovimova, E., Kuca, K., Islam, M.T., Verma, R., 2020, Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Potential Agents in Ameliorating Heavy Metal Stress in Plants, Agronomy, 10, 815.
- [144]. Altunlu, H., 2019, Tuzlu Koşullarda Mikoriza Uygulamasının Kapsa Biberde (*Capsicum Annuum* L.) Fide Gelişimi ve Antioksidant Enzimler Üzerine Etkisi, Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg. 56 (2):139-146.
- [145]. Zuccarini P. and P. Okurowska, 2008, Effects of mycorrhizal colonization and fertilization on growth and photosynthesis of sweet basil under salt stress. Journal of Plant Nutrition, 31:497–513.
- [146]. Kaur, H., Garg, N., 2021, Interactive Effects Of Zinc-Arbuscular Mycorrhizal (Am) Fungi On Cadmium Uptake, Rubisco, Osmolyte Synthesis And Yield In *Cajanus cajan* (L.) Millsp., International Journal of Sustainable Agricultural Research, 2021, 8(1): 17-42.

- [147]. Burak, U., Tunca, E., 2022, Cd ve Pb'nin Doğal Ortamda, *Lemna minor* Üzerindeki Kombine Toksik Etkisi, Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg., Cilt:7, Sayı:1.
- [148] Macfarlane, G.R., Burchett, M.D., 2001, Photosynthetic Pigments and Peroxidase Activitiy as Indicators of Heavy Metal Stress in the Grey Mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh., Marine Pollution Bulletin, 42-233-240.
- [149] Moustakas, M., Moustaka, J., Sperdouli, I., 2022, Hormesis in photosystem II: a mechanistic understanding, Current Opinion in Toxicology 2022, 29:57–64.



EKLER

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Tuğçe AĞBA SEVENCAN
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	X T.C. ☐ Diğer:
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Biyoloji Bölümü
Mezuniyet Yılı	Haziran 2010

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Biyoloji Anabilim Dalı
Programı	Botanik

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Anabilim Dalı Adı
Programı	Botanik Programı

Makale ve Bildiriler	
Baycu, G., Tolunay, D., Ozden, H., Csatri, I., Karadağ, S., Agba, T., Rognes, S. E., 2014, An Abandoned Copper Mining Site in Cyprus and Assessment of Metal Concentrations in Plants and Soil, International Journal of Phytoremediation, 17(7), 622-631. Doi: 10.1080/15226514.2014.922929.	