



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



Doktora Tezi

**AĞIR METALLERLE KİRLLETİLMİŞ TOPRAKLARDA YETİŞEN
BAZI TIBBİ BİTKİLERDE MİKORİZA UYGULAMALARININ
EKOFİZYOLOJİK ETKİLERİ**

SEDA KARADAĞ KILINÇ

Biyoloji Anabilim Dalı

Botanik Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr.GÜLRİZ BAYÇU KAHYAOĞLU**

Haziran, 2022

İSTANBUL

Bu alışma,30.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafındanBiyoloji Anabilim Dalı,Botanik Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr.Gülriz BAYÇU KAHYAOĞLU(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fakülte

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



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.

Bu tez için herhangi bir proje desteği alınmamış olup, tamamen kişisel imkanlarla yürütülmüştür

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın planlanması ve yazılmasında, bu sürecin her döneminde yardımcı olan, her konuda tecrübesini benimle paylaşan, desteğini esirgemeyen, her zaman güvenini ve sabrını hissettiğim değerli danışman hocam Prof. Dr. Gülriz BAYÇU KAHYAOĞLU'na teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tez dönemim boyunca T.C. İstanbul Üniversitesi Botanik Ana Bilim Dalı'nın imkanlarından faydalanmama olanak tanıyan Anabilim Dalı başkanı Prof. Dr. Gül CEVAHİR ÖZ'e teşekkür ediyorum.

Tez izleme komitemde yer alarak kıymetli fikirleri ile araştırmalarımın şekillenmesinde yardımcı olan değerli Prof. Dr. Tamer ÖZCAN ve Prof. Dr. Şener AKINCI hocalarıma çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bilimsel tecrübelerini, desteğini ve laboratuvarını benimle paylaşan çok değerli Doç. Dr Mehmet Emre Erez (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi) hocama çok teşekkür ederim.

Tohum temini, bitki yetiştirme ve hasat döneminde desteklerini esirgemeyen Zeytinburnu Tıbbi Bitkiler Bahçesi Ziraat Y. Mühendisi Merve ZENGİN TINMAZ'a, Bahçe Ziraat Teknikeri Mehmet Ali ALTIOKKA'ya, Tıbbi-Aromatik Bitkiler Teknikeri Mehmet Şirin YALVAÇ'a ve diğer tüm personele çok teşekkür ederim.

Deney aşamasında desteğini hiç esirgemeyen arkadaşlarım Hilal EROĞLU ve Ceyda YAZICI'ya çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca manevi anlamda destek olan, sürecin her anına şahit olan ve bu süreç boyunca bana yardımcı olan arkadaşım, Tuğçe SEVENCAN'a çok teşekkür ederim.

Arazi çalışması sırasında her an yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Sedat SEVENCAN ve Arş.Gör.Dr. Almila ÇİFTÇİ'ye teşekkür ediyorum.

Tez çalışmam boyunca her zaman desteği hissettiğim ve bu süreçte büyük bir sabırla yanımda olan aileme teşekkür ediyorum.

Gösterdiği sabırla her zaman yanımda olan, motive olmamı sağlayan, maddi-manevi desteğini esirgemeyen eşim Şiyar KILINÇ'a ve en büyük motivasyon kaynağım canım oğlum Çınar Baran KILINÇ'a sonsuz teşekkür ederim.

Tarih girmek için burayı tıklatın.

Seda KARADAĞ KILINÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xiv
ÖZET	xvi
SUMMARY	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1 TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLER	1
1.1.1 KETEN (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	4
1.1.2 ANADOLU ADAÇAYI (<i>Salvia fruticosa</i> Mill.).....	7
1.2 BİTKİLERDE AĞIR METAL STRESİ.....	10
1.3 MİKORİZA.....	22
2. GENEL KISIMLAR.....	25
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	30
3.1 ARAZİ ÇALIŞMASI.....	30
3.2 ARAZİ NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI.....	37
3.3 DENEY DÜZENİĞİNİN KURULMASI.....	40
3.4 HASAT İŞLEMİ VE SONRASINDA YAPILAN ÖLÇÜMLER.....	45
4. BULGULAR.....	57
4.1 ARAZİ ÇALIŞMASINDAN ELDE EDİLEN BULGULAR.....	57
4.2 DENEYSEL ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN BULGULAR.....	58

4.2.1 TOPRAK PARAMETRELERİ.....	58
4.2.1.1 <i>Linum usitassimum</i> 'da TOPRAK ELEMENT SONUÇLARI.....	58
4.2.1.2 <i>Salvia fruticosa</i> 'da TOPRAK ELEMENT SONUÇLARI.....	59
4.2.1.3 <i>Linum usitassimum</i> 'da TOPRAK AZOT ÖLÇÜMLERİ.....	60
4.2.1.4 <i>Salvia fruticosa</i> 'da TOPRAK AZOT ÖLÇÜMLERİ.....	61
4.2.1.5 <i>Linum usitassimum</i> 'da TOPRAK BAĞIL SU İÇERİĞİ (%).....	62
4.2.1.6 <i>Salvia fruticosa</i> 'da TOPRAK BAĞIL SU İÇERİĞİ (%).....	62
4.2.1.7 KÖKLERDE FUNGAL KOLONİZASYON YÜZDESİ.....	63
4.2.2 BİTKİ PARAMETRELERİ.....	64
4.2.2.1 <i>Linum usitassimum</i> 'da BİTKİ ELEMENT SONUÇLARI.....	64
4.2.2.2 <i>Salvia fruticosa</i> 'da BİTKİ ELEMENT SONUÇLARI.....	72
4.2.2.3 <i>Linum usitassimum</i> 'da KÖK UZUNLUĞU.....	79
4.2.2.4 <i>Salvia fruticosa</i> 'da KÖK UZUNLUĞU.....	81
4.2.2.5 <i>Linum usitassimum</i> 'da KÖK KURU AĞIRLIĞI.....	82
4.2.2.6 <i>Salvia fruticosa</i> 'da KÖK KURU AĞIRLIĞI.....	83
4.2.2.7 <i>Linum usitassimum</i> 'da YAPRAK KURU AĞIRLIĞI.....	85
4.2.2.8 <i>Salvia fruticosa</i> 'da YAPRAK KURU AĞIRLIĞI.....	86
4.2.2.9 <i>Linum usitassimum</i> ve <i>Salvia fruticosa</i> 'da YAPRAK SAYISI.....	88
4.2.2.10 <i>Linum usitassimum</i> 'da TOTAL FENOLİK İÇERİĞİ.....	88
4.2.2.11 <i>Salvia fruticosa</i> 'da TOTAL FENOLİK İÇERİĞİ.....	90
4.2.2.12 <i>Linum usitassimum</i> 'da PROLİN BİRİKİMİ.....	92

4.2.2.13 <i>Salvia fruticosa</i> ’da PROLİN BİRİKİMİ.....	94
4.2.2.14 <i>Linum usitassimum</i> ’da FOTOSENTETİK PİGMENT İÇERİKLERİ.....	95
4.2.2.15 <i>Salvia fruticosa</i> ’da FOTOSENTETİK PİGMENT İÇERİKLERİ.....	98
4.2.2.16 <i>Linum usitassimum</i> ve <i>Salvia fruticosa</i> ’da KÖK VE YAPRAK İYON SIZINTISI..	101
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	106
KAYNAKLAR.....	116
EKLER.....	138
ÖZGEÇMİŞ.....	139

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA NO

Şekil 1.1: Keten (<i>Linum usitatissimum</i> L.) bitkisinin Türkiye’deki dağılımı (TÜBİVES).....	5
Şekil 1.2: Keten (<i>Linum usitatissimum</i> L.).....	6
Şekil 1.3: Anadolu Adaçayı (<i>Salvia fruticosa</i> Mill.).....	8
Şekil 1.4: Anadolu Adaçayı (<i>Salvia fruticosa</i> Mill.) bitkisinin Türkiye’deki dağılımı (TÜBİVES).....	9
Şekil 1.5: Bitkilerde çevresel stres faktörleri.....	11
Şekil 1.6: Stres altında kalan bitkilerde meydana gelen değişimler.....	12
Şekil 1.7: : Bitkilerde belirli faktörlere göre ortaya çıkan stres cevapları.....	13
Şekil 1.8: Abiyotik strese sinyal iletim yolu.....	14
Şekil 1.9: Abiyotik stres faktörlerine karşı bitki cevapları.....	15
Şekil 1.10: Fitoremediasyon yöntemleri.....	19
Şekil 1.11: Fitoekstraksiyon yöntemi.....	20
Şekil 1.12: Fitostabilizasyon yöntemi.....	20
Şekil 1.13: Fitovolatilizasyon yöntemi.....	21
Şekil 1.14: Fitodegradasyon yöntemi.....	21
Şekil 1.15: a) Mikoriza uygulaması yapılmamış b) Mikoriza uygulaması yapılmış <i>Plantago lanceolata</i> L. bitkilerinden görünüm.....	23
Şekil 3.1 : Herbaryum Örnekleri.....	30
Şekil 3.2: Arazi planı.....	33
Şekil 3.3: Araziden toplanan bitki örneklerinin ayrılmış hali (Kök-gövde-yaprak).....	35
Şekil 3.4: Arazide çekilen fotoğraflar.....	36
Şekil 3.5: Yaş yakma işlemi cihazı Berghof Mikrodalga.....	38
Şekil 3.6: Berghof mikrodalgaın özel teflon tüpleri.....	38
Şekil 3.7: Filtrelenmiş örnekler.....	39

Şekil 3.8: ICP-OES cihazı (İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopisi, Perkin Elmer)	39
Şekil 3.9: Otoklav için hazırlanan kum örnekleri.....	40
Şekil 3.10: Etiketlenen ve bantlanan multipotlar.....	41
Şekil 3.11: Multipotlarda çimlendirilen tohumlar.....	42
Şekil 3.12: İklim odasına yerleştirilen multipotlar.....	42
Şekil 3.13: Mikoriza uygulaması.....	43
Şekil 3.14: Denemenin yürütüldüğü iklim odasından mikoriza uygulanan ve uygulanmayan bitkilerin genel görünümü.....	44
Şekil 3.15: Hasat öncesi bitkilerden genel görünüm.....	45
Şekil 3.16: Toprağı boşaltılmış bitkiler (Hasat sırasında kök, gövde ve yaprak kısımlarına ayrılmadan önce).....	46
Şekil 3.17: Hasat işlemi sonrasında mikorizalı köklerin temizlenmesi.....	47
Şekil 3.18: Zeiss Axio Scope A1 Işık Mikroskobu.....	48
Şekil 3.19: Kök kolonizasyon sayımı için mikorizalı köklerin boyama aşamaları.....	48
Şekil 3.20: EC ₁ ve EC ₂ değerlerinin ölçüm işlemi.....	49
Şekil 3.21: Total fenolik içeriğinin belirlenmesi için kullanılan standart solüsyonlar.....	52
Şekil 3.22: İşlem sonrası mikroplakalara pipetlenmiş örnekler.....	52
Şekil 3.23: Gallik asit standart regresyon eğrisi.....	53
Şekil 3.24: Prolin için standart solüsyonlar.....	55
Şekil 3.25: Çalışmalarda kullanılan Mikroplaka okuyucu.....	55
Şekil 3.26: Ekstraktların hazırlanma aşamaları.....	56
Şekil 4.1: <i>Linum usitassimum</i> 'da toprak azot ölçümleri.....	61
Şekil 4.2: <i>Salvia fruticosa</i> 'da toprak azot ölçümleri.....	62
Şekil 4.3: <i>Linum usitatissimum</i> ve <i>Salvia fruticosa</i> 'da köklerde fungal kolonizasyon yüzdesi...63	
Şekil 4.4: <i>Linum usitassimum</i> 'da kök uzunluğu.....	80
Şekil 4.5: <i>Salvia fruticosa</i> 'da kök uzunluğu.....	81
Şekil 4.6: <i>Linum usitassimum</i> 'da kök kuru ağırlığı.....	83

Şekil 4.7: <i>Salvia fruticosa</i> 'da kök kuru ağırlığı.....	84
Şekil 4.8: <i>Linum usitassimum</i> 'da yaprak kuru ağırlığı.....	85
Şekil 4.9: <i>Salvia fruticosa</i> ' da yaprak kuru ağırlığı.....	86
Şekil 4.10: <i>Linum usitassimum</i> 'da total fenolik içeriği.....	90
Şekil 4.11: <i>Salvia fruticosa</i> 'da total fenolik içeriği.....	92
Şekil 4.12: <i>Linum usitassimum</i> 'da prolin birikimi.....	93
Şekil 4.13: <i>Salvia fruticosa</i> 'da prolin birikimi.....	94
Şekil 4.14: <i>Linum usitassimum</i> 'da klorofil a, klorofil b, toplam klorofil miktarları.....	95
Şekil 4.15: <i>Salvia fruticosa</i> 'da klorofil a, klorofil b, toplam klorofil miktarları.....	98
Şekil 4.16: <i>Linum usitassimum</i> 'da kök ve yaprak iyon sızıntısı ölçümleri (%).....	101
Şekil 4.17: <i>Salvia fruticosa</i> 'da kök ve yaprak iyon sızıntısı ölçümleri (%).....	103



TABLO LİSTESİ

SAYFA NO

Tablo 1.1: Keten (<i>Linum usitatissimum</i> L.) bitkisinin bilimsel sınıflandırılması	4
Tablo 1.2: Anadolu Adaçayı (<i>Salvia fruticosa</i> Mill.) 'na ait bilimsel sınıflandırma.....	8
Tablo 3.1. <i>Salvia fruticosa</i> Mill. bitkisi için toplama yapılacak lokasyonlar.....	31
Tablo 3.2: İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Herbaryumundan Alınan Lokasyon Bilgileri..	32
Tablo 4.1: Araziden toplanan bitki ve toprak analiz sonuçları.....	57
Tablo 4.2: <i>Linum usitassimum</i> 'da toprak element sonuçları.....	58
Tablo 4.3: <i>Salvia fruticosa</i> 'da toprak element sonuçları.....	59
Tablo 4.4: <i>Linum usitassimum</i> 'da kontrol grubunda bitki element sonuçları.....	64
Tablo 4.5: <i>Linum usitassimum</i> 'da Zn grubunda bitki element sonuçları.....	66
Tablo 4.6: <i>Linum usitassimum</i> 'da Cd grubunda bitki element sonuçları.....	69
Tablo 4.7: <i>Salvia fruticosa</i> 'da kontrol grubunda bitki element sonuçları.....	72
Tablo 4.8: <i>Salvia fruticosa</i> 'da Zn grubunda bitki element sonuçları.....	75
Tablo 4.9: <i>Salvia fruticosa</i> 'da Cd grubunda bitki element sonuçları.....	77
Tablo 4.10: <i>Linum usitassimum</i> 'da total fenolik içeriği.....	88
Tablo 4.11: <i>Salvia fruticosa</i> 'da total fenolik içeriği.....	90
Tablo 4.12: <i>Linum usitassimum</i> 'da prolin birikimi.....	93
Tablo 4.13: <i>Salvia fruticosa</i> 'da prolin birikimi.....	94



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Zn	: Çinko
Cd	: Kadmiyum
μM	: Mikromolar
Fe	: Demir
mg	: Miligram
g/gr	: Gram
Mg	: Magnezyum
K	: Potasyum
Ca	: Kalsiyum
Cu	: Bakır
Mn	: Mangan
cm	: Santimetre
CdSO₄	: Kadmiyum Sülfat
ZnSO₄	: Çinko Sülfat
H₂O	: Su
%	:Yüzde
P	: Fosfor
N	: Azot
Cr	: Krom
M	: Metre
ml	: Mililitre
μl	: Mikrolitre
M	: Molar
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun

Kısaltmalar	Açıklama
AM	: Mikoriza bulunduran
NM	: Mikoriza bulundurmayan
M+	: Mikoriza bulunduran
M-	: Mikoriza bulundurmayan
Zinc	: Çinko
AMF	: Arbusküler Mikorizal Fungus
dk	: Dakika
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
NNS	: Ninhidrin Solüsyonu

ÖZET

DOKTORA TEZİ

AĞIR METALLERLE KİRLETİLMİŞ TOPRAKLARDA YETİŞEN BAZI TIBBİ BİTKİLERDE MİKORİZA UYGULAMALARININ EKOFİZYOLOJİK ETKİLERİ

Seda KARADAĞ KILINÇ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr.Gülriz BAYÇU KAHYAOĞLU

Bu araştırmada, *Linum usitatissimum* ve *Salvia fruticosa* bitkilerinin mineral beslenmesi, gelişimi ve stres cevapları üzerinde durulmuştur.

Araştırma, *Linum usitatissimum* ve *Salvia fruticosa* bitkilerinde ‘rastgele parseller deneme desenine’ göre planlanarak yürütülmüştür. Faktörlerden biri iki farklı mikoriza uygulaması (mikoriza bulunduran ve mikoriza bulundurmayan ve diğeri ise farklı seviyedeki ağır metal uygulamasıdır. Çimlenen tohumlar kasalara aktarılmış, 2 hafta sonra ise fideler saksılara alınmıştır. Yaklaşık 2 aylık olan bitkilerde ağır metal stresi uygulamasına (Cd ve Zn) başlanmıştır. Uygulanacak olan ağır metal çeşitleri ve konsantrasyonları arazi çalışması sırasında toplanan bitkilerdeki sonuçlar ve metallerin toksik konsantrasyonları gözönüne alınarak belirlenmiştir. Kontrol olarak İngestad besi çözeltilisinin kullanıldığı deneylerde, Zn ve Cd uygulamaları için İngestad besi çözeltilisi ile hazırlanan 60µM Cd (3CdSO₄.8 H₂O) ve 700 µM Zn (ZnSO₄.7H₂O) uygulanan grupların bir bölümünde *Rhizophagus intraradices* kullanıldı. 21 gün boyunca devam eden ağır metal uygulaması sonunda bitkiler hasat edilmiştir.

Deney sonuçlarımızda *Linum usitatissimum* bitkisinin yetiştirildiği toprakta kontrol grubunda Ca elementinin ve Zn grubunda Fe elementinin miktarları azalmıştır. Mikorizanın bu gruplarda bitki köklerini etkili bir şekilde infekte ettiği düşünülmektedir.

Salvia fruticosa bitkisinin yetiştirildiği toprakta mikoriza uygulaması Mg, K, Ca, Fe, Cu, Mn elementlerinin miktarlarında değişime neden olmamaktadır.

Araştırmamızda, her iki bitkide köklerde kolonizasyon yüzdesi ile ilgili sonuçlarda ağır metal stresinin etkisine rastlanmamıştır. Başka bir deyişle AM simbiyozu ağır metal stresinin olumsuz etkisini ortadan kaldırmıştır ya da ağır metal stresi uygulamasından önce köklerde tamamen kolonizasyon meydana gelmiş ve stres kolonizasyonu engelleyememiştir.

Araştırmamızda bitki ICP-OES sonuçlarına göre *Linum usitatissimum*'un Cd elementini mikoriza uygulaması ile yaklaşık 4 kat fazla köklerinde tuttuğu, başka deyişle bu bitkinin kök akümülatörü olabileceği düşünülmektedir. *Salvia fruticosa*'da ise mikoriza uygulamalarının kökteki Cd miktarını azalttığı ancak gövde ve yapraktaki miktarı artırdığı görülmektedir. *Linum usitatissimum* 'da Zn ve Cd gruplarında mikoriza uygulamaları ile kök uzunluğu artmıştır. *Salvia fruticosa*'da kontrol ve Zn gruplarında mikoriza uygulaması kök uzunluğunu artırmıştır. *Linum usitatissimum* 'da kontrol ve Cd grubunda yaprak kuru ağırlığının, mikoriza içeren bitkilerde mikoriza içermeyen bitkilere göre biraz daha fazla olduğu, *Salvia fruticosa*'da ise Cd ve Zn grubunda yaprak kuru ağırlığının, mikoriza içeren bitkilerde mikoriza içermeyen bitkilere göre biraz daha fazla olduğu saptanmıştır. *Linum usitatissimum*'da Zn grubunda ve *Salvia fruticosa*'da Kontrol ve Cd gruplarında mikoriza uygulamalarının kök kuru ağırlığı azalttığı bulunmuştur.

Linum usitatissimum'da mikoriza uygulanmayan Zn ve Cd gruplarında kontrole göre prolin miktarı artmıştır. *Salvia fruticosa*'da ise farklı uygulamaların prolin miktarları üzerinde anlamlı farklılık oluşturmadığı görülmüştür. *Linum usitatissimum*'da total fenolik içeriği kontrol grubunda mikoriza uygulaması ile azalmıştır. Ayrıca yalnızca Zn ve Cd uygulamaları da total fenolik miktarını azaltmıştır. Zn ve Cd gruplarında mikoriza uygulamaları yaprakta total fenolik miktarının artmasına sebep olmuştur. *Salvia fruticosa*'da ise total fenolik içeriği kontrol grubunda mikoriza uygulaması ile gövdede artarken yaprakta azalmıştır. Mikoriza uygulaması, *Linum usitatissimum* Zn gruplarında total klorofil miktarını artırırken, *Salvia fruticosa*'da azaltmıştır.

Haziran 2022, 158 sayfa.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, mikoriza, fitoremediasyon, tıbbi bitki

SUMMARY

Ph.D. THESIS

ECOPHYSIOLOGICAL EFFECTS OF MYCORRHIZAL APPLICATIONS ON SOME MEDICINAL PLANTS GROWN IN HEAVY METAL CONTAMINATED SOILS

Seda KARADAĞ KILINC

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Biology

Supervisor : Prof. Dr. Gülriz BAYÇU KAHYAOĞLU

Effects of *Rhizophagus intraradices* applications were observed on plant nutrition, growth and stress response in *Linum usitatissimum* and *Salvia fruticosa* under the heavy metal stress.

The research was carried out on two factors by planning according to the 'randomized design' on *Linum usitatissimum* and *Salvia fruticosa* plants. One of the factors is two different mycorrhiza applications (mycorrhizal and non-mycorrhizal and the other heavy metal application at different levels. Germinated seeds were sown into trays, and then they were transferred into plastic pots. When the plants were two months old, Cd and Zn stress treatments were started.

Heavy metal treatment concentrations were determined according to their toxic concentrations. Ingestad nutrient solution was used in the control groups. 60 µM Cd (3CdSO₄.8H₂O) and 700 µM Zn (ZnSO₄.7H₂O) concentrations were prepared in the Ingestad solution for the metal treatment groups. Plants were watered with these treatment groups and then they were harvested at the end of the 21th day.

In our results, the amount of Ca element of control group and Fe element of Zn group decreased in the soil where *Linum usitatissimum* plant was grown. Mycorrhiza effectively infected plant roots. Mycorrhiza application in the soil where *Salvia fruticosa* plant is grown does not cause any change in the amounts of Mg, K, Ca, Fe, Cu, Mn elements.

Metal stress were not affected the results of the percentage of colonization in the roots of both plants. In other words, AM symbiosis eliminated the negative effect of heavy metal stress or completely colonization occurred in the roots before heavy metal stress application and stress could not prevent colonization.

Due to our plant ICP-OES results it is thought that *Linum usitatissimum* retains the Cd element in its roots approximately 4 times more with mycorrhiza application, in other words, this plant may be a root accumulator. In *Salvia fruticosa*, it is seen that mycorrhizal applications reduce the amount of Cd in the root, but increase the amount in the stem and leaves. While mycorrhiza application alone decreased root and stem length in *Linum usitatissimum*, root length increased with mycorrhiza applications in Zn and Cd groups. In *Salvia fruticosa*, mycorrhiza application increased root and stem length in control and Zn groups. It was determined that the dry weight of leaves in *Linum usitatissimum* (in control and Cd groups) was slightly higher in plants with mycorrhiza than in plants without mycorrhiza, the dry weight of leaves in *Salvia fruticosa* (in Zn and Cd groups) was slightly higher in plants with mycorrhiza than in plants without mycorrhiza. Mycorrhiza applications decreased root dry weight in *Linum usitatissimum* (in Zn group) and *Salvia fruticosa* (in control and Cd groups).

In *Linum usitatissimum*, the amount of proline was increased in the Zn and Cd groups (Non-mycorrhiza applications) compared to the control. In *Salvia fruticosa*, on the other hand, it was observed that different applications did not make a significant difference on the amount of proline. Total phenolic content of *Linum usitatissimum* decreased with mycorrhiza application in the control group. In Zn and Cd groups, mycorrhiza applications caused an increase in the total phenolic content in the leaves. In *Salvia fruticosa*, the total phenolic content of the control group increased in the stem with mycorrhiza application and decreased in the leaf. Zn and Cd applications also decreased the total phenolic content in the leaf. Mycorrhiza application increased the total chlorophyll content of the Zn treated *Linum usitatissimum*, however it caused a decrease in *Salvia fruticosa*.

June 2022,158pages.

Keywords:Heavy metal, Mycorrhiza, Phytoremediation , Medicinal Plant

1. GİRİŞ

1.1 TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLER

Bitkiler, eski dönemlerden günümüze kadar kullanılan tedavi araçlarıdır ve doğadan gelen şifa olarak tanımlanabilir. Günümüzde ilaçların pahalı olması ve bazı zararlarının bulunması, insanları tekrar organik kökenli doğal bitkisel ürünlere yönlendirmiştir [1].

Bazı Avrupa ülkelerinde, bitkisel tedavi bedelinin, genel sağlık giderleri içindeki payının arttığı görülmektedir.

İnsan ve hayvanlardaki hastalıkların tedavisinde ve önlenmesinde, çeşitli kısımlarının veya etken maddelerinin kullanıldığı bitkilere ‘Tıbbi Bitki’ denir.

Biyçeşitlilik Kitabına göre, tıbbi bitkiler, insan sağlığını koruyucu, hastalıkları önlemeye yardımcı ve rahatsızlıkları tedavi edici olarak kullanılan bitkilerdir [2]. Fotosentez sonucu sentezlenen primer ve sekonder metabolitler vücutta bir takım fizyolojik değişiklikler gerçekleştirerek tedavinin esasını oluşturur.

Çok sayıda tıbbi bitkinin Sümerliler ve Asurlular tarafından kullanıldığı, hatta Roma, Mısır, Yunan, Hitit, Osmanlı dönemlerinde de kullanımın devam ettiği bilinmektedir. Civan perçemi, peygamber çiçeği, kanarya otu, gülhatmi, mor sümbül, ve efedra gibi bitki türlerinin eski çağlarda yapılan mağara ve mezar kazılarında tespit edilmesi, insanlar tarafından bitki kullanımına ait ilk veri olarak kabul edilir. [3,4].

İstanbul’da 1800’li yıllarda eczane sayısından daha çok aktar bulunması, o dönemde de bitkilerin yoğun şekilde kullanıldığının bir göstergesidir. Bitkiler Uzak Doğu’da 5000 yıl önce kullanılmaya başlamıştır. [5].

Dünya sağlık örgütü’ne göre, yaklaşık 20000 bitki türünün tedavi amacıyla kullanıldığı ve dünya nüfusunun büyük bir kısmının sağlık sorunlarında ilk aşamada bitkileri tercih ettiği belirlenmiştir.

Tıbbi Bitkisel Ürünler Çalışma Grubu, Mayıs 1997’de Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Komisyonu tarafından EMEA bünyesinde kurulmuştur.

Türkiye'nin tıbbi bitki ticareti bakımından ön sırada yeralan ülkelerden olmasının nedeni; farklı iklim karakteri, zengin bitki örtüsü, coğrafi konumu ve tarımsal potansiyelidir. Türkiye'de kullanılan tıbbi bitkiler yaklaşık 500 civarındadır [6,7]. Bu bitkilerin büyük kısmı doğadan toplanırken (347 tür), bir kısmının kültürü yapılmaktadır.

Kimyon, anason, çörekotu, kekik, haşhaş, nane, rezene ve hardal ülkemizde kültürü yapılan bitkiler arasındadır. Ülkemizde son yıllarda tıbbi bitkilere önem artmış, bu nedenle bitkilerde çeşit geliştirmeye yönelik ıslah çalışmalarında artış gözlenmiştir.

Ayrıca, tıbbi bitkilerden hazırlanan ürünlerin, güvenlik ve kalitesi ile ilgili uyulması gereken esasları belirlemek ve kullanım ruhsatlarını vermek amacıyla, Sağlık Bakanlığı tarafından yönetmelik yayınlanmıştır.

Çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılan tıbbi bitkiler, mikrop üremesini önleyici (antimikrobiyal), idrar söktürücü (diüretik), gaz giderici (karminatif), gevşetici (sedatif), ağrı kesici (analjezik) etkilere sahip uçucu yağ içerirler.

Bitkilerde bulunan temel bileşikler ve ara ürünlerin, alerjen ve toksik etki yaratması, yüksek oranda ağır metal içermeye ihtimalleri, uçucu yağların bazılarının yan etkilerinin olması, bu bitkilerin birbirleriyle ve kullanılan ilaçlar ile biyokimyasal etkileşim halinde bulunması nedeniyle, tıbbi bitkiler bilinçli tüketilmelidir.

Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Sektör Raporu'nda bu bitkilerin sınıflandırılması, aşağıdaki şekilde verilmiştir [8];

- 1)Alfabetik Sınıflandırma: Latince bitki adları göz önünde bulundurularak yapılan,
- 2)Morfolojik Sınıflandırma: Kullanılan bitki yapılarına göre yapılan sınıflandırma çeşididir. Bu sınıflandırma çeşidine göre;
- 3)Botanik Sınıflandırma: Bitkilerin cinslerine familya ve takım gibi sınıflandırma basamaklarına göre yapılan bir sınıflandırmadır.
- 4)Kimyasal Sınıflandırma: Bitki etken maddesine göre yapılan sınıflandırmadır.
- 5)Farmakolojik Sınıflandırma: Etki mekanizmasına göre yapılan sınıflandırmadır.

6)Farmakimyasal Sınıflandırma: İki farklı sınıflandırmanın birleştirildiği, drogların farmakolojik etkilerine göre üst, kimyasal etkilerine göre alt gruplara ayrılarak yapılan sınıflandırma çeşididir.

Tıbbi bitkilerde, kalite önemli bir konudur. Hem bitkilerin ekolojik isteklerine uygun bölgelerde tarımlarının yapılması, hem de toplanma ve muhafaza edilme aşamasında kurallara uyulması, kalitenin artmasını sağlamaktadır.

Bu bitkilerin doğadan toplanması, “İyi Tarım ve Toplama Uygulamaları” (GACP) kurallarına uygun olmalıdır. Öncelikle doğadan toplamada dikkat edilmesi gereken konu, doğal popülasyonlara zarar vermemek ve doğal yaşam alanlarında sürdürülebilirliği sağlamaktır. Ayrıca, bitkilerinin yoğunluğu belirlenmeli ve nadir olan türler toplanmamalıdır.

Materyaller, özellikle kuru havalarda, esans içerenler, güneş doğmadan, droglar, etkili maddelerin zengin olduğu dönemde, yapraklar bitkiler çiçeklenme dönemindeyken, tohum ve meyveler ise olgunlaştıktan sonra toplanmalıdır. Yapraklar elle toplanmalı ya da makas ile kesilen dallardan el ile ayrılmalıdır.

Bitkilerin bozulmasını önlemek ve uzun süre saklayabilmek için, kurutma aşaması oldukça önemlidir. Bu nedenle, işlem 30°C’de, üzeri kapalı ve yanları açık alanlarda, doğrudan güneşle temas etmeden yapılmalıdır. Kurutulan materyal, özel ambalajlarda (bez torba, kese kağıdı, cam kavanoz) paketlenildikten sonra oksijen, nem, sıcaklık, ışık gibi etkenler uygun hale getirilerek depolanmalıdır.

Tıbbi bitkiler, tedavi amaçlı kullanım dışında, ilaç sanayi, kozmetik, beslenme ve peyzaj alanlarında da kullanılır. Son dönemlerde, dünya genelinde ve ülkemizde bu bitkilerin öneminin ve kullanım potansiyelinin giderek artması, bitkilerin kontrolsüz toplanmasına, doğal vejetasyonun bozulmasına, tahribatın artmasına ve türlerin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, talebi fazla ve ekonomik değeri yüksek olan türlerin tarımının yapılması önerilmektedir [9,10].

Bu araştırmada, ileride üretimlerine yönelik olarak yapılacak çalışmalara yol göstermek amacıyla, *Linum usitatissimum* L. (Keten) ve *Salvia fruticosa* (Adaçayı) tıbbi bitkileri üzerinde çalışma yapılmıştır.

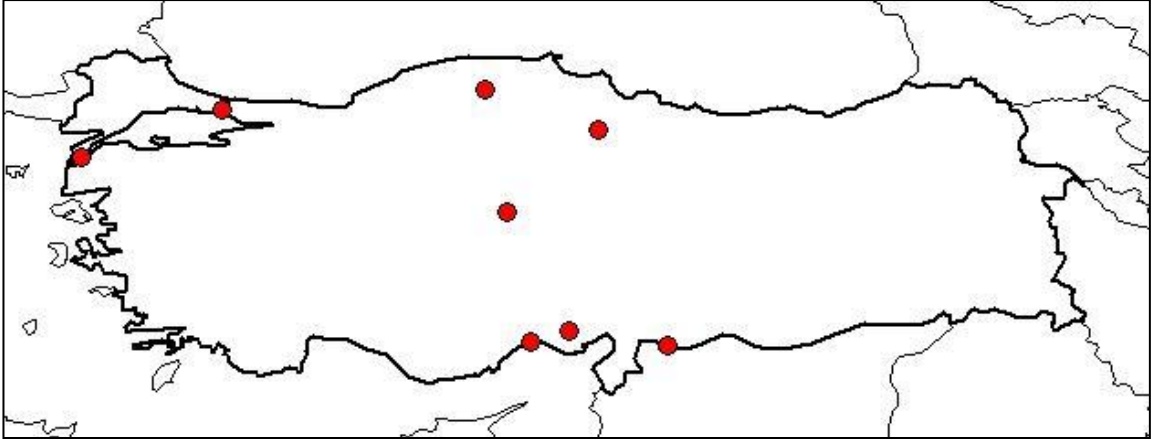
1.1.1 Keten (*Linum usitatissimum* L.)

Keten, ılıman iklim bölgelerinde yetişen, Haziran- Temmuz aylarında, açık-koyu mavi renkli çiçekler açan, tek yıllık, otsu bir endüstri bitkisidir. Kapsül şeklinde meyvelere sahiptir. Yaprakları gri-yeşil renkte ve akuminattır. Çiçek sapı diktir.

Lif ve yağ üretiminde kullanılan en eski kültür bitkilerindendir. Tarımı yapılan yağ için kullanılan ketenlerin boy uzunlukları ortalama 60-80 cm, lif için kullanılan ketenlerin boy uzunlukları ise 100-120 cm [11].

Tablo 1.1: Keten (*Linum usitatissimum* L.) bitkisinin bilimsel sınıflandırılması

Alem	Plantae
Bölüm	Magnoliophyta
Sınıf	Magnoliopsida
Takım	Malpighiales
Familya	Linaceae
Cins	<i>Linum</i>
Tür	<i>Linum usitatissimum</i> L.



Şekil 1.1: Keten (*Linum usitatissimum* L.) bitkisinin Türkiye’deki dağılımı (TÜBİVES)

Keten tohumları, oval şekilde, 4-6 mm uzunluğunda, parlak yüzeyli, açık kahverengiden koyu kahverengiye doğru renk çeşitliliği gösteren fiziksel özelliklere sahiptir [12]. Protein (%28-30), lif (%30) ve yağ (%35-45) bakımından zengin olan tohumların en önemli biyolojik aktivitesi, laksatif etkisidir.

Tohumlardan elde edilen yağların tıbbi önemi, bulundurdıkları yüksek değerde Omega-3 ve Omega-6 yağ asitleri nedeni ile giderek artmaktadır. Keten yağının, alerjilerin önlenmesinde etkili olduğu, sıtma parazitiye karşı E vitamini eksikliğini giderdiği [13], kolesterolü azalttığı, [14,15], içerdiği linolenik asitin ateş önleyici olarak kullanılabileceği [16] belirtilmektedir.

Keten yağı, yüksek iyot sayısı [17] ve linolenik asit (C18:3) oranının yüksek [18] olması sebebiyle çabuk kuruyan özellikte bir yağdır. Bu nedenle, sabunculuk ve boyacılıkta kullanılabilmektedir [19].

Keten tohumu, hem çözünebilen hem de çözünmeyen lifler içerir. Çözünebilen lifleri, kolesterolü düşürmeye ve kan şekeri düzeylerini düzenlemeye yardımcı olurken, çözünmeyen lifler sindirimi kolaylaştırarak kabızlığı önler [20].

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, keten tohumunun kabuklarında, antikanser, antiviral, antibakteriyel ve anti-fungal özelliklere sahip, güçlü bir antioksidan olan ‘lignan’ bulunmuştur.

Keten bitkisinin gövdesinden elde edilen lifler, diğer bitkisel liflere göre daha dayanıklı olmaları nedeni ile giyim, dokuma ve döşeme sanayisinde öncelikli tercih edilmektedir.

Aynı zamanda keten, çiçeklenme aşamasında yeşil gübre olarak [21], eğimli arazilerde erozyonu önlemek için [22] ve güzel renkli çiçekleri olması nedeniyle süs bitkisi olarak kullanılır.



Şekil 1.2: Keten (*Linum usitatissimum* L.)

Keten, eski çağlardan bu yana tıbbi amaçlı kullanılmıştır. Hipokrat'ın karın ağrılarını hafifletmek, Theophrastus'un öksürüğü iyileştirmek için, Elder'in 30 formülasyonda dahilen hafif laksatif ve haricen lokal enflamasyonlarda lapa olarak keteni kullandığı belirtilmiştir. Günümüzde, apse ağrılarının azaltılmasında, mide rahatsızlıklarında ve egzamada kullanılmaktadır [23, 24]

Keten, toprak istekleri yönünden fazla seçici değildir. pH'sı 6 olan killi topraklarda rahatlıkla yetişir [25]. İklim isteği ise, yağlık ve liflik durumlarına göre değişiklik gösterir. Lif yapımı için kullanılan keten serin ve nemli iklimde, yağ yapımı için kullanılan keten ise çok daha sıcaklık iklimlerde yetişmektedir.

Keten, ekim nöbetinde yer alabilmesi, çevre dostu olması, farklı ekolojik koşullarda yetişebilmesi, besin değerinin yüksek olması ve geniş kullanım alanlarına sahip olması nedeniyle son yıllarda üzerinde yoğun çalışmalar yapılan bir bitkidir.

1.1.2 Anadolu Adaçayı (*Salvia fruticosa* Mill.)

Anadolu adaçayı, 0-800 m yükseklikte yayılış gösteren, 1 m'ye kadar uzayabilen, çok dallı, dalları yatık, çalı formunda, yoğun aromalı, çok yıllık bir bitkidir. Gövdesi dört köşelidir. Meyveleri hemen hemen yuvarlak şekilde olup, rengi açık kahverenginden koyu kahverengiye kadar değişir. Yaprakları, basit veya üç loblu, grimsi renkte ve tüylüdür. Bu tüyler, bitkinin kuraklığa adapte olmasını sağlamaktadır. Çiçeklenme, Mart ortasından başlayıp, Hazirana kadar devam etmektedir. Açık eflatun renkli, 2 dudaklı ve 4 stamenli çiçeklere sahiptir. 2-6 tane çiçek bir arada bulunmaktadır [26]. Toprak üstündeki bütün organları salgı tüyleri ile kaplıdır. Bazı dallarında, 2-3 cm çapında, elma benzeri mazılar meydana geldiği için, halk arasında 'elma otu' veya 'dağ elması' olarak bilinir.



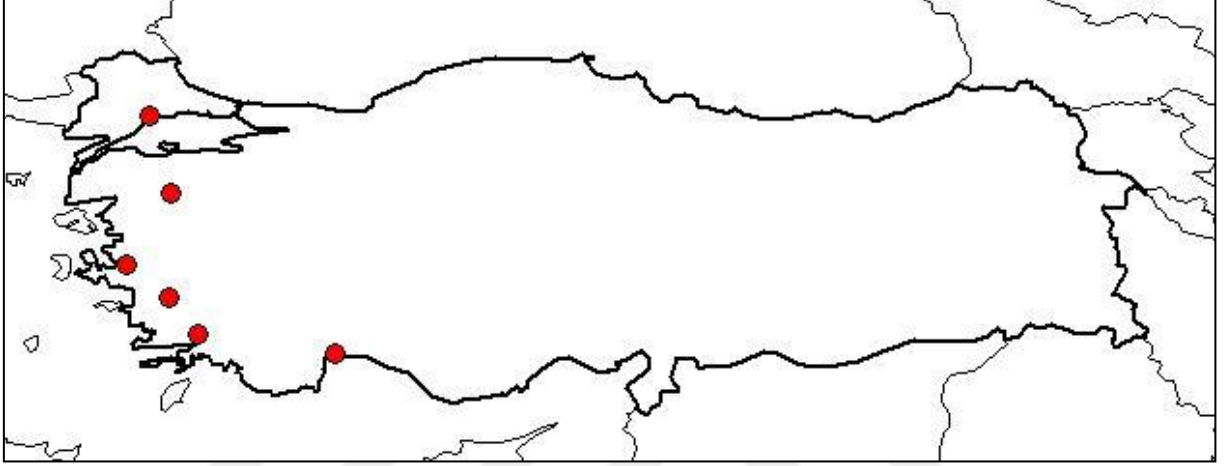
Şekil 1.3: Anadolu Adaçayı (*Salvia fruticosa* Mill.)

Anadolu Adaçayı (*Salvia fruticosa* Mill.), Türkiye’de toplam 109 takson içeren *Salvia* genusuna ait önemli türlerdendir. *Salvia triloba* L.’ya yakın tür olarak tanımlanır [27,28]. Halk arasında, Adaçayı, elma çalısı, elma çalbası,boz çalba olarak bilinmektedir.

Tablo 1.2: Anadolu Adaçayı (*Salvia fruticosa* Mill.)’na ait bilimsel sınıflandırma

Alem	Plantae
Bölüm	Magnoliophyta
Sınıf	Magnoliopsida
Takım	Lamiales
Familiya	Lamiaceae
Cins	<i>Salvia</i>
Tür	<i>Salvia fruticosa</i> Mill.

Anadolu adaçayı, maki ya da kireçtaşı kayalıkların arasında yayılış gösteren, sıcaklığı seven, kuraklığa dayanıklı bir bitkidir. Ilıman iklimde yaşayabildiği gibi don süresinin uzun olmadığı kara ikliminde de yaşayabilir. Genç dönemde yüksek miktarda suya ihtiyaç duyarken, sonraki büyüme dönemlerinde kuraklığa dayanıklıdır. Toprak isteği bakımından çok seçici değildir. Ülkemizde, Marmara, Ege ve Akdeniz sahil bölgesinde yayılış gösterir ve değerlendirmelere göre ‘zarar görebilir’ sınıfında yer aldığı belirtilmektedir.



Şekil 1.4: Anadolu Adaçayı (*Salvia fruticosa* Mill.) bitkisinin Türkiye’deki dağılımı (TÜBİVES)

Ülkemizde doğal olarak yetişen Anadolu adaçayından, diğer türlere göre elde edilen uçucu yağ miktarı daha fazladır. [29,30]. Bu miktar hasatın yapıldığı yıla ve mevsime bağlı olarak değişmektedir [31-33]. Özel kokulu, yakıcı lezzetli, sarımsı veya renksiz olan bu yağ, %60 oranında sineol içermektedir. Bu sineol içeriği zengin olan uçucu yağa aynı zamanda ‘elma yağı’ adı verilir [34]. Sineol dışında, alfa ve beta tujon, kafur ve beta karyofilen içerir [32].

Uçucu yağlar, gıda, ilaç, parfümeri ve kozmetik endüstrisinde yaygın olarak kullanılırlar. Halk tarafından mide ve romatizmal rahatsızlıklarda ve boğaz ağrılarda kullanılmaktadır [35]. Ayrıca, son çalışmalar, bu uçucu yağın önemli ölçüde antibakteriyel etkilerinin olduğunu [36,37,38] ve tümör oluşumunu engelleyici etkilerinin bulunduğunu göstermiştir [36,39].

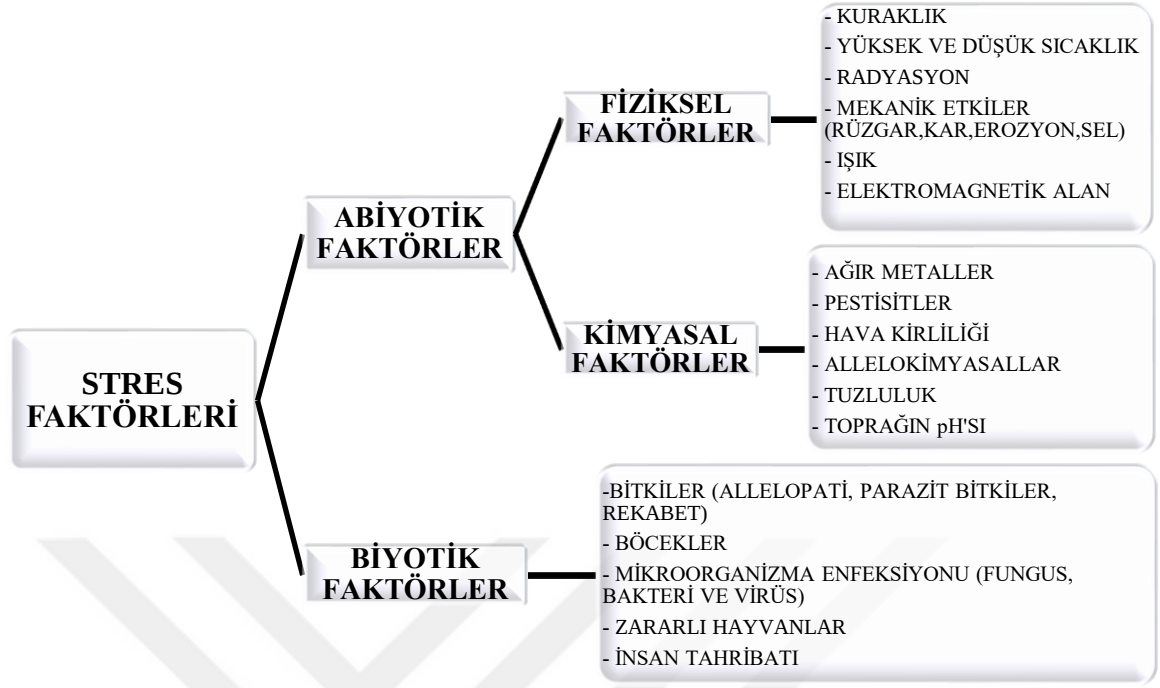
Tıbbi adaçayı olarak bilinen *Salvia officinalis* L.’in uçucu yağında fazla miktarda bulunan tujon’un toksik etkiye sahip olması, Anadolu adaçayı’nın öncelikle tercih edilmesinde etkilidir. Adaçayı’nın yaprakları kurutularak baharat ve bitkisel çay olarak kullanılmaktadır.

Anadolu adaçayı, çok eski zamanlardan beri tedavi amaçlı kullanılmaktadır. Merkezi sinir sistemi üzerinde sedatif etki, hafıza güçlendirici özellikle gösterir ve yaprakları Doğu Akdenizde kandaki şeker miktarını düşürmede kullanılır [26,40-49], haricen yara iyi edici olarak kullanıldığı [34] belirtilmektedir. Orta ve Doğu Akdeniz’de buhar banyolarında, geleneksel tıpta infüzyon olarak veya harici olarak kullanılır [50]. Ana fenolik bileşik olarak bulunan Rosmarinik asitten dolayı Anadolu adaçayı, yüksek antioksidan aktiviteye sahiptir [51,32].

Anadolu adaçayı, hem birçok endüstri alanında kullanılması hem de tıbbi olarak faydalı içeriğe sahip olması nedeniyle, ülkemizdeki diğer türler içerisinde yüksek miktarda toplanan ve yurtiçi ve yurtdışı pazarda önemli bir yere sahip olandır. Ancak bu adaçaylarının tamamının doğadan toplanması, türün tükenmesine, doğal populasyonun tahrip edilmesine, biyoçeşitliliğin azalmasına ve zamanla tedavi imkanlarının ortadan kalkmasına neden olacaktır. Bu nedenle, belli standart ve kalitede, maliyeti düşük ürün elde etmek için bu bitkinin kültürünün yapılmasında fayda bulunmaktadır. Kültür koşullarında, ıslah çalışmaları yapılarak drog verimi daha yüksek çeşitler geliştirilebilir [52]. Ayrıca, Bitki Gen Kaynakları Enstitüsü (IPGRI) tarafından üzerinde öncelikle çalışılması istenen bitkiler içinde yer almaktadır.

1.2 BİTKİLERDE AĞIR METAL STRESİ

Bitkilerde, biyotik ve abiyotik faktörlerin etkisi altında ortaya çıkan, ürünün kalite ve miktarını azaltan, fizyolojik ve biyokimyasal zararlar oluşturan değişimler ‘‘stres’’ olarak tanımlanır. Farklı araştırmacılar tarafından, ‘bitkinin doğal habitatında metabolik dengeyi bozan [53], büyüme ve gelişmeyi olumsuz yönde etkileyen abiyotik ve biyotik faktörler olarak da tanımlanırlar [54, 55].



Şekil 1.5: Bitkilerde çevresel stres faktörleri

Olumsuz çevre koşulları altında bitkinin canlılığını sürdürebilme yeteneği ‘stres direnci’ olarak tanımlanır [56]. Bitki, geliştirdiği önleyici mekanizmalar ile strese neden olan faktörlerin etkili olmasını önler veya tolerans mekanizmasını kullanarak yaşamını sürdürür.

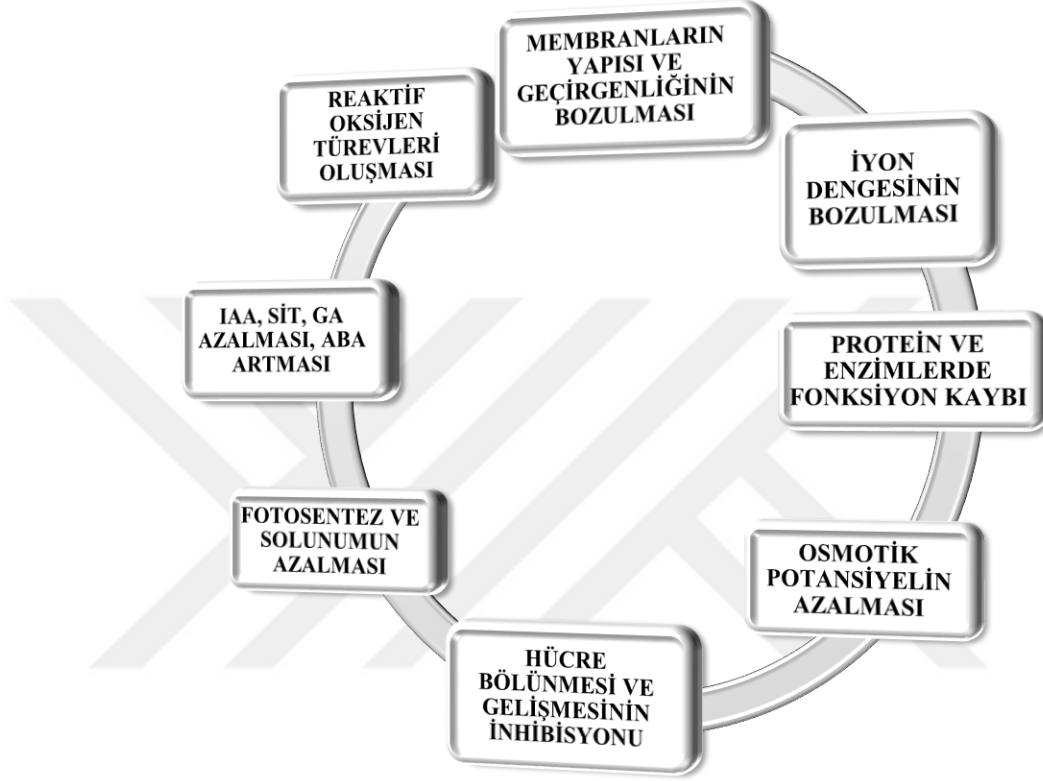
Bitkiler yaşamları süresince tuzluluk, kuraklık, soğuk, sıcak, su fazlalığı, oksidatif stres ve ağır metaller gibi gelişimlerini ve üretimlerini kısıtlayıcı çeşitli olumsuz koşullarla karşı karşıya kalmaktadırlar ve bu çevresel stres bitkilerde %50 ürün kaybına neden olmaktadır [57].

BM’nin 2007 Gıda ve Tarım Örgütü raporuna göre, dünya üzerinde bulunan karaların yalnızca %3,5’i çevresel bir faktörden etkilenmemektedir [58,59]. Abiyotik stres, üretimde %65-%85 arasında ürün azalmasının başlıca nedenidir.

Bitkilerin stres oluşturan çevresel faktörlere karşı toleranslı olma durumu, bitkinin çeşidi, stres faktörü ve bu faktöre maruz kalma süresi ve farklı organlara bağlı olarak değişiklik gösterebilir [60]. Stres faktörlerine karşı, bir bitkinin tüm bölümleri dirençli olabilirken, genç fideler, meristem doku, sukkulent organ gibi bazı kısımları duyarlıdır.

Bir bitkide şiddetli bir strese neden olan faktör, başka bir türde ılımlı strese hatta sıfır strese neden olabilir. Sıfır stres, optimum çevre koşullarını ifade eder. Ayrıca, bitki aynı anda birden

fazla stres faktörüne cevap verebilir, hatta stres faktörlerinden birine verdiği cevap, diğer faktöre verdiği cevabı olumlu etkileyebilir.

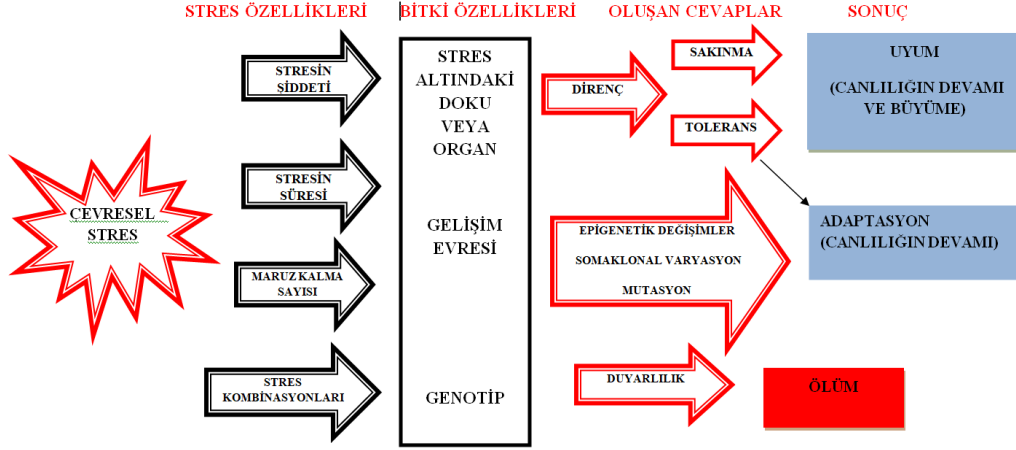


Şekil 1.6: Stres altında kalan bitkilerde meydana gelen değişimler

Strese maruz kalmış bitki, aklimasyon, sakınma ve tolerans mekanizmaları ile stres faktörlerine yanıt verir. Aklimasyon, strese maruz kalan bitkideki kalıtsal olmayan, morfolojisinde meydana gelen değişikliklerdir. Başka bir ifadeyle, genetik yapıda bir değişiklik olmaz ancak ortam koşulları değişince fenotipik bir cevap gelişir [61]. Örneğin, su stresindeki bitkinin daha derin kök sistemine sahip olması hayatını devam ettirmesini sağlayabilir.

Sakınma durumunda ise, stres faktörü ile bitki organı veya dokusu arasında fiziki bir engel bulunduğundan stres etkili değildir. Kalıtsal olabilir veya olmayabilir [62]. Tolerans, bitkinin strese maruz kalması durumunda, hayatını devam ettirebilmesi için metabolizmasını

düzenlemesi ve böylece stresin etkilerini azaltması, tamir etmesi, yani strese tahammülü olarak tarif edilir.



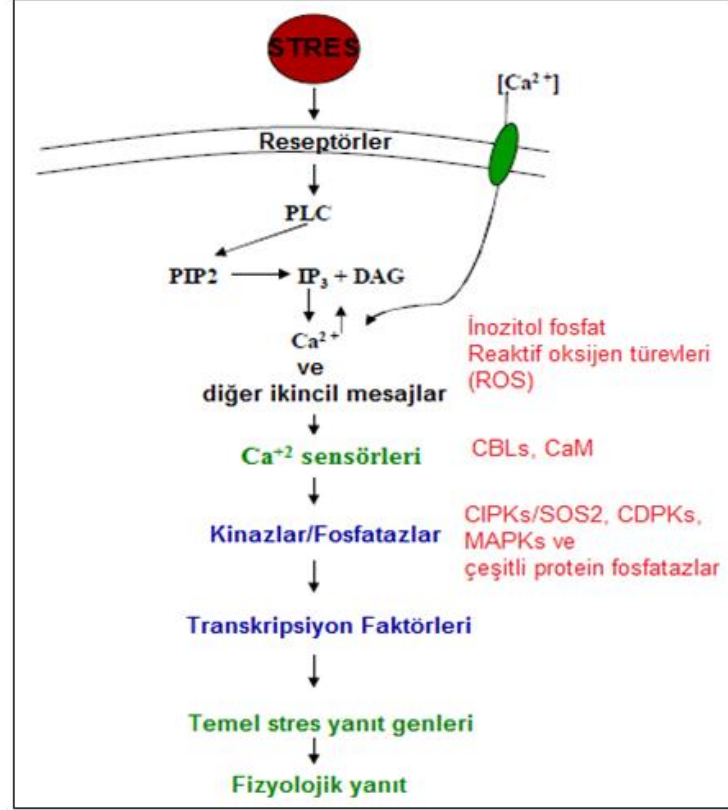
Şekil 1.7: Bitkilerde belirli faktörlere göre ortaya çıkan stres cevapları

Bitkiler stres koşullarına maruz kaldıklarında, strese karşı fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde cevaplar verirler. Moleküler düzeyde stres cevapları; koruyucu moleküllerin sentezi, iyon homeostasisi, ROS oluşumu ve detoksifikasyon şeklinde gruplandırılabilir. Biyokimyasal düzeyde, bitkiler ozmodüzenleyici bileşikler üreterek strese karşı koymaktadır.

Sıcaklık stresi altındaki bir bitkide 'ısı şoku proteinleri', ağır metal stresinde ise fitokelatinler sentezlenir. Cd bağlayan polipeptitler olarak bilinen fitokelatinler ortamda ağır metal olduğunda fitokelatin sentaz yoluyla GSH'dan sentezlenirler. Toleranslı ağaç türlerinden olan *Ailanthus altissima* köklerinde bu araştırılmış, fitokelatinlerin Cd'ü bağlayarak vakuole taşıdığı saptanmıştır [63] Aynı ağaç türü terkedilmiş madenlerde fitoremediasyon yönünden incelenmiş ve köklerde yüksek konsantrasyonlarda Pb ve As birikimi saptanmıştır [64].

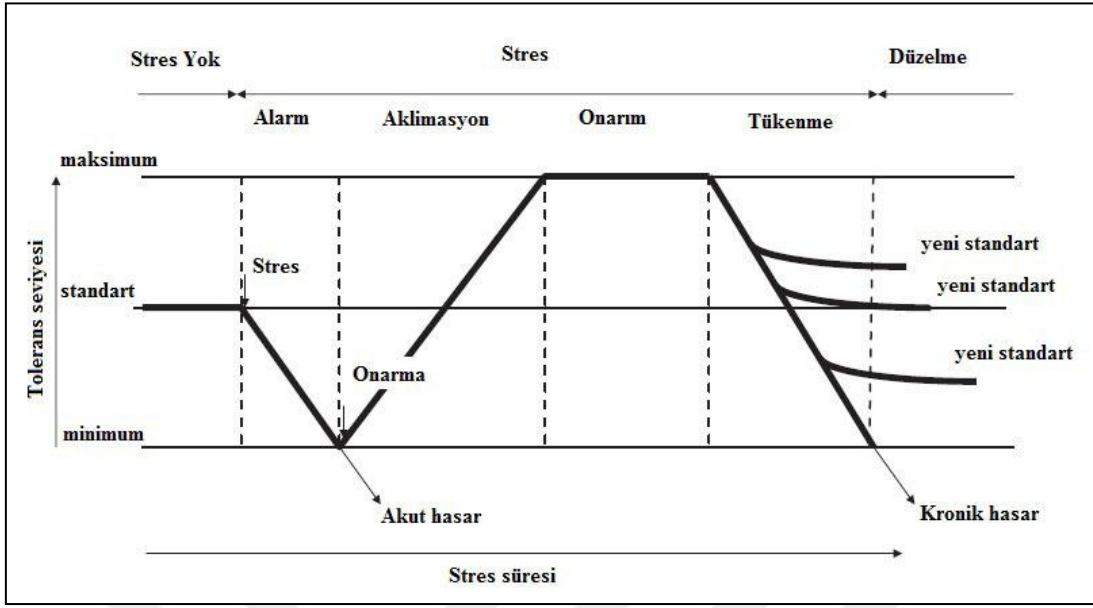
Abiyotik strese maruz kalmış bir bitkide cevap, bitkinin genetik yapısı ile bağlantılıdır. Stres durumunda, öncelikli olarak plazma membranı üzerinde yer alan protein yapısındaki reseptörler uyarılır. Sonrasında, stres değerlendirilir, ikincil mesajcıların (kalsiyum, reaktif oksijen türevleri, inositol fosfat) üretimi gerçekleşir ve ilgili genler aktive olur. Böylece bitki, strese

faktörüne karşı cevap oluşturur. Stres durumunda, Etilen ve Absisik asit gibi bitkisel hormonların üretiminde ve bazı gen ifadelerinde değişimler görülür [65,66].



Şekil 1.8: Abiyotik streste sinyal iletim yolu [65]

Bitkiler, abiyotik stres etkisine karşı, başlangıç alarm evresi, aklımasyon evresi, onarım evresi ve tükenme evresi olmak üzere dört aşamadan oluşan bir cevap verirler [67]. İlk evrede, bitki stres durumuna alışmadığı için tolerans seviyesi düşer. Aklımasyon evresinde, bitki metabolizmasında iç denge kurulur ve tolerans seviyesi artar. Onarım evresinde, tolerans seviyesi maksimum düzeydedir ve sabit kalır. Tükenme evresinde, stres çok uzun süre devam ederse, bitkinin tolerans seviyesi düşer. Stres faktörleri ortadan kalktıktan sonra bitki düzelme evresine geçer ve iç denge stressiz koşullara göre yeniden sağlanır.



Şekil 1.9: Abiyotik stres faktörlerine karşı bitki cevapları [67]

Belirli bir derişimin üzerinde zararlı etki gösteren, fiziksel özellik bakımından yoğunluğu 5 g/cm^3 'ten fazla olan metaller “ağır metal” şeklinde tanımlanır. Ağır metallerin pek çoğu canlılar için mikro besin elementi olarak kullanılabildikleri gibi toksik etkide gösterebilmektedir. Bitkiler, yapılarında birikebilen ağır metaller nedeniyle sağlık açısından riskli olabilir.

Çinko demir, bakır, mangan, molibden, nikel gibi ağır metallerin bazıları canlıların gelişimi için gereklidir ancak aşırı miktarları yine bitki fizyolojisini olumsuz yönde etkileyerek toksik olabilmektedir. Kadmiyum, civa, arsenik, kurşun ve krom gibi ağır metaller, çok az miktarlarda dahi canlılarda toksik etkiye sebep olmakta, büyüme ve gelişmeyi olumsuz etkilemektedirler [68].

Ağır metallerin canlı vücudunda birikimi, ciddi hastalıklara neden olabilmektedir [69,70]. Ağır metaller, toprak, hava, su ve gıda yoluyla insan vücuduna girebilmektedir. Genel olarak, ağır metaller uzun süreli maruz kalma birçok hastalığa neden olabilmektedir.

Günümüzde sanayileşme ile oluşan su ve toprak kirlenmesi, birçok ülke için ciddi boyutlarda tehlike oluşturmaktadır. Belli bir miktarın üzerinde bulunan ağır metallerin oluşturduğu çevresel kirlilik, sucul yaşama ve bu sular ile sulanan tarımsal alanlarda yetişen bitkilere ve besin zinciri aracılığıyla da insanlara zarar vermektedir [71]. Egzoz dumanları, endüstriyel

faaliyetler, maden işletmeleri, kentsel atıklar ağır metallerin yayılmasına sebep olan önemli faktörlerdir [72-74].

Su, hava ve toprakta bulunan ağır metallerin kaynakları aşağıdaki şekilde belirtilmiştir [75];

1) Metal İşletmeciliği

- a) Maden faaliyetleri
- b) Eritilen metallerden
- c) Demir ve çelik endüstrisinden
- d) Metal işletmeciliğinden

2) Endüstri

- a) Plastik maddeler
- b) Tekstil endüstrisi
- c) Ev aletleri yapımından
- d) Ağaç işletmeciliği
- e) Rafineri

3) Havadaki Partikül ve Dumanlar

- a) Şehir, fabrika vs.
- b) Metal işletmeciliği
- c) Taşıtlardan
- d) Fosil yakıtlardan

4) Tarım

- a) Gübreler
- b) Kireçler
- c) Pestisitler
- d) Sulama
- e) Metal aşınması

5) Atıklar

Ağır metaller doğrudan bitki gelişimi ve fizyolojisinde olumsuz etkiler yapmaktadır ve bitkilerde ciddi verim kayıpları olmaktadır [76]. Ağır metal derişimlerinin bitkisel üretim

bölgelerinde fazlamiktarda bulunması bitkide stres sebebidir. Strese giren bitkide, ağır metallerin serbest radikalleri oluşturması bitkisel dokularda hasar oluşturur ve oksidatif zararlara neden olur [77].

Ağır metaller bitkilerde kök boyunda azalmaya, kök, oluşumunu engellenmeye, köklerde epidermis ve hipodermiste bozulmalara, kök ve gövde yaş ve kuru ağırlıklarında azalmaya, dolayısıyla bitki büyümesinde yavaşlamaya sebep olmaktadır. Ayrıca bitkide metalin derişimine bağılı olarak yaprak alanlarında azalma, yaprak şeklinde bozulma, sararma ve leke oluşumları da görünmektedir [78-86].

Ağır metaller bitki dokularında aşırı biriktiklerinde, çimlenme [87], klorofil sentezi [81], fotosentez [88], terleme [89] gibi canlılık olaylarında, hücre membranlarında hasar, su ilişkisinde [90] ve hormon dengesinde bozulma gibi fizyolojik olaylarda değışıme sebep olurlar.

Ağır metal stresi altındaki bitkilerin DNA yapısında meydana gelen değışiklikler, şeker ve protein miktarında azalmalar [91], tohumlarda alfa ve beta amilaz aktivitesinin azalması nedeniyle embriyo gelişimi için gerekli şeker aktivitesinin sağlanamaması ve dolayısıyla çimlenmenin engellendiğı [92] görülür. Ayrıca iyon haline dönüşen ağır metaller serbest bitki yapısına katıldıklarında, protein çökmesine, hücrenin sertleşmesine ve oksijen tüketiminin azalmasına neden olmaktadır [93].

Bitkiler ağır metallere karşı;

- a) Hücre çeperlerinde ağır metallerin birikmesi,
- b) Ağır metallerin sitoplazmada yer alan kofullarda depo edilmesi,
- c) Bazı bitki dokularında ağır metallerin biriktirilmesi,
- d) Bu metallerin köklerde tutularak toprak üstü kısımlara taşınmasının engellenmesi [94],
- e) Bu metallerin etkisini azaltması veya bitki için kullanılabilir hale dönüştürülmesi için bitkinin proteinler, antioksidanlar ve prolin üretmesi,
- f) Organik asitler, aminoasitler ve proteinlere bağlanarak farklı bileşikler oluşturulması [95] şeklinde tolerans ve savunma mekanizmaları geliştirmişlerdir.

Kadmiyum (Cd) IUPAC'a göre periyodik tabloda 12. grup bulunan düşük derişimlerde bile tüm canlı organizmalar için toksik etki yapan, biyolojik yarı ömrü uzun olan, hareket kabiliyeti yüksek bir metallerdir. Kadmiyum ağır metaller arasında, sudaki çözünürlüğü en yüksek olan elementtir. Cd doğal su ekosistemlerinin bozulmasına [96], bitkilerde stres oluşumuna, bitki büyümesinin ve gelişmesinin azalmasına, besin zinciri aracılığıyla canlı vücuduna girerek önemli sağlık problemlerine [97] yol açabilen bir ağır metaldir.

Kadmiyum, aşınmaya karşı koruyucu olması nedeniyle elektronik ve sanayi, gemi ve boya endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır [98]. Ayrıca tarım ilaçları ve ticari gübrelerde bulunması nedeniyle, bunların bilinçsiz ve aşırı kullanılmaları toprakların verimli olan üstteki tabakalarında başta kadmiyum ile bazı ağır metallerin birikmelerine neden olmaktadır. [99]. Özellikle fosforlu gübre uygulamaları ile topraklarda kadmiyum oranının arttığı önceki çalışmalarda belirtilmiştir [100,101]. Trafiğin yoğun olduğu alanlarda egzozlardan dış ortama Cd atılımı olduğu saptanmıştır.

Cd uygulanmış bitkilerin kloroplastlarında yapısal bozuklukların oluştuğu, özellikle tilakoyit zarlarında elektron transferinde aksaklık şeklinde yapısal ve fonksiyonel zararların görüldüğü [102], stoma yoğunluğunun ve boyutunun, yaprak alanının, ksilem damarlarının etkinliğinin azaldığı [103], kök büyüme ve gelişiminin engellendiği görülmüştür. Bunlara ek olarak, Cd'nin suyun ve çeşitli elementlerin (Ca, Mg, P ve K) bitkiler tarafından alınmasına, taşınmasına ve kullanılmasına müdahale ettiği belirtilmiştir [104].

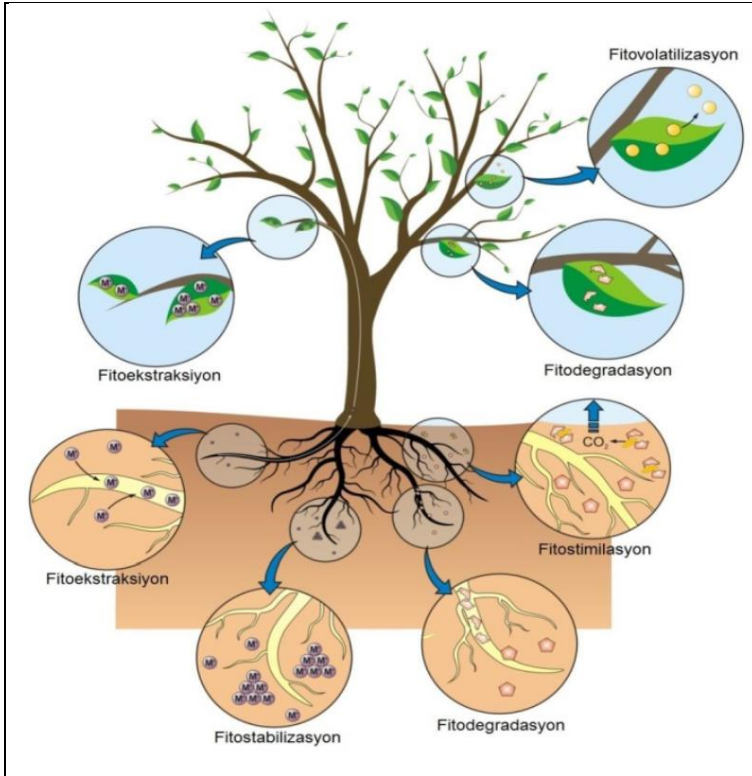
Kadmiyum, lipid peroksidasyonunu uyaran membranların fonksiyonunda değişikliklere ve CO₂ fiksasyonunda yer alan enzimlerin aktivitesini azaltarak ve klorofil biyosentezini inhibe ederek kloroplast metabolizmasında problemlere neden olur [105].

Kadmiyum stresi altındaki bitkilerde, nitrat ve potasyum alımının azaldığı, bu azalma ile birlikte bitkide sürgün gelişiminin zayıfladığı, bitkide yıkım olaylarının gerçekleştiği ve toprakta birikmiş fazla miktardaki nitratın, yer altı sularından su ve topraklara geçerek nitrat kirliliğine neden olduğu görülmüştür.

Ağır metallerin olumsuz etkilerinden dolayı tarımsal üretim yapılan toprakların ağır metallerden arındırılması gerekmektedir. Bu arındırma işlemi için, son zamanlarda gelişmekte olan, uzun dönem uygulanabilirliği sebebiyle ‘fitoremediasyon yöntemi’ tercih edilmektedir.

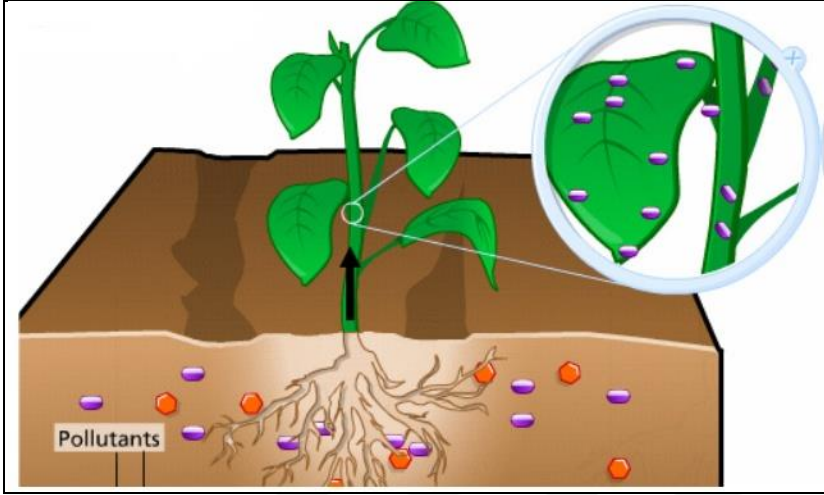
İngilizcede bitki anlamında kullanılan “phyto” ile iyileştirme, ıslah anlamında kullanılan “remediation” kelimelerinden gelen [106] fitoremediasyon, bitkiler kullanılarak organik ve inorganik kökenli kirleticilerin giderilmesine genel olarak verilen bir isimdir. Fitoremediasyonda kullanılan bu bitkiler, toprakta bulunan metal iyonlarını, köklerine veya gövdelerine taşıyabilen ve depo edebilen hiperakümülatör bitkilerdir. Bu yöntemde başarı, bitkideki büyüme miktarına ve yüksek miktarda metal biriktirebilme yeteneği ile orantılıdır. [107].

Fitoremediasyonun, amaçlarına göre farklılık gösteren fitoekstraksiyon (bitkisel özümleme), fitostabilizasyon (köklerle sabitleme), fitodegradasyon (bitkilerde bozunum), fitovolatilizasyon (bitkisel buharlaştırma), kıyı tampon şeritleri, fitohidrolik kontrol ve vejetatif örtü sistemleri olarak çeşitleri mevcuttur. Fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon ve fitofiltrasyon metotları özellikle ağır metallerin remediasyonunda kullanılmaktadır [108].



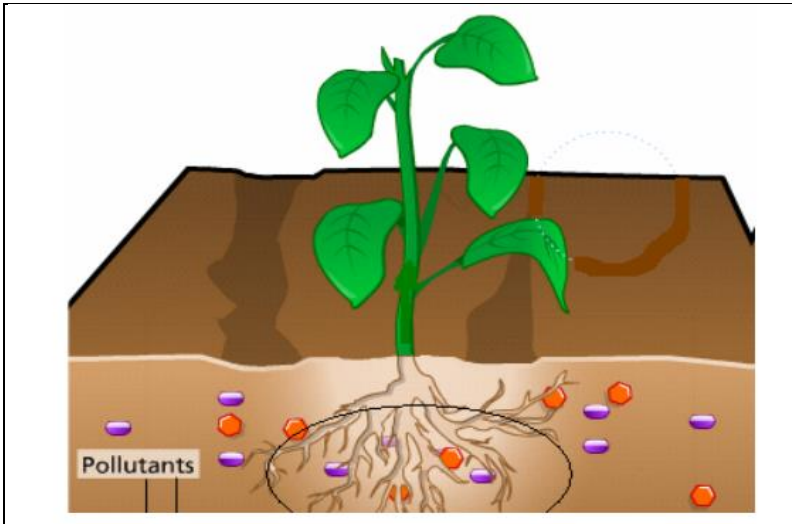
Şekil 1.10: Fitoremediasyon yöntemleri [109]

Fitoekstraksiyon, topraktan kökler ile metal kirleticilerin alınması ve sonrasında alınan bu metallerin bitkinin toprak üstü kısımlarında biriktirilmesidir. Bitkilerin hasat edilmesi ile kirleticiler yok edilir.



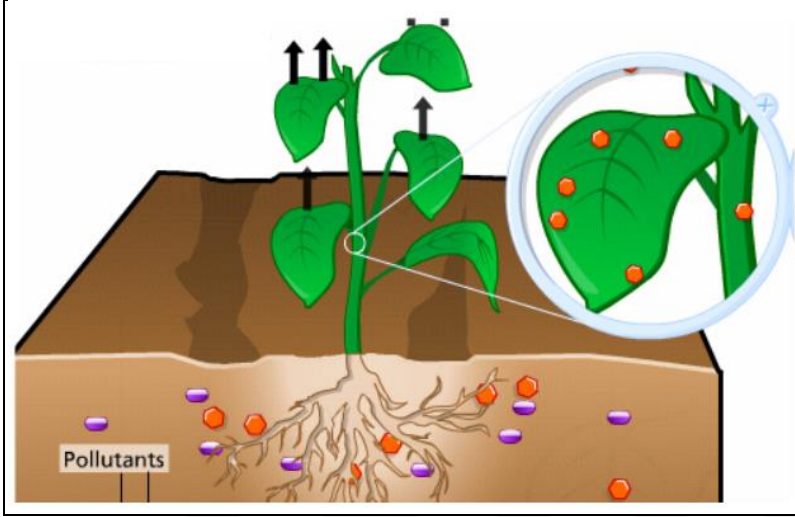
Şekil 1.11: Fitoekstraksiyon yöntemi [110]

Fitostabilizasyon, toprak yüzeyini örten bitkilerin kökleri ile kirleticileri hareketsiz hale getirmektir. [111].



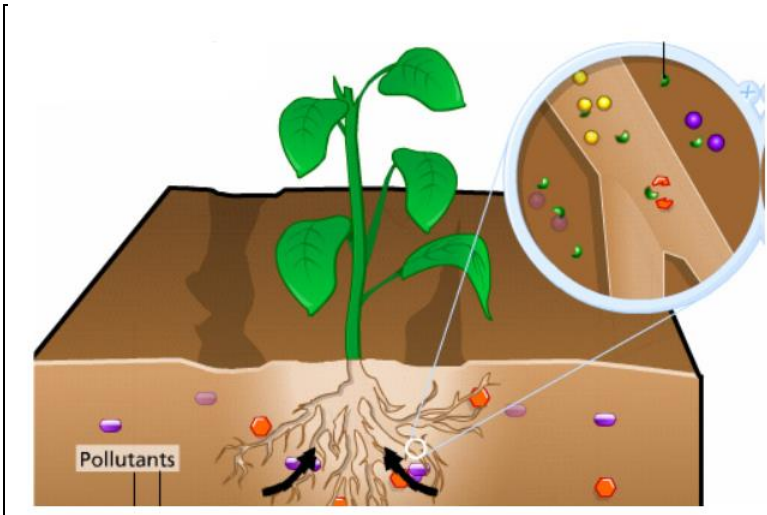
Şekil 1.12: Fitostabilizasyon yöntemi [110]

Fitovolatilizasyonda, toprakta belirli miktarda olan metaller kökler tarafından absorbe edildikten sonra daha az uçucu bileşiklere dönüştürülerek terleme ile atmosfere bırakılır.



Şekil 1.13: Fitovolatilizasyon yöntemi [110]

Fitodegradasyonda, organik kirleticiler bitkideki metabolik faaliyetler, bitki ile toprakta bulunan mikroorganizmalar arasındaki birliktelik ve köklerden salgılanan enzimler ile parçalanmaktadır.



Şekil 1.14: Fitodegradasyon yöntemi [110]

Fitohidrolik kontrol (hidrolik kontrol), bitki aracılığıyla yer altı sularındaki kirleticilerin birikiminin ve taşınmasının engellenmesi veya kontrol altında alınmasıdır. Vejetatif örtü, kirlilik etmenlerinin toprakta kendiliğinden yetişen bitkiler ile kontrol altına alınması yöntemidir. Akarsulara karışan yer altı veya yer üstü sularının içerisindeki kirlilik etmenlerinin giderilmesi amacıyla akıntı yönünde, akarsuların kıyı şeritlerinde uygun bitki yetiştirilmesi işlemi kıyı tampon şeritleri işlemi olarak bilinmektedir.

Fitoremediasyonun avantajları, geleneksel metotlara göre daha uygun maliyetli olma, estetik görünüm kazandırma, erozyonun kontrolünü sağlama, biyoçeşitlilik ve habitat oluşturma, arıtımı yapılan bölgenin tekrar kullanılmasına imkân sağlama ve toprağın kirleticilere maruz kalma riskini azaltmadır. Remediasyon için uzun zaman gerekmesi, etkili derinliğin bitki kökleri ile sınırlı olması, mevsime bağlı kalınması, kirleticilerin yayılma ihtimalinin bulunması (hayvanlar ya da hava ile) ve biyokütle içindeki metallerin bertaraf edilmesi gerekliliği bu yöntem için dezavantaj olarak görülmektedir.

1.3 MİKORİZA

Mikoriza, bitki kökleri ile toprak bulunan bazı funguslar arasında kurulan ortak yaşama verilen addır. Bu birliktelikte, bitki mikorizal fungusa karbon, fungusda bitkiye besin sağlar. Mikoriza, sporları vasıtasıyla ekosistemde var olan bitkilerin %95'ini enfekte etmektedir.

Etkin bir mikoriza, bitkinin özellikle fosfor, çinko ve bakır gibi besin elementlerinin ve suyun alınımını artırır, kimyasal gübre kullanım talebini azaltır, fumigasyon ve solarizasyon sonrası yetiştirilen bitkilerin boylarındaki bodurluğu önler, erken ürün eldesi sağlar, patojenlere karşı bitkiyi korur, ağır metal, kuraklık, tuz stresi gibi birçok stres türünden bitkiyi koruyarak, dayanıklılığını arttırır, kirleticilerin yoğun bulunduğu toprakların olumsuz etkilerini azaltır.

Mikoriza üzerinde yapılan araştırmalar, bitkiye katkılarının önemi açısından, endomikorizal yaşam şekilleri içinde bulunan ve karasal bitkilerin %80'i ile simbiyotik bir yaşam sürdüren Arbusküler Mikoriza (AM) oluşumuna odaklanmıştır. Arbusküler mikorizal mantar topraklarda doğal olarak bulunur ve besin çözünürlüğüne etki eden enzimler salgılar. AMF toprağın su tutma kapasitesini dışarıya doğru ürettiği hifleri ile arttırmaktadır [112,113].



a



b

Şekil 1.15: a) Mikoriza uygulaması yapılmamış (NM) b) Mikoriza uygulaması yapılmış (AM) *Plantago lanceolata* L. bitkilerinden görünüm [114]

Ağır metaller bitki gelişimini olumsuz etkileyen en önemli çevresel faktörlerdendir. Ağır metallerle kirlenmiş olan topraklarda yetişen bitkilerde ağır metallerin bitki büyüme, gelişme, ürün verimi ve bazı ekofizyolojik parametrelerde meydana getireceği olumsuz etkiler mikoriza uygulaması ile azaltılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada,

1) Tedavi amacıyla sıklıkla kullanılan çok sayıda bitkinin kadmiyum ve çinko gibi ağır metaller yönünden incelenmesi ve eğer akümülyasyon varsa bu değerlerin güvenilirlik sınırları belirlenmeli,

2)Ağır metal stresinin tıbbi bitkilerin gelişimi üzerine olumsuz etkilerinin, mikoriza kullanılarak elimine edilip edilemeyeceğinin belirlenmesi,

3)Bitkilerin fitoremediasyon potansiyelinin incelenmesi,

4)Bu tıbbi bitkilerin tohum ve yapraklarının günlük yaşamda kullanılması nedeniyle, zararlı etkileri olan metallerin bitkilerden insanlara geçiş düzeyinin araştırılması amaçlanmıştır.

Çalışmada, bitkisel tedavilerde kullanılan Keten (*Linum usitatissimum*) ve Anadolu Adaçayı (*Salvia fruticosa*) tıbbi bitkileri, Flora of Turkey’de belirtilen ve herbaryumlardan alınan birkaç farklı lokasyondan arazi çalışması yapılarak toplanmıştır. Arazi çalışmasındaki sonuçlar göz önünde bulundurularak uygulanacak ağır metal cinsi ve miktarlarına karar verilmiştir. Buna göre, tıbbi bitkiler, Kadmiyum (Cd) ağır metali ile kirletilmiş ve mikoriza bulunduran (M+) / ve bulundurmayan (M-) topraklarda yetiştirilmiştir. Bitkiler deneme sonunda hasat edilerek, kök-yaprak kuru ve yaş ağırlığı, toplam kuru ağırlık, ağır metaller, mikro ve makro element ölçümleri, toprakta azot miktarı, toplam fenolik madde, prolin ve klorofil analizi, mikorizal enfeksiyon oluşumu ve yüzde dağılımının tespit edilmesi, hücre membran zararı ve iyon sızıntısının belirlenmesi gerçekleştirilmiştir.

Tıbbi bitkiler, metal kirlenmesi, fitoremediasyon ve mikorizal ilişkilerin irdelendiği multidisipliner ve orijinal çalışmamızdaki amaç; botanik, bitki ekofizyolojisi, ekoloji ve çevre kapsamında bilimsel literatüre yeni bir katkı sağlamaktır.

2. GENEL KISIMLAR

Bulgulara göre ilk çağlarda yaşayan insanlar, besin eldesi ve sağlık problemlerini çözmek için öncelikli olarak bitkileri kullanmışlardır [115]. Birçok hastalık insanlık tarihi boyunca bitkiler tarafından tedavi edilmeye çalışılmıştır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), nüfusun %80'inin sağlık sorunlarını öncelikle bitkileri kullanarak giderdiklerini bildirmektedir. Gelişmiş ülkelerde reçete ile satılan ilaçların dörtte biri bitkisel içeriklidir. [116]. Son yıllarda insanların doğal ürün taleplerinin artması ve tıbbi bitkilerin kullanıldığı alanların çeşitlenmesi, bu bitkilerin kullanımının her geçen gün artmasına neden olmuştur.

Keten bitkisinin tarımı binlerce yıldır yapılmaktadır [117]. Türkiye'de tek yıllık, çok yıllık ve endemik olan en az 38 *Linum* türü bulunmuştur [118]. Keten bitkisinin lifi ve yağı için iki farklı üretimi vardır. Uzun boylu ve yüksek dallanan ketenler lif üretimi için, daha kısa boylu ketenler ise se yağ üretimi için yetiştirilir. İnsan sağlığına faydası olan omega yağ asitleri içeren keten tohumu kalp rahatsızlıkları ve obezite gibi birçok hastalığa iyi gelir.

Keten yağının, yemeklik yağ olarak az kullanılmasının nedeni; yüksek linolenik asit oranı nedeniyle kalitesinin azalmış olmasıdır [119,120]. Yeni ıslah çeşitlerinde linolenik asit oranı düşürülerek yemeklerde kullanımı sağlanmaktadır. [121,122].

Lamiaceae familyasına ait en önemli bitkilerden biri şifa verici özelliğinden dolayı Latince tedavi edici anlamına gelen *Salvia* cinsidir. *Salvia fruticosa* Türkiye'de ihracı ve tüketimi en fazla olan *Salvia* türüdür [123]. Çok yıllık çalı formunda olup yaprakları griye yakın renkte, dal rengi ise beyazdır. 120 cm boya ulaşabilen Adaçayının gövdesi üzerinde bulunan tüyler kuraklığa dayanıklı olmasını sağlamaktadır.

Adaçayının günümüzde kullanımı klinik olarak kabul edilmiştir. Örneğin, Bulgaristan'da Manolova ve diğ. [124] tarafından yapılan bir çalışmada antiviral etkisi nedeniyle akut ve kronik bronşit hastalarında kullanılmaktadır. Gıda üzerinde bulunan *Staphylococcus aureus* cinsi bakterilerin gelişimini ve üremesini Adaçayı ekstraktlarının durdurduğu sonucuna varılmıştır [125]. Tereyağı üzerine uygulanan *Salvia fruticosa* ekstraktlarının tereyağının dayanıklılığını arttırdığı saptanmıştır. [126].

Günümüz de tarımda kullanılan kimyasalların insanlar üzerinde olumsuz etkisinden dolayı organik tarıma yönelim başlamış, buda tarımda biyolojik mücadelede farklı seçeneklere talebi

artırmıştır [127]. *Salvia* 'nın toprak üstü kısımlarındaki bazı kimyasalların buharlaşması ve diğer bitkilerin gelişimini engellemesi, organik tarım açısından yabancı ot ile mücadelede önemli bir seçenek oluşturmaktadır. [128].

Son dönemlerde yapılan araştırmalarda, köklerin yanı sıra besin elementleri alımının mikoriza adı verilen ve metrelerce uzunlukta hife sahip mantarlar ile yapıldığı görülmüştür [129-132]. Mikoriza kavramı, aktif bitki kök korteksini infekte eden fungus ile bitkiler arasında meydana gelen karşılıklı faydalı ilişkiyi ifade etmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar mikorizanın atmosferik karbonu toprağa bağladığını göstermektedir [133,134].

Mikoriza oluşumunu, sıcaklık, ışık ve su gibi fiziksel faktörler; pH, N miktarı, mikro besin elementleri, yüksek miktarda fosforlu gübre kullanımı, pestisid kullanımı, tuzluluk gibi kimyasal faktörler etkilemektedir. Bitkiler, sürekli olarak yüksek, orta veya fakültatif ilişkilere kadar değişen, özünde farklı kolonizasyon derecelerine sahiptir [135-138]. Oysa bazı bitkiler AM oluşturma yeteneğinden tamamen yoksundur [139,140].

Mikoriza, dallanan hifleri ve oluşturduğu geniş alan aracılığı ile topraktaki besin elementlerini ve organik maddeyi emer. Mikoriza organik maddeleri parçalayan fosfataz gibi enzimleri sentezleyerek besin alımını sağlar. Marschner ve Dell [141] yaptığı çalışmada mikoriza uygulamasının K, Cu P, Zn N alımını arttırdığını bulmuşlardır. AMF'nin bitkide iyileşme sağlamanın nedeni; bitki köklerinin geniş toprak alanlarına erişimini ciddi derecede arttırmasıdır [142]. Buğday ve yabani buğday'ın beslenme ve verim açısından mikorizaya olan bağımlılıklarının incelendiği çalışmada, mikorizal inokülasyonun kök, sap ve toplam kuru madde ağırlıklarını, kontrol bitkilerine göre 3,97; 5,23 ve 4,77 kat arttırdığını belirtilmiştir. [143].

Zn uygulanan Soya bitkisinde AMF'in köklerden sürgünlere Fe hareketini etkilediğini açıklamışlardır [144]. Mikro ve makro besin elementlerinin konsantrasyonu, fotosentez üretimi, biyokütle birikimi, Cu ve Zn gibi elementlerin kullanılabilirliğini artırdığı belirtilmektedir [132,145,146]. Toprağın ağır metal içeriği arttıkça köklerin mikorizal kolonizasyonu artabilir [147-149]. Bu nedenle, mikorizal mantarlar tarafından yüksek oranda kolonize edilen bazı bitkiler, ağır metalle kirlenmiş topraklarda büyüme yeteneğine sahiptir.

Yapılan çalışmalarda Zn ve Mn'in mikoriza sporlarının çimlenmelerini ciddi ölçüde etkilediği görülmüştür [150]. Yerfistiğinde mikoriza uygulamasının kök ve sürgün uzunluğunda, kuru madde ağırlığında ve yaprak sayısında artışa neden olduğu bulunmuştur [151].

Tonin ve diğ. [152], ağır metaller ve arbüsküler mikoriza uygulayarak yürüttükleri çalışma sonunda, akdeniz yoncasının kök bölgesinde 4 farklı mikoriza belirlemişlerdir. Mikorizanın yonca kökünde Cd ve Zn içeriğini arttırdığını, gövde büyümesinde ise uygulanan ağır metal dozlarına bağlı olarak çok az bir artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Farklı bitkilerde ağır metallerin mikoriza enfeksiyonu ve bitki gelişimi üzerine daha önce yapılmış birçok çalışmada toprakta fazla ağır metal derişiminde kök enfeksiyonun azaldığı, mikoriza uygulaması ile bitki büyümesinin pozitif yönde artış gösterdiği bildirilmiştir. Berreck ve Haselwandter [153], yaptıkları saksı çalışmasında mikoriza uygulanan bitkilerin, mikoriza uygulanmayan bitkilere göre kalsiyum içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir.

Uygun optimum değerler de meydana gelen her değışiklik bitki için stres faktörü olarak tanımlanmaktadır. Bu stres faktörleri abiyotik (ağır metal, kuraklık, tuzluluk, radyasyon, yüksek veya düşük sıcaklık) ve biyotik (patojen, diğ er organizmalarla rekabet) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [154].

Toprak kirliliğı, katı, sıvı ve radyoaktif tüm atıklar tarafından topraktaki kimyasal ve fiziksel dengenin bozulması olarak tanımlanmaktadır ve son yıllarda dünyada ve ülkemizde ciddi bir problem haline gelmiştir. Toprakta bozulmaya sebep olan etkenlerin en önemlisinin ağır metaller olduğı bilinmektedir. Bu ağır metallerin miktarlarının eşik düzeyin üstünde bulunması önemli sorunlar oluşturur [155].

Ağır metallerin bitki dokularında fazla miktarda birikimi strese sebep olmakta ve mineral besin alımı, stoma hareketleri, enzim aktivitesi, su absorbsiyonu, protein sentezi, çimlenme, membran stabilitesi, fotosentez, transpirasyon, nükleik asit yapısı ve hormonal denge bozuklukları gibi birçok fizyolojik ve biyokimyasal olayların değışmesine neden olmaktadır [156]. Toprak kirliliğinin artması ile gelecekte fitoremediasyon yöntemi için maksimum metali bünyelerinde biriktirebilen bitkilere ihtiyaç duyulacaktır. Bitkiler, metal dışlayıcılar (metali toprak üstü kısımlarına almayan ama fazla miktarlarda köklerinde biriktirebilen), metal indikatörleri (topraktaki ağır metal miktarı kadar toprak üstü aksamalarına alan) ve akümülatörler (ağır metal

kirliliği ile mücadelede kullanılan, topraktaki metal miktarından daha fazlasını toprak üstü aksamalarında biriktiren) olarak gruplandırılmaktadır [68].

Yüksek derecede toksik etkiye sahip Cd, kök ve sürgün gelişmesini engellemekte, kaliteyi düşürmekte ve verimi azaltmakta, klorofil yapısının bozulmasına neden olmaktadır [157,158]. Uluslararası Kanseri Araştırmaları Ajansı tarafından 1. sınıf kanserojen etkeni olarak kabul edilen Cd kemik erimesi ve kansızlık gibi önemli rahatsızlıklara sebep olabilmektedir [159]. Gharebaghi ve diğ. [160], iki fesleğen türünde Cd'un kök ve yapraklarındaki etkisini araştırmış, yaprak sayısı, bitki boyu ve kök uzunluğunun Cd konsantrasyonu arttıkça azaldığını bulmuşlardır. Cd'a maruz kalan marulda yaprak ve köklerinde besin dengesizliklerinin olduğu, fotosentetik verimliliğin önemli ölçüde azaldığı ve lipid peroksidasyonun arttığı belirlenmiştir [161].

Arbusküler mikorizanın (AM), kök sisteminde Cd'yi hareketsiz hale getirerek bitkilerde Cd translokasyonunu azalttığı bilinmektedir. Rask ve diğ. [162], 6 farklı bitki türüne 7 farklı seviyede Cd uygulamışlardır. Orta düzeylerde Cd'nin, simbiyozun bozulduğu belirli bir eşiğe kadar mikorizal kolonizasyonu uyardığı, özellikle çok yüksek AM kolonizasyonuna sahip bitkilerde, simbiyozun Cd'nin sürgünlere yer değiştirmesini azalttığından, AM mantarlarının Cd'ye karşı koruyucu etkisinin olduğunu, bitki türleri ve AM kolonizasyonu kombinasyonunun, bitkilerde Cd alımını belirlediğini saptamışlardır. AM'nin bu nedenle Cd ile kirlenmiş toprakta bitki yetiştirirken göz önünde bulundurulması gereken önemli bir özellik olduğu düşünülmektedir. Mikoriza uygulaması sürgünlerdeki Cd konsantrasyonu çok daha az zararlı bir düzeye indirmiştir. Bu koruma bitkilerde sadece Cd alımını belirlememekle birlikte, kökler ve sürgünler arasındaki Cd translokasyonunun, özellikle çok yüksek AM kolonizasyonu ile karakterize edilen bitkilerde, hem bitki türlerinden hem de mikorizal kolonizasyon derecesinden oldukça etkilendiğini göstermiştir.

Daha önce farklı konsantrasyonlarında Cd, Cu, Mn, Pb ve Zn ile kirlenmiş olan topraklarda marul, turp, havuç ve ıspanak bitkilerinin yetiştirildiği çalışmada, ıspanağın yüksek oranda Mn ve Zn biriktirdiği, Cu ve Pb'nin nispeten daha düşük konsantrasyonlarda olduğu, bitkilerde Cd, Cu, Mn ve Zn alımının, toprak kirliliğinin artması ile arttığı, Pb'nin alımının düşük olduğu ve topraktan bitkiye ağır metal transfer değerlerinin $Mn > Zn > Cd > Cu > Pb$ olduğu belirtilmiştir. [163]. Çatak ve diğ.[164], tütün ve domates'de Cd'un bitkilerin bazı fizyolojik ve morfolojik özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Artan Cd konsantrasyonuna bağlı olarak

tohumların çimlenme oranlarının, kök ve hipokotil gelişimlerinin azaldığı belirlenmiştir. Bitkiler tarafından mikoriza ile bağlantılı olarak artan besin alımı, klorofil içeriğini artırır. [165]

Doğaroğlu [166], marulda farklı konsantrasyonlardaki Zn, Cd ve Pb metallerinin tohum çimlenmesi, kök, gövde uzaması ve bitki biokütlesi üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda Pb uygulamasının ise düşük konsantrasyonlarda çimlenmeyi arttırdığı, Zn ve Cd uygulamalarının tohum çimlenmesini azalttığı, her üç metalin de bitkinin kök ve gövde uzamasında engelleyici etki gösterdiği ve köklerin gövdeye göre daha duyarlı olduğu saptanmıştır.

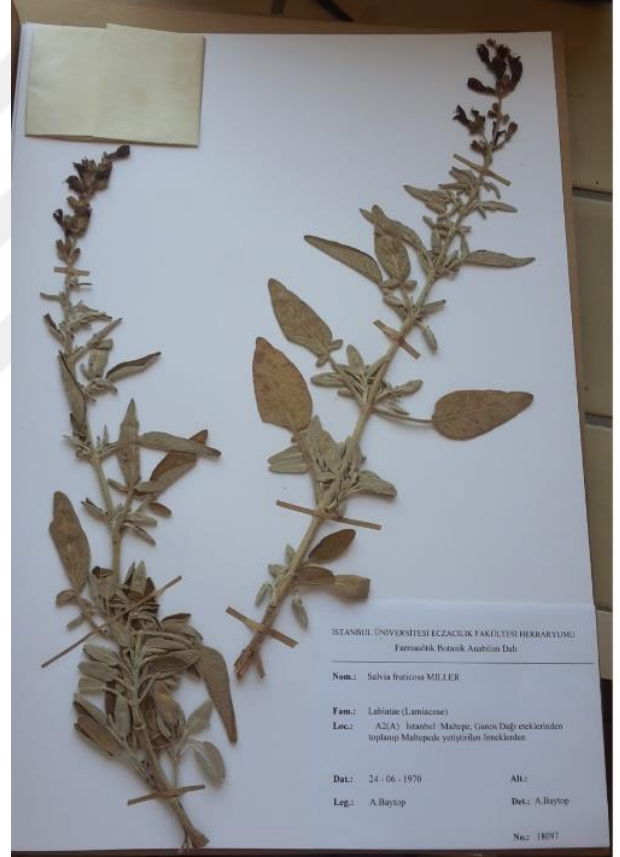
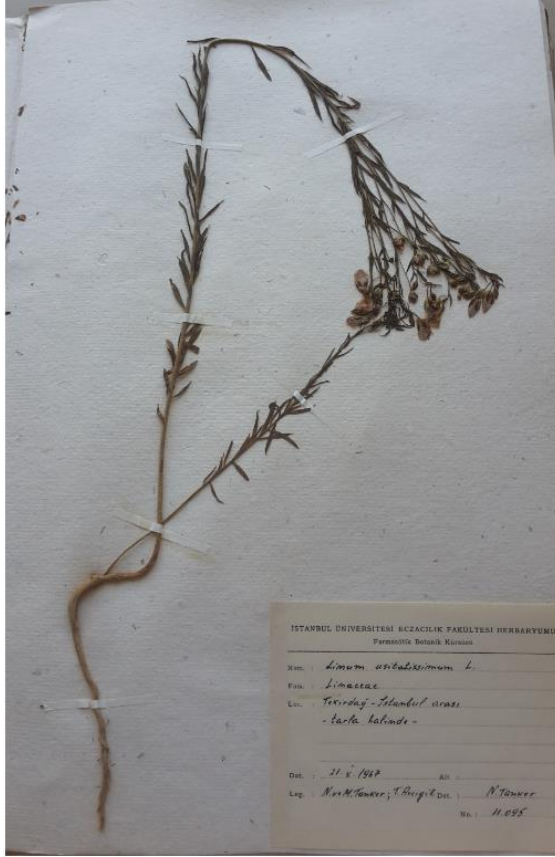
Masood ve diğ. [167], Cd ve Cr'nin *Glomus intraradices* ile *Linum usitatissimum*'un büyümesi, fotosentetik aktivitesi ve metal alımı üzerindeki farklı etkileri üzerine çalışmışlardır. 24 günlük deneyde ketende ağır metal birikim oranı, her iki metal için 250 ila 500 ppm konsantrasyon aralığında Cd için %90 ila %95 ve Cr için %61–84 arasında değişmiştir. Keten büyüme ve fotosentetik aktivite sırasıyla ortalama %21 ve %45'e düşmüştür. Bununla birlikte, *G. intraradices*'in aşılınması, metal stresli koşullar altında bile bitki biyokütlesini önemli ölçüde arttırmıştır. Ek olarak, mikorizal birliktelik, Cd ve Cr alımının sırasıyla %23 ve %33 oranında artmasına yardımcı olur. Metal stresi nedeniyle klorofil Cd ve Cr stresi altında prolin içeriği sırasıyla %27 ve %45 azalırken, prolin içeriği %84 ve %71 arttı. Mevcut sonuçlar, keten bitkisinin mikorizal mantar ile daha da artabilen ağır metal toleransı ve birikimine karşı farklı tepkisini ve potansiyelini açıkça göstermektedir. Mikorizalı ve mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda, farklı ağır metal konsantrasyonlarında, büyüme ve bitki biyokütlesinde azalma gözlenmiştir. Elde edilen verilere göre metal stresi altında hem aşılınmış hem de aşılınmamış bitkilerin biyokütlesinin azalmasının, hücresel ve moleküler düzeyde meydana gelen çeşitli biyokimyasal süreçlerdeki değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 ARAZİ ÇALIŞMASI

Çalışmamızda kullanacağımız tıbbi bitkiler (*S.Fruticosa* ve *L.usitatissimum*) için Flora of Turkey’de belirtilen birkaç farklı lokasyondan toplamak üzere Temmuz-Ağustos aylarında arazi çalışması yapılmıştır.

Lokasyonların belirlenmesi için İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi ve Eczacılık Fakültesi Herbaryumu ve Ege Üniversitesi Herbaryumundan bilgi alınmıştır.



Şekil 3.1: Herbaryum Örnekleri

Ayrıca *Salvia fruticosa* Mill. bitkisinin toplamasının yapılacağı lokasyonlar için Dr. Ünal KARIK'tan destek alınmıştır. (Dr. Ünal KARIK'tan alınan lokasyonlar Çizelge 1'de belirtilmiştir.)

Tablo 3.1: *Salvia fruticosa* Mill. Bitkisi için Toplama Yapılacak Lokasyonlar

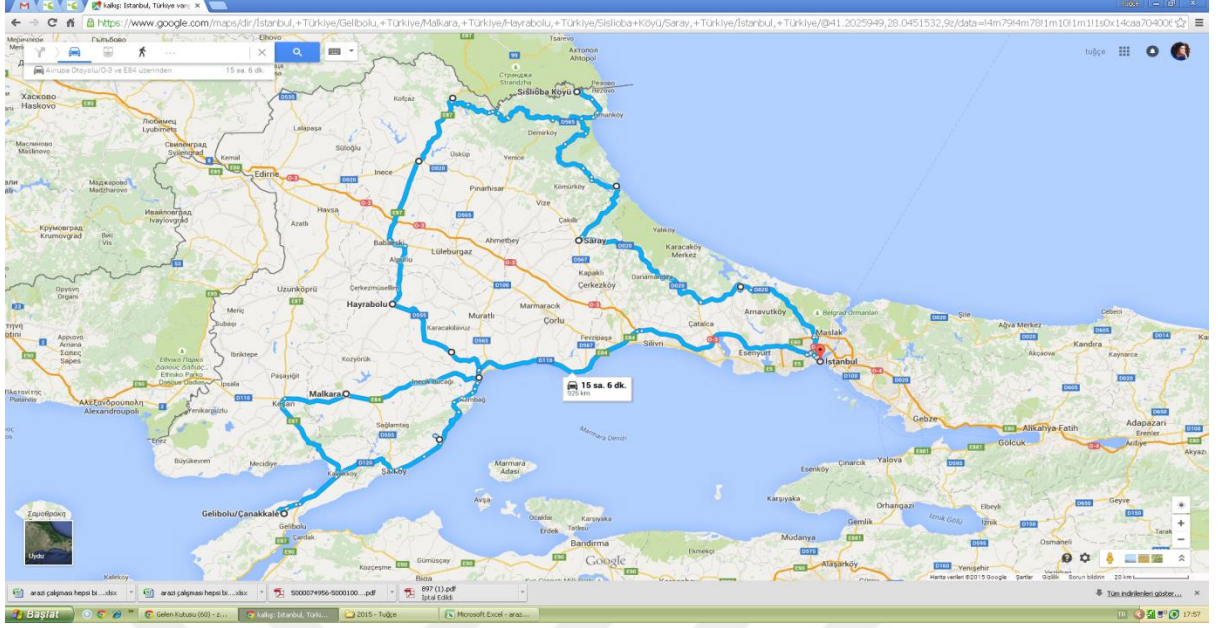
NO	TOPLANDIĞI YER	KOORDİNATLAR
1	TEKİRDAĞ-MERKEZ-KUMBAĞ ORMAN KAMPI-1	40° 51. 591K 27°27. 513D 8 m
2	TEKİRDAĞ-MERKEZ-KUMBAĞ ORMAN KAMPI-2	40° 51. 525K 27° 27. 510D 41 m
3	TEKİRDAĞ-ŞARKÖY-UÇMAKDERE	40° 51. 525K 27° 21. 478D 44 m
4	TEKİRDAĞ-ŞARKÖY-GAZİKÖY	40° 45. 385K 27°20. 069D 140 m
5	TEKİRDAĞ-ŞARKÖY-GAZİKÖY	40° 45. 694K 27°20. 332D 30 m
6	TEKİRDAĞ-ŞARKÖY-GAZİKÖY	40° 46. 397K 27°21. 305D 12 m
7	TEKİRDAĞ-MERKEZ-UÇMAKDERE	40° 48. 385K 27°23. 496D 14 m
8	BALIKESİR-MARMARA-GÜNDOĞDU	40° 34. 962K 27°35. 779D 61 m
9	BALIKESİR-MARMARA-GÜNDOĞDU	40° 35. 002K 27°35. 853D 71 m
10	BALIKESİR-MARMARA-GÜNDOĞDU	40° 34. 991K 27°35. 966D 10 m
11	BALIKESİR-MARMARA-GÜNDOĞDU	40° 34.992K 27°36.081D 75 m
12	BALIKESİR-MARMARA-GÜNDOĞDU	40°34. 884K 27°36. 152D 85 m
13	BALIKESİR-MARMARA-GÜNDOĞDU	40° 34. 978K 27°36. 578D 93 m
14	BALIKESİR-MARMARA-TOPAĞAÇ	40° 38. 522K 27°42. 040D 84 m
15	BALIKESİR-MARMARA-TOPAĞAÇ	40° 38. 972K 27°42. 017D 28 m
16	BALIKESİR-MARMARA-VİRANKÖY	40° 39. 420K 27°36. 161D 71 m
17	BALIKESİR-MARMARA-VİRANKÖY	40° 39. 417K 27°36. 381D 18 m
18	BALIKESİR-MARMARA-VİRANKÖY	40° 39.041K 27°36. 696D 39 m
19	BALIKESİR-MARMARA-YANADA	40° 38.792K 27°42. 250D 65 m
20	BALIKESİR-MARMARA-ÇINARLI	40° 37.460K 27°31.975D 98 m

Tablo 3.2: İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Herbaryumundan Alınan Lokasyon Bilgileri

	TOPLANMA YERİ
<i>Salvia fruticosa</i>	Muğla-Bodrum-YalıkavakLokasyonu (50-100 m)
<i>Salvia fruticosa</i>	Antalya-Kalkan Lokasyonu (150 m)
<i>Salvia fruticosa</i>	Aydın-Kuşadası-Yavansu Mevki Lokasyonu (10-50 m)
<i>Salvia fruticosa</i>	Balıkesir-Marmara Adası-Gündoğdu Köyü Lokasyonu (20-30 m)
<i>Salvia fruticosa</i>	Çanakkale-Gökçeada-Zeytinli Köyü Lokasyonu (50- 60 m)
<i>Salvia fruticosa</i>	İzmir-Cumaovası-Yoncaköy Sırtları Lokasyonu (50- 100 m)
<i>Salvia fruticosa</i>	Çanakkale-Gökçeada-Zeytinli Köyü Lokasyonu (50-60 m)
BİTKİ TÜRÜ	TOPLANMA YERİ
<i>Linum usitatissimum</i>	Konya- Cihanbeyli yolu 54 km. Yol ve tarla kenarı ca:1000 m.
<i>Linum usitatissimum</i>	Ankara-Haymana otoyolu (69 km.) Dereköy-Haymana arası, Haymana'dan 4 km önce yol ve tarla kenarı
<i>Linum usitatissimum</i>	Adana- Karataş
<i>Linum usitatissimum</i>	İstanbul-Ispartakule
<i>Linum usitatissimum</i>	İstanbul-Beykoz
<i>Linum usitatissimum</i>	İstanbul-Şile yolu
<i>Linum usitatissimum</i>	Ankara- Karacaören- Emirler köyü mevkii, Ankara- Konya karayolu kenarı tarla kenarı
<i>Linum usitatissimum</i>	Nevşehir- Gülşehir 'e gelirken (Ürgüpten) 18 km kala tarla kenarı

Ancak bu dönemde lokasyonların tamamına gidilememiş sadece Marmara Bölgesindeki belli lokasyonlara gidilebilmiştir.

Temmuz 2015'te daha önceden belirlenen lokasyonlara arazi çalışması yapılmıştır. Arazi çalışması öncesinde güzergah belirlenmiş, araziye giderken yanımızda bulundurmanız gereken malzemeler hazırlanmıştır.



Şekil 3.2: Arazi planı

Araziye Giderken;

- Arazi defteri, not defteri, lup (büyüteç), teşhis takımı, pres, küçük ve büyük boy poşetler, ip, zarf, çakı, kese kağıdı, kilitli küçük poşet, not kağıtları, kürek, kazma,
- Dijital makine, bilgisayar kabloları, makro aydınlatma, siyah zemin, dürbün, tripod, GPS, harita, pusula yanımıza alınmıştır.

İstanbul'dan yola çıkılarak Çorlu-Tekirdağ-Kumbağ-Şarköy-Gaziköy-Çanakkale-Hayrabolu-Lüleburgaz lokasyonları gezildi.

Arazi çalışmasında Ayvasıl - Karabatak Mevkii Deniz kenarı (Paraşüt atlama yeri)'nda sadece *Salvia fruticosa* türüne ait tek bir örnek toplanabildi. Örnek yoğun kokulu, örnek alınan toprak kumluymdu. Yükseklik; 13 metre. Koordinatlar; 40° 48.0,36 K ; 27° 23.0,64 D.

Arazi çalışması sırasında örnek toplanırken;

- 1- Bitkinin habitatıyla beraber genel bir fotoğrafı çekildi.
- 2- Kazma kullanarak bitki kökünden çıkarıldı. Uygun bir ortam olmadığı için orada preslenemedi, bir çöp poşetinin içine küçük bir kağıda numarası yazılıp poşet içine konuldu.

3- Deftere bitkinin bulunduğu yer, habitatı, özellikleri, GPS koordinatları, numarası, yüksekliği yazıldı.

4- Herbaryum örneği için ayrı bir bitki seçildi.

Toplanan bitkiler çok zaman geçmeden uygun bir alan bulunur bulunmaz preslendi, parçalanarak yaprak, kök, gövde yaş ağırlıkları ile toprak örneklerinin ağırlıkları ölçüldü.

Bu tarihte mevcut adresler ziyaret edilmiş ancak vejetasyonun bu bölgede geçtiği tespit edilmiştir. Aynı bölgeye daha ileri bir tarihte yeniden bir arazi çalışması yapılmasına karar verilmiştir.

Bir sonraki arazi çalışmaları Mayıs–Haziran 2016 günlerinde daha önceden belirlenen lokasyonlara yapılmıştır. Ayrıca lokasyonlar arasında geçiş yapılırken daha önce herbaryumlarda belirtilmeyen konumlarda bitki örneklerine rastlanılmıştır. Bu örnekler arazide, herbaryumlara verilmek üzere preslenmiştir.

Mayıs’ da İstanbul’dan yola çıkıldı. Daha önceden belirlenen arazi planı takip edildi. Yapılan arazi çalışmasında Kumbağ Mesire yerinin denize bakan yamacında *Linum usitatissimum* türüne ait örnek toplandı. Örnek bu bölgede dağınık halde bulunuyordu. Yine aynı bölgede *Salvia fruticosa*’ya ait bitki örneği toplandı. Örnek çalı formunda ve yoğun kokuluydu.

Arazi çalışmasında Mürefte-Barbaros yolu üzerinde denizin karşı tarafında yol kenarında bulunan *Linum usitatissimum* ve *Salvia fruticosa*’ya ait bitki örnekleri toplandı. Arazi hafif sulak bir alandı ve yılanlara rastlanıldı.

Eski İstanbul -Kırklareli yolu üzerinde otoyol girişinde (Bitki Korusu Ağaçlandırma Sahası Yakınlarında) 2-3 km sağlı sollu olarak yol boyunca bulunan *Linum usitatissimum*’a ait bitki örnekleri toplandı.

Haziran 2016'da Pazar yapılan arazi çalışmasında Sislioba-Demirköy yolu üzerinde (İğneada'ya giden yol üzerinde) sağlı sollu olarak yol boyunca bulunan *Linum usitatissimum* 'a ait bitki örnekleri toplandı. Toplanan bitkiler çok zaman geçmeden uygun bir alan bulunur bulunmaz preslendi, parçalanarak yaprak, kök, gövde yaş ağırlıkları ile toprak örneklerinin ağırlıkları ölçüldü.



Şekil 3.3: Araziden toplanan bitki örneklerinin ayrılmış hali (kök-gövde-yaprak)



Şekil 3.4: Arazide çekilen fotoğraflar (a- *Salvia fruticosa* - Temmuz 2015 - Ayvasıl - Karabatak Mevki b- *Linum usitatissimum*- Haziran 2016- Sislioba-Demirköy yolu c- *Salvia fruticosa* – Mayıs 2016 - Mürefte-Barbaros yolu üzeri)

3.2 ARAZİ NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

Araziden toplanan bitki örnekleri parçalara ayrıldıktan sonra etüvde 70°C’de 48 saat bekletildi. Kurutma işlemi tamamlanan numuneler öğütüldü. Numunelerin öğütülmesi homojenlik sağlanarak temsil kabiliyeti yüksek analiz numunesi hazırlanması ve kimyasal işlemlerin etkinliğinin artırılması açısından çok önemlidir. Öğütülen örnekler saklama poşetlerine aktarıldı ve etiketlendi.

Belli miktarda tartılan örnekler bitkide yaş yakma yöntemi kullanılarak yakılmıştır. İşlem mikrodalga sisteminde (Berghof Microwave) yüksek basınca dayanıklı özel teflon kaplar içerisinde gerçekleşmiştir.

Farklı asit ve asit karışımlarıyla yapılan ön denemelerden sonra bizim örneklerimizde en başarılı sonucu veren 10ml HNO₃

Yüksek saflıkta (%65), laboratuvar çalışmalarına uygun nitrik asit eklenerek emniyet diskleri yerleştirilmiştir ve kapakları kapatılmıştır. Son aşamada prizmalı ve ısıya dayanıklı kapaklar sıkıca kapatılarak uygun düzende mikrodalgaya yerleştirilmiştir. Literatür taranarak uygun sıcaklık ve basınç dereceleri belirlenmiştir. Yaş yakma istenen zaman dilimi (60 dakika) ayarlanarak tamamlanmıştır.

Kuru organik maddenin tamamen parçalanarak inorganik çözelti haline geçtiği örnekler ilk olarak 9mm’lik külsüz filtre kağıdı ile (Whatman-42) süzölmüş ve balon jojelere (25ml) aktararak Ultrapure (Elga) deiyonize su ile 25ml’ye seyreltilmiştir. Ardından ICP-OES’in donanımları içinde bulunan ince tüpler ve sisleştiriciyi (nebulizer) tıkamamak amacıyla 45µ’lik özel memran filtrelerdentekrar geçirilmiş ve 15ml’lik özel tüplere aktarılarak ölçüme kadar buzdolabında saklanmıştır.



Şekil 3.5: Yaş yakma işlemi cihazı Berghof Mikrodalga



Şekil 3.6: Berghof mikrodalganın özel teflon tüpleri



Şekil 3.7: Filtrelenmiş örnekler

Element stoklarından istenilen oranlarda karıştırılarak iyon tayini için kullanılmak üzere standartlar hazırlandı. Kalibrasyon solüsyonu için saf su ile hazırlanmış %1 lik HNO_3 çözeltisi kullanılmıştır. Boş okuma solüsyonu (blank reagent) için sadece 10 ml HNO_3 kullanılmıştır. Element ölçümleri ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopisi) ile yapılmıştır.



Şekil 3.8: ICP-OES cihazı (İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopisi, Perkin Elmer)

3.3 DENEY DÜZENİĞİNİN KURULMASI

Çalışma ‘rastgele parseller deneme desenine’ şeklinde planlanarak iki faktör olarak yürütülmüştür. Faktör 1) iki farklı mikoriza uygulaması (mikoriza bulunduran (AM) ve mikoriza bulundurmeyan (NM)) 2) farklı seviyedeki ağır metal uygulamasıdır.

Çalışmada yetiştirme ortamı olarak torf+kum+perlit kullanıldı. İstanbul Büyükşehir Belediyesinden alınan kum örnekleri elekten geçirildi. Elekten geçirilen kum örnekleri 121°C’de 1,5 saat otoklavda steril edildi. Otoklavdan çıkarılan kum örnekleri 70°C’de 12 saat boyunca etüvde bekletildi. Tohumların çimlendirileceği multipotlar etiketlendi ve alt kısımdaki boşluklar suyun akışını engellemek için siyah bez bant ile kısmen kapatıldı.



Şekil 3.9: Otoklav için hazırlanan kum örnekleri



Şekil 3.10: Etiketlenen ve bantlanan multipotlar

Tohumlar Zeytinburnu Tıbbi Bitkiler Bahçesi'nden temin edildi. +4°C' ye konulan tohumlar 1 hafta bekletildi ve ardından çimlendirildi (Çimlenme işlemi sırasında multipotun 20 bölmesi kullanıldı. Her bir bölmeye ortalama 3 tane tohum konuldu.) Hazırlanan multipotlar iklim odasına yerleştirildi.



Şekil 3.11: Multipotlarda çimlendirilen tohumlar



Şekil 3.12: İklim odasına yerleştirilen multipotlar

Çimlenmeye bırakılan tohumlar 2 gün arayla sulandı. (Musluk suyu kaynaklı herhangi bir bulaşı önlemek için sulama işleminde deney boyunca distile su tercih edilmiştir.) Çimlenmeden yaklaşık 2 hafta sonra bitkiler saksılara şaşırtıldı. Eş zamanlı olarak mikoriza uygulaması yapıldı. Araştırmamızda AMF çeşidi olarak *Rhizophagus intraradices* kullanılmıştır. Fideler saksının ortasına, kum yüzeyinden 7 cm derinliğe ekilmiştir. Denemede mikorizalı karışımdan her saksıya 5 gr uygulanmıştır.



Şekil 3.13: Mikoriza uygulaması

Deney sonunda mikoriza uygulamasının etkisini görmek amacıyla, mikoriza uygulanan ve uygulanmayan bitkilerin ağırlıkları ölçüldü. Tüm uygulamalar sonunda hazırlanan saksılar, iklim odasına yerleştirilmiştir.



Şekil 3.14: Denemenin yürütüldüğü iklim odasından mikoriza uygulanan ve uygulanmayan bitkilerin genel görünümü

Şaşırtma ile eş zamanlı olarak mikoriza uygulaması yapılan bitkilerdeki gelişime bağlı olarak, yaklaşık 2 ay sonra ağır metal stresi uygulanmıştır. Uygulama 21 gün boyunca gün aşırı İngestad besi çözeltisi ile birlikte gerçekleştirildi. Uygulanacak olan ağır metal çeşidi ve konsantrasyonları arazi çalışması sırasında toplanan bitkilerdeki sonuçlar ve bu metallerin normal ve toksik derişimleri için referans değerler gözönüne alınarak belirlenmiştir. Kontrol olarak İngestad besi çözeltisinin kullanıldığı deneylerde (değiştirilmiş, Bayçu [168]), yine İngestad besi çözeltisi ile $60\mu\text{M}$ Cd ($3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, Sigma) ve $700\mu\text{M}$ Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, Sigma) içeren uygulama serileri hazırlandı Mikorizalı (M+) ve mikorizsız (M-) bitki gruplarına 21 gün süreyle Cd ve Zn uygulanmış ve bitkiler bu süre sonunda hasat edilmiştir. Hasat işlemine kadar bitkilerin morfolojik değişimleri incelenmiştir.



a



b

Şekil 3.15: Hasat öncesi bitkilerden genel görünüm (a: *Linum usitatissimum*, b: *Salvia fruticosa*)

3.4 HASAT İŞLEMİ VE SONRASINDA YAPILAN ÖLÇÜMLER

Hasat işlemi için öncelikli olarak tohumlar toplanmış, daha sonra her bir saksıdaki bitkinin toprağı temiz ambalaj kağıdına boşaltılmış, bitki kök, gövde, yaprak olarak ayrılmıştır. Bitki kökleri çeşme suyunun ardından saf su ile yıkanmıştır. Köklerde kalan fazla su, filtre kağıdı ile alınmıştır. Ayrılan bütün parçalar etiketli olan kese kağıtlarına yerleştirilmiştir. Benzer şekilde her bir saksıdaki bitkilerin toprakları da kese kâğıtlarına yerleştirilmiştir. Kök, gövde, yaprak ve toprakların yaş ağırlıkları alındıktan sonra (kökün bir bölümü mikorizal enfeksiyon tespiti için

ayrılmıştır.) kuru ağırlıkları belirlenmek için 80°C’de etüvde 2-3 gün bekletilmiş ve sonrasında kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Kuru ağırlığı alınan bitki örnekleri yaş yakma işlemi için öğütülmüştür. Ayrıca hasat işlemi sırasında kök uzunluğu, bitki boyu, yaprak sayısı belirlenmiştir.



Şekil 3.16: Toprağı boşaltılmış bitkiler (Hasat sırasında kök, gövde ve yaprak kısımlarına ayrılmadan önce)

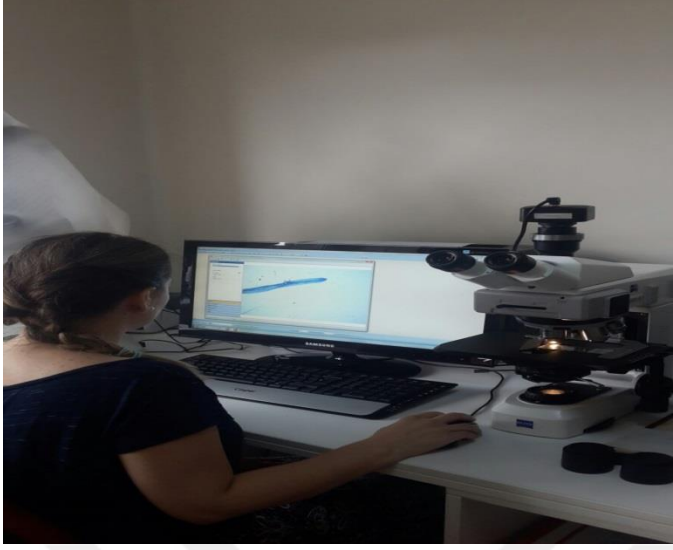
Mikorizal enfeksiyon oluşumu ve yüzde dağılımının tespit edilmesi, mikorizanın kullanılan bitkide enfeksiyonu sağlayıp sağlamadığının bir göstergesidir. Bu yöntemdeki temel prensip, köklerin özel bir yöntem ile boyanması ve kök içerisindeki enfeksiyonun belirlenmesidir.



Şekil 3.17: Hasat işlemi sonrasında mikorizalı köklerin temizlenmesi

Daha önceden mikorizal enfeksiyon tespiti için ayrılan köklerin boyama işlemleri Philips ve Hayman'a göre yapılmıştır. Boyama işleminde şu basamaklar uygulanmıştır; daha önceden ayrılmış olan kökler 1 cm'lik parçalara ayrıldıktan sonra tüplere aktarılmıştır. Köklerde yumuşama sağlaması için tüplere KOH (%10'luk) çözeltisi kökleri geçecek miktarda konulup 90°C'de 10 dakika kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra KOH dökülmüş, kökler deiyonize su ile yıkanmıştır. Ardından bitki kökleri mürekkep asetik asit solüsyonu (1:1:8= mürekkep:%10 asetik asit: H₂O) ile 90°C'de 15 dakika kalacak şekilde işlem görerek boyanmıştır. Boyanmış kökler petriye aktarılmış ve 40 büyütme ile mikroskop altında incelenmiştir. (Köklerin dizilimi, her lamele 10 kök gelecek şekilde yapılmıştır.)

Mikorizal enfeksiyonun belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada ZeissAxioScope A1 ışık mikroskobu kullanılmıştır. Kameram V.3.1.0.0 programında fotoğraflama ve sayım yapılmıştır.



Şekil 3.18: ZeissAxioScope A1 Işık Mikroskobu



Şekil 3.19: Kök kolonizasyon sayımı için mikorizalı köklerin boyama aşamaları

Hücre membran zararı ve iyon sızıntısının belirlenmesinde Masood ve diğ. [169] tarafından tanımlanan ve Sivritepe ve diğ. [170] tarafından modifiye edilmiş bir yöntem kullanılmıştır. Buna göre yapraktan 0,5 gr ve kökten 0,25 gr örnek alınıp önce musluk suyu daha sonra de-iyonize su ile yıkanmıştır. Her bir örnek 20 ml de-iyonize su içeren tüplere yerleştirilerek tüplerin ağzı sıkıca kapatılmıştır. Örnekler 32°C’de 2 saat boyunca su banyosunda inkübasyona bırakıldıktan sonra elektriksel iletkenlik düzeyi (EC_1) ölçülmüştür. Örnekler ölçüm sonrası 120°C’de 20 dakika boyunca su banyosunda tekrar inkübasyona bırakılmış ve elektriksel iletkenlik düzeyi (EC_2) ölçülmüştür. Hücre membranlarındaki iyon sızıntısı ve hücre membran zararı çıkan EC_1 ve EC_2 değerleri kullanılarak formüle yerleştirilmiş ve yüzde (%) olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.20: EC_1 ve EC_2 değerlerinin ölçüm işlemi

Hasat edilen bitki kısımlarının ve toprak numunelerinin element ölçümleri ICP-OES cihazında (Şekil 3.8) yapılmıştır.

Azot, bitki gelişmesinde önemli yeri olan, topraktan alınan besinler içinde en çok gereksinim duyulan, bitkide önemli işlevleri bulunan bazı organik bileşiklerin (protein, amino asit, amid, nükleik asit, klorofil gibi) yapısına katılan makro besin elementidir.

Bitkilerin azot ihtiyaçlarını topraktan karşılaması nedeniyle, toprakta bitki tarafından kullanılabilir şekilde ve miktarda azot varlığının olup olmadığı çok önemlidir. Bu nedenle,

toprakta azot tayini yapıldı. Toprakta azot tayini Gerhardt Azot-Protein Tayin Cihazı (Gerhardt, Vapodest VAP 20s) ile yapılmıştır. Toplam azot tayini için aşağıda bulunan kimyasal ve çözeltiler kullanılmıştır;

- . Kjeldahl katalizör tableti
- . Sülfürik asit (H_2SO_4)
- . % 32'lik sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi
- . % 2'lik borik asit çözeltisi
- . Devarda'salloy

Azot analizinde, sırasıyla yakma, destilasyon ve titrasyon aşamaları bulunmaktadır. Analize hazırlanan toprak numunesinden tartım kabında 2-10 gr arasında tartılır. Tartılan numune, Kjeldahl tüpüne aktarılarak üzerine 2 adet Kjeldahl katalizör tablet ve 0.2 gr Devarda'salloy konulur. 20 mL sülfürik asit (H_2SO_4) ilave edilir. Bu şekilde hazırlanan tüp içindeki numune yağ yakma cihazında 400 °C'de 40 dakika yakılır. Bu işlemten sonra numune soğumaya bırakılır. Fakat bu süre uzun olmamalıdır. Çünkü bu süreçte kristallenme ile çözünmesi güç tuzlar oluşabilir. Tüplerin üzerine soğuma gerçekleştikten sonra yavaş yavaş 90 mL saf su ilave edilir. Bu olay sırasında ısı yükselmesi olacaktır. Tüpler, tekrar soğutulduktan sonra cihaza (Gerhardt, Vapodest VAP 20s) yerleştirilir ve % 32'lik sodyum hidroksit ile distile edilir. Bir erlene 70 ml % 2'lik borik asit (H_3BO_3) içeren çözeltiden konularak distile olan numune burada toplanır. Toplanan destilat 0,1N sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisi ile titre edilerek azot değeri bulunur. Formül yardımıyla % azot miktarı hesaplanır.

$$\text{BİTKİDE TOPLAM AZOT (N) \%} = (T-B) \cdot N \cdot 1,4 / S$$

Eşitlikte;

T : Titrasyonda kullanılan asit (ml)

B : Tanık titrasyonunda kullanılan asit (ml)

N : Asitin normalitesi

S : Alınan örnek miktarı (gr)'nı simgelemektedir.

Toprak numunelerinin element ölçümleri için EPA 3051 A metodu kullanılmıştır. Öncelikle numuneler 0.5 gr tartılmış ve mikrodalga tüplerine konulmuştur (yüksek basınca dayanıklı özel

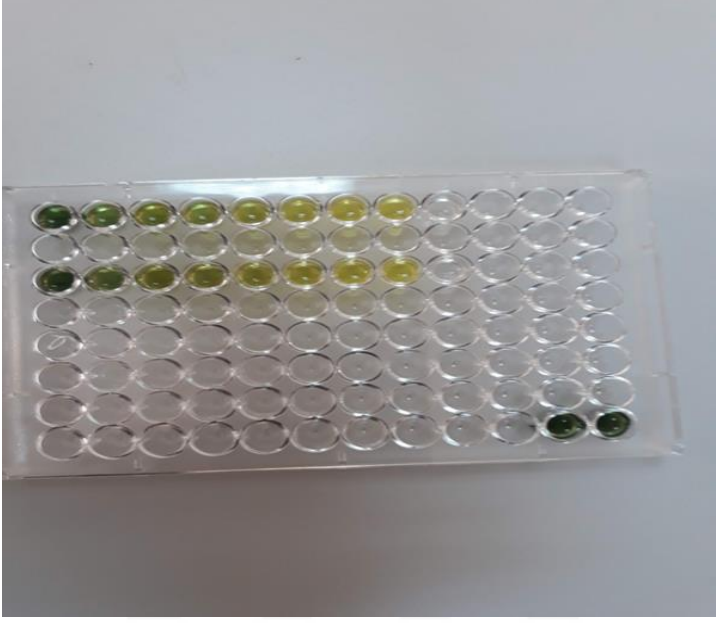
teflon kaplar). Üzerine farklı asit ve asit karışımlarıyla yapılan ön denemelerden sonra bizim örneklerimizde en başarılı sonucu veren 9 ml HNO_3 ve 3 ml HCl eklenmiştir. Numuneleri yakmak üzere uygun mikrodalga metodu seçilmiştir. (5.5 dakikada 175°C 'ye çıkıp 4.5 dakika yanma gerçekleşiyor.) Soğuyan tüplerin kapakları çeker ocakta açıldıktan sonra bir miktar Ultrapure (Elga) deiyonize su ilave edilerek 50ml'ye tamamlanmıştır. Daha sonra örnekler 9mm'lik külsüz filtre kağıdı ile (Whatman-42) süzülüp, element ölçümleri ICP-OES cihazı ile yapılmıştır.

Bitki numunelerinin element ölçümleri için EPA 3050 metodu kullanılmıştır. Öncelikle numuneler iyice öğütüldükten sonra 0.5 gr tartılmış ve mikrodalga tüplerine konulmuştur (yüksek basınca dayanıklı özel teflon kaplar). Üzerine farklı asit ve asit karışımlarıyla yapılan ön denemelerden sonra bizim örneklerimizde en başarılı sonucu veren 10 ml Nitrik asit (HNO_3) eklenmiş ve 200°C 'de 20 dakika ısıtılarak mikrodalga fırın aracılığı ile çözündürülmüştür. Soğuyan tüplerin kapakları çeker ocakta açıldıktan sonra bir miktar Ultrapure (Elga) deiyonize su eklenerek 50ml'ye tamamlanmıştır. Daha sonra örnekler 9mm'lik külsüz filtre kağıdı ile (Whatman-42) süzülüp, element ölçümleri ICP-OES ile yapılmıştır. (Öncelikle analizi yapılacak numune için istenen elementler cihaza tanıtılır ve kalibrasyon grafiği çizilir, daha sonra numuneler okunur.)

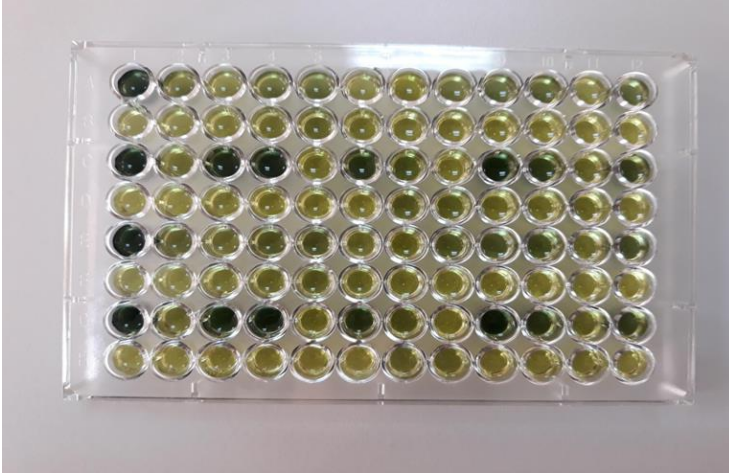
Hasatı yapılan bitki kısımlarında deney sonrasında toplam fenolik içeriği, prolin ve fotosentetik pigment analizleri yapılmıştır.

Çalışılan örneklerin toplam fenolik madde analizi, bitki ekstraktlarının FCR reaktifi ve Na_2CO_3 ile verdiği reaksiyonun sonunda oluşan yeşil rengin elde edilmesi esasına dayanmaktadır. Bitkisel dokular ekstraksiyon aşamasından önce sıvı azot ile homojenize edildi. Bitki materyallerinden 10 mg alınarak 1 ml % 80'lik metanol ile muamele edildi. Daha sonra ekstraktlar 30 sn doku parçalayıcı (sonikatör) ile parçalandı. Hazırlanan materyaller 8000 rpm hızda 15 saniye santrifüj edildi. Her uygulama için tüplere 50'şer μl ekstrakt konuldu ve üzerlerine 250 μl FCR (Folin-Ciocalteu) reaktifi eklendi. Oda sıcaklığında 3 dakika boyunca inkübasyona bırakıldı. Daha sonra üzerlerine 250 μl doymuş (% 6) Na_2CO_3 ilave edildi. 15 dakika köpürme tamamlanana kadar hızlıca çalkalandı. Çalkalama aşamasında köpük ve yeşil renk oluşumu takip edildi. Mikroplate ile 760 nm dalga boyunda absorbanları alındı. Fenolik derişimlerinin belirlenmesi için standart solüsyonlar hazırlanmıştır. Standart solüsyonu için 2

mg gallik asit %80'lik 10 ml metanolde çözünerek ana stok hazırlanmıştır. Ana stoktan dilüsyon ile elde edilen solüsyonların absorbanları cihazda okunmuştur. Referans olarak, elde ettiğimiz değerler ile oluşturulan grafik kabul edilmiştir (Standart 0.2-0.1-0.08-0.06-0.04-0.02-0.008 mg/ml). Elde edilen formül ile numunelerde bulunan total fenolik asit içeriği tespit edilmiş olundu.

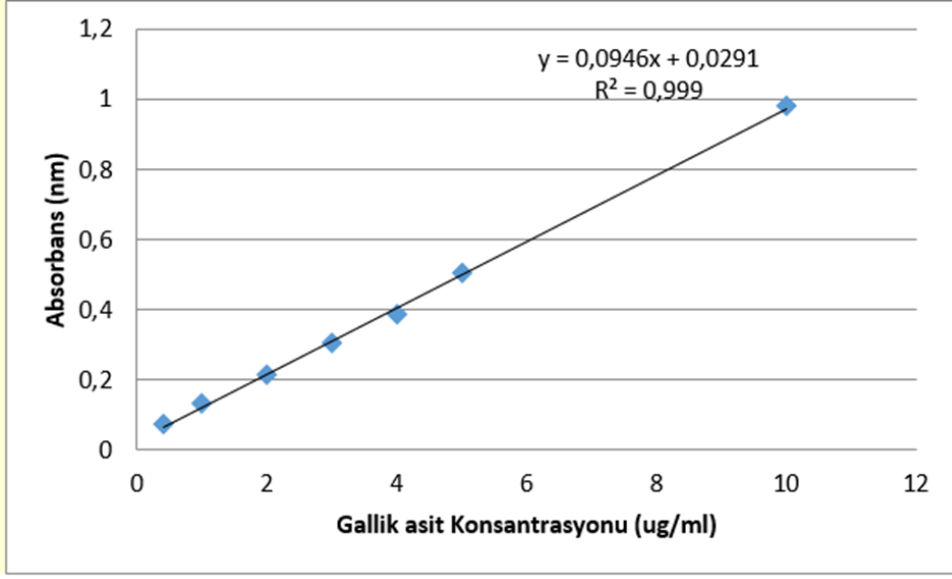


Şekil 3.21: Total fenolik içeriğinin belirlenmesi için kullanılan standart solüsyonlar



Şekil 3.22: İşlem sonrası mikropalakalara pipetlenmiş örnekler

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



Şekil 3.23: Gallik asit standart regresyon eğrisi

Gallik asit çalışmamızda standart bileşik olarak kullanılmıştır. Son yıllarda yapılan araştırmalarda, klorojenik asit, tannik asit, protokateşik asit, kaffeik asit, vanilik asit ve ferrulik asit de gallik asit yerine kullanılmaktadır [171].

Klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoidler olarak ayrılan fotosentetik pigmentlerin miktarı stresli bitkilerde, stres faktörü, stres miktarı, stres süresi, bitki türü, bitkinin yaşam safhası gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu değişimin kloroplast zar bütünlüğünün bozulması, klorofil sentezi ve sentezden sorumlu enzimlerin aktivitelerinin yok edilmesi, pigmentlerin bozulması ve diğer metabolik işlevlerin aksamasından kaynaklandığı araştırmacılar tarafından bildirilmektedir. [172-176].

Bitki yapraklarında Total klorofil, klorofil a, klorofil b miktarının tespiti, Arnon [177] 'a göre yapıldı. Taze bitki örnekleri sıvı nitrojen ile toz haline getirildi. Daha sonra havanda, toz haline gelen 20 mg örnek 0.5 ml %80'lik aseton ile homojenize edildi. Ekstraktlar 30 sn doku parçalayıcı (sonikatör) ile muamele edildi. Filtre kağıdından süzülen karışım daha sonra %80'lik aseton ile 5 ml'ye tamamlandı. Bitki ekstraktları 5000 rpm'de 10 dk. santrifüj edilip, absorbans değerleri mikropate reader ile elde edildi. Klorofil-a için 665 nm, klorofil-b için 630 nm'de ölçüm yapıldı. Fotosentetik pigmentlerin miktarları aşağıdaki formüllere göre hesaplanarak mg g⁻¹ cinsinden ifade edildi.

$$\text{Klorofil-a} = [\Delta A_{663} \times 12.70 - \Delta A_{645} \times 2.69] [(V/1000) \times W]$$

$$\text{Klorofil-b} = [\Delta A_{645} \times 22.90 - \Delta A_{663} \times 4.68] [(V/1000) \times W]$$

$$\text{Total klorofil} = [\Delta A_{645} \times 20.2 + \Delta A_{663} \times 8.02] [(V/1000) \times W]$$

$$\text{Karotenoid} = [\Delta A_{480} + \Delta A_{663} \times 0.114 - \Delta A_{645} \times 0.638 / 112.50] [(V/1000) \times W]$$

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

Prolin miktarının stres altındaki bitkilerde artması nedeni ile araştırmacılar, bitkilerde strese karşı oluşturulan tolerans ile prolin birikimi arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve toleranslı türlerde daha fazla prolin biriktiğini bildirmişlerdir. Protein ve DNA yapısının korunması, hücre içi ozmotik dengenin sağlanması, radikallerin temizlenmesi, membran bütünlüğü, kullanılabilir azot birikimi gibi biyolojik olaylarda Prolinin önemli rolü bulunmaktadır [178,179]

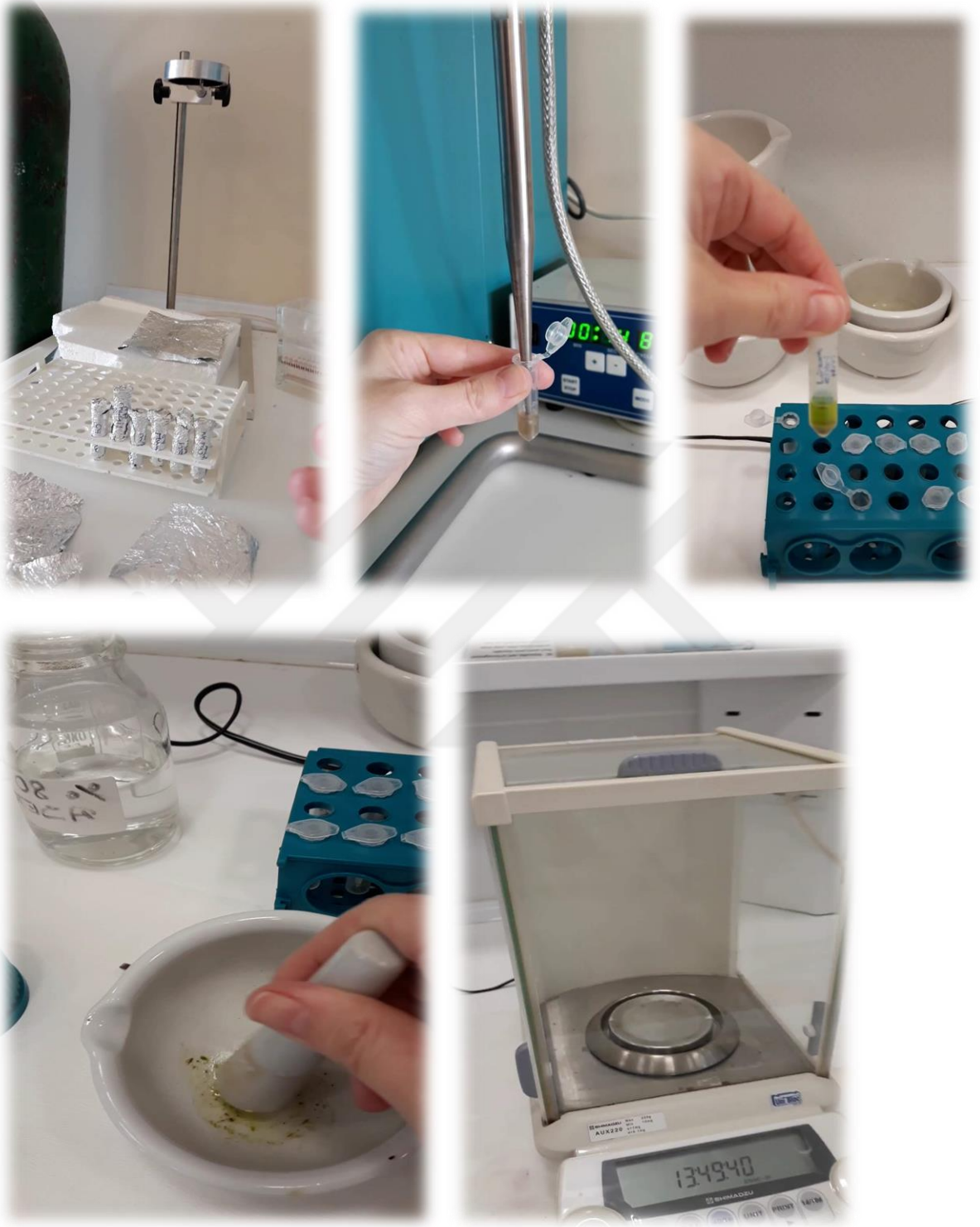
Prolin analizi Bates ve diğ. [180] göre, spektrofotometrik olarak Asit-Ninhidrin metodu ile belirlenmiştir. İlk olarak 10 mg bitki örneği %80'lik 1 ml metanol ile homojenize edildi. Prolin analizi için NNS (Ninhidrin Solution) solüsyonu hazırlandı. Bunun için 2.5 gr ninhidrin üzerine 60 ml glasiyel asetik asit eklenerek karıştırıldı. Üzerine 40 ml ortofosforik asit (6 M) eklendi. Hazırlanan numunelerden 500 µl alınarak 500 µl NNS solüsyonu eklendi. Karışımın 1 saat 100 °C de inkübe olması sağlandı. Karışımın içinde bulunduğu tüpler buzda soğumaya bırakılarak daha sonra üzerlerine 2 ml tolüen ilave edildi. İki farklı faz oluşumu gözlenene kadar iyice karıştırıldı. Üstteki fazın absorbansı 528 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçülerek Prolin miktarı belirlendi. Prolin miktarı, L-prolin standartı kullanılarak grafik yardımıyla hesaplandı ve µmol g-1 taze ağırlık olarak ifade edildi. Absorbans=1.5278x+0.0245, R2:0.9985



Şekil 3.24: Prolin için standart solüsyonlar



Şekil 3.25: Çalışmalarda kullanılan Mikroplaka okuyucu



Şekil 3.26: Ekstraktların hazırlanma aşamaları

4. BULGULAR

Arazi çalışmalarından elde edilen bitki ve toprak örneklerinde element analizleri yapılmış ve sonuçlar aşağıda verilmiştir (Tablo 4.1). Fitotron koşullarında *Linum usitatissimum* ve *Salvia fruticosa* bitkilerinin mikoriza ve ağır metal uygulamaları ile yetiştirilmesini amaçlayan deneylerimiz ‘rastgele parseller deneme desenine’ göre yürütülmüştür. Kök ve yaprak kuru ağırlığı (gr), yaprak yaş ağırlığı (gr), yaprak sayısı, kök ve gövde uzunluğu (cm) toprak bağlı su içeriği (%), köklerde fungal kolonizasyon yüzdesi (%), toprakta azot miktarı (mg/l), bitki element analizleri, iyon sızıntısı, total fenolik içeriği, prolin miktarı ve fotosentetik pigment içerikleri saptanmıştır. İstatistiksel analizi yapılan bulgular aşağıda ayrı başlıklar şeklinde sunulmuştur.

4.1 ARAZİ ÇALIŞMASINDAN ELDE EDİLEN BULGULAR

Çalışmamızda uygulanacak olan ağır metal çeşitleri ve konsantrasyonları arazi çalışması sırasında toplanan bitkilerdeki ve topraktaki sonuçlar ve ağır metallerin normal ve toksik derişimleri için limit değerler gözönüne alınarak belirlenmiştir.

Tablo 4.1: Araziden toplanan bitki ve toprak analiz sonuçları

	Fe	Ni	Ca	Mn	Mg	Cd	Pb	K	Zn	Cu
	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb
<i>Linum usitatissimum</i> Kök	8.566	16.759	29.662	102.652	1.891	2.716	5.865	13.464	117.383	36.606
<i>Linum usitatissimum</i> Gövde	1.915	9.994	50.999	105.767	3.116	2.911	3.265	70.882	199.993	45.423
<i>Linum usitatissimum</i> Yaprak	1.169	8.637	57.346	223.414	4.400	2.852	2.044	66.821	228.369	38.659
<i>Linum usitatissimum</i> Toprak	58.337	102.805	138.331	4.009	12.394	1.305	27.870	50.339	226.432	86.957

	Fe	Ni	Ca	Mn	Mg	Cd	Pb	K	Zn	Cu
	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb
<i>Salvia fruticosa</i> kök	13.313	50.893	65.434	380.786	6.362	2.722	2.257	42.671	167.164	99.008
<i>Salvia fruticosa</i> gövde	3.012	18.730	66.305	172.809	4.916	3.082	4.470	71.183	181.484	46.322
<i>Salvia fruticosa</i> yaprak	5.723	25.544	134.634	359.071	12.292	2.817	2.880	113.568	250.718	50.049
<i>Salvia fruticosa</i> toprak	224.850	617.564	203.041	3.980	39.937	1.092	5.984	21.391	398.653	199.492

4.2 DENEYSEL ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN BULGULAR

4.2.1 TOPRAK PARAMETRELERİ

4.2.1.1 *Linum usitassimum*'da TOPRAK ELEMENT SONUÇLARI

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan toprak elementleri ile ilgili verilerde varyans analizi yapılmıştır. Kontrol ve Zn grubunda Mg, K, Cu, Fe, Mn, Ca, ölçümleri mikoriza varlığına göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$). Cd uygulanan gruplarda Mg, K, Fe ölçümleri istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Mikoriza uygulananların Mg ölçümleri ($\bar{x}=2256,175$), mikoriza uygulanmayanlardan ($\bar{x}=2023,900$) yüksek bulunmuştur. Mikoriza uygulananların K ölçümleri ($\bar{x}=774,775$), mikoriza uygulanmayanlardan ($\bar{x}=657,600$) yüksek bulunmuştur. Mikoriza uygulananların Fe ölçümleri ($\bar{x}=14259,600$), mikoriza uygulanmayanlardan ($\bar{x}=13035,550$) yüksek bulunmuştur. Cd grubunda *Linum usitassimum*'un yetiştirildiği toprakta Cd ölçümleri mikoriza varlığına göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Tablo 4.2: *Linum usitassimum*'da toprak element sonuçları

KONTROL	Grup	Ort	Ss	sd	p
Mg	M-	2229,423	265,475	6	0,848
	M+	2257,651	59,312		
K	M-	705,032	85,382	6	0,775
	M+	691,604	10,454		
Ca	M-	6125,360	2222,837	6	0,246
	M+	4528,014	81,778		
Fe	M-	13265,739	502,924	6	0,492
	M+	13465,342	124,887		
Cu	M-	7,169	1,542	6	0,742
	M+	6,891	0,088		
Mn	M-	212,409	5,678	6	0,690
	M+	209,250	13,577		

Zn	Grup	Ort	Ss	sd	p
Mg	M-	2472,250	371,181	6	0,244
	M+	2204,025	33,669		
K	M-	982,875	303,662	6	0,409
	M+	834,625	90,650		
Ca	M-	4451,875	162,842	6	0,829
	M+	4432,550	23,109		
Fe	M-	15417,700	2276,243	6	0,119
	M+	12978,925	518,933		
Cu	M-	7,583	1,052	6	0,198
	M+	6,707	0,414		
Mn	M-	223,028	4,809	6	0,164
	M+	213,602	10,877		

Cd	Grup	Ort	Ss	sd	p
Mg	M-	2023,900	65,531	6	0,001
	M+	2256,175	39,458		
K	M-	657,600	10,167	6	0,001
	M+	774,775	23,940		
Ca	M-	4547,700	678,617	6	0,335
	M+	4124,450	410,088		
Fe	M-	13035,550	428,110	6	0,003
	M+	14259,600	244,339		
Cu	M-	6,624	0,379	6	0,828
	M+	6,571	0,281		
Mn	M-	203,982	19,779	6	0,811
	M+	206,739	8,634		

4.2.1.2 *Salvia fruticosa*'da TOPRAK ELEMENT SONUÇLARI

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan toprak elementleri ile ilgili verilerde varyans analizi yapılmıştır. Kontrol, Zn ve Cd grubunda Mg, K, Cu, Fe, Mn, Ca, ölçümleri mikoriza varlığına göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Tablo 4.3: *Salvia fruticosa*'da toprak element sonuçları

Kontr ol	Grup	Ort	Ss	sd	p
Mg	M-	2847,925	554,586	6	0,599
	M+	3105,350	738,889		
K	M-	1033,800	159,615	6	0,703
	M+	1102,025	296,281		
Ca	M-	8308,325	1661,675	6	0,088
	M+	6076,875	1416,526		
Fe	M-	17109,500	3273,310	6	0,744
	M+	17869,625	3004,302		
Cu	M-	7,147	1,966	6	0,708
	M+	7,643	1,585		
Mn	M-	234,050	44,539	6	0,109
	M+	327,425	82,835		

Zn	Grup	Ort	Ss	sd	p
Mg	M-	2382,775	149,264	6	0,100
	M+	2761,725	328,118		
K	M-	961,950	69,935	6	0,146
	M+	1053,750	83,998		
Ca	M-	8420,900	2632,000	6	0,155
	M+	5937,225	461,580		
Fe	M-	14634,825	1250,188	6	0,054
	M+	16526,275	264,166		
Cu	M-	11,600	6,655	6	0,292
	M+	7,353	0,071		
Mn	M-	203,525	9,145	6	0,676
	M+	210,000	27,041		

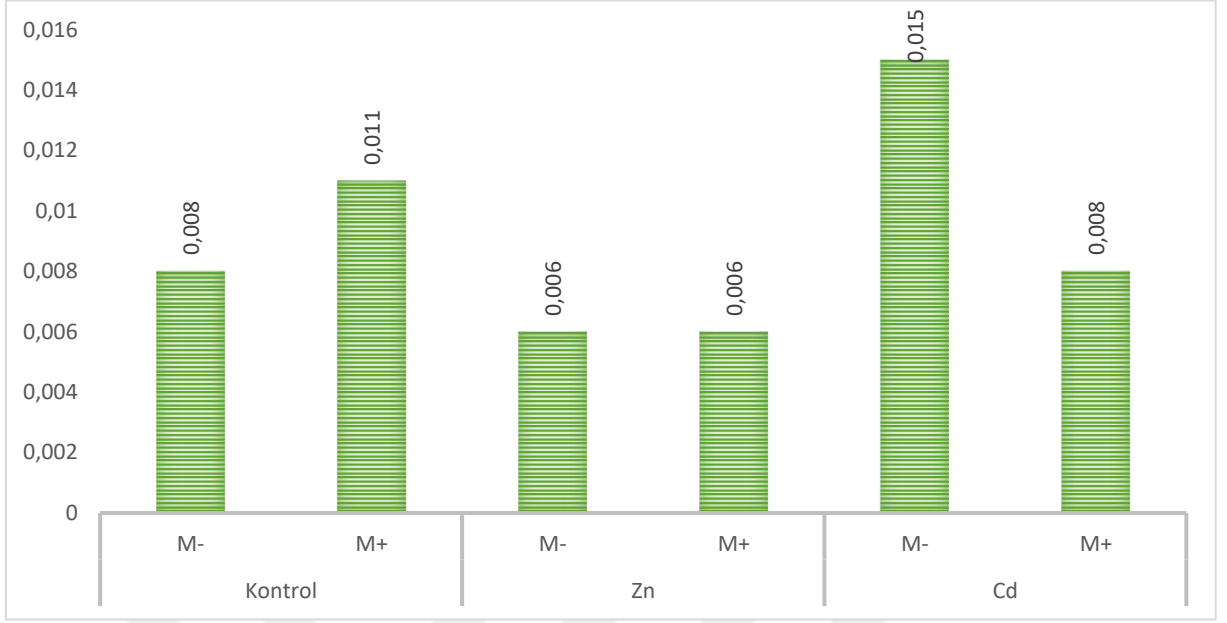
Cd	Grup	Ort	Ss	sd	p
Mg	M-	2323,700	190,204	6	0,588
	M+	2236,050	240,256		
K	M-	889,550	134,884	6	0,752
	M+	914,475	60,476		
Ca	M-	8995,750	5363,544	6	0,210
	M+	4736,000	726,021		
Fe	M-	14438,050	919,412	6	0,662
	M+	13969,200	1782,118		
Cu	M-	6,056	0,667	6	0,870
	M+	5,981	0,580		
Mn	M-	167,575	4,293	6	0,618
	M+	164,425	10,834		

Cd grubunda mikoriza varlığına göre topraktaki Cd ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Mikoriza uygulananları Cd ölçümleri ($\bar{x}=3,444$), mikoriza uygulanmayanların Cd ölçümlerinden ($\bar{x}=1,058$) yüksek bulunmuştur.

4.2.1.3 *Linum usitassimum*'da TOPRAK AZOT ÖLÇÜMLERİ

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan topraktaki azot değerleri ile ilgili verilerde varyans analizi yapılmıştır. Cd grubunda mikorizaya göre azot ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Mikoriza uygulanmayanların azot ölçümleri ($\bar{x}=0,015$), mikoriza uygulananların azot ölçümlerinden ($\bar{x}=0,008$) yüksek bulunmuştur.

Kontrol grubunda mikorizaya göre azot ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,034<0,05$). Mikoriza uygulananların azot ölçümleri ($\bar{x}=0,011$), mikoriza uygulanmayanların azot ölçümlerinden ($\bar{x}=0,008$) yüksek bulunmuştur. Zn grubunda azot ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

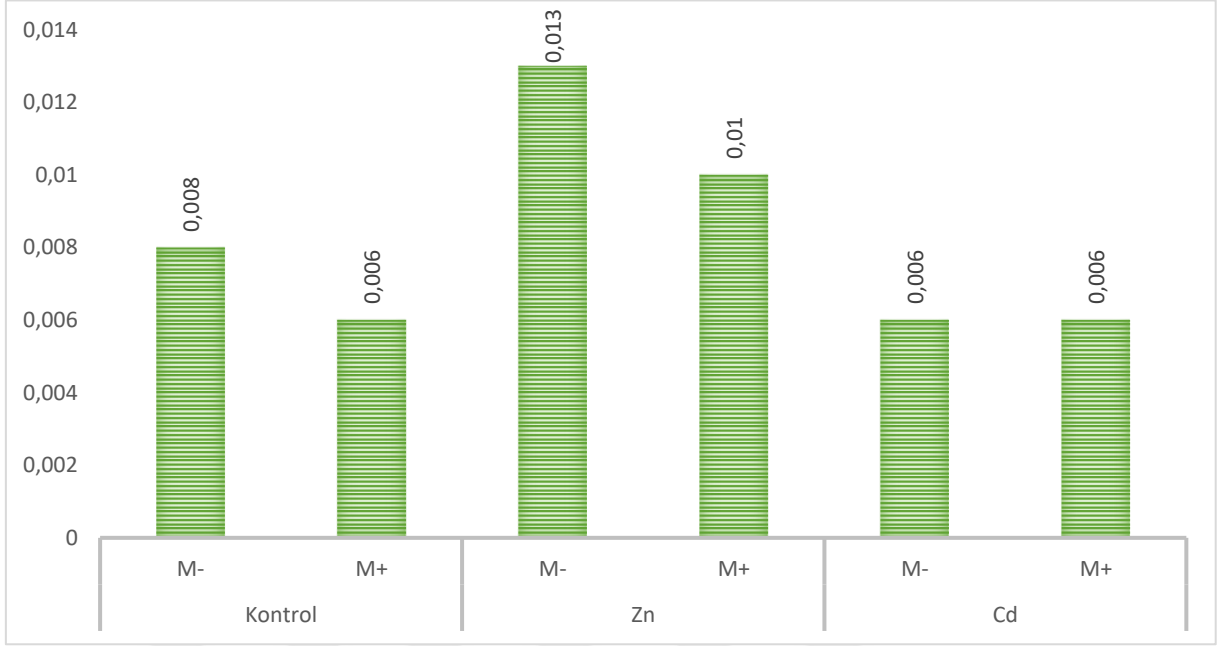


Şekil 4.1: *Linum usitatissimum*'da toprak azot ölçümleri

4.2.1.4 *Salvia fruticosa*'da TOPRAK AZOT ÖLÇÜMLERİ

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan topraktaki azot değerleri ile ilgili verilerde varyans analizi yapılmıştır. Kontrol grubunda mikorizaya göre azot ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,009<0,05$). Mikoriza uygulanmayanların azot ölçümleri ($\bar{x}=0,008$), mikoriza uygulananların azot ölçümlerinden ($\bar{x}=0,006$) yüksek bulunmuştur.

Zn grubunda mikorizaya göre azot ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0,05$). Mikoriza uygulanmayanların azot ölçümleri ($\bar{x}=0,013$), mikoriza uygulananların azot ölçümlerinden ($\bar{x}=0,010$) yüksek bulunmuştur. Cd grubunda azot ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).



Şekil 4.2: *Salvia fruticosa*'da toprak azot ölçümleri

4.2.1.5 *Linum usitassimum*'da TOPRAK BAĞIL SU İÇERİĞİ (%)

Deneme saksılarından toprak alınarak yaş ağırlıkları 0,1 gr hassasiyetli hassas terazide tartılarak belirlenmiştir. Yaş ağırlıkları belirlenen topraklar kese kağıtlarına yerleştirilerek, 70°C'de 3 gün bekletildikten sonra hassas terazide kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak aşağıdaki formüle göre su içeriği hesaplanmıştır.

$$\text{SU İÇERİĞİ (\%)} = (\text{Yaş Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık}) / \text{Yaş Ağırlık}$$

Deneme sonunda elde edilen toprak bağıl su içeriği ile ilgili verilerde istatistiksel analiz yapılmış, kontrol, Zn ve Cd gruplarında toplam bağıl su içeriği ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

4.2.1.6 *Salvia fruticosa*'da TOPRAK BAĞIL SU İÇERİĞİ (%)

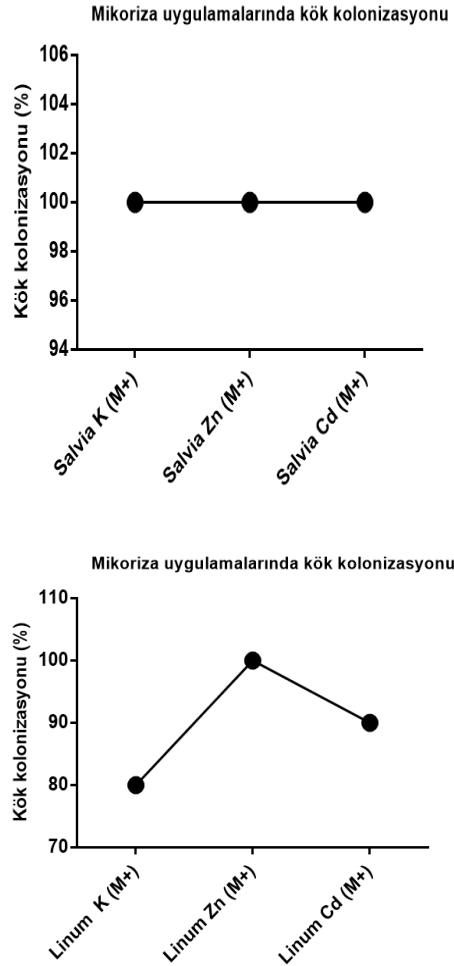
Deneme saksılarından toprak alınarak yaş ağırlıkları 0,1 gr hassasiyetli hassas terazide tartılarak belirlenmiştir. Yaş ağırlıkları belirlenen topraklar kese kağıtlarına yerleştirilerek, 70°C'de 3 gün bekletildikten sonra hassas terazide kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak aşağıdaki formüle göre su içeriği hesaplanmıştır.

$$\text{SU İÇERİĞİ (\%)} = (\text{Yaş Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık}) / \text{Yaş Ağırlık}$$

Deneme sonunda elde edilen toprak bağıl su içeriği ile ilgili verilerde istatistiksel analiz yapılmış, kontrol, Zn ve Cd gruplarında toplam bağıl su içeriği ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

4.2.1.7 KÖKLERDE FUNGAL KOLONİZASYON YÜZDESİ

Laboratuvar koşullarındaki saksılara 5 gr *Rhizophagus intraradices* aşıl原因arak yetiştirilen *Linum usitatissimum* ve *Salvia fruticosa* fidelerinin deneme sonunda köklerinde boyama yöntemi ile fungal kolonizasyon yüzdesi belirlenmiştir.



Şekil 4.3: *Linum usitatissimum* ve *Salvia fruticosa*’da köklerde fungal kolonizasyon yüzdesi

Deneyimizde, köklerde kolonizasyon yüzdesi ile ilgili sonuçlarda ağır metal stresinin etkisine rastlanmamıştır. Başka bir deyişle, AM simbiyozu ağır metal stresinin olumsuz etkisini ortadan

kaldırmıştır ya da ağır metal stresi uygulamasından önce köklerde tamamen kolonizasyon meydana gelmiş ve stres kolonizasyonu engelleyememiştir.

4.2.2 BİTKİ PARAMETRELERİ

4.2.2.1 *Linum usitassimum*'da BİTKİ ELEMENT SONUÇLARI

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan bitki elementleri ile ilgili verilerde varyans analizi yapılmıştır.

Tablo 4.4: *Linum usitassimum*'da kontrol grubunda bitki element sonuçları

Kontrol M-	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	646,350	72,680	19,822	0,001	1>2
	Gövde	464,555	114,426			1>3
	Yaprak	163,260	0,000			2>3
Fe	Kök	4081,803	2002,138	9,758	0,009	1>2
	Gövde	331,948	88,702			3>2
	Yaprak	4056,090	7,212			
Cu	Kök	6,008	2,447	7,094	0,021	1>3
	Gövde	3,095	1,500			
	Yaprak	0,000	0,000			
Mn	Kök	63,793	2,238	2021,447	0,000	3>1
	Gövde	16,655	3,926			1>2
	Yaprak	188,080	2,645			3>2
K	Kök	834,550	9,263	16,129	0,025	2>1
	Gövde	5481,855	1965,693			3>1
	Yaprak	7198,925	411,275			
Ca	Kök	8825,640	3416,867	3,824	0,150	
	Gövde	3325,980	390,068			
	Yaprak	5632,605	375,198			

Kontrol M+	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	242,413	177,866	17725,588	0,000	3>1
	Gövde	1081,925	467,537			3>2
	Yaprak	218037,500	3765,344			
Fe	Kök	6336,188	3467,725	459,595	0,000	3>1
	Gövde	287,820	122,753			1>2
	Yaprak	58587,500	1290,470			3>2
Cu	Kök	0,000	0,000	36391,464	0,000	3>1
	Gövde	1,945	0,900			3>2
	Yaprak	2213,375	27,400			
Mn	Kök	82,440	61,164	9001,440	0,000	3>1
	Gövde	9,100	0,627			1>2
	Yaprak	4293,990	2,744			3>2
K	Kök	4939,255	2383,933	70623,191	0,000	3>1
	Gövde	5526,930	905,875			3>2
	Yaprak	1733925,000	8838,835			
Ca	Kök	1843,465	423,380	6354,297	0,000	3>1
	Gövde	9853,935	4107,336			3>2
	Yaprak	288437,500	2846,105			

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0,05$). Farkın nedeni; kökün Mg değerlerinin ($\bar{x}=646,350$), gövdenin Mg değerlerinden ($\bar{x}=464,555$); kökün Mg değerlerinin ($\bar{x}=646,350$), yaprağın Mg değerlerinden ($\bar{x}=163,260$); gövdenin Mg değerlerinin ($\bar{x}=464,555$), yaprağın Mg değerlerinden ($\bar{x}=163,260$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,009<0,05$). Farkın nedeni; kökün Fe değerlerinin

($\bar{x}=4081,803$), gövdenin Fe değerlerinden ($\bar{x}=331,948$); yaprağın Fe değerlerinin ($\bar{x}=4056,090$), gövdenin Fe değerlerinden ($\bar{x}=331,948$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,021<0,05$). Farkın nedeni; kökün Cu değerlerinin ($\bar{x}=6,008$), yaprağın Cu değerlerinden ($\bar{x}=0,000$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mn değerlerinin ($\bar{x}=188,080$), kökün Mn değerlerinden ($\bar{x}=63,793$); kökün Mn değerlerinin ($\bar{x}=63,793$), gövdenin Mn değerlerinden ($\bar{x}=16,655$); yaprağın Mn değerlerinin ($\bar{x}=188,080$), gövdenin Mn değerlerinden ($\bar{x}=16,655$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre K ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,025<0,05$). Farkın nedeni; gövdenin K Ölçümlerinin ($\bar{x}=5481,855$), kökün K ölçümlerinden ($\bar{x}=834,550$) yüksek olmasıdır. Yaprtağın K ölçümlerinin ($\bar{x}=7198,925$), kökün K ölçümlerinden ($\bar{x}=834,550$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Ca ölçümleri anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=218037,500$), kökün Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=242,413$); yaprağın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=218037,500$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1081,925$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=58587,500$), kökün Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=6336,188$); kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=6336,188$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=287,820$); yaprağın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=58587,500$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=287,820$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=2213,375$), kökün Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=0,000$); yaprağın Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=2213,375$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=1,945$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=4293,990$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=82,440$); kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=82,440$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=9,100$); yaprağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=4293,990$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=9,100$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre K ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın K ölçümlerinin ($\bar{x}=1733925,000$), kökün K ölçümlerinden ($\bar{x}=4939,255$); yaprağın K ölçümlerinin ($\bar{x}=1733925,000$), gövdenin K ölçümlerinden ($\bar{x}=5526,930$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Ca ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Ca ölçümlerinin ($\bar{x}=288437,500$), kökün Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=1843,465$); yaprağın Ca ölçümlerinin ($\bar{x}=288437,500$), gövdenin Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=9853,935$) yüksek olmasıdır.

Tablo 4.5: *Linum usitassimum*'da Zn grubunda bitki element sonuçları

Zn M-	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	2351,985	389,894	90,902	0,000	1>2
	Gövde	679,953	47,390			1>3
	Yaprak	69,005	1,846			2>3
Fe	Kök	7977,378	409,037	1316,177	0,000	1>2
	Gövde	190,387	68,864			3>2
	Yaprak	1081,960	9,207			1>3
Cu	Kök	16,343	5,183	32,300	0,000	1>2
	Gövde	1,300	0,418			1>3
	Yaprak	2,015	0,841			
Mn	Kök	301,568	47,490	133,522	0,000	1>2
	Gövde	12,828	1,852			3>2
	Yaprak	156,995	2,567			1>3
K	Kök	2026,965	195,197	226,343	0,001	2>1
	Gövde	4383,615	864,827			3>1
	Yaprak	12448,420	75,491			3>2
Ca	Kök	6733,305	2366,524	18,732	0,020	3>1
	Gövde	3770,015	408,460			3>2
	Yaprak	12329,940	533,979			

Zn M+	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	175,903	91,616	115,792	0,000	2>1
	Gövde	1079,350	17,508			2>3
	Yaprak	228,640	2,828			
Fe	Kök	2651,168	636,448	20,678	0,004	1>2
	Gövde	418,180	1,146			3>2
	Yaprak	3412,990	0,000			
Cu	Kök	8,098	0,929	91,621	0,000	1>2
	Gövde	2,925	0,219			1>3
	Yaprak	0,000	0,000			2>3
Mn	Kök	41,045	6,098	95,958	0,000	3>1
	Gövde	22,230	0,071			1>2
	Yaprak	86,165	1,987			3>2
K	Kök	4075,665	3718,908	1,879	0,296	
	Gövde	6646,220	61,433			
	Yaprak	8199,180	113,123			
Ca	Kök	4323,075	2968,540	8,460	0,058	
	Gövde	8793,145	347,946			
	Yaprak	1763,155	212,111			

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün mg ölçümlerinin ($\bar{x}=2351,985$), gövdenin mg ölçümlerinden ($\bar{x}=679,953$); kökün Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=2351,985$), yaprağın Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=69,005$); gövdenin mg ölçümlerinin ($\bar{x}=679,953$), yaprağın Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=69,005$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=7977,378$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=190,387$); yaprağın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=1081,960$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=190,387$); kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=7977,378$), yaprağın Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=1081,960$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=16,343$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=1,300$); kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=16,343$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=2,015$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=301,568$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=12,828$); yaprağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=156,995$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=12,828$); kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=301,568$), yaprağın Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=156,995$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre K ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0,05$). Farkın nedeni; gövdenin K ölçümlerinin ($\bar{x}=4383,615$), kökün K ölçümlerinden ($\bar{x}=2026,965$); yaprağın K ölçümlerinin ($\bar{x}=12448,420$), kökün K ölçümlerinden ($\bar{x}=2026,965$); yaprağın K ölçümlerinin ($\bar{x}=12448,420$), gövdenin K ölçümlerinden ($\bar{x}=4383,615$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Ca ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,020<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Ca ölçümlerinin ($\bar{x}=12329,940$), kökün Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=6733,305$); yaprağın Ca ölçümlerinin ($\bar{x}=12329,940$), gövdenin Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=3770,015$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; gövdenin Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=1079,350$), kökün Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=175,903$); gövdenin Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=1079,350$), yaprağın mg ölçümlerinden ($\bar{x}=228,640$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,004<0,05$). Farkın nedeni; kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=2651,168$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=418,180$); yaprağın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=3412,990$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=418,180$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=8,098$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=2,925$); kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=8,098$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=0,000$); gövdenin Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=2,925$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=0,000$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=86,165$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=41,045$); kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=41,045$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=22,230$); yaprağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=86,165$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=22,230$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre K, Ca ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0.05$).

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Cd ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Cd ölçümlerinin ($\bar{x}=18,318$), gövdenin Cd ölçümlerinden ($\bar{x}=2,605$); kökün Cd ölçümlerinin ($\bar{x}=18,318$), yaprağın Cd ölçümlerinden ($\bar{x}=0,000$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Cd ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Cd ölçümlerinin ($\bar{x}=83,270$), gövdenin Cd ölçümlerinden ($\bar{x}=2,910$) yüksek olmasıdır. Kökün Cd ölçümlerinin ($\bar{x}=83,270$), yaprağın Cd ölçümlerinden ($\bar{x}=0,000$) yüksek olmasıdır.

Tablo 4.6: *Linum usitassimum*'da Cd grubunda bitki element sonuçları

Cd M-	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	132,675	17,145	105,683	0,000	2>1
	Gövde	1115,923	147,413			3>1
	Yaprak	427,330	4,115			2>3
Fe	Kök	4873,588	667,728	111,411	0,000	1>2
	Gövde	256,223	27,002			3>2
	Yaprak	2497,115	4,108			1>3
Cu	Kök	10,328	5,035	9,291	0,011	1>2
	Gövde	1,890	0,150			1>3
	Yaprak	0,000	0,000			
Mn	Kök	93,288	3,229	4483,216	0,000	3>1
	Gövde	16,230	0,934			1>2
	Yaprak	217,190	2,885			3>2
K	Kök	125,845	23,045	323,718	0,000	2>1
	Gövde	7343,745	833,403			3>1
	Yaprak	13412,900	353,553			3>2
Ca	Kök	9810,435	248,286	3,345	0,172	
	Gövde	8374,420	2706,395			
	Yaprak	12380,910	69,890			

Cd M+	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	972,185	11,194	43976,062	0,000	3>1
	Gövde	356,003	125,484			1>2
	Yaprak	24129,020	5,317			3>2
Fe	Kök	2247,150	5,968	680680,997	0,000	3>1
	Gövde	398,278	28,547			1>2
	Yaprak	45936,860	93,027			3>2
Cu	Kök	29,350	0,269	5526,582	0,000	3>1
	Gövde	2,195	0,995			1>2
	Yaprak	91,945	1,351			3>2
Mn	Kök	398,145	40,708	4880,449	0,000	3>1
	Gövde	24,705	9,740			1>2
	Yaprak	1761,550	12,290			3>2
K	Kök	4823,475	1955,992	17828,676	0,000	3>1
	Gövde	3018,550	191,810			3>2
	Yaprak	189509,985	37,215			
Ca	Kök	11688,625	3282,001	377,870	0,000	3>1
	Gövde	3125,325	621,653			1>2
	Yaprak	52721,855	39,874			3>2

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; gövdenin Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=1115,923$), kökün Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=132,675$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=427,330$), kökün Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=132,675$) yüksek olmasıdır. Gövdenin Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=1115,923$), yaprağın Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=427,330$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=4873,588$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=256,223$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=2497,115$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=256,223$) yüksek olmasıdır. Kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=4873,588$), yaprağın Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=2497,115$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,011<0,05$). Farkın nedeni; kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=10,328$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=1,890$) yüksek olmasıdır. Kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=10,328$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=0,000$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=217,190$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=93,288$) yüksek olmasıdır. Kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=93,288$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=16,230$) yüksek olmasıdır. Yaprtağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=217,190$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=16,230$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre K ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; gövdenin K ölçümlerinin ($\bar{x}=7343,745$), kökün K ölçümlerinden ($\bar{x}=125,845$) yüksek olmasıdır. Yaprtağın K ölçümlerinin ($\bar{x}=13412,900$), kökün K ölçümlerinden ($\bar{x}=125,845$) yüksek olmasıdır. Yaprtağın K ölçümlerinin ($\bar{x}=13412,900$), gövdenin K ölçümlerinden ($\bar{x}=7343,745$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Ca ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=24129,020$), kökün Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=972,185$) yüksek olmasıdır. Kökün Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=972,185$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=356,003$) yüksek olmasıdır. Yaprtağın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=24129,020$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=356,003$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=45936,860$), kökün Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=2247,150$) yüksek olmasıdır. Kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=2247,150$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=398,278$) yüksek olmasıdır. Yaprtağın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=45936,860$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=398,278$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=91,945$), kökün Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=29,350$) yüksek olmasıdır. Kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=29,350$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=2,195$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=91,945$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=2,195$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=1761,550$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=398,145$) yüksek olmasıdır. kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=398,145$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=24,705$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=1761,550$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=24,705$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre K ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın K ölçümlerinin ($\bar{x}=189509,985$), kökün K ölçümlerinden ($\bar{x}=4823,475$) yüksek olmasıdır. Yaprığın K ölçümlerinin ($\bar{x}=189509,985$), gövdenin K ölçümlerinden ($\bar{x}=3018,550$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Ca ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Ca ölçümlerinin ($\bar{x}=52721,855$), kökün Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=11688,625$) yüksek olmasıdır. Kökün Ca ölçümlerinin ($\bar{x}=11688,625$), gövdenin Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=3125,325$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Ca ölçümlerinin ($\bar{x}=52721,855$), gövdenin Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=3125,325$) yüksek olmasıdır.

4.2.2.2 *Salvia fruticosa*'da BİTKİ ELEMENT SONUÇLARI

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan bitki elementleri ile ilgili verilerde varyans analizi yapılmıştır.

Tablo 4.7: *Salvia fruticosa*'da kontrol grubunda bitki element sonuçları

Kontrol M-	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	2601,700	66,892	94,360	0,000	3>1
	Gövde	1277,435	67,994			1>2
	Yaprak	4545,765	509,834			3>2
Fe	Kök	2140,350	19,870	213,193	0,000	1>2
	Gövde	364,290	9,727			3>2
	Yaprak	1313,953	156,427			1>3
Cu	Kök	12,075	0,304	605,826	0,000	1>2
	Gövde	3,110	0,056			3>2
	Yaprak	6,343	0,416			1>3
Mn	Kök	94,455	0,417	53,310	0,000	3>1
	Gövde	37,433	6,214			1>2
	Yaprak	201,828	34,153			3>2
K	Kök	15352,165	291,943	36,952	0,008	1>2
	Gövde	9350,050	146,894			3>2
	Yaprak	18672,810	1875,799			
Ca	Kök	6791,585	844,971	3,343	0,172	
	Gövde	3875,985	328,359			
	Yaprak	8331,045	2892,526			

Kontrol M+	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	3241,923	587,302	9,679	0,019	1>2
	Gövde	1515,335	1,096			3>2
	Yaprak	2862,600	82,307			
Fe	Kök	1076,668	189,544	5,442	0,056	
	Gövde	734,680	11,795			
	Yaprak	733,200	0,990			
Cu	Kök	13,350	1,161	97,432	0,000	1>2
	Gövde	4,170	0,184			1>3
	Yaprak	4,705	0,064			
Mn	Kök	55,438	1,388	586,040	0,000	3>1
	Gövde	44,965	0,856			1>2
	Yaprak	85,420	1,131			3>2
K	Kök	12636,335	2047,873	17,998	0,021	1>2
	Gövde	8190,700	879,839			3>2
	Yaprak	15905,485	175,808			
Ca	Kök	6752,295	935,495	7,195	0,072	
	Gövde	3666,320	77,485			
	Yaprak	8824,420	2176,503			

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=4545,765$), kökün Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=2601,700$) yüksek olmasıdır. Kökün Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=2601,700$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1277,435$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=4545,765$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1277,435$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=2140,350$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=364,290$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=1313,953$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=364,290$) yüksek olmasıdır. Kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=2140,350$), yaprağın Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=1313,953$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=12,075$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=3,110$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=6,343$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=3,110$) yüksek olmasıdır. Kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=12,075$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=6,343$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=201,828$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=94,455$) yüksek olmasıdır. Kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=94,455$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=37,433$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=201,828$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=37,433$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre K ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,008<0,05$). Farkın nedeni; kökün K ölçümlerinin ($\bar{x}=15352,165$), gövdenin K ölçümlerinden ($\bar{x}=9350,050$) yüksek olmasıdır. Yaprığın K ölçümlerinin ($\bar{x}=18672,810$), gövdenin K ölçümlerinden ($\bar{x}=9350,050$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Ca ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,019<0,05$). Farkın nedeni; kökün Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=3241,923$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1515,335$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=2862,600$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1515,335$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=13,350$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=4,170$) yüksek olmasıdır. Kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=13,350$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=4,705$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=85,420$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=55,438$) yüksek olmasıdır. Kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=55,438$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=44,965$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=85,420$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=44,965$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre K ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,021<0,05$). Farkın nedeni; kökün K ölçümlerinin ($\bar{x}=12636,335$), gövdenin K ölçümlerinden ($\bar{x}=8190,700$) yüksek olmasıdır. Yaprığın K ölçümlerinin ($\bar{x}=15905,485$), gövdenin K ölçümlerinden ($\bar{x}=8190,700$) yüksek olmasıdır.

Kontrol grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Fe ve Ca ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0.05$).

Tablo 4.8: *Salvia fruticosa*'da Zn grubunda bitki element sonuçları

Zn M-	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	1748,385	31,304	29,677	0,002	1>2 3>2
	Gövde	853,803	209,510			
	Yaprak	1740,150	30,618			
Fe	Kök	1238,175	34,910	6952,680	0,000	3>1 1>2 3>2
	Gövde	470,600	5,943			
	Yaprak	2118,950	1,909			
Cu	Kök	17,435	0,403	193,479	0,000	1>2 1>3
	Gövde	3,880	1,044			
	Yaprak	4,705	0,007			
Mn	Kök	57,570	0,198	3198,241	0,000	3>1 1>2 3>2
	Gövde	32,815	0,851			
	Yaprak	83,005	0,700			
K	Kök	10745,535	1960,729	3,923	0,145	
	Gövde	6316,180	1398,558			
	Yaprak	8797,200	1318,047			
Ca	Kök	5806,480	2355,641	0,050	0,952	
	Gövde	5102,755	3018,603			
	Yaprak	5543,750	786,656			

Zn M+	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	2901,278	143,411	294,875	0,000	3>1 1>2 3>2
	Gövde	965,535	16,879			
	Yaprak	3622,850	64,276			
Fe	Kök	1268,268	105,554	156,161	0,000	1>2 1>3
	Gövde	220,280	4,794			
	Yaprak	273,450	1,061			
Cu	Kök	14,125	0,426	686,951	0,000	1>2 3>2 1>3
	Gövde	4,490	0,156			
	Yaprak	5,765	0,163			
Mn	Kök	69,645	10,095	36,200	0,001	3>1 1>2 3>2
	Gövde	30,115	1,336			
	Yaprak	96,210	0,071			
K	Kök	11395,005	2538,308	2,071	0,272	
	Gövde	8263,750	1171,959			
	Yaprak	12573,750	2560,929			
Ca	Kök	6020,470	585,598	2,425	0,236	
	Gövde	6122,410	3047,065			
	Yaprak	9642,400	945,826			

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,002<0,05$). Farkın nedeni; kökün Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=1748,385$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=853,803$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=1740,150$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=853,803$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=2118,950$), kökün Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=1238,175$) yüksek olmasıdır. Kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=1238,175$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=470,600$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=2118,950$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=470,600$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=17,435$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=3,880$) yüksek olmasıdır. Kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=17,435$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=4,705$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=83,005$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=57,570$) yüksek olmasıdır. Kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=57,570$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=32,815$) yüksek olmasıdır. Yaprtağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=83,005$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=32,815$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre K ve Ca ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0.05$).

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=3622,850$), kökün Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=2901,278$) yüksek olmasıdır. Kökün Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=2901,278$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=965,535$) yüksek olmasıdır. Yaprtağın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=3622,850$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=965,535$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=1268,268$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=220,280$) yüksek olmasıdır. Kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=1268,268$), yaprağın Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=273,450$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=14,125$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=4,490$) yüksek olmasıdır. Yaprtağın Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=5,765$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=4,490$) yüksek olmasıdır. Kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=14,125$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=5,765$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=96,210$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=69,645$) yüksek olmasıdır. Kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=69,645$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=30,115$) yüksek olmasıdır. Yaprtağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=96,210$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=30,115$) yüksek olmasıdır.

Zn grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre K ve Ca ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0.05$).

Tablo 4.9: *Salvia fruticosa*'da Cd grubunda bitki element sonuçları

Cd M-	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	3213,420	78,319	1631,363	0,000	1>2
	Gövde	647,130	5,091			3>2
	Yaprak	1470,500	12,445			1>3
Fe	Kök	2858,280	7,297	49668,696	0,000	1>2
	Gövde	398,450	7,085			3>2
	Yaprak	766,050	10,451			1>3
Cu	Kök	13,700	0,057	7975,182	0,000	1>2
	Gövde	3,460	0,014			3>2
	Yaprak	5,955	0,134			1>3
Mn	Kök	108,955	0,785	6759,742	0,000	1>2
	Gövde	28,515	0,587			3>2
	Yaprak	38,590	0,863			1>3
K	Kök	9986,590	498,779	7,305	0,070	
	Gövde	4938,785	1718,418			
	Yaprak	9605,115	1812,902			
Ca	Kök	5205,630	3383,548	0,167	0,853	
	Gövde	4399,425	2145,822			
	Yaprak	6211,915	3677,783			

Cd M+	Grup	Ort	Ss	F	p	Fark
Mg	Kök	1987,175	74,230	437,757	0,000	3>1
	Gövde	882,280	6,378			1>2
	Yaprak	2736,695	58,556			3>2
Fe	Kök	629,650	14,611	705,207	0,000	1>2
	Gövde	207,530	2,503			3>2
	Yaprak	517,245	14,135			1>3
Cu	Kök	13,703	4,308	6,592	0,040	1>2
	Gövde	3,740	0,028			
	Yaprak	7,275	0,007			
Mn	Kök	42,703	2,995	680,336	0,000	3>1
	Gövde	29,765	0,050			1>2
	Yaprak	109,185	1,237			3>2
K	Kök	10171,650	1401,556	6,206	0,086	
	Gövde	6853,930	763,435			
	Yaprak	12080,140	2052,816			
Ca	Kök	4717,900	444,346	12,184	0,036	3>2
	Gövde	2345,210	646,055			
	Yaprak	7455,970	1614,424			

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=3213,420$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=647,130$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=1470,500$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=647,130$) yüksek olmasıdır. Kökün Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=3213,420$), yaprağın Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1470,500$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=2858,280$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=398,450$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=766,050$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=398,450$) yüksek olmasıdır. Kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=2858,280$), yaprağın Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=766,050$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=13,700$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=3,460$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=5,955$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=3,460$) yüksek olmasıdır. Kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=13,700$), yaprağın Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=5,955$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=108,955$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=28,515$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=38,590$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=28,515$) yüksek olmasıdır. Kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=108,955$), yaprağın Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=38,590$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre K ve Ca ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0.05$).

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Mg ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=2736,695$), kökün Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=1987,175$) yüksek olmasıdır. Kökün Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=1987,175$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=882,280$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Mg ölçümlerinin ($\bar{x}=2736,695$), gövdenin Mg ölçümlerinden ($\bar{x}=882,280$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Fe ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=629,650$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=207,530$) yüksek olmasıdır. Yaprığın Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=517,245$), gövdenin Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=207,530$) yüksek olmasıdır. Kökün Fe ölçümlerinin ($\bar{x}=629,650$), yaprağın Fe ölçümlerinden ($\bar{x}=517,245$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Cu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,040<0,05$). Farkın nedeni; kökün Cu ölçümlerinin ($\bar{x}=13,703$), gövdenin Cu ölçümlerinden ($\bar{x}=3,740$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Mn ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=109,185$), kökün Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=42,703$) yüksek olmasıdır. Kökün Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=42,703$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=29,765$) yüksek olmasıdır. Yaprtağın Mn ölçümlerinin ($\bar{x}=109,185$), gövdenin Mn ölçümlerinden ($\bar{x}=29,765$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Ca ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,036<0,05$). Farkın nedeni; yaprağın Ca ölçümlerinin ($\bar{x}=7455,970$), gövdenin Ca ölçümlerinden ($\bar{x}=2345,210$) yüksek olmasıdır.

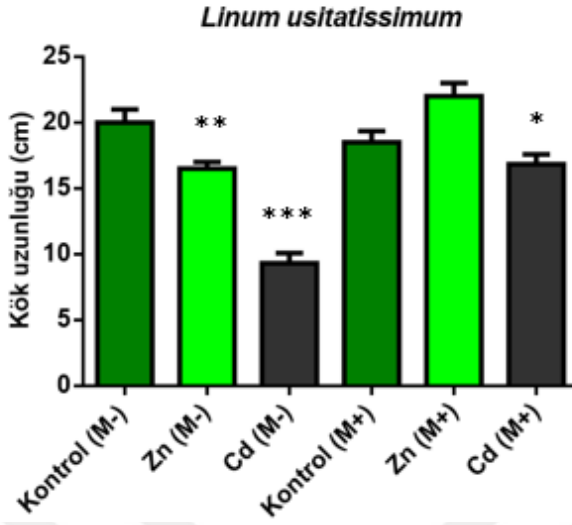
Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre K ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir($p>0.05$).

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda bitki organlarına göre Cd ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,005<0,05$). Farkın nedeni; kökün Cd ölçümlerinin ($\bar{x}=0,915$), gövdenin Cd ölçümlerinden ($\bar{x}=0,000$) yüksek olmasıdır. Kökün Cd ölçümlerinin ($\bar{x}=0,915$), yaprağın Cd ölçümlerinden ($\bar{x}=0,120$) yüksek olmasıdır.

Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda bitki organlarına göre Cd ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,000<0,05$). Farkın nedeni; gövdenin Cd ölçümlerinin ($\bar{x}=0,900$), kökün Cd ölçümlerinden ($\bar{x}=0,470$) yüksek olmasıdır. Yaprtağın Cd ölçümlerinin ($\bar{x}=0,630$), kökün Cd ölçümlerinden ($\bar{x}=0,470$) yüksek olmasıdır. Gövdenin Cd ölçümlerinin ($\bar{x}=0,900$), yaprağın Cd ölçümlerinden ($\bar{x}=0,630$) yüksek olmasıdır.

4.2.2.3 *Linum usitatissimum*'da KÖK UZUNLUĞU

Çimlenme, fide büyümesi, şaşırtma, mikoriza gelişimi, ağır metal uygulamalarının ardından yaklaşık 20. Haftalık süre sonunda hasat öncesi kök boyu tam olarak ölçülmüştür. Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütölen çalışmamızda elde edilmiş olan kök uzunluğu ile ilgili verilerde istatistiksel analiz yapılmıştır.



Şekil 4.4: *Linum usitatissimum*'da kök uzunluğu

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında kontrol grubunda mikorizaya göre kök uzunluğu ölçümleri anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Zn grubunda mikorizaya göre kök uzunluğu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001^{**}<0,05$). Mikoriza uygulanan bitkilerde kök uzunluğu ölçümleri, mikoriza uygulanmayanlardan yüksek çıkmıştır.

Cd grubunda mikorizaya göre kök uzunluğu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,0003^{***}<0,05$). Mikoriza uygulanan bitkilerde kök uzunluğu ölçümleri, mikoriza uygulanmayanlardan yüksek çıkmıştır.

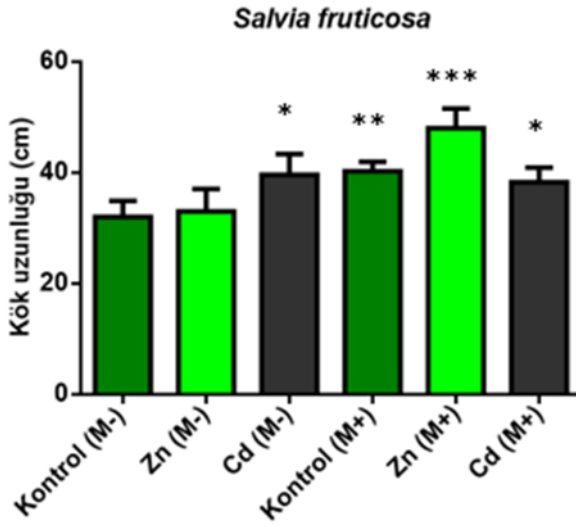
Mikoriza uygulanmayan Kontrol-Zn grupları arasında ($p=0,0056^{**}<0,05$) ve Kontrol-Cd grupları arasında ($p=0,0001^{***}<0,05$) kök uzunluğu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun kök uzunluğu ölçümleri, Zn ve Cd grubunun kök uzunluğu ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan Kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Cd grubu arasında ($p=0,121^{*}<0,05$) kök uzunluğu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan Kontrol grubunun kök uzunluğu ölçümleri, mikoriza uygulanan Cd grubunun kök uzunluğu ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanan Kontrol-Zn grupları arasında ($p=0,102^*<0.05$) kök uzunluğu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn grubunun kök uzunluğu ölçümleri, kontrol grubunun kök uzunluğu ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

4.2.2.4 *Salvia fruticosa*'da KÖK UZUNLUĞU

Çimlenme, fide büyümesi, şaşırtma, mikoriza gelişimi, ağır metal uygulamalarının ardından yaklaşık 20. Haftalık süre sonunda hasat öncesi kök boyu tam olarak ölçülmüştür. Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan kök uzunluğu ile ilgili verilerde varyans analizi yapılmıştır.



Şekil 4.5: *Salvia fruticosa*'da kök uzunluğu

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında Cd grubunda mikorizaya göre kök uzunluğu ölçümleri anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Kontrol grubunda mikorizaya göre kök uzunluğu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,0029^{**}<0.05$). Mikoriza uygulanan bitkilerde kök uzunluğu ölçümleri, mikoriza uygulanmayanlardan yüksek çıkmıştır.

Zn grubunda mikorizaya göre kök uzunluğu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,0015^{**}<0.05$). Mikoriza uygulanan bitkilerde kök uzunluğu ölçümleri, mikoriza uygulanmayanlardan yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan Kontrol-Cd grupları arasında ($p=0,0184^{**}<0.05$) kök uzunluğu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Cd grubunun kök uzunluğu ölçümleri, kontrol grubunun kök uzunluğu ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

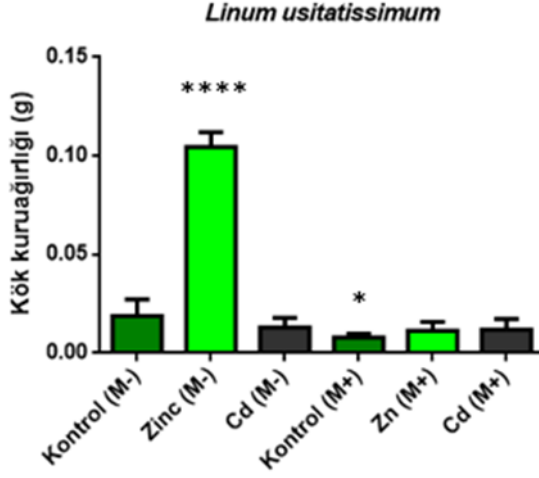
Mikoriza uygulanmayan Kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Cd grubu arasında ($p=0,0187^{*}<0.05$) kök uzunluğu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanan Cd grubunun kök uzunluğu ölçümleri, mikoriza uygulanmayan kontrol grubunun kök uzunluğu ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan Kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Zn grubu arasında ($p=0,0004^{***}<0.05$) kök uzunluğu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanan Zn grubunun kök uzunluğu ölçümleri, mikoriza uygulanmayan kontrol grubunun kök uzunluğu ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanan Kontrol-Zn grupları arasında ($p=0,0077^{**}<0.05$) kök uzunluğu ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn grubunun kök uzunluğu ölçümleri, kontrol grubunun kök uzunluğu ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

4.2.2.5 *Linum usitassimum*'da KÖK KURU AĞIRLIĞI

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan kök kuru ağırlığı ile ilgili verilerde t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında, Cd grubunda kök kuru ağırlığı ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).



Şekil 4.6: *Linum usitatissimum*'da kök kuru ağırlığı

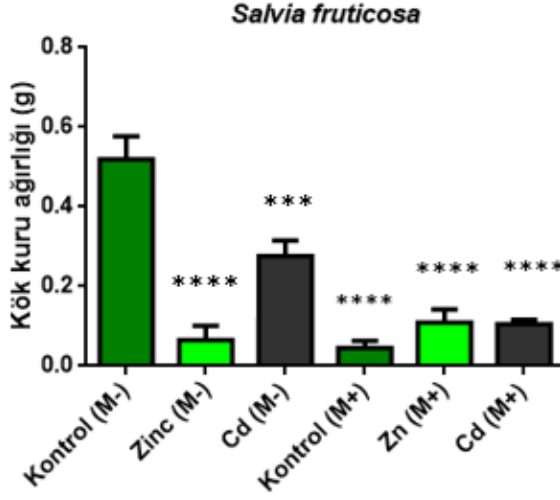
Kontrol grubunda mikorizaya göre kök kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,0490^*<0.05$). Mikoriza uygulanmayan bitkilerde kök kuru ağırlığı ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır.

Zn grubunda mikorizaya göre kök kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanmayan bitkilerde kök kuru ağırlığı ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan Kontrol-Zn grupları arasında ($p<0,0001^{****}$) kök kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn grubunun kök kuru ağırlığı ölçümleri, kontrol grubunun kök kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

4.2.2.6 *Salvia fruticosa*'da KÖK KURU AĞIRLIĞI

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan kök kuru ağırlığı ile ilgili verilerde t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında, Zn grubunda kök kuru ağırlığı ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).



Şekil 4.7: *Salvia fruticosa*'da kök kuru ağırlığı

Kontrol grubunda mikorizaya göre kök kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,0001$ ****). Mikoriza uygulanmayan bitkilerde kök kuru ağırlığı ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır.

Cd grubunda mikorizaya göre kök kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,0001$ ****). Mikoriza uygulanmayan bitkilerde kök kuru ağırlığı ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan Kontrol-Zn grupları arasında ($p < 0,0001$ ****) kök kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun kök kuru ağırlığı ölçümleri, Zn grubunun kök kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan Kontrol-Cd grupları arasında ($p = 0,0004$ **** $< 0,05$) kök kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun kök kuru ağırlığı ölçümleri, Cd grubunun kök kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan Kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Zn grubu arasında ($p < 0,0001$ ****) kök kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubunun kök kuru ağırlığı ölçümleri, mikoriza uygulanan Zn grubunun kök kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

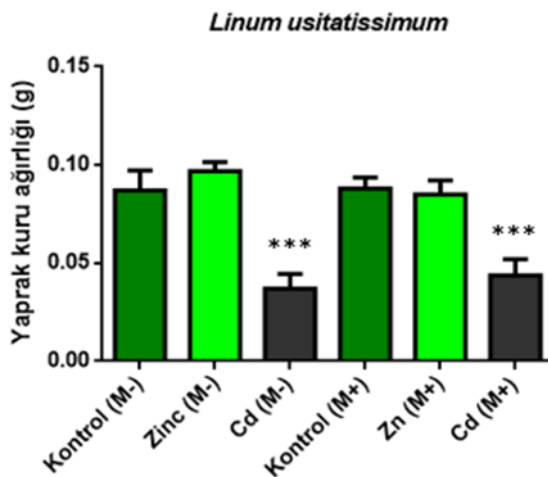
Mikoriza uygulanmayan Kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Cd grubu arasında ($p<0,0001^{****}$) kök kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubunun kök kuru ağırlığı ölçümleri, mikoriza uygulanan Cd grubunun kök kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanan Kontrol-Zn grupları arasında ($p=0,0128^{*}<0.05$) kök kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn grubunun kök kuru ağırlığı ölçümleri, kontrol grubunun kök kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanan Kontrol-Cd grupları arasında ($p=0,0012^{**}<0.05$) kök kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Cd grubunun kök kuru ağırlığı ölçümleri, kontrol grubunun kök kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

4.2.2.7 *Linum usitatissimum*'da YAPRAK KURU AĞIRLIĞI

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan yaprak kuru ağırlığı ile ilgili verilerde t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında, kontrol ve Cd grubunda yaprak kuru ağırlığı ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).



Şekil 4.8: *Linum usitatissimum*'da yaprak kuru ağırlığı

Zn grubunda mikorizaya göre yaprak kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,0321^{*}<0,05$). Mikoriza uygulanmayan bitkilerde yaprak kuru ağırlığı ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır.

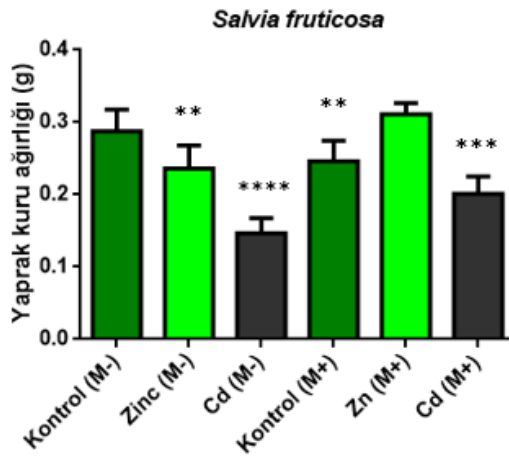
Mikoriza uygulanmayan Kontrol-Cd grupları arasında ($p=0,0002^{***}<0,05$) yaprak kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümleri, Cd grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan Kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Cd grubu arasında ($p=0,0006^{***}<0,05$) yaprak kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümleri, mikoriza uygulanan Cd grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanan Kontrol-Cd grupları arasında ($p=0,0001^{***}<0,05$) yaprak kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümleri, Cd grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

4.2.2.8 *Salvia fruticosa*'da YAPRAK KURU AĞIRLIĞI

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan yaprak kuru ağırlığı ile ilgili verilerde varyans analizi yapılmıştır.



Şekil 4.9: *Salvia fruticosa*' da yaprak kuru ağırlığı

Kontrol grubunda mikorizaya göre yaprak kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,0088^{**}<0,05$). Mikoriza uygulanmayan bitkilerde yaprak kuru ağırlığı ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır.

Zn grubunda mikorizaya göre yaprak kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,0004^{***}<0,05$). Mikoriza uygulanan bitkilerde yaprak kuru ağırlığı ölçümleri, mikoriza uygulanmayanlardan yüksek çıkmıştır.

Cd grubunda mikorizaya göre yaprak kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,0007^{***}<0,05$). Mikoriza uygulanan bitkilerde yaprak kuru ağırlığı ölçümleri, mikoriza uygulanmayanlardan yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan Kontrol-Zn grupları arasında ($p=0,0037^{**}<0,05$) yaprak kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümleri, Zn grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan Kontrol-Cd grupları arasında ($p<0,0001^{****}$) yaprak kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümleri, Cd grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan Kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Cd grubu arasında ($p=0,0002^{***}<0,05$) yaprak kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümleri, mikoriza uygulanan Cd grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanan Kontrol-Zn grupları arasında ($p=0,0009^{***}<0,05$) yaprak kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümleri, kontrol grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanan Kontrol-Cd grupları arasında ($p=0,0047^{**}<0,05$) yaprak kuru ağırlığı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümleri, Cd grubunun yaprak kuru ağırlığı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

4.2.2.9 *Linum usitassimum* ve *Salvia fruticosa*'da YAPRAK SAYISI

Hasat işlemi sırasında bitkilerin yaprak sayıları belirlenmiştir. Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan yaprak sayısı ile ilgili verilerde varyans analizi yapılmıştır.

Linum usitassimum bitkisinde kontrol ve Cd grubunda mikorizaya göre yaprak sayısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0.05$). Zn grubunda yaprak sayısı ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p > 0.05$). Kontrol grubunda mikoriza uygulamasının yaprak sayısını artırdığı, Cd grubunda mikoriza uygulamasının yaprak sayısını azalttığı belirlenmiştir.

Salvia fruticosa bitkisinde kontrol ve Cd grubunda yaprak sayısı ölçümleri mikorizaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p > 0.05$). Zn grubunda mikorizaya göre yaprak sayısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0.05$). Zn grubunda mikoriza uygulamasının yaprak sayısını artırdığı belirlenmiştir.

4.2.2.10 *Linum usitassimum*'da TOTAL FENOLİK İÇERİĞİ

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan total fenolik içeriği ile ilgili verilerde varyans analizi yapılmıştır.

Tablo 4.10: *Linum usitassimum*'da total fenolik içeriği

		Grup	Ort	Ss	sd	p
Kontrol	Mikoriza -	Gövde	0,245	0,002	6	0,002
		Yaprak	0,330	0,018		
	Mikoriza +	Gövde	0,161	0,003	6	0,000
		Yaprak	0,291	0,004		
ZN	Mikoriza -	Gövde	0,203	0,003	6	0,001
		Yaprak	0,281	0,014		
	Mikoriza +	Gövde	0,207	0,014	6	0,000
		Yaprak	0,375	0,004		
CD	Mikoriza -	Gövde	0,185	0,016	6	0,001
		Yaprak	0,268	0,003		
	Mikoriza +	Gövde	0,146	0,004	6	0,000
		Yaprak	0,297	0,013		

Kontrol grubunda mikoriza uygulanmayan bitkilerde organlara göre total fenolik içeriği anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,002<0,05$). Yaprığın total fenolik içeriği ölçümleri ($\bar{x}=0,330$), gövdenin total fenolik içeriği ölçümlerinden ($\bar{x}=0,245$) yüksek bulunmuştur.

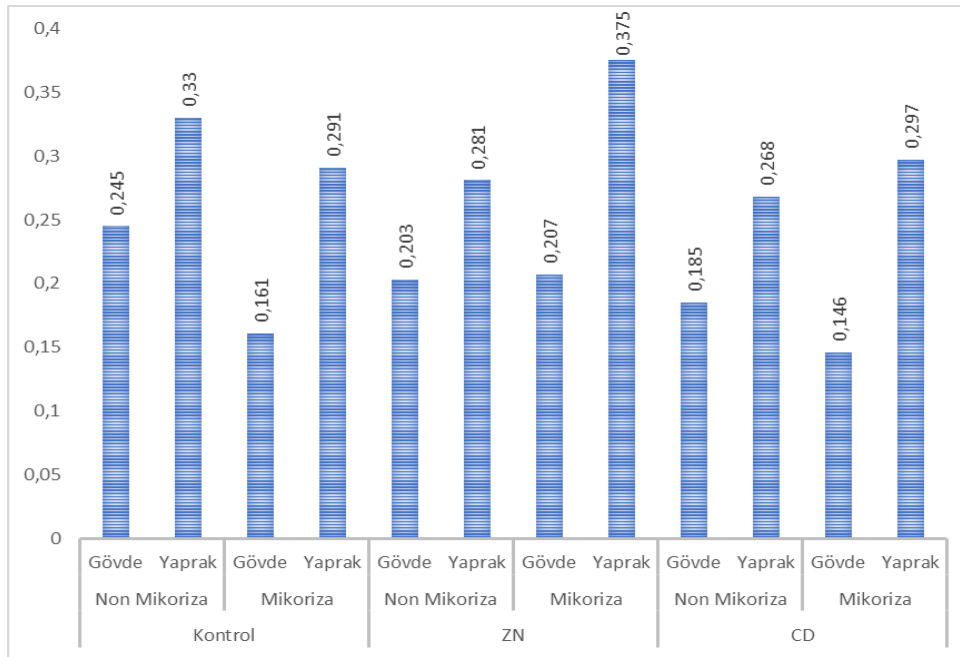
Kontrol grubunda mikoriza uygulanan bitkilerde organlara göre total fenolik içeriği anlamlı farklılık göstermektedir($p=0,000<0,05$). Yaprığın total fenolik içeriği ($\bar{x}=0,291$), gövdenin fenolik içeriğinden ($\bar{x}=0,161$) yüksek bulunmuştur.

Zn grubunda mikoriza uygulanmayan bitkilerde organa göre total fenolik içerik ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,001<0,05$). Yaprığın total fenolik içerik ölçümleri ($\bar{x}=0,281$), gövdenin total fenolik içerik ölçümlerinden ($\bar{x}=0,203$) yüksek bulunmuştur.

Zn grubu mikoriza uygulanan bitkilerde organa göre total fenolik içerik ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0,000<0,05$). Yaprığın fenolik içerik ölçümleri ($\bar{x}=0,375$), gövdenin fenolik içerik ölçümlerinden ($\bar{x}=0,207$) yüksek bulunmuştur.

Cd grubu mikoriza uygulanmayan bitkilerde organa göre total fenolik içerik ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0,001<0,05$). Yaprığın fenolik içerik toplam ölçümleri ($\bar{x}=0,268$), gövdenin fenolik içerik ölçümlerinden ($\bar{x}=0,185$) yüksek bulunmuştur.

Cd grubu mikoriza uygulanan bitkilerde organa göre fenolik içerik ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0,000<0,05$). Yaprığın total fenolik içerik ölçümleri ($\bar{x}=0,297$), gövdenin fenolik içerik toplam ölçümlerinden ($\bar{x}=0,146$) yüksek bulunmuştur.



Şekil 4.10: *Linum usitatissimum*'da total fenolik içeriği

4.2.2.11 *Salvia fruticosa*'da TOTAL FENOLİK İÇERİĞİ

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan total fenolik içeriği ile ilgili verilerde varyans analizi yapılmıştır.

Tablo 4.11: *Salvia fruticosa*'da total fenolik içeriği

		Grup	Ort	Ss	sd	p
Kontrol	Mikoriza -	Gövde	0,354	0,010	6	0,000
		Yaprak	1,660	0,037		
	Mikoriza +	Gövde	0,513	0,009	6	0,080
		Yaprak	0,484	0,022		
ZN	Mikoriza -	Gövde	0,422	0,002	6	0,001
		Yaprak	0,552	0,019		
	Mikoriza +	Gövde	0,245	0,006	6	0,000
		Yaprak	0,473	0,018		
CD	Mikoriza -	Gövde	0,468	0,008	10	0,097
		Yaprak	0,804	0,496		
	Mikoriza +	Gövde	0,555	0,002	6	0,000
		Yaprak	0,260	0,002		

Kontrol grubunda mikoriza uygulanmayan bitkilerde organa göre total fenolik içerik ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0,000<0,05$). Yaprığın fenolik içerik toplam ölçümleri ($\bar{x}=1,660$), gövdenin fenolik içerik ölçümlerinden ($\bar{x}=0,354$) yüksek bulunmuştur.

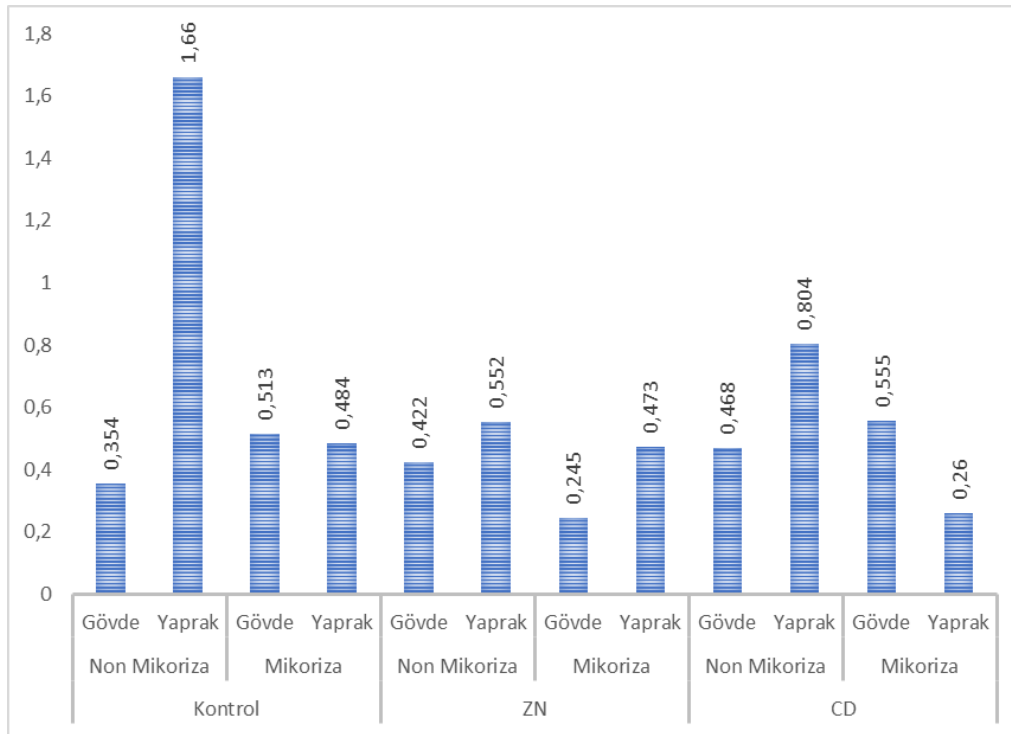
Kontrol grubunda mikoriza uygulanan bitkilerde total fenolik içerik ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Zn grubunda mikoriza uygulanmayan bitkilerde organa göre fenolik içerik ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0,001<0,05$). Yaprığın fenolik içerik toplam ölçümleri ($\bar{x}=0,552$), gövdenin fenolik içerik toplam ölçümlerinden ($\bar{x}=0,422$) yüksek bulunmuştur.

Zn grubunda mikoriza uygulanan bitkilerde organa göre fenolik içerik toplam ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0,000<0,05$). Yaprığın fenolik içerik toplam ölçümleri ($\bar{x}=0,473$), gövdenin fenolik içerik toplam ölçümlerinden ($\bar{x}=0,245$) yüksek bulunmuştur.

Cd grubunda mikoriza uygulanmayan bitkilerde fenolik içerik toplam ölçümleri organa göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Cd grubunda mikoriza uygulanan bitkilerde organa göre fenolik içerik toplam ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir($p=0,000<0,05$). Gövdenin fenolik içerik toplam ölçümleri ($\bar{x}=0,555$), yaprağın fenolik içerik toplam ölçümlerinden ($\bar{x}=0,260$) yüksek bulunmuştur.



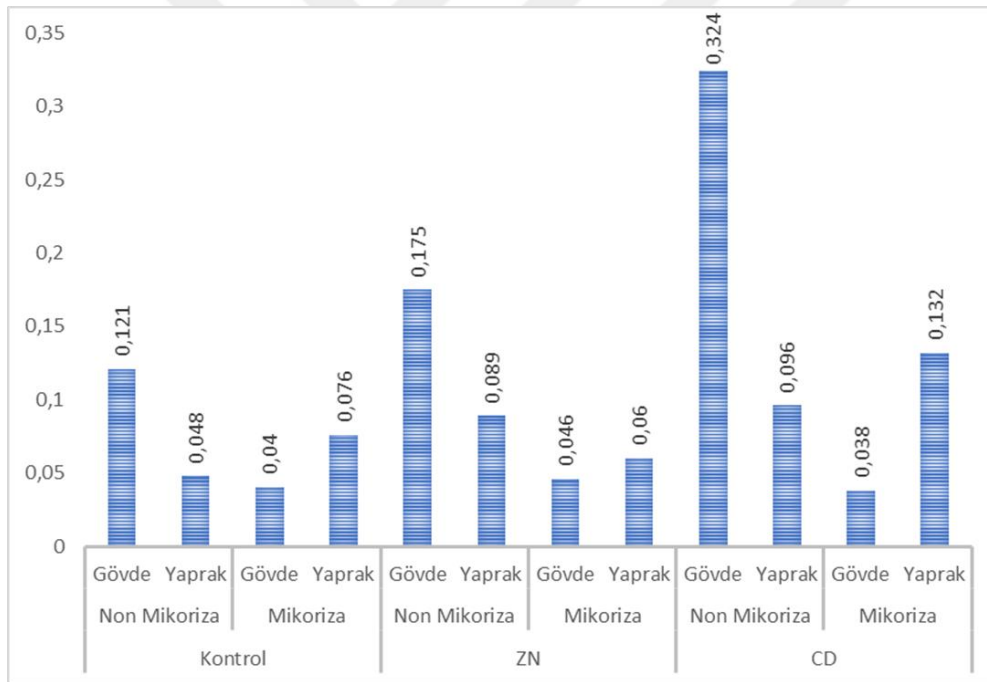
Şekil 4.11: *Salvia fruticosa*'da total fenolik içeriği

4.2.2.12 *Linum usitatissimum*'da PROLIN BİRİKİMİ

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan prolin birikimi ile ilgili verilerde varyans analizi yapılmıştır. Kontrol, Zn ve Cd gruplarında mikorizasız ve mikorizalı durumlarda prolin ölçümleri organlara göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p > 0,05$).

Tablo 4.12: *Linum usitassimum*'da prolin birikimi

Grup	Mikoriza Durumu	Organ	Ort	Ss	sd	p
Kontrol	Mikoriza -	Gövde	0,121	0,093	4	0,282
		Yaprak	0,048	0,040		
	Mikoriza +	Gövde	0,040	0,050	4	0,450
		Yaprak	0,076	0,058		
ZN	Mikoriza -	Gövde	0,175	0,108	4	0,309
		Yaprak	0,089	0,068		
	Mikoriza +	Gövde	0,046	0,047	4	0,744
		Yaprak	0,060	0,053		
CD	Mikoriza -	Gövde	0,324	0,211	4	0,146
		Yaprak	0,096	0,063		
	Mikoriza +	Gövde	0,038	0,050	4	0,185
		Yaprak	0,132	0,088		

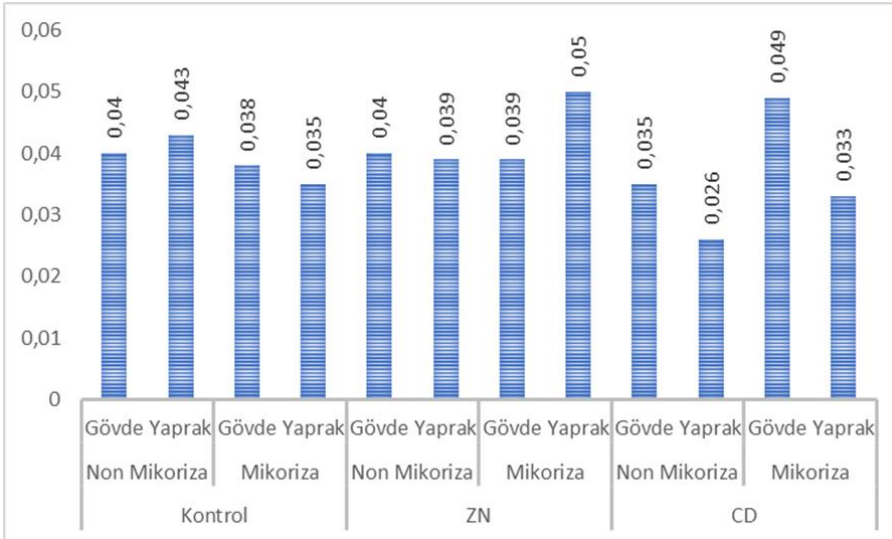
**Şekil 4.12:** *Linum usitassimum*'da prolin birikimi

4.2.2.13 *Salvia fruticosa*'da PROLİN BİRİKİMİ

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan prolin birikimi ile ilgili verilerde varyans analizi yapılmıştır. Kontrol, Zn ve Cd gruplarında mikorizasız ve mikorizalı durumlarda prolin ölçümleri organlara göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Tablo 4.13: *Salvia fruticosa*'da prolin birikimi

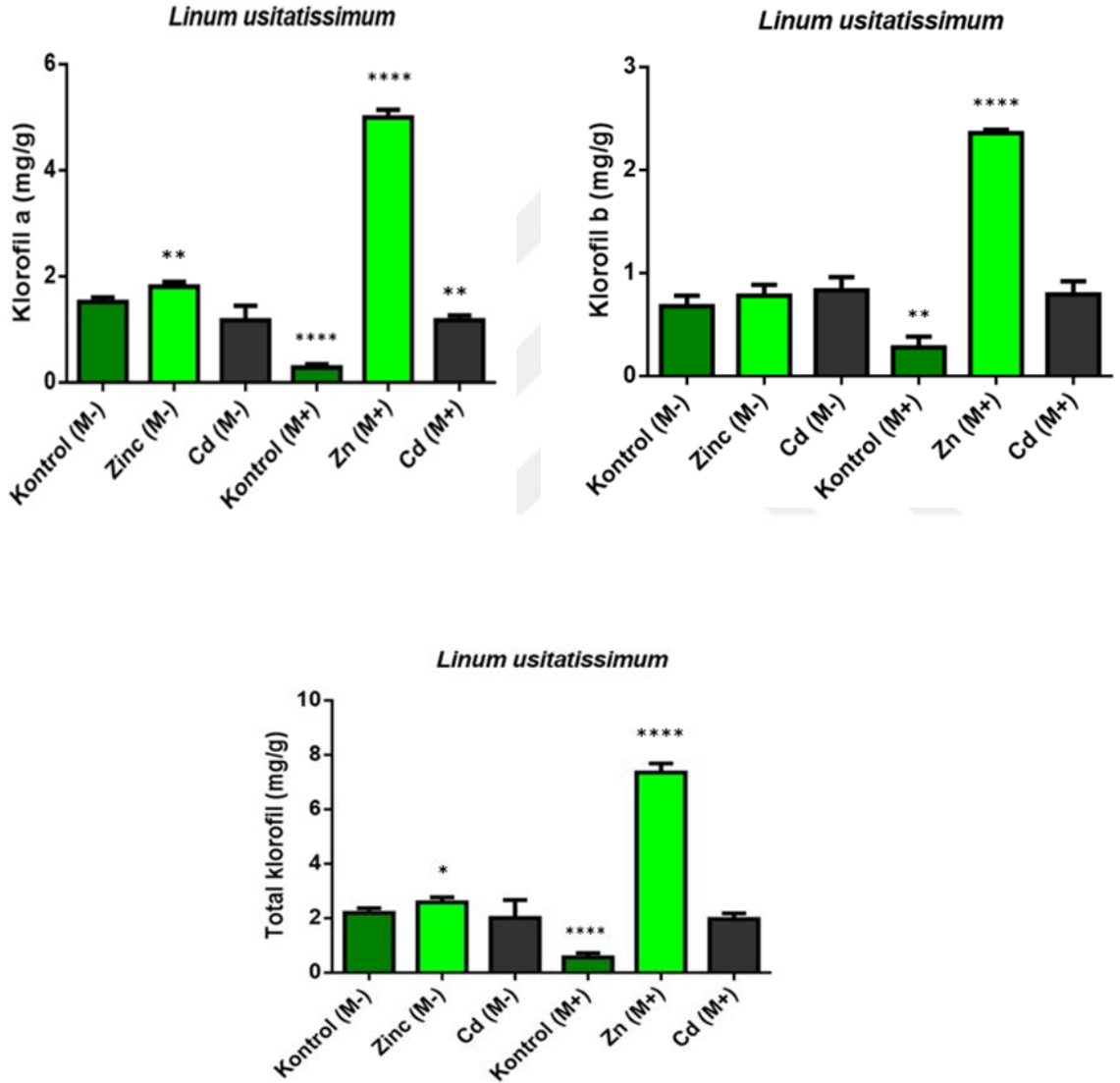
Grup	Mikoriza Durumu	Organ	Ort	Ss	sd	p
Kontrol	Mikoriza -	Gövde	0,040	0,047	4	0,942
		Yaprak	0,043	0,040		
	Mikoriza +	Gövde	0,038	0,050	4	0,935
		Yaprak	0,035	0,031		
ZN	Mikoriza -	Gövde	0,040	0,050	4	0,966
		Yaprak	0,039	0,037		
	Mikoriza +	Gövde	0,039	0,052	4	0,819
		Yaprak	0,050	0,055		
CD	Mikoriza -	Gövde	0,035	0,050	4	0,786
		Yaprak	0,026	0,019		
	Mikoriza +	Gövde	0,049	0,059	4	0,673
		Yaprak	0,033	0,023		



Şekil 4.13: *Salvia fruticosa*'da prolin birikimi

4.2.2.14 *Linum usitatissimum*'da FOTOSENTETİK PİGMENT İÇERİKLERİ

Bitkilerde fotosentetik pigmentler klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoitler olarak gruplandırılırlar. Çalışmamızda elde edilmiş olan klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ile ilgili veriler Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan verilerde t testine göre istatistiksel analiz yapılmıştır.



Şekil 4.14: *Linum usitatissimum*'da klorofil a, klorofil b, toplam klorofil miktarları

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında Cd grubunda mikorizaya göre klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Kontrol grubunda mikorizaya göre klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanmayan bitkilerde klorofil a ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır. Zn grubunda mikorizaya göre klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanan bitkilerde klorofil a ölçümleri, mikoriza uygulanmayanlardan yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol-Zn grupları arasında ($p=0,0037^{**}<0,05$) klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn grubunun klorofil a ölçümleri, kontrol grubunun klorofil a ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Cd grubu arasında ($p=0,0015^{**}<0,05$) klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Zn grubu arasında ($p<0,0001^{****}$) klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir.

Mikoriza uygulanan kontrol-Zn ve kontrol-Cd grupları arasında ($p<0,0001^{****}$) klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn ve Cd grubunun klorofil a ölçümleri, kontrol grubunun klorofil a ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında Cd grubunda mikorizaya göre klorofil b ölçümleri anlamlı farklılık göstermemektedir ($p>0,05$).

Kontrol grubunda mikorizaya göre klorofil b ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,0016^{**}<0,05$). Mikoriza uygulanmayan bitkilerde klorofil b ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır.

Zn grubunda mikorizaya göre klorofil b ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanan bitkilerde klorofil b ölçümleri, mikoriza uygulanmayanlardan yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Zn grubu arasında ($p < 0,0001^{****}$) klorofil b ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanan Zn grubunun klorofil b ölçümleri, mikoriza uygulanmayan kontrol grubunun klorofil b ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanan kontrol-Zn ($p < 0,0001^{****}$) ve kontrol-Cd ($p = 0,0008^{****} < 0,05$) grupları arasında klorofil b ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn ve Cd grubunun klorofil b ölçümleri, kontrol grubunun klorofil b ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında Cd grubunda mikorizaya göre total klorofil ölçümleri anlamlı farklılık göstermemektedir ($p > 0,05$).

Kontrol grubunda mikorizaya göre total klorofil ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanmayan bitkilerde total klorofil ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır.

Zn grubunda mikorizaya göre total klorofil ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanan bitkilerde total klorofil ölçümleri, mikoriza uygulanmayanlardan yüksek çıkmıştır.

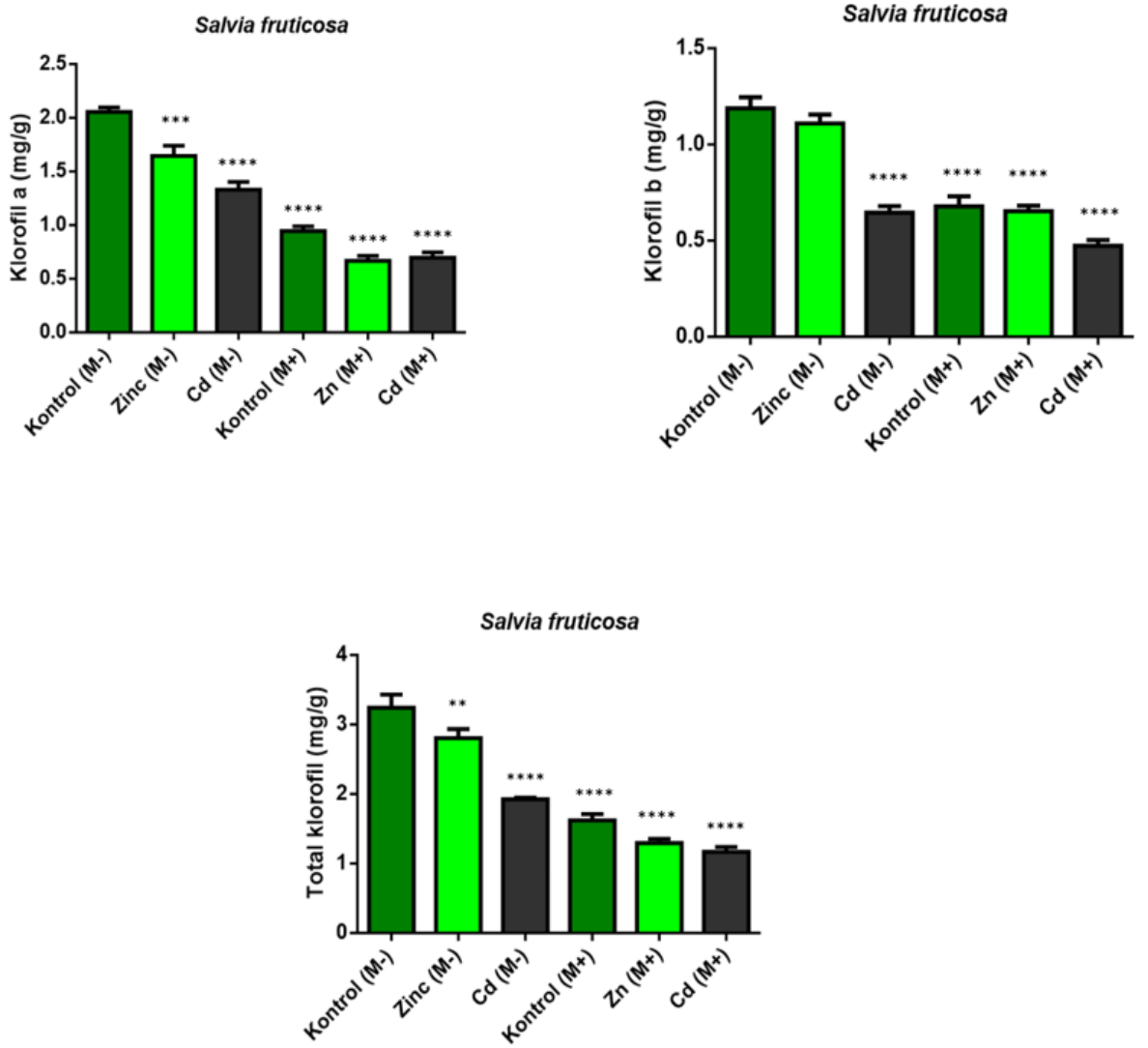
Mikoriza uygulanmayan kontrol-Zn grupları arasında ($p = 0,0214^{**} < 0,05$) total klorofil ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn grubunun total klorofil ölçümleri, kontrol grubunun total klorofil ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Zn grubu arasında ($p < 0,0001^{****}$) total klorofil ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanan Zn grubunun total klorofil ölçümleri, mikoriza uygulanmayan kontrol grubunun total klorofil ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanan kontrol-Zn ve kontrol-Cd grupları arasında ($p < 0,0001^{****}$) total klorofil ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn ve Cd grubunun total klorofil ölçümleri, kontrol grubunun total klorofil ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

4.2.2.15 *Salvia fruticosa*'da FOTOSENTETİK PİGMENT İÇERİKLERİ

Bitkilerde fotosentetik pigmentler klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoidler olarak gruplandırılırlar. Çalışmamızda elde edilmiş olan klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ile ilgili veriler Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda elde edilmiş olan verilerde t testine göre istatistiksel analiz yapılmıştır.



Şekil 4.15: *Salvia fruticosa*'da klorofil a, klorofil b, toplam klorofil miktarları

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında kontrol grubunda mikorizaya göre klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanmayan bitkilerde klorofil a ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır.

Zn grubunda mikorizaya göre klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanmayan bitkilerde klorofil a ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır. Cd grubunda mikorizaya göre klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanmayan bitkilerde klorofil a ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol-Zn grupları arasında ($p = 0,0002^{***} < 0,05$) klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun klorofil a ölçümleri, Zn grubunun klorofil a ölçümlerinden yüksek çıkmıştır. Mikoriza uygulanmayan kontrol-Cd grupları arasında ($p < 0,0001^{****}$) klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun klorofil a ölçümleri, Cd grubunun klorofil a ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Cd grubu arasında ($p < 0,0001^{****}$) klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Zn grubu arasında ($p < 0,0001^{****}$) klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir.

Mikoriza uygulanan kontrol-Zn ($p = 0,0001^{***} < 0,05$) ve kontrol-Cd grupları arasında ($p = 0,0003^{***} < 0,05$) klorofil a ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun klorofil a ölçümleri, Zn ve Cd grubunun klorofil a ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında kontrol ve Zn grubunda ($p < 0,0001^{****}$) mikorizaya göre klorofil b ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan bitkilerde klorofil b ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır.

Cd grubunda mikorizaya göre klorofil b ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,0003^{***}<0,05$). Mikoriza uygulanmayan bitkilerde klorofil b ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Zn grubu arasında ($p<0,0001^{****}$) klorofil b ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubunun klorofil b ölçümleri, mikoriza uygulanan Zn grubunun klorofil b ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Cd grubu arasında ($p<0,0001^{****}$) klorofil b ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubunun klorofil b ölçümleri, mikoriza uygulanan Cd grubunun klorofil b ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanan kontrol-Cd ($p=0,0005^{***}<0,05$) grupları arasında klorofil b ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun klorofil b ölçümleri, Cd grubunun klorofil b ölçümlerinden yüksek çıkmıştır. Mikoriza uygulanmayan kontrol-Cd grupları arasında ($p<0,0001^{****}$) klorofil b ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun klorofil b ölçümleri, Cd grubunun klorofil b ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen çalışmamızda t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında kontrol, Zn ve Cd grubunda mikorizaya göre total klorofil ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0,0001^{****}$). Mikoriza uygulanmayan bitkilerde total klorofil ölçümleri, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır.

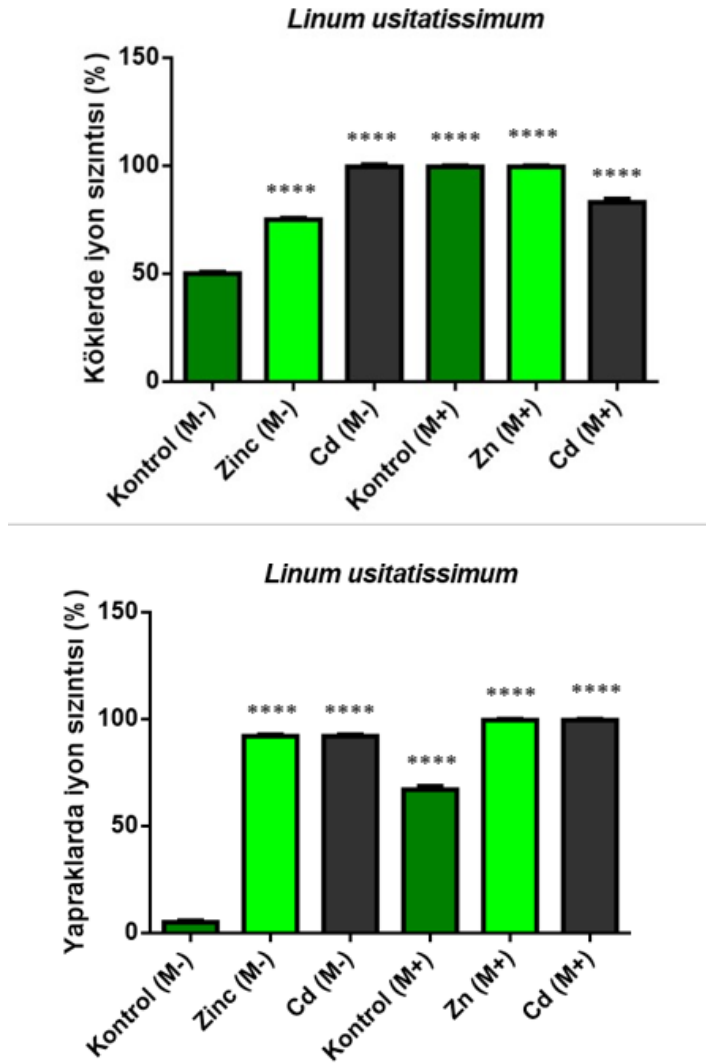
Mikoriza uygulanmayan kontrol-Zn grupları arasında ($p=0,0088^{**}<0,05$) total klorofil ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun total klorofil ölçümleri, Zn grubunun total klorofil ölçümlerinden yüksek çıkmıştır. Mikoriza uygulanmayan kontrol-Cd grupları arasında ($p<0,0001^{****}$) total klorofil ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun total klorofil ölçümleri, Cd grubunun total klorofil ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Cd ve Zn grubu arasında ($p<0,0001^{****}$) total klorofil ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubunun total klorofil ölçümleri, mikoriza uygulanan Cd ve Zn grubunun total klorofil ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanan kontrol-Zn ($p=0,0010^{***}<0.05$) ve kontrol-Cd grupları arasında ($p=0,0002^{***}<0.05$) total klorofil ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun total klorofil ölçümleri, Zn ve Cd grubunun total klorofil ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

4.2.2.16 *Linum usitatissimum* ve *Salvia fruticosa*'da KÖK VE YAPRAK İYON SIZINTISI

Çalışmamızda elde edilmiş olan kök ve yaprak iyon sızıntısı ile ilgili veriler Şekil 4.16 ve 4.17'de gösterilmiştir.



Şekil 4.16: *Linum usitatissimum*'da kök ve yaprak iyon sızıntısı ölçümleri (%)

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen *Linum usitassimum* ile ilgili çalışmamızda t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında kontrol, Cd ve Zn grubunda mikorizaya göre kök iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0,0001^{****}$). Kontrol ve Zn gruplarında mikoriza uygulanan bitkilerde kök iyon sızıntısı ölçümleri, mikoriza uygulanmayan bitkilerden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol-Zn ve kontrol-Cd grupları arasında ($p<0,0001^{****}$) kök iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn ve Cd grubunun kök iyon sızıntısı ölçümleri, kontrol grubunun kök iyon sızıntısı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Cd grubu arasında ($p<0,0001^{****}$) kök iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Zn grubu arasında ($p<0,0001^{****}$) kök iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir.

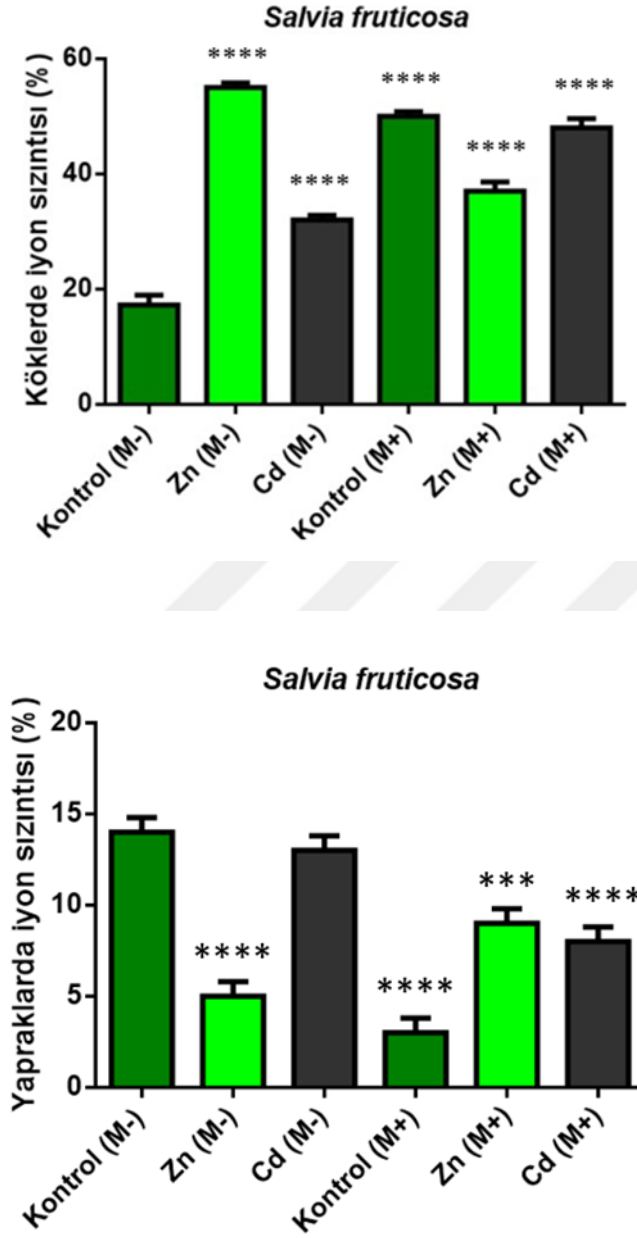
Mikoriza uygulanan kontrol-Cd ($p=0,0001^{***}<0,05$) grupları arasında kök iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun kök iyon sızıntısı ölçümleri, Cd grubunun kök iyon sızıntısı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen *Linum usitassimum* ile ilgili çalışmamızda t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında kontrol, Cd ve Zn grubunda mikorizaya göre yaprak iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0,0001^{****}$). Kontrol, Cd ve Zn gruplarında mikoriza uygulanan bitkilerde yaprak iyon sızıntısı ölçümleri, mikoriza uygulanmayan bitkilerden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol-Zn ve kontrol-Cd grupları arasında ($p<0,0001^{****}$) yaprak iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn ve Cd grubunun yaprak iyon sızıntısı ölçümleri, kontrol grubunun yaprak iyon sızıntısı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Cd grubu arasında ($p<0,0001^{****}$) yaprak iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Zn grubu arasında ($p<0,0001^{****}$) yaprak iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir.

Mikoriza uygulanan kontrol-Zn ve kontrol-Cd grupları arasında ($p < 0,0001$ ****) yaprak iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn ve Cd grubunun yaprak iyon sızıntısı ölçümleri, kontrol grubunun yaprak iyon sızıntısı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.17: *Salvia fruticosa*'da kök ve yaprak iyon sızıntısı ölçümleri (%)

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen *Salvia fruticosa* ile ilgili çalışmamızda t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında kontrol, Cd ve Zn grubunda mikorizaya göre kök iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,0001^{****}$). Kontrol ve Cd gruplarında mikoriza uygulanan bitkilerde kök iyon sızıntısı ölçümleri, mikoriza uygulanmayan bitkilerden yüksek çıkmıştır. Zn grubunda mikoriza uygulanmayan bitkilerde kök iyon sızıntısı ölçümleri, mikoriza uygulanan bitkilerden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol-Zn ve kontrol-Cd grupları arasında ($p < 0,0001^{****}$) kök iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn ve Cd grubunun kök iyon sızıntısı ölçümleri, kontrol grubunun kök iyon sızıntısı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Cd grubu arasında ($p < 0,0001^{****}$) kök iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Zn grubu arasında ($p < 0,0001^{****}$) kök iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir.

Mikoriza uygulanan kontrol-Zn ($p = 0,0001^{***} < 0,05$) grupları arasında kök iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun kök iyon sızıntısı ölçümleri, Zn grubunun kök iyon sızıntısı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Zn ve Cd stresi altında, mikorizalı veya mikorizasız olarak yürütülen *Salvia fruticosa* ile ilgili çalışmamızda t testine göre yapılan istatistik sonuçlarında kontrol ($p < 0,0001^{****}$), Cd ($p = 0,0001^{***} < 0,05$) ve Zn ($p = 0,0004^{***} < 0,05$) gruplarında mikorizaya göre yaprak iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol ve Cd gruplarında mikoriza uygulanmayan bitkilerde yaprak iyon sızıntısı ölçümleri, mikoriza uygulanan bitkilerden yüksek çıkmıştır. Zn grubunda mikoriza uygulanan bitkilerde yaprak iyon sızıntısı ölçümleri, mikoriza uygulanmayan bitkilerden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol-Zn grubunda ($p < 0,0001^{****}$) yaprak iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Kontrol grubunun yaprak iyon sızıntısı ölçümleri, Zn grubunun yaprak iyon sızıntısı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Cd grubu arasında ($p<0,0001^{****}$) yaprak iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Mikoriza uygulanmayan kontrol grubu ile mikoriza uygulanan Zn grubu arasında ($p=0,0001^{***}<0,05$) yaprak iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir.

Mikoriza uygulanan kontrol-Zn ($p<0,0001^{****}$) ve kontrol-Cd ($p=0,0001^{***}<0,05$) grupları arasında yaprak iyon sızıntısı ölçümleri anlamlı farklılık göstermektedir. Zn ve Cd grubunun yaprak iyon sızıntısı ölçümleri, kontrol grubunun yaprak iyon sızıntısı ölçümlerinden yüksek çıkmıştır.

Çalışma sonunda 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 ikili grupların karşılaştırılmasında kullanılan bağımsız t testi ($p<0.05$) GraphPad Prisma V.5 programı ile yapılmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırma, *Rhizophagus intraradices* ile mikoriza oluşturmuş ve ayrıca kontrol amaçlı mikorizasız olarak yetiştirilen *Linum usitassimum* ve *Salvia fruticosa* bitkilerinin farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metal stresine karşı geliştirdiği ekofizyolojik değişkenleri belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Abiyotik stres faktörlerinden ağır metaller ve mikorizanın bitki beslenmesi ve gelişimi ile strese karşı oluşturulabilecek cevaplar test edilmiştir.

Araştırmamızda, Cd ve mikoriza uygulanarak yetiştirilen *Linum usitassimum* bitkisindenın K ve Fe ölçümleri, mikoriza uygulanmayanlardan yüksek bulunmuştur. Bir başka deyişle, bu elementlerin topraktaki miktarları artmıştır. Mikoriza bitki köklerini etkili bir şekilde infekte etmediği zaman bitkilerin topraktan su ve N, Ca, Cu, Mn, S, Zn gibi besin maddelerini alması azalmaktadır. Mikoriza topraktan Emilimi güç olan hareketli elementleri hifler yardımı ile alarak bitkinin gelişmesini sağlar. Daha önceki çalışmalarda bitkilerin P, Zn, Ca, Cu, Mn, Fe, Mg içeriğini arttırdığı saptanmıştır [181]. Cd uygulamasının topraktaki Mg, K ve Fe elementlerinin miktarlarında değişime neden olmadığı ancak Cd-mikoriza interaksyonunun bu elementlerin topraktaki miktarlarını artırdığı saptanmıştır. Bu interaksyon kök hücreleri tarafından Fe alımını engellemektedir. Ayrıca K içeriğindeki azalmanın bozulan su dengesinin sonucu olduğu düşünülmektedir. [182].

Araştırmamızda *Salvia fruticosa* bitkisinin yetiştirildiği toprakta kontrol, Zn ve Cd gruplarında mikoriza uygulanan ve uygulanmayanlar arasında istatistiksel açıdan anlamlı sonuçlar bulunmamıştır. Mikoriza uygulaması Mg, K, Ca, Fe, Cu, Mn elementlerinin topraktaki miktarlarında değişime neden olmamaktadır. Başka bir deyişle, mikoriza uygulaması bu elementlerin kökler tarafından alınımını etkilememiştir. Cd grubunda mikoriza uygulananların topraktaki Cd ölçümleri mikoriza uygulanmayanların Cd ölçümlerinden yüksek bulunmuştur. Mikoriza uygulaması topraktan Cd alınımını engellemiştir. Cd'un toksik bir metal olduğu gözönüne alındığında bu metalin tıbbi bitki yapısına geçmesi oldukça tehlikelidir. Bu nedenle, *Salvia fruticosa*'da mikoriza uygulamasının Cd ağır metalinin topraktan alınımını engellemesi son derece önemlidir.

Deneyimizde, *Linum usitassimum*'da Cd grubunda mikoriza uygulanmayanların toprak azot ölçümleri, mikoriza uygulananların azot ölçümlerinden yüksek bulunmuştur. Mikoriza uygulaması Cd stresi durumuna rağmen topraktaki azotun alınmasını sağlamıştır.

Araştırmacılar, salatalık bitkisinde mikoriza uygulaması ile N, P, Zn, Cu [183], domateste N, Cu [184], dut fidanlarında ise N, P, K alımının arttığını bildirmişlerdir [185].

Deneyimizde *Salvia fruticosa*'da Kontrol ve Zn grubunda mikoriza uygulanmayanların toprak azot ölçümleri, mikoriza uygulananların azot ölçümlerinden yüksek bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle, mikoriza topraktan azot alımını artırmıştır. Edathil ve diğ. [186], steril, fosfor bakımından fakir (0,9 mg kg⁻¹ toprak) ve 4 farklı VAM'nın 15 değişik kombinasyonunun bulaştırıldığı toprak ortamında, domates yetiştirmişlerdir. Fideler tohum ekiminden 60 gün sonra sökülmüş, bitki uzunluğu ve biyokütle verimi bakımından, mikorizalı yetiştirilen bitkiler, mikorizasız olanlara göre daha iyi gelişim gösterdiği belirlenmiştir. VAM bitki dokularındaki uygulamalarının N ve P konsantrasyonlarını arttırdığı tespit edilmiştir.

Mikoriza uygulaması kök gelişimini, köklerin emilim kapasitesini, besin ve su alımını etkiler ve birçok mikro ve makro besin elementinin alımını sağlar [187,188]. AMF'in bitkideki su kullanımını artırdığı bildirilmiştir. Ruiz Lozano ve diğ. [189], su kullanımındaki artışın ekstra misel üretimi ve kök iletkenliğinin artması ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Daha önceki çalışmalar, mikorizalı bitkilerin daha yüksek su istekleri ve yüksek transpirasyon hızları olması sonucu topraktan daha fazla su aldıklarını bu nedenle mikoriza uygulanmış bitki topraklarının bağıl su içeriğinde mikoriza uygulanmamış bitkilerin toprağına oranla azalma olduğunu göstermiştir. Ancak bizim çalışmamızda hem *Linum usitassimum*'da hem de *Salvia fruticosa*'da toplam bağıl su içeriği ölçümleri mikorizaya göre kontrol, Cd ve Zn gruplarının hiçbirinde anlamlı çıkmamıştır. *Zea mays* L. bitkisinde Zhu ve diğ. [190] tarafından yapılan çalışmada, AM kolonizasyonunun mısır bitkisinin bağıl su içeriğini etkilediği, ancak normal sulama koşullarında AM ve NM bitkilerinde bağıl su içeriği bakımından fark olmadığı belirtilmiştir.

Deneyimizde, her iki bitkide de köklerde kolonizasyon yüzdesi ile ilgili sonuçlarda ağır metal stresinin etkisine rastlanmamıştır. Başka bir deyişle, AM simbiyozu ağır metal stresinin olumsuz etkisini ortadan kaldırmıştır ya da ağır metal stresi uygulamasından önce köklerde tamamen kolonizasyon meydana gelmiş ve stres kolonizasyonu engelleyememiştir. Farklı bitkilerde ağır metallerin mikoriza enfeksiyonu ve bitki gelişimi üzerine yapılan araştırmalarda

toprakta yüksek ağır metal konsantrasyonunda kök enfeksiyonun önemli derecede azaldığını, aşılama ile bitki büyümesinin olumlu yönde artış gösterdiğini bildirilmiştir.

Rubio ve diğ. [191], doğal mikorizanın marul ve domates fidelerinde etkisini araştırmışlar ve doğal olan iki *Glomus* türünün bitkinin yaşama süresini, % kök enfeksiyonunu olumlu yönde etkilediğini belirlemişlerdir. Rask ve diğ. [162] tarafından yapılan altı bitki türünde 7 farklı seviyede Cd uyguladıkları saksı deneyinde, *Linum*'un en yüksek Cd değişikliğinde bile nispeten yüksek kolonizasyon yoğunluğunu koruduğu görülmüştür. Diğer çalıştıkları türlerde Cd'deki ılımlı artışın mikorizal gelişimi uyardığını, Cd'nin ise daha yüksek konsantrasyonlarda mikorizayı engellediğini bildirmişlerdir. Hildebrandt ve diğ. [149] ve Audet ve Charest [148], toprağın ağır metal içeriği arttıkça köklerin mikorizal kolonizasyonunun arttığını bildirmiştir.

Araştırmamızda *Linum usitassimum*'da kontrol grubunda mikoriza uygulanmayan bitkide en fazla Mg, Fe, Cu, Ca birikiminin kökte, Mn ve K birikiminin yaprakta; kontrol grubunda mikoriza uygulanan bitkide en fazla Mg, Fe, Cu, Mn, K, Ca birikiminin yaprakta olduğu görülmüştür. Mikoriza uygulamasının yaprakta Mn ve K miktarını artırdığı saptanmıştır. *Linum usitassimum*'da Zn grubunda mikoriza uygulamasının kökteki Mg, Fe miktarını azaltırken, gövde ve yapraktaki miktarı artırdığı; kökteki ve yapraktaki Cu ve Mn'ı azaltırken, gövdedeki miktarı artırdığı görülmüştür. Zn grubunda mikoriza uygulaması kökteki K artırırken, Ca miktarını azaltmaktadır. *Linum usitassimum*'da Cd grubunda mikoriza uygulaması kök ve yapraktaki Mg miktarını, gövde ve yapraktaki Fe miktarını, kök-gövde ve yapraktaki Cu, Mn miktarını, kök ve gövdedeki K miktarının, kök ve yapraktaki Ca miktarının artırır. *Linum usitassimum*'da Cd grubunda mikoriza uygulaması kökte Cd alımını yaklaşık 4 kat artırmıştır. Cd stresi uygulanan mikorizalı ya da mikorizasız bitkilerde yapraklarda Cd'a rastlanmamıştır. Bu durum *Linum usitassimum*'un kök akümülatörü olabileceğini düşündürmektedir Rask ve diğ. [162] tarafından *Linum*'un da içinde bulunduğu 6 bitki türü ile yapılan çalışmada köklerde oldukça yüksek miktarda Cd bulunmuştur.

Araştırmamızda *Salvia fruticosa*'da kontrol grubunda mikoriza uygulanmayan bitkide Mg, Mn birikiminin en fazla yaprakta, Fe, Cu birikiminin kökte, K birikiminin en fazla yaprakta olduğu görülmüştür. *Salvia fruticosa*'da kontrol grubunda mikoriza uygulanan bitkide Mg, Cu birikiminin en fazla kökte, K, Mn birikiminin en fazla yaprakta olduğu görülmüştür. Kontrol grubunda mikoriza uygulamasının yaprakta Mn miktarını azalttığı farkedilmiştir. *Salvia fruticosa*'da Zn grubunda mikoriza uygulaması yaprakta Mg, K, Ca miktarını artırmış, Fe

miktarını azaltmıştır. *Salvia fruticosa*'da Cd grubunda mikoriza uygulaması kökteki Mg, Mn miktarını azaltırken, yapraktakini artırmıştır. *Salvia fruticosa*'da Cd grubunda mikoriza uygulaması kökteki Cd miktarını azaltırken, gövde ve yapraktakini artırmıştır.

Dumas ve diğ. [192], Cd'un mikoriza aşılı ve aşısız bezelye bitkisinin gelişimi ve enfeksiyonu üzerine etkisini belirlemek için yaptığı çalışmada, Cd uygulamasının bitki gelişimini ve mikoriza enfeksiyonunu engellediğini belirlemişlerdir. Abbott ve Robson [193], mikorizanın ürettiği hifler aracılığı kökten uzakta bulunan besin elementlerini bitkilere ilettiğini ve kök yüzey alanını artırdığını belirtmişlerdir. Berreck ve Haselwandter [153], yaptıkları çalışmada mikoriza uygulanan bitkilerin uygulanmayanlara göre Ca içeriğinin azaldığını belirlemişlerdir. Turunç bitkisinde yapılan bir araştırmada, mikoriza uygulaması Ca, Mg ve Na elementlerinin miktarını sırası ile % 41, %36 ve %150 oranında artırmıştır [194].

Araştırmamızda *Linum usitassimum*'da Zn ve Cd grubunda mikoriza uygulanan bitkilerde kök uzunluğu ölçümleri, mikoriza uygulanmayanlardan yüksek çıkmıştır. Ancak *Salvia fruticosa*'da mikoriza uygulaması Cd grubunda kök uzunluğunu etkilemezken, kontrol ve Zn grubunda etkilemektedir. Her iki grupta mikoriza uygulanan bitkilerde kök uzunluğu ölçümleri, mikoriza uygulanmayanlardan yüksek çıkmıştır. Mikoriza oksin, sitokinin, vitaminler gibi maddeler üreterek kök uzunluğunu ve alanını arttır ve bu sayede kökleri patojenlerden korumakta ve su alımını, suyun bitkiye taşınmasını ve depolanmasını arttırarak kuru madde miktarında artışa sebep olmaktadır. [129,130,141,195-199] tarafından meyve ağaçlarında yapılan çalışmada, mikoriza uygulamasının kök büyüme ve dallanmasını uyardığı belirtilmiştir.

Araştırmamızda *Linum usitassimum*'da mikoriza uygulaması Cd grubunda kök kuru ağırlığını ve yaprak kuru ağırlığını anlamlı şekilde değiştirmezken, Zn grubunda değiştirdiği görülmektedir. Zn grubunda mikoriza uygulanmayan bitkilerde kök ve yaprak kuru ağırlığı, mikoriza uygulananlardan yüksek çıkmıştır. *Salvia fruticosa*'da mikoriza uygulaması Zn grubunda kök kuru ağırlığında anlamlı değişikliğe neden olmazken, kontrol ve Cd grubunda anlamlı değişikliğe neden olmuştur. Kontrol ve Cd grubunda mikoriza uygulaması kök kuru ağırlığını azaltırken, Zn grubunda mikoriza uygulaması kök kuru ağırlığını az miktarda da olsa artırmıştır. Ayrıca *Salvia fruticosa*'da Zn ve Cd gruplarında mikoriza uygulanan bitkilerde yaprak kuru ağırlığı, mikoriza uygulanmayanlardan yüksektir.

Birçok çalışma, mikorizal kolonizasyonun bitkilere bir avantaj sağladığını göstermektedir, çünkü toksik elementler misellerde veya kök sisteminde hareketsizdir. AM, bu şekilde, bitki sürgünlerindeki Cd konsantrasyonlarını önemli ölçüde azaltabilir [200,201]

Rask ve diğ. [162] tarafından yapılan altı bitki türünde 7 farklı seviyede Cd uyguladıkları saksı deneylerinde, orta düzeydeki Cd'nin, simbiyozun bozulduğu belirli bir eşiğe kadar mikorizal kolonizasyonu uyardığı bulunmuştur. Ayrıca özellikle çok yüksek AM kolonizasyonuna sahip bitkilerde, simbiyoz Cd'nin sürgünlere taşınmasını azalttığından, AM mantarlarının Cd'ye karşı koruyucu bir etkisinin bulunduğu ve AM'nin bu nedenle Cd ile kirlenmiş toprakta bitki yetiştirirken göz önünde bulundurulması gereken önemli bir özellik olduğu anlaşılmıştır.

Erdoğan [202] mikoriza uygulamalarının değişik Pb dozlarında yetiştirilen Kemer patlıcan çeşidinde fide gelişimi ve besin elementlerindeki değişimleri görmek için yaptığı araştırmada, mikorizalı ve mikorizasız koşullarda 0 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm, 800 ppm olmak üzere beş farklı Pb derişimi uygulamıştır. Bu incelemeler sonucunda mikorizanın fidede yaprak sayısı, kök ve sürgün yaş ağırlığı, kök ve sürgün kuru ağırlığı, fide kuru ağırlığında azalmaya neden olduğunu ifade etmişlerdir. Fidede N, Pb, kökte N ve Ca miktarları yüksek çıkmıştır.

Scagel [203] mikorizal mantarların, bahçe bitkilerindeki köklenme üzerine etkilerini araştırmıştır. Bu çalışma sonucunda mikoriza uygulamalarının köklenme yüzdesini ve kök ağırlığını artırdığını saptamıştır.

Şen [204] *Glomus intraradices* uygulamalarının tuz stresi altındaki Aydın Siyahı patlıcan çeşidinde fide gelişimi ve besin elementlerindeki değişimleri göstermek amacıyla yürüttüğü çalışmada, mikoriza uygulanan ve uygulanmayan durumlarda, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm olmak üzere beş farklı NaCl derişimi üzerinde çalışmıştır. Çalışma sonucunda, sürgün çapı ve uzunluğu, yaprak sayısı, sürgün kuru ve yaş ağırlığı, kök kuru ve yaş ağırlığında mikoriza uygulamalarının artırıcı etkisi olduğunu saptamıştır.

Araştırmamızda *Linum usitassimum* bitkisinde kontrol grubunda mikoriza uygulamasının yaprak sayısını artırdığı, Cd grubunda mikoriza uygulamasının yaprak sayısını azalttığı belirlenmiştir. *Salvia fruticosa* bitkisinde Zn grubunda mikoriza uygulamasının yaprak sayısını artırdığı belirlenmiştir.

Rask ve diğ. [162] tarafından yapılan altı bitki türünde 7 farklı seviyede Cd uyguladıkları saksı deneyinde, artan Cd düzeylerinde klorofil indeksi önemli ölçüde azalmıştır. Aynı şekilde artan Cd seviyeleri ile *Linum*'un biyokütlesi azalmıştır. *Linum* 'da sürgün Cd konsantrasyonu kökten fazla çıkmıştır.

Fenolik bileşikler bitkideki farklı streslere karşı savunma mekanizmalarında rol alırlar. Stres koşullarında sentezlenen sekonder metabolitlerdir.

Araştırmamızda *Linum usitassimum* bitkisinde kontrol grubunda mikoriza uygulanmayan bitkilerde yaprağın total fenolik içeriği ölçümleri, gövdenin total fenolik içeriği ölçümlerinden yüksek bulunmuştur. Kontrol grubunda mikoriza uygulanan bitkilerde yaprağın total fenolik içeriği, gövdenin fenolik içeriğinden yüksek bulunmuştur. Zn grubunda mikoriza uygulanmayan bitkilerde yaprağın total fenolik içerik ölçümleri, gövdenin total fenolik içerik ölçümlerinden yüksek bulunmuştur. Zn grubu mikoriza uygulanan bitkilerde yaprağın fenolik içerik ölçümleri, gövdenin fenolik içerik ölçümlerinden yüksek bulunmuştur. Cd grubu mikoriza uygulanmayan bitkilerde yaprağın fenolik içerik toplam ölçümleri, gövdenin fenolik içerik ölçümlerinden yüksek bulunmuştur. Cd grubu mikoriza uygulanan bitkilerde yaprağın total fenolik içerik ölçümleri, gövdenin fenolik içerik toplam ölçümlerinden yüksek bulunmuştur.

Araştırmamızda *Salvia fruticosa* bitkisinde kontrol grubunda mikoriza uygulanmayan bitkilerde yaprağın total fenolik içerik ölçümleri, gövdenin ölçümlerinden yüksek bulunmuştur. Zn grubunda mikoriza uygulanmayan bitkilerde yaprağın total fenolik içerik ölçümleri, gövdenin ölçümlerinden yüksek bulunmuştur. Zn grubunda mikoriza uygulanan bitkilerde yaprağın total fenolik içeriği, gövdenin total fenolik içeriğinden yüksek bulunmuştur. Cd grubunda mikoriza uygulanan bitkilerde gövdenin total fenolik içerik miktarı, yaprağın miktarından yüksek bulunmuştur.

Araştırmamızda *Linum usitassimum* ve *Salvia fruticosa* bitkisinde kontrol, Zn ve Cd gruplarında mikorizasız ve mikorizalı durumlarda prolin sonuçları organlara göre anlamlı bulunmamıştır. *Linum usitassimum* bitkisinin kontrol grubunda mikoriza uygulaması gövdede prolin miktarını azaltırken, yaprakta artırmıştır. Zn grubunda mikoriza uygulaması gövde ve yapraktaki fenolik miktarını azaltmıştır. Cd grubunda mikoriza uygulaması gövdedeki prolin miktarını azaltmıştır.

Son yıllarda stres ve Prolin ile ilgili araştırmalar artmıştır. Stresteki bitkilerde Prolin miktarı önemli derecede artmakta ve bitki savunma mekanizmaları harekete geçmektedir [205]. Prolinin, strese karşı oluşan yanıt mekanizmasında etkili olan sinyal mekanizmasında yer aldığı düşünülmektedir [206].

Fotosistemler Cd tarafından bozulan birincil hasar noktaları olduğundan klorofil, Cd toksisitesinin güvenilir bir göstergesi olarak kabul edilir. Zengin [207]'de yapmış olduğu çalışmada Hoagland solüsyonuyla hazırlanmış olan civa, kadmiyum, bakır ve kurşun klorürün marul bitkisine uygulandığını ve yaprak analizleride toplam pigment miktarının azalttığını tespit etmişlerdir.

Klorofil a, klorofil b ve total klorofilin bitki türü, stres türü, stres miktarı ve süresi, bitkinin yaşam döngüsü gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Klorofil sentezinin inhibisyonu, hücre zarının yapısının bozulması ile pigment bozunması ve metabolik aktivitelerde bozukluk oluşabilir [172,174-176,208]. Ağır metallerin klorofil biyosentezinde görev yapan enzimlerin aktivitelerini durdurduğu veya yavaşlattığı belirtilmiştir [209].

Araştırmamızda *Linum usitatissimum* bitkisinde Zn grubunda mikoriza uygulaması klorofil a, klorofil b ve total klorofil miktarını artırırken kontrol grubunda azaltmıştır. Cd grubunda mikoriza uygulaması klorofil a, klorofil b ve total klorofil miktarını anlamlı derecede değiştirmemiştir. Mikoriza uygulanmayan Zn grubunun klorofil a, klorofil b ve total klorofil miktarları, mikoriza uygulanmayan kontrol grubunun miktarından az da olsa yüksek çıkmıştır. Ayrıca Zn uygulanan bitkide mikoriza uygulamasının klorofil a, klorofil b ve total klorofil miktarlarını çok ciddi anlamda artırdığı görülmüştür. *Salvia fruticosa* bitkisinde mikoriza uygulaması kontrol, Zn ve Cd gruplarının tümünde klorofil a, klorofil b ve total klorofil miktarını azaltmıştır. Mikoriza uygulanmayan Cd gruplarında Klorofil a, klorofil b ve total klorofil içeriğinde belirlenen düşüş klorofilin Cd'a oldukça duyarlı olduğunu ve Cd stresi altında fotosentetik pigment içeriğinin azaldığını gösteren çalışmaları desteklemektedir. Ayrıca pigment içeriğinin azalması ve Cd stresinin RuBisCo enziminin aktivitesini azaltmasının fotosentez oranını da düşürebileceği düşünülmektedir. Mikoriza uygulanmayan Zn grubunun klorofil a, klorofil b ve total klorofil miktarları, mikoriza uygulanmayan kontrol grubunun miktarından az da olsa düşük çıkmıştır.

Araştırmamızda *Linum usitatissimum* bitkisinde kontrol ve Zn grubunda mikoriza uygulaması köklerde ve yapraklarda iyon sızıntısını artırmıştır. Ayrıca mikoriza uygulanmayan bitkilerde Zn ve Cd uygulaması köklerde ve yapraklarda iyon sızıntısını ciddi miktarda artırmıştır. Çinko ve kadmiyum elementinin kökün iç dokularına doğru hareketleri, kök yüzeylerinde daha yüksek oranda birikmesi köklerde nekrozu daha fazla tetikleyebileceği için köklerde iyon sızıntısının artmış olacağı düşünülmektedir. *Salvia fruticosa* bitkisinde kontrol ve Cd gruplarında mikoriza uygulaması köklerde iyon sızıntısını artırırken, Zn gruplarında azaltmıştır. *Salvia fruticosa* bitkisinde kontrol ve Cd gruplarında mikoriza uygulaması yaprakta iyon sızıntısını azaltırken, Zn gruplarında artmıştır. Ayrıca mikoriza uygulanmayan bitkilerde Zn ve Cd uygulaması köklerde iyon sızıntısını artırmış, Zn uygulaması yaprak iyon sızıntısını önemli ölçüde azaltmıştır. Mikoriza uygulanan bitkilerde Zn ve Cd gruplarında yaprak iyon sızıntısı artmıştır.

Bitkilerde metal birikimi ve fitoremediasyon potansiyeli biyokonsantrasyon faktörü (BCF) ve translokasyon faktörü (TF) hesaplanması ile belirlenebilir. $TF > 1$ metalin kökten toprak üstü organlara taşındığını gösterirken; $BCF > 1$ bitkinin metal akümülatörü olduğunu belirtir.

BCF çevreden dokularına metal alıp biriktiren bir bitki türünün etkinliğini belirten, bitkinin metal biriktirebilme kabiliyetini içeren bir değerdir. [210]. Bitki bölgelerinde metal birikimini veya topraktaki metallerin bitki köküne transferini değerlendirmek için bu değer kullanılır.

Biyokonsantrasyon faktörü (BCF) = Bitki kökündeki metal konsantrasyonu (mg/kg) / Aynı metalin topraktaki konsantrasyonu (mg/kg)

Bitkilerin metal alım ölçüsünü ifade eden diğer bir değer olan TF ağır metallerin kökten üst organlara doğru hareketinin bir göstergesidir.

Translokasyon faktörü (TF) = Bitki gövdesindeki metal konsantrasyonu (mg/kg) / Bitki kökündeki metal konsantrasyonu (mg/kg).

Linum usitassimum bitkisinde Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılan ve yapılmayanlarda TF değeri 1'in altındadır. Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda BCF değeri 6,16; mikoriza uygulaması yapılanlarda BCF değeri 26,11 olarak bulunmuştur. Mikoriza uygulaması BCF değerini artırmıştır. Bitkide her iki durumda da (mikoriza uygulanan ve uygulanmayan) $BCF > 1$ olması Cd'nin özellikle kökte fazla biriktiğini ve bitkinin Cd akümülatörü olabileceğini düşündürmektedir. Bitkinin genel olarak kök akümülatörü olduğunu söyleyebiliriz.

Salvia fruticosa bitkisinde Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılmayanlarda TF ve BCF değerleri 1'in altındadır. Cd grubunda mikoriza uygulaması yapılanlarda BCF değeri 1'in altında iken, $TF > 1$ olması Cd'nin özellikle toprak üstü organlarda fazla biriktiğini ve bitkinin Cd akümülatörü olabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca bitkide TF değeri mikoriza uygulaması ile artış göstermiştir.

Çalışma sonunda elde edilen verilere göre, *Linum usitassimum* bitkisinin kök ve *Salvia fruticosa* bitkisinin gövde metal akümülatörü olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, *Linum usitassimum*'un Cd ile kirlenmiş bölgelerde fitoremediasyon amaçlı kullanılabileceği düşünülmektedir. Ancak *Salvia fruticosa* bitkisinde mikoriza uygulanan bitkilerde TF değerinin 1'in üzerine çıkması, bu bitkinin bu amaçla kullanılması için mikoriza uygulamasının da yapılması gerektiğini bize göstermektedir.

Tedavi amacıyla sıklıkla kullanılan bitkilerimizde ağır metaller yönünden inceleme yapılmış, çalışma sonucunda *Linum usitassimum* bitkisinin kök akümülatörü, *Salvia fruticosa* bitkisinin gövde akümülatörü olabileceği görülmüştür. Bu nedenle Cd miktarının yüksek olduğu bölgelerde bu bitkiler topraktan ağır metal alabilecek ve toprağı temizleme potansiyelindeki yani fitoremediasyon özelliğine sahip bitkiler oldukları için kirli alanların temizlenmesi adına önerilebilirler. Ayrıca bu bitkilerin günlük yaşamda tohum ve yapraklarının kullanıldığı düşünülürse, Cd elementini kök ve gövde de biriktirmeleri nedeniyle, güvenli kullanım açısından önerilebilir.

Araştırma sonucunda bazı sapmalara rağmen pek çok fizyolojik ve morfolojik özellikte ve ağır metal stresi altındaki bitkilerin bazı parametrelerinde mikoriza kullanımının olumlu sonuçlarına rastlanmıştır. Bu nedenle bitkilerimizin yetiştirileceği bölgelerde mikoriza uygulaması önerilmektedir. Araştırmamızda tek bir mikoriza türü ve ağır metal konsantrasyonu kullanılmıştır. Daha sonraki çalışmaların farklı mikoriza türleri ve farklı düzeylerdeki ağır metal konsantrasyonları ile yapılması, sonuçlarda bazı noktaları daha iyi aydınlatması adına önerilmektedir. Laboratuvar koşullarında elde ettiğimiz bu sonuçların tarla çalışmalarıyla da desteklenmesi ve pratiğinin daha kapsamlı ve detaylı çalışmalarda araştırılması gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Lubbea, A., Verpoortea, R., 2011, Cultivation of medicinal and aromatic plants for specialty industrial materials, *Ind. Crops Prod.*, 34: 785–801.
- [2] Marshall, E., 2011, Health and Wealth from Medicinal Aromatic Plants, *FAO Diversification Booklet 17. Rural Infrastructure And Agro-Industries Division Food And Agriculture Organization Of The United Nations*, Rome, ISSN 1810-0775.
- [3] Lewin, R., 2000, *Modern İnsanın Kökeni*, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Çeviri: Özüaydın, N., 7. basım, TÜBİTAK, Ankara.
- [4] Heinrich, M., Barnes, J., Gibbons, S., Williamson, E.M., 2004, Fundamentals of Pharmacognosy and Phytotherapy, *Churchill Livingstone*, Edinburgh.
- [5] Colombo, M. L., Dalfra, S., Scarpa B., 2011, The origin and the tradition of European herbalism for human wellness: from the roots of an ancient approach to modern herbalism, *Mediterr. J. Nutr. Metab.*, 4:173–179, DOI: 10.1007/S12349- 011-0062-Y.
- [6] Baytop, T., 1998, *Anadolu Dağlarında 50 yıl (1944-1998)*, İstanbul.
- [7] Baytop, T., 1984, *Therapy with Medicinal Plants in Turkey (Past and present)*, İstanbul University Publications, İstanbul.
- [8] Atilabey, M., Yüksel, B., Uzunoğlu, F., Parlak, T., Oral, E., 2015, Orta Anadolu Kalkınma Ajansı, *Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Sektör Raporu*, 16-30.
- [9] Özhatay, N., Koyuncu, M., Atay, S., Byfield, A., 1997, *Türkiye'nin doğal tıbbi bitkilerinin ticareti hakkında bir çalışma* (WWF-UK&Stanley Smith Horticultural Trust destekli proje), İstanbul.
- [10] Özgüven, M., Kırıcı, S., 1999, Farklı ekolojilerde nane (*Mentha*) türlerinin verim ile uçucu yağ oran ve bileşenlerinin araştırılması, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(4), 465-472.
- [11] Gilbertson, H.G., 1993, U.K Seed flax fibre, *Agriculture progress.*, 65, 25-35.
- [12] Coşkun, Y., Karababa, F., 2007, Some Physical Properties of Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.), *Journal of food engineering*, 78: 1067-1073.

- [13] Levander, O.A., Ager, A.L., Morris, V.C., May, R.G., 1991, Protective Effect of Ground Flaxseed or Ethyl Linolenate in a Vitamin E Deficient Diet Against Murine Malaria, *Nutrition Research*, Vol.11, p. 941-948.
- [14] Ingerberg, M.J., Johnston, J.R., 1990, Flaxseed (linseed) oil and the power of omega-3, *Keats Publish Inc.*
- [15] Hirano, J., İsoda, Y., Nishizawa, Y., 1991, Utilization of N-3 Plant Oils Perilla and Flaxseed Oils, *Journal of the Japanese Oil Chemists Society*, Vol.40, p.942-950.
- [16] Mertes, N., Pfisterer, M., Nolte, G., Winde, G., Zander, J. Puchstein, C., 1989, Experiences with a New Flat Emulsion in Surgical Intensive Care Medicine, *Infusionstherapie*, Vol.16, p.114-117.
- [17] Arslan, O., Bal, Ş., Yenice, N., Miciri, S., 1998, Keten (*Linum usitatissimum* L.) tohumlarına uygulanan farklı gamma dozlarının M1 generasyonundaki etkileri, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 4 (1): 21
- [18] Tanman, D., 2009, *Tekirdağ koşullarında kışlık ekim zamanlarının bazı keten (Linum usitatissimum L.) çeşitlerinin verim ve verim özelliklerine etkisinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Tekirdağ.
- [19] Tarman, M.C., 1944, *Türkiye’de Ketenlerin Morfolojik ve Teknolojik Vasıfları ve Bunların Faydalanma İmkanları*, Ankara Yüksek Ziraat Enstitüsü Rektörlüğü Yayınları, Sayı:145, Ankara.
- [20] Institute of Medicine., 2002, Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids, *Nat. Acad. Press Washington DC*, pp. 7-1— 7-69 (dietary fiber), 8-1— 8-97 (fat and fatty acids). Invest. 9: 29.
- [21] Duke, J. A., 1983, *L. usitatissimum* L. *Handbook of energy crops* (Unpublished).

- [22] Sahi, FH., Leitch, M., 1994, Flaxseed Products and Uses, *Journal of the Agricultural Society University of Wales*, 33: 545 - 550.
- [23] Hemmings, SJ., Barker, L., 2004, The effects of dietary flaxseed on the Fischer 344 rat: I. Development, behaviour, toxicity and the activity of liver γ -glutamyltranspeptidase, *Cell Biochem Funct.*, 22: 113-121.
- [24] Hemmings, SJ., Westcott, N., Muir, A., Czechowicz, D., 2004, The effects of dietary flaxseed on the Fischer 344 rat: II. liver γ -glutamyltranspeptidase activity, *Cell Biochem Funct.*, 22: 225-231.
- [25] Hocking, P.J., Randall, P.J., Pinkerton, A., 1987, Mineral nutrition of linseed and fiber flax, *Adv.Agron.*, 41: 221-296.
- [26] Baytop, T., 1999, *Türkiye’de Bitkiler ile Tedavi Geçmişte ve Bugün*, Nobel Tıp Kitapevleri, İstanbul, II. Baskı, ISBN: 975-420-021- 1. 480s.
- [27] Carle, R., 1993, *Atherosche Öle-Anspruch und Wirklichkeit*, Band 34, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart.
- [28] Schönfelder, P., Schönfelder, I., 1994, *Kosmos-Atlas Mittelmeer-und Kanarenflora*, Stuttgart.
- [29] Doğan, A., Bayrak, A., Akgül, A., 1987, Thymol/Carvacrol Containing Labiatae Species and Volatile Composition of Essential Oil of Thymbra Spicata, *Gıda Teknolojisi Derneği*, 12: (6) .
- [30] Ceylan, A., 1997, *Tıbbi Bitkiler –II (Uçucu Yağ İçerenler)* ,(Yayın No: 481), İzmir, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- [31] Farhat, G., Affara, N., Gali-Muhtasib, H., 2001, Seasonal changes in the composition of the essential oil extract of East Mediterranean sage (*Salvia libanotica*) and its toxicity in mice, *Toxicon*, 39 (10): p. 1601-1605.

- [32] Papageorgiou, V., 2008, Variation of the chemical profile and antioxidant behavior of *Rosmarinus officinalis* L. and *Salvia fruticosa* Miller grown in Greece, *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(16): p. 7254-7264.
- [33] Putievsky, E., Ravid, U., Dudai, N., The essential oil and yield components from various plant parts of *Salvia fruticosa*, *Journal of natural products*, 1986, 49(6): p. 1015-1017.
- [34] Baydar, H., Baydar, N.G., 2005, The effects of harvest date, fermentation duration and tween 20 treatment on essential oil content and composition of industrial oil rose (*Rosa damascena* Mill.), *Industrial Crops and Products*, 21, 251-255.
- [35] Zeybek, N., Zeybek, U., 1994, *Farmasötik Botanik*, E. Ü. Ecz. Fak.Yay. No: 2, Bornova.
- [36] Farhat, M.B., Jordán, M.J., Chaouch-Hamada, R., Landoulsi, A., Sotomayor, J.A., 2016, Phenophase effects on sage (*Salvia officinalis* L.) yield and composition of essential oil, *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 3(3):87-93.
- [37] Hefnawy, Y.A., Moustafa, S.I., Marth, E.H., 1993, Sensitivity of *Listeria monocytogenes* to selected spices, *J.Food Protect.*, 56(10):876-878.
- [38] Hılan, C., Khazzaka, K., Sfeir, R., 1997, Antimicrobial Effect of Essential Oil of *S. libanotica* (Sage), *British J. Phytother*, 4, 1-3.
- [39] Gali-Muhtasib, H., N. Affara., 2000, Chemopreventive effects of sage oil on skin papillomas in mice, *Phytomedicine*, 7(2): p. 129-136.
- [40] Kırimer, N., Cingi, M. I., Öztürk, N., Aydın, S., Özkul, H., Başer, K.H.C., 1991, *Salvia sclarea*, *Salvia fruticosa* Mill. ve *Dorystoechas hastata* uçucu yağlarının farmakolojik etkileri, 9. *Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı*, 16-19 Mayıs 1991. Eskişehir. s. 382-388.

- [41] Baytop, A., 1996, *Farmasötik Botanik Ders Kitabı*, İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları.
- [42] Bayram, E., Ceylan, A., Geren, H., 1999, Anadolu adaçayı (*Salvia fruticosa* Mill.) ıslahında geliştirilen klonların agronomik ve kalite özellikleri üzerinde araştırma, *Türkiye 3. Tarla Bitkileri Kongresi*, Cilt II, pp.212-217.
- [43] Demirci, B., Başer, K.H.C., Tumen, G., 2002, Composition of the essential oil of *Salvia aramiensis* Rech. Fil. growing in Turkey, *Journal of Flavour and Fragrance*, 17:23-25
- [44] Exarchou, V., Nenadis, N., Tsimidou, M., Gerothanassis, I.P., Troganis, A., Boskou, D., 2002, Antioxidant activities and phenolic composition of extracts from Greek Oregano, Greek Sage, and Summer Savory, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 5294- 5299.
- [45] Yeşilada, E., Sezik, E., 2003, A Survey on the Traditional Medicine in Turkey: Semi-quantitative Evaluation of the results, *Recent Progress in Medicinal Plants*, Vol.VII, *Ethnomedicine and Pharmacognosy- II*, Eds. Singh, V.K., Govil, J.N., Hashmi, S., Singh, G., Studium Press, LLC, Houston, Texas, ISBN 1-930813-12-0, Pp.389- 412.
- [46] Tepe, B., Daferera, D., Sokmen, A., Sokmen, M., Polissiou, M., 2005, Antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and various extracts of *Salvia tomentosa* Miller (Lamiaceae), *Food Chemistry*, 90: 333–340.
- [47] El-Sayed, N.H., El-Eraky, W., Ibrahim, M.T., Mabry, T.J., 2006, Anti-inflammatory and ulcerogenic activities of *Salvia triloba* extracts, *Fitoterapia*, 77: 333–335.
- [48] Imanshahidi, M., Hosseinzadeh, H., 2006, The pharmacological effects of *Salvia* L. species on the central nervous system, *Phytotherapy Resources*, 20: 427–437.

- [49] Kaileh, M., Berghe, WV., Boone, E., Essawi, T., Haegeman, G., 2007, Screening of indigenous Palestinian medicinal plants for potential anti-inflammatory and cytotoxic activity, *Journal of Ethnopharmacology*, 113: 510–516.
- [50] Boukhary, R., Raafat, K., Ghoneim, A., Aboul-Ela, M., El-Lakany, A., 2016, Anti-inflammatory and antioxidant activities of *Salvia fruticosa*: An HPLC determination of phenolic contents, *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, DOI:10.1155/2016/7178105.
- [51] Lu, Y., Foo, L.Y., 2002, Polyphenolics of *Salvia*—a review, *Phytochemistry*, 59(2): p. 117-140.
- [52] Baydar, H., 2016, *Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi (Genişletilmiş 5. Baskı)*, SDÜ Yayınları, Yayın No: 51, Isparta.
- [53] Shulaeva, V., Cortesa, D., Miller, G., Mittler, R., 2008, Metabolomics for plant stress response, *Physiologia Plantarum*, 132, 199-208.
- [54] Ashraf, MY., Wu, L., 1994, Breeding for salinity tolerance in plants, *Critical Reviews Plant Sciences*, 13(1):17-42.
- [55] Cassels, A.C., Curry, R.F., 2001, Oxidative stress and physiological, epigenetic and genetic variability in plant tissue culture: implications for micropropagators and genetic engineers, *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 64, 145-167.
- [56] Levitt, J., 1980, Responses of Plant to Environmental Stresses, Vol. 1, *Academic Press*, New York, 3-18 pp.
- [57] Agarwal, P.K., Shukla, P.S., Gupta, K., Jha, B., 2013, Bioengineering for salinity tolerance in plants: state of the art, *Molecular biotechnology*, 54, 102-23.
- [58] Boyer, J.S., 1982, Plant productivity and environment, *Science*, 218:443–448, doi: 10.1126/science.218.4571.443.

- [59] Velthuizen, H., Huddleston, B., Fischer, G., Salvatore, M., Ataman, E., Nachtergaele, F.O., Zanetti, M., Bloise, M., 2007, Mapping biophysical factors that influence agricultural production and rural vulnerability, *Environment and Natural Resources Series*, No. 11, FAO, Rome, Italy.
- [60] Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö., Çobanoğlu, D., 2004, Ağır Metal İyonlarının (Cu^{+2} , Pb^{+2} , Hg^{+2} , Cd^{+2}) *Clivia* sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri, *F.Ü. Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 177-182.
- [61] Hüner, N.P.A., Oquist, G., Sarhan, F., 1998, Energy balance and acclimation to light and cold, *Trends Plant Sci.*, 3, 224–230 10.1016/S1360-1385(98)01248-5.
- [62] Önder, N., Yentür, S., 1999, Bitkilerin büyüme gelişme farklılaşma ve hareket fizyolojisi, *İstanbul Üniversitesi Yayınları*, İstanbul.
- [63] Bayçu, G., 1997, *Picea abies*'te Kadmiyum Toksisitesi ve Köklerde Kadmiyum Birikimi, *XIII. Ulusal Biyoloji Kongresi*, 17-20 Eylül 1996, İstanbul. Kongre Kitapçığı, Cilt:III, s:433-442.
- [64] Alidou-Arzika, I., 2021, Assessment of compost and three biochars associated with *Ailanthus altissima* (Miller) Swingle for lead and arsenic stabilization in a post-mining Technosol, *Pedosphere*, 31 (6): 944.
- [65] Mahajan, S., Tuteja, N., 2005, Cold, Salinity and Drought Stresses: An Overview, *Biochem Biophys*, 444, 139-158.
- [66] Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., 2005, Organization of cis-acting regulatory elements in osmotic- and cold-stress-responsive promoters, *Trends in Plant Science*, vol.10, 88-94.

- [67] Kosová, K., Vítámvása, P., Prášila, I.T., Renaut, J., 2011, Plant proteome changes under abiotic stress - Contribution of proteomics studies to understanding plant stress response, *Journal of Proteomics*, 74, 1301-1322.
- [68] Özay, C., Mammadov, R., 2013, Ağır Metaller ve Süs Bitkilerinin Fitoremediasyonda Kullanılabilirliği, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 15, Sayı 1, 68 – 77.
- [69] Metali, F., Salim, K.A., Burslem, D.F.R.P., 2012, Evidence of foliar aluminium accumulation in local, regional and global data-sets of wild plants, *New Phytol.*, 193:637–649.
- [70] Van der Ent, A., Baker, A.J.M., Reeves, R.D., Pollard, A.J., Schat, H., 2013, Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: facts and fiction, *Plant Soil*, 362: 319-334.
- [71] Nellessen, J.S., Fletcher, J.E., 1993, Assessment of published literature on the uptake, accumulation, and translocation of heavy metals by vascular plants, *Chemosphere*, 27 (9), 1669–1680.
- [72] Ozaki, I., Watanabe, I., Kuno, K., 2004, As, Sb and Hg distribution and pollution sources in the roadside soil and dust around Kamikochi, Chubu Sangaku National Park, Japan, *Geochemical Journal*, 38, 473-484.
- [73] Suzuki, N., Koussevitzky, S., Mittler, R., Miller, G., 2012, ROS and redox signaling in response to plants to abiotic stress, *Plant, Cell and Environment*, 35(2): 259-270.
- [74] Petrova, S., 2011, Biomonitoring study of air pollution with *Betula pendula* Roth. Plovdiv, Bulgaria, *Ecologia Balkanica*, 3 (1), 1-10.

- [75] Özyürek, F., 2016, *Nevşehir’de farklı su kaynaklarıyla sulanan sebzelerde ağır metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) birikimi*, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [76] Munzuroğlu, Ö., Gür, N., 2000, Ağır metallerin elma (*Malus sylvestris* Miller cv. Golden)’da polen çimlenmesi ve polen tüpü gelişimi üzerine etkileri, *Turkish Journal of Biology*, 24(3): 677-684.
- [77] Foyer, CH., Lopez-Delgado, H., Dat, J.F, Scott, I.M., Hydrogen peroxide and glutathione associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling, *Physiology Plant.*, 1997;100:241–254.
- [78] Barcelo, J., Poschenrieder, Ch., 1990, Plant water relations as affected by heavy metal stress, *Journal of Plant Nutrition*, 13(1), 1-37.
- [79] Punz, W.F., Sieghardt, H., 1993, The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals, *Environ. Exp Bot.*, 33, 85-93.
- [80] Hagemeyer, J., Breckle, S.W., 1996, *Growth under trace element stres*, Plant Roots; the hidden half, 2nd edition. Eds: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U., Dekker, New York, 415- 433.
- [81] Munzuroğlu, O., Geckil, H., 2002, Effectes of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 43, 203-213.
- [82] Stolt, J.P., Sneller, F.E.C., Bryngelsson, T., Lundborg, T., Schat, H., 2003, Phytochelatins and cadmium accumulation in wheat, *Environ. Exp. Bot.*, 49, 21-28.
- [83] Köleli, N., Eker, S., Cakmak, I., 2004, Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil, *Environ. Pollut.*, 131, 453-459.
- [84] Sharma, S.S., Kaul, S., Metwally, A., Goyal, K.C., Finkemeier, I., Dietz, K.J., 2004, Cadmium toxicity to barley (*Hordeum vulgare*) as affected by varying Fe nutritional status, *Plant Sci.*, 166, 1287-1295.

- [85] Chaoui, A., Ferjani, E., 2005, Effects of cadmium and copper on antioxidant capacities, lignification and auxin degradation in leaves of pea (*Pisum sativum* L.) seedlings, *C. R. Biologies*, 328, 23-31.
- [86] Lombardi, L., Sebastiani, L., 2005, Copper toxicity in *Prunus cerasifera*: growth and antioxidant enzymes responses of in vitro grown plants, *Plant Sci.*, 168, 797-802.
- [87] Ouzounidou, G., Elefteriou, E.P., Karataglis, S., Ecophysiological and ultrastructural effects of copper in *Thlapsi ochroleucum* (Cruciferae), *Can. J. Bot.*, 1992;70:947–957.
- [88] Nussbaum, S., Shetmutz, D., Brunold, C., 1988, Regultaion of assimilatory sulfate reduction by cadmium *Zea mays* L., *Plant Physiology*, 88:1407.
- [89] Lidon, F.C., Ramalho, J., Henriques, F.S., 1993, Copper inhibition of rice Photosynthesis, *J. Plant Physiol.*, 142:12-17.
- [90] Kennedy, C.D., Gonsalves, F.A.N., 1987, The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and efflux of excised roots, *J.Exp. Bot.*, 38, 800-817.
- [91] Ibrahim, Z. M., Ghazi, S. M., Nabawy, D.M., 2013, Alleviation of heavy metals toxicity in waste water used for plant irrigation, *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4, 5, 976-983.
- [92] Yıldız, M., Terzi, H., Uruşak, B., 2011, Bitkilerde krom toksisitesi ve hücre sel cevaplar, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27, 2, 163-176.
- [93] Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., Pehluvan, M., 2009, Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri, *Alın teri Zirai Bilimler Dergisi*, 17(2): 14-26.
- [94] Emamverdian, A., Ding, Y., Mokhberdoran, F., Xie, Y., 2015, Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response, *The Scientific World Journal*, 5:1-20.
- [95] Aksu, E., Yıldız, N., 2004, Heavy Metal Stress and Tolerance of Plants, *International Soil Congress on Natural Resource Management for Sustainable Development*, Erzurum, p. 54.

- [96] Meagher, R.B., 2000, Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants, *Current opinion in plant biology*, 3(2), 153-162.
- [97] Hassan, M.J., Zhang, G., Zhu, Z., 2008, Influence of Cadmium Toxicity on Plant Growth and Nitrogen Uptake in Rice as Affected by Nitrogen Form, *J. Plant Nutr.*, 31: 251–262.
- [98] Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2003, Metallerin çevresel etkileri, *I. Metalurji Dergisi*, 136, 47-53.
- [99] Camelo, L.G.L., Miguez, S.R., Margan, L., 1997, Heavy metals input with phosphate fertilizers used in Argentina, *Science of the Total Environment*, 204: 45-250.
- [100] Kabala, C., Singh, B.R., 2001, Fractionation and Mobility of Copper, Lead, and Zinc in Soil Profiles in the Vicinity of a Copper Smelter, *J. of Environmental Quality*, 30:485-492.
- [101] Kara, E.E., Pırlak, U., Özdilek, H.G., 2004, Evaluation of Heavy Metals' (Cd, Cu, Ni, Pb and Zn) Distribution in Sowing Regions of Potato fields in the Province of Niğde, Turkey, *Water, Air and Soil Pollution*, 153:173-186.
- [102] Krupa, Z., Bazyński, T., 1995, Some aspects of heavy metal toxicity towards photosynthetic apparatus-direct and indirect effects on light and dark reactions, *Acta Physiologiae Plantarum*, 17: 177-190.
- [103] Kasım, W.A., 2005, The Correlation Between Physiological And Structural Alterations Induced By Copper And Cadmium Stress in Broad Beans (*Vicia Faba* L.), *Egyptian Journal Of Biology*, 7: 20 – 32.
- [104] Das, P., Samantaray, S., Rout, G.R., 1997, Studies on cadmium toxicity in plants, *Environmental Pollution*, 98, 29-36.
- [105] Stobart, A.K., Griffiths, W., Bukhari, I.A., Sherwood, R.P., 1985, The effect of cadmium on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley, *Physiol. Plant.*, 63, 293-298.

- [106]Etim, E.E., 2012, Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review, *International Journal of Environment and Bioenergy*, 2(3), 120-136.
- [107]Abhilash, P.C., Pandey, V.C., Srivastava, P., Rakesh, P.S., Chandran, S., Singh, N., Thomas, A.P., 2009, Phytofiltration of cadmium from water by *Limnocharis flava* (L.) Buchenau grown in free floating culture system, *Journal of Hazardous Materials*, 170(2-3); 791-797.
- [108]EPA, 2000, *Environmental Protection Agency*, Introduction of phytoremediation, epa/600/R-99/107, Cincinnati, Ohio, U.S.A2000: 72.
- [109]Aybar, M., Bilgin, A., Sağlam, B., 2015, Fitoremediasyon Yöntemi İle Topraktaki Ağır Metallerin Giderimi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1-2): 59-65.
- [110]Vanlı, Ö., 2007, *Pb, Cd, B Elementlerinin Topraklardan Şelat Destekli Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [111]Berti, W.R, Cunningham, S.D., 2000, *Phytostabilization of Metals, Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean-up the Environment*, In: Raskin, I., Ensley, B.D., (Ed.), New York, Wiley, ss.71-88.
- [112]Ortaş, İ., 1997, Determination of the Extent of Rhizosphere Soil, *Communication Soil Science and Plant Analysis*, 28 (19- 20) 1767-1776.
- [113]Ghazi, N., Al-Karaki, G.N., 2006, Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water, *Scientia Horticulturae*, 109, 1-7.
- [114]Karadağ, S., 2013, *Sinirli Ot (Plantago lanceolata L.) Bitkilerinde Mikorizanın Kuraklık Toleransına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [115]Koçyiğit, M., 2005, *Yalova İlinde Etnobotanik Bir Araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

- [116]Farnsworth, N.R., Akerele, O., Bingel, A.S., Soejarto, D.D., Guo, Z.G., 1985, Medicinal plants in therapy, *The Bulletin on World Health Organisation*, 63(6):965-981.
- [117]Van Zeist, W., 1985, Pulses and Oil Crop Plants, *Bulletin on Sumerian Agriculture*, II: 33-38.
- [118]Davis, P.H., 1967, *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Edinburgh University Press, Edinburgh, Volume II, 425-450.
- [119]John, P., 1992, Biosynthesis of the Major Crop Productions, *Willey Biotechnology Series*, John Wiley and Sons.
- [120]Salunkhe, D.K., Chavan, S.K., Adjuke, R.N., Kadam, S.S., 1992, *World Oilseeds, Chemistry, Technology and Utilization*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- [121]Schuster, W., 1992, *Ölflangen in Europa*, dlgl-verlglas-gmbh, eschborner landstrabe, Germany, 122, 102-107.
- [122]Sahi, F.H., Leitch, M., 1994, Flaxseed products and uses, *Journal of the Agricultural Society University of Wales*, 33, 545-550.
- [123]Bayram, E., Sönmez, Ç., 2006, Adaçayı Yetiştiriciliği, *Ege Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi Bülteni*, Yayın Bülteni, İzmir, 48. ISSN 1300-3518.
- [124]Manolova, N., Serkedjieva, J., Ivanova, V., 1995, Anti-influenza Activity of The Plant Preparation 'Broncho Pam', *Fitoterapia LVI*, pp. 223-226.
- [125]Baricevic, D., Filipic, M., Tomazin, E., Cinc, M., Zupancic, A., 1996, Evaluation of Autochthonous and/or Introduced Genotypes of Medicinal and Aromatic Plants in Slovenia: *Salvia officinalis*, *Proceedings. International Symposium. Breeding Research on Medicinal and Aromatic Plants*, Quedlinburg, Germany.
- [126]Ayar, A., Özcan, M., Akgül, A., 2002, Tereyağının Mikrobiyolojik Kalitesi Üzerine Kekik ve Adaçayı Ekstraktlarının Etkisi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt:17, Sayı: 2, S:45-49.

- [127]Bağdat, R.B., 2006, Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanım Alanları, Tıbbi Adaçayı (*Salvia officinalis* L.) ve Ülkemizde Kekik Adıyla Bilinen Türlerin Yetiştirme Teknikleri, *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 15 (1-2), 19-28.
- [128]Karaltın, S., Kılılı, F., Uslu, Ö.S., 2001, Allelopati ve Ekolojik Sistemde Bitkiler Arası Rekabet Üzerine Etkisi, *Türkiye 2. Ekolojik Tarım Sempozyumu*, 14- 16 Kasım Antalya, Narenciye ve Seracılık Araş. Enst. Müdürlüğü, ETO, 218-232.
- [129]Koide, R.T., 1991. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New Phytol.*, 117: 365-386.24.
- [130]Marschner, H., 1995, Mineral Nutrition of Higher Plants, Second Edition, *Academic Press.*, 566 - 595.
- [131]Ortaş, İ.,1997, Mikoriza nedir? *TUBİTAK dergisi*, Ankara,351.
- [132]Smith, S.E., Read, D.J., 1997, Mycorrhizal Symbiosis, 2nd Edition, *Academic Press*, London, 605 pp.
- [133]Giri, B., Saxena, B., 2017, Response of arbuscular mycorrhizal fungi to global climate change and their role in terrestrial ecosystem C and N cycling, *Mycorrhiza-Function, Diversity, State of the Art. Springer*, pp. 305-327.
- [134]Soudzilovskaia, N.A., van Bodegom, P.M., Terrer, C., Van't Zelfde, M., McCallum, I., McCormack, M.L., Fisher, J.B., Brundrett, M.C., de Sá, N.C., Tedersoo, L., 2019. Global mycorrhizal plant distribution linked to terrestrial carbon stocks, *Nat. Commun.*, 10: 1-10.
- [135]Zubek, S., Turnau, K., Tsimilli-Michael, M., Strasser, R.J., 2009, Response of endangered plant species to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and soil bacteria, *Mycorrhiza*,19(2):113-123. doi: 10.1007/S00572-008-0209-Y.

- [136]Lekberg, Y., Hammer, E.C., Olsson, P.A., 2010, Plants as resource islands and storage units – adopting the mycocentric view of arbuscular mycorrhizal networks, *FEMS Microbiology Ecology*, Volume 74, Issue 2, 336–345.
- [137]Moora, M., Davison, J., Öpik, M., Metsis, M., Saks, Ü., Jairus, T., Zobel, M., 2014, Anthropogenic land use shapes the composition and phylogenetic structure of soil arbuscular mycorrhizal fungal communities, *FEMS Microbiology Ecology*, 90(3), 609–621.
- [138]Brundrett, M.C., 2017a, *Distribution and evolution of mycorrhiza types and other specialised roots in Australia*, In: Tedersoo, L., ed, *Biogeography of mycorrhizal symbiosis*, Cham, Switzerland, Springer International, ISBN: 9783319563633, 361–394.
- [139]Koide, R.T., Schreiner, R.P., 1992, Regulation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis, *Annu. Rev. Plant Physiol., Plant Mol. Biol.*, 43:557–581.
- [140]Brundrett, M.C., 2009, Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis, *Plant and Soil*, 320: 37– 77.
- [141]Marschner, H., Dell, B., 1994, Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis, *Plant Soil*, 159, 89-102.
- [142]Bowles, T.M., Barrios-Masias, F.H., Carlisle, E.A., Cavagnaro, T.R., Jackson, L.E., 2016, Effects of Arbuscular Mycorrhizae on Tomato Yield, Nutrient Uptake, Water Relations and Soil Carbon Dynamics Under Deficit Irrigation in Field Conditions, *Sci. Total Environ.*, 566, 1223–1234, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.178.
- [143]Yücel, C., Yağbasanlar, T., 2007, *Buğday ve yabani türlerinin beslenme ve verim yönünden mikorizaya bağımlılığının araştırılması*, Doktora tezi (basılmamış), Çukurova Üniv. Fen Bil.Enst.,164s.

- [144]İbiang, Y.B., Mitsumoto, H., Sakamoto, K., 2017, Bradyrhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi modulate manganese, iron, phosphorus, and polyphenols in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under excess zinc, *Çevre. Exp. Bot.*, 137, 1–13. doi: 10.1016/j.envexpbot.2017.01.011.
- [145]Chen, S., Zhao, H., Zou, C., Li, Y., Chen, Y., Wang, Z., 2017, Combined Inoculation with Multiple Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improves Growth, Nutrient Uptake and Photosynthesis in Cucumber Seedlings. *Front, Microbiol.*, 8, 25–16, doi: 10.3389/fmicb.2017.02516.
- [146]Mitra, D., Navendra, U., Panneersel, U., Ansuman, S., Ganeshamurthy, A.N., Divya, J., 2019, Role of Mycorrhiza and its Associated Bacteria on Plant Growth Promotion and Nutrient Management in Sustainable Agriculture, *Int. J. Life Sci. Appl. Sci.*, 1, 1–10.
- [147]Hildebrandt, U., Regvar, M., Bothe, H., 2007, Arbuscular Mycorrhiza and Heavy Metal Tolerance, *Phytochemistry*, 68: 139-146.
- [148]Audet, P., Charest, C., 2006, Effects of AM Colonization on ‘Wild Tobacco’ Plants Grown in Zinc Contaminated Soil, *Mycorrhiza*, 16, 277–283.
- [149]Hildebrandt, U., Kaldorf, M., Bothe, M., 1999, The zinc violet and its colonization by arbuscular mycorrhizal fungi, *J. Plant Physiol* 1., 54:709–717.
- [150]Gildon, A., Tinker, P.B., 1983, Interactions of vesicular-arbuscular mycorrhizal infections and heavy metals in plants, II. The effects of infection on uptake of copper, *New Phytol.*, 95, 263–268.
- [151]Doley, K., Jite, P.K., 2012, Response of Groundnut (JL-24) Cultivar to Mycorrhiza Inoculation and Phosphorous Application, *Sci. Biol.*, 4(3): 118-125.
- [152]Tonin, C., Vandenkoornhuyse, P., Joner, E.J., 2001, Assessment of arbuscular mycorrhizal fungi diversity in the rhizosphere of *Viola calaminaria* and effect of these fungion heavy metal uptake by clover, *Mycorrhiza*, 10, 161–168.

- [153]Berreck, M., Haselwandter, K., 2003, Effect of the AM symbiosis upon uptake of cesium and other cations by plants, *Mycorrhiza*, 10, 275–280 (2001). <https://doi.org/10.1007/s005720000089>
- [154]Kalefetoğlu, T., Ekmekçi, Y., 2005, The effects of drought on plants and tolerance mechanisms, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18 (4): 723-740.
- [155]Aybar, M., Bilgin, A., Sağlam, B., 2015, Fitoremediasyon Yöntemi İle Topraktaki Ağır Metallerin Giderimi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1-2): 59-65.
- [156]Yiğider E., 2016, *Ağır metal stresinin mısırdaki (Zea mays L.) meydana getirmiş olduğu retrotranspozon polimorfizmi üzerine humik asitin etkisinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Erzurum.
- [157]Ahmad, P., Sarwat, M., Bhat, N.A., Wani, M.R., Kazi, A.G., Tran, L.S.P., 2015, Alleviation of cadmium toxicity in *Brassica juncea* L.(Czern. & Coss.) by calcium application involves various physiological and biochemical strategies, *PLoS One*, 10(1): e0114571.
- [158]Benavides, M.P., Gallego, S.M., Tomaro, M.L., 2005, Cadmium toxicity in plants, *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 21-34.
- [159]Asri, F.Ö., Sönmez, S., Çıtak, S., 2007, Kadmiyumun çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri, *Derim*, 24(1), 32-39.
- [160]Gharebaghi, A., Haghighi, M.A., Arouiee, H., 2017, Effect of cadmium on seed germination and earlier basil (*Ocimum basilicum* L. and *Ocimum basilicum* var. *purpurescens*) seedling growth, *Trakia Journal of Sciences*, 1(1), 1-4.
- [161]Monteiro, M.S., Santos, C., Soares, A.M.V.M., Mann, R.M., 2009, Assessment of biomarkers of cadmium stress in lettuce, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(3), 811-818.
- [162]Rask, K.A., Johansen, J.L., Kjøller, R., Ekelund, F., 2019, Differences in arbuscular mycorrhizal colonisation influence cadmium uptake in plants, *Environ. Exp. Bot.*, 162, 223–229.

- [163]Intawongse, M., Dean, J.R., 2006, Uptake of heavy metals by vegetable plants grown on contaminated soil and their bioavailability in the human gastrointestinal tract, *Food additives and contaminants*, 23(1), 36-48.
- [164]Çatak, E., Çolak, G., Tokur, S., Bilgiç, O., 2016, Bazı domates ve tütün genotiplerinde kadmiyum etkilerini inceleyen istatistiksel bir çalışma, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 13-41.
- [165]De Andrade, S.A.L., da Silveira, A.P.D., Jorge, R.A., de Abreu, M.F., 2008, Cadmium accumulation in sunflower plants influenced by arbuscular mycorrhiza, *International Journal of Phytoremediation*, 10. 1-13.
- [166]Doğaroğlu, Z.G., 2018, Kadmiyum, kurşun ve çinko metallerinin marul (*Lactuca sativa*) tohumlarının çimlenme özellikleri üzerine etkisi, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(2), 299-308.
- [167]Amna, Masood, S., Syed, J.H., Munis, M.F., Chaudhary, H.J., 2015, Phyto-Extraction of Nickel by *Linum usitatissimum* in Association with Glomus intraradices, *International Journal of Phytoremediation*, 17(10):981-7.
- [168]Baycu, G., 2002, Phytochelatin biosynthesis and cadmium detoxification, *Journal of Cell and Molecular Biology*, Cilt: 1 Sayı: 2 ISSN: 1303-3646 / 1306-0961, 45 – 55.
- [169]Masood, A., Shah, N.A., Zeeshan, M., Abraham, G., 2006, Differential response of antioxidant enzymes to salinity stress in two varieties of Azolla, *Environmental Exp. Botany*, 58: 216-222.
- [170]Sivritepe, N., Kumral, N., Erturk, U., Yerlikaya, C., Kumral, A., 2009, Responses of grapevines to two-spotted spider mite mediated biotic stress, *Journal of Biological Sciences*, 9: 311–318.
- [171]Prior, R.L., Wu, X., Scaich, K., 2005, Standardized methods for the determination antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(8), 3110-3113.

- [172]Foyer, C.H., Shigeoka, S., 2011, Understanding oxidative stress and antioxidant functions to enhance photosynthesis, *Plant Physiol.*, 155(1):93-100.
- [173]Hörtensteiner, S., 2006, Chlorophyll degradation during senescence, *Annual Review of Plant Biology*, 57(1): 55-77.
- [174]Lutts, S.J.M., Kinet, J.M., Bouharmont, J., 1996, Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity tolerance, *Plant Growth Regul.*, 19, 207–218.
- [175]Halliwell, B., 1987, Oxidative damage, Lipid Peroxidation , Antioxidant Protection in Chloroplasts, *Chem. Phys. Lipids*, 44, 327–340.
- [176]Dhindsa, R.S., Mathowe, W., 1981, Drought tolerance in two mosses: Correlated with enzymatic defence against lipid peroxidation, *J. of Exp. Bot.*, 32(126): 79-91.
- [177]Arnon, D.I., 1949, Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*, *Plant Physiol.*, 24: 1-15.
- [178]Keyvan, S., 2010, The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars, *Journal of Animal and Plant Sciences*, 8(3): 1051-1060.
- [179]Koca, H., Bor, M., Ozdemir, F., Turkan, I., 2007, The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars, *Environmental and Experimental Botany*, 60: 344- 351.
- [180]Bates, L.S., Waldern, R.P., Teare, I.D., 1973, Rapid determination of free proline for water-stress studies, *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- [181]George, E., 2000, Nutrient Uptake. Contributions of Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Plant Mineral Nutrition. In: *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Kapulnik, Y., Douds, D.D., Eds., Springer, Dordrecht, ISBN: 978-90-481-5515-6.
- [182]Dražić, G., Mihailović, N., Stojanović, Z., 2004, Cadmium toxicity: the effect on macro-and micro-nutrient contents in soybean seedlings, *Biologia Plantarum*, 48(4), 605-607.

- [183]Wang, C., Li, X., Zhou, J., Wang, G., Dong, Y., 2008, Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of cucumber plants, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39: 499-509.
- [184]Lu, N., Zhou, X., Cui, M., Yu, M., Zhou, J., Qin, Y., Li, Y., 2015, Article Colonization with Arbuscular Mycorrhizal Fungi Promotes the Growth of *Morus alba* L. Seedlings under Greenhouse Conditions, *Forests*, 6: 734-747.
- [185]Demir, S., Şensoy, S., Ocak, E., Tüfenkçi, Ş., Demirer Durak, E., Erdiñç, Ç., Ünsal, 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.
- [186]Edathil, T.T., Manian, S., Udaiyan, K., 1996, Interaction of multiple VAM fungal species on root colonization, plant growth and nutrient status of tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *Agr. Ecosyst. Environ.*, 59: 63-68.
- [187]Sieverding, E., 1991, Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems, *Technical Co-Operation Federal Republic of Germany*, pp.372.
- [188]Ortaş, İ., 2002, Do Plants Depend on Mycorrhizae In Terms of Nutrient Requirement?, *International Conference On Sustainable Land Use And Management*, Çanakkale.
- [189]Ruiz-Lozano, J.M., Azcón, R., Gòmez, M., 1996, Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal *Glomus* species in *Lactuca sativa* plants, *Physiologia Plantarum*, 98:767–772.
- [190]Zhu, X., Song, F., Liu, S.Q., Liu, T.D., Zhou, X., 2012, Arbuscular mycorrhizae improves photosynthesis and water status of *Zea mays* L. under drought stress, *Plant Soil Environ.* 58, 186–191.
- [191]Rubio, H.R., Uribe, P.R., Borie, B.F., Moraga, P.E., Contreras, N.A., 1993, VA Mychorriza in Horticulture. Infection Rate in Lettuce and Tomato and Its Incidence on Plant Growth, *Agriculture-Tecnica*, 54(1), 7-14.

- [192]Dumas-Gaudot, E., Gollotte, A., Cordier, C., Gianinazzi, S., Gianinazzi-Pearson, V., 2000, Modulation of host defense systems. In: Kapulnik, Y., Douds, D.D., editors, *Arbuscular mycorrhizas: physiology and function*, Springer, Dordrecht, 173–200.
- [193]Abbott, L.K., 1982, Comparative anatomy of vesicular-arbuscular mycorrhizas formed on subterranean clover, *Australian Journal of Botany*, 30, 485–499.
- [194]Menge, J.A., Johnson, E.L.V., Platt, R.G., 1978, Mycorrhizal Dependency of Several Citrus Cultivars Under Three Nutrient Regimes, *New Phytol.*, 81:553-559.
- [195]Hooker, J.E., Atkinson, D., 1996, Arbuscular Mycorrhizal Fungi-Induced Alteration to Tree-Root Architecture and Longevity, *Z.Pflanzenernähr. Bodenk.*, 159. 229-234.
- [196]Gopinathan, S., Raman, N., 1992, Indole 3-acetic acid production by ectomycorrhizal fungi, *Ind. J. Exper. Biol.*, 30: 142-143.
- [197]Kothari, S.K., Marschner, H., Romheld, V., 1991a, Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc in maize growth in a calcareous soil, *Plant and Soil*, 131: 177-185.
- [198]Kothari, S.K., Marschner, H., Romheld, V., 1991b, Direct and indirect effects of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on acquisition of mineral nutrients by maize (*Zea mays* L.) in a calcareous soil, *New Phytologist*, 116: 637-645.
- [199]Dixon, R.K., Garrett, H.E., Cox, G.S., 1988, Cytokinin activity in *Citrus jambhiri* Lush. seedlings colonized by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, *Trees* 2, 39–44.
- [200]Guo, Y., George, E., Marschner, H., 1996, Contribution of an arbuscular mycorrhizal fungus to the uptake of cadmium and nickel in bean and maize plants, *Plant and Soil*, 184: 195-205.
- [201]Zhang, Z., Zhang, J., Xu, G., Zhou, L., Li, Y., 2018, Arbuscular mycorrhizal fungi improve the growth and drought tolerance of *Zenia insignis* seedlings under drought stress, *New For.*, 49, 1–12.

- [202]Erdoğan, E., 2010, *5BB asma anacı üzerine aşılı Kalecik karası üzüm çeşidinde kokteyl mikoriza uygulamalarının vegetatif gelişme ve ürün kalitesine etkileri*, Yayınlanmış yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [203]Scagel, C.F., 2001, Cultivar specific effects of mycorrhizal fungi on the rooting of miniature rose cuttings, *J. Environ. Hort.*, 19:15–20.
- [204]Şen, Ö., 2008, *Tuz stresi altında yetiştirilen patlıcan fidelerinin gelişimi ve besin elementi içerikleri üzerine Arbuscular mikorizal fungus uygulamaların etkisi*, Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [205]Shannon, M.C., 1997, Adaptation of Plants to Salinity, *Advances in Agronomy*, vol:60,75-120.
- [206]Ashraf, M., Foolad, M.R., 2007, Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance, *Environ. Exp. Bot.*, 59: 206–216.
- [207]Zengin, F.K., 2007, Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.) Pigment İçeriği Üzerine Bazı Ağır Metallerin Etkileri, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10(2): 6-12.
- [208]Hörtensteiner, S., 2006, Chlorophyll degradation during senescence, *Annual Review of Plant Biology*, 57(1): 55-77.
- [209]De Fillippis, L.F., Pallaghy, C.K., 1994, *Heavy metals: Sources and Biological Effects* In: *Advances in Limnology series: Algae and Water Pollution*, Volumu:42, eds: Rai, L.C., Gaur, J.P., Soeder, C.J., pp. 31- 77. Eschweizerbartsche Pres, Stuttgart.
- [210]Ladislav, S., El-Mufleh, A., Gérente, C., Chazarenc, F., Andrès, Y., Béchet, B., 2012, *Potential of aquatic macrophytes as bioindicators of heavy metal pollution in urban stormwater runoff*. Water, Air, & Soil Pollution, In: Trevors, J., (ed.), Chapter 223(2) , Springer, Netherlands, 0049-6979.
- [211]Zhuang, P., Yang, Q.W., Wang, H.B., Shu, W.S., 2007, Phytoextraction of heavy metals by eight plant species in the field., *Water Air Soil Pollution*, 184:235–242.
- [212]Padmavathiamma, P. K., and Li, L. Y., 2007, *Phytoremediation technology: hyperaccumulation metals in plants*, Water, Air, and Soil Pollution, In: Trevors, J., (ed.), Chapter 184(1-4), Springer, Netherlands, 105-126.

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Seda KARADAĞ KILINÇ
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	XT.C. ☐ Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Trakya Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Biyoloji
Mezuniyet Yılı	20.06.2003

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

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

Makale ve Bildiriler	
Baycu, G., Tolunay, D., Ozden, H., Csatari, I., Karadag, 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	