

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**VESİKÜLER - ARBUSKÜLER MİKORİZANIN YULAF
(*Avena sativa L.*) BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE BAZI AĞIR
METALLERİ ALIMI ÜZERİNE ETKİLERİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

SONGÜL ÇELİK DALCI

120055

120055

**ZİRAAT FAKÜLTESİ
TOPRAK ANABİLİM DALI**

**ANKARA
2002**



220081

Prof. Dr. Sevinç ARCAK danışmanlığında, Songül ÇELİK DALCI tarafından hazırlanan bu çalışma 06/ 02 / 2002 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Başkan : Prof.Dr.Kemal GÜR



Prof. Dr. Sevinç ARCAK



Doç. Dr. Ayten KARACA

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Esmâ KILIÇ
Enstitü Müdürü

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

VESİKÜLER ARBUSKÜLER MİKORİZANIN YULAF(*Avena sativa* L)
BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE BAZI AĞIR METALLERİ ALIMI ÜZERİNE
ETKİLERİ

Songül ÇELİK (DALCI)

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr.Sevinç ARCAK

Bu çalışmada VA mikorizanın yulaf (*Avena sativa* L.) bitkisinin gelişimi ve bazı ağır metalleri alımı üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla VAM mantarı yulaf bitkisi köklerine aşılansmış ve yulaf köklerinde VA mikorizanın enfeksiyon oranı bulunmuştur. Yulaf köklerinin mikoriza ile aşılı ve aşısız konularına artan miktarlarda bakır(0-5-10-20-40 mg kg⁻¹), çinko (0-50-100-200-400 mg kg⁻¹) ve kadmiyum (0-1-5-10-20 mg kg⁻¹) metalleri uygulanmıştır.

Ağır metallerden Cu, Zn ve Cd'un uygulandığı VAM ile aşılansmış ve aşılansmamış konularda uygulanan doz artışına bağlı olarak; toprak, kök ve bitkide ağır metal içeriği de artmıştır. Mikorizal enfeksiyon oranında ağır metallerin doz artışıyla birlikte azalma tespit edilmiş ve sırasıyla VAM enfeksiyon oranı, bakır konularında %21-36, çinko konularında %15-36, kadmiyum konularında %4- 36 bulunmuştur. Aynı zamanda VAM ağır metallere karşı direnç göstermiştir.

VAM ile aşılansmamış yulaf kökleri ve bitki üst kısmınca artan dozlarda uygulanan Cu, Zn ve Cd metalleri daha fazla alınmıştır. VAM ile aşılı konularda ağır metalin büyük bir kısmı yulaf köklerinde tutularak bitki üst kısmına ağır metal geçişi az olmuştur. VA mikoriza topraktan bitki üst kısmına ağır metal alımını azaltmıştır.

2002, 69 sayfa

ANAHTAR KELİMELE: VAM, mikorizal enfeksiyon, aşılama, bakır, çinko, kadmiyum, yulaf

ABSTRACT

Master Thesis

EFFECTS OF VESICULAR -ARBUSCULAR MYCORRHIZAE ON THE GROWTH AND UPTAKE OF SOME HEAVY METALS BY OAT (*Avena sativa* L. .)

Songül ÇELİK (DALCI)

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science

Supervisor: Prof. Dr. Sevinç ARCAK

In this study, the effects of VA mycorrhizae on the growth of oat and the uptake of some heavy metals by the plant were studied. Within this context, oat roots were inoculated with VAM fungus and the rate of infection on the roots was determined. Increased doses of Copper (0-5-10-20-40 mg kg⁻¹), Zinc (0-50-100-200-400 mg kg⁻¹) and Cadmium(0-1-5-10-20 mg kg⁻¹) were applied to both inoculated and non-inoculated oat roots.

Heavy metal contents increased in soil, root, stem and leaves, depending on the increased doses of Cu, Zn and Cd being applied to both inoculated and non-inoculated treatments. A decrease was observed in the rate of mycorrhizal infection associated with the increased doses of heavy metals. VAM infection rates for the metal applications as follows; 21-36 % in Cu-treatment, 15-36% in Zn-treatment and 4-36% in Cd-treatment. In addition, VAM evolved a resistance against the metal applications.

Increased doses of Cu, Zn and Cd resulted in more accumulation in oat root, stem and leaf systems in the non-infected treatments. However , a large part of the metals were retained by roots and thereby less translocation to stems and leaves occurred in the infected treatments. Consequently, VA mycorrhiza hindered metal movements to stem and leaves.

2002, 69 pages

Key Words: VAM, mycorrhizal inoculation, infection, copper, zinc, cadmium, oat.

TEŞEKKÜR

VA Mikorizanın yulaf bitkisinin gelişimi ve bazı ağır metalleri alımı üzerine etkilerinin araştırılması amacıyla yaptığım bu çalışmada danışman hocam olarak bana bu olanağı sağlayan ve değerli fikirleri ile yön veren Sayın Prof.Dr.Sevinç ARCAK'a (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi) ve Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı Bölüm Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma konusunun belirlenmesinde ve yürütülmesinde her zaman yardımlarını gördüğüm Sayın Dr.Kemal KARUÇ'a (Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü); katkısını esirgemeyen Sayın Dr.Çetin ARCAK'a, denemenin yürütülmesi süresince gerekli her türlü imkanı sağlayan Sayın Dr.Bülent SÖNMEZ (Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürü) ve Sayın Dr.Fikret EYÜPOĞLU'na (Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdür Yardımcısı), ayrıca yüksek lisans çalışması yapmam için beni teşvik eden merhum Ayşen YALÇIKLI'ya çok teşekkür ederim.

Songül ÇELİK DALCI
Ankara, 2002

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1.GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1 Materyal.....	8
3.2 Yöntem.....	8
3.2.1 Toprak örneklerinin alınması ve denemeye hazırlanması	8
3.2. Aşılama materyalinin çoğaltılması.....	9
3.2.3. Deneme deseni.....	10
3.2.4 Sera denemesinin kurulması.....	10
3.2.5Hasat ve bitkilerin analize hazırlanması.....	11
3.2.6VA Mikoriza enfeksiyon yüzdesinin belirlenmesi.....	11
3.2.7 Toprak ve bitki analiz yöntemleri.....	12
3.2.7.1 Toprak analizleri.....	12
3.2.7.2 Bitki analizleri.....	13
3.2.8 Uygulanan istatistiksel metotlar.....	13
4.ARAŞTIRMA BULGULARI.....	14
4.1Deneme topraklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	14
4.2 VA mikoriza enfeksiyonu.....	15
4.3 VAM enfeksiyonunun ağır metallere toleransı.....	16
4.4 Bitki kuru ağırlıklarına ait bulgular.....	18
4.4.1. VA mikorizanın yulaf bitki kuru ağırlıklarına etkisi.....	18
4.4.2 Ağır metallerin yulaf bitki kuru ağırlıklarına etkisi.....	20
4.5 Yulafta kök kuru ağırlıklarına ait bulgular.....	22
4.5.1 Mikoriza enfeksiyonunun yulaf kök kuru ağırlıklarına etkisi	22
4.5.2. Ağır metallerin yulaf kök kuru ağırlıklarına etkisi.....	25
4.6.Ağır metallerin alımına ait bulgular.....	27
4.6.1. VA mikoriza enfeksiyonu ile toprak, kök ve bitkideki ağır metal ilişkisi.....	27
4.6.2. Toprakta alınabilir Cu,Zn ve Cd'a ait bulgular	32
4.6.3. Yulaf kökünde Cu, Zn ve Cd'a ait bulgular.....	36
4.6.4. Yulaf bitkisinde Cu, Zn ve Cd'a ait bulgular.....	39

5.TARTIŖMAVESONUÇ.....	47
5.1. VA Mikoriza enfeksiyon sonuçları.....	47
5.2. VA mikoriza ve ağır metallerin bitki kuru ağırlık ve kök kuru ağırlıklarına etkisi.....	48
5.3. Yulaf bitkisi tarafından Cu, Zn ve Cd alımında mikorizanın rolü.....	51
5.3.1. Toprakta ağır metal ve mikoriza ilişkisi.....	51
5.3.2.Ağır metallerin köke alımında VA mikorizanın rolü.....	52
5.3.3.Ağır metallerin bitkiye alımında VA mikorizanın rolü.....	54
KAYNAKLAR.....	58
EKLER.....	65
EK 1.....	66
EK 2.....	67
EK 3.....	68
ÖZGEÇMİŖ.....	69

SİMGELER DİZİNİ

AAS : Atomik absorbsiyon spektrofotometresi
DTPA : Dietilen triamin penta asetik asit
kg : Kilogram
mg : Miligram
VAM : Vesiküler- Arbusküler Mikoriza

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:	Sayfa No
Şekil 4.1. VA Mikoriza enfeksiyonu ve Cu ilişkisi.....	16
Şekil 4.2. VA Mikoriza enfeksiyonu ve Zn ilişkisi.....	17
Şekil 4.3. VA Mikoriza enfeksiyonu ve Cd ilişkisi.....	17
Şekil 4.4. VA Mikorizanın (Cu denemesinde) yulaf bitkisi kuru ağırlıklarına etkisi.....	19
Şekil 4.5. VA Mikorizanın (Zn denemesinde) yulaf bitkisi kuru ağırlıklarına etkisi.....	19
Şekil 4.6. VA Mikorizanın (Cd denemesinde) yulaf bitkisi kuru ağırlıklarına etkisi.....	20
Şekil 4.7. Bakır ve bitki kuru ağırlıkları arasındaki ilişki.....	21
Şekil 4.8. Çinko ve bitki kuru ağırlıkları arasındaki ilişki.....	21
Şekil 4.9. Kadmiyum ve bitki kuru ağırlıkları arasındaki ilişki.....	22
Şekil 4.10. VA Mikorizanın (Cu denemesinde) yulaf kök kuru ağırlıklarına etkisi.....	23
Şekil 4.11. VA Mikorizanın (Zn denemesinde) yulaf kök kuru ağırlıklarına etkisi.....	24
Şekil 4.12. VA Mikorizanın (Cd denemesinde) yulaf kök kuru ağırlıklarına etkisi.....	24
Şekil 4.13. Bakır ve kök kuru ağırlıkları arasındaki ilişki.....	25
Şekil 4.14. Çinko ve kök kuru ağırlıkları arasındaki ilişki.....	26
Şekil 4.15. Kadmiyum ve kök kuru ağırlıkları arasındaki ilişki.....	26
Şekil 4.16. VA Mikoriza enfeksiyonu ve topraktaki alınabilir Cu konsantrasyonu.....	27
Şekil 4.17. VA Mikoriza enfeksiyonu ve topraktaki alınabilir Zn konsantrasyonu.....	28
Şekil 4.18. VA Mikoriza enfeksiyonu ve topraktaki alınabilir Cd konsantrasyonu.....	28
Şekil 4.19. VA Mikoriza enfeksiyonu ve kökte Cu konsantrasyonu.....	29
Şekil 4.20. VA Mikoriza enfeksiyonu ve kökte Zn konsantrasyonu.....	29
Şekil 4.21. VA Mikoriza enfeksiyonu ve kökte Cd konsantrasyonu	30
Şekil 4.22. VA Mikoriza enfeksiyonu ve yulaf bitkisinde Cu konsantrasyonu.....	31

Şekil 4.23. VA Mikoriza enfeksiyonu ve yulaf bitkisinde Zn konsantrasyonu.....	31
Şekil 4.24. VA Mikoriza enfeksiyonu ve yulaf bitkisinde Cd konsantrasyonu.....	32
Şekil 4.25. Toprakta alınabilir Cu konsantrasyonu.....	33
Şekil 4.26. Toprakta alınabilir Zn konsantrasyonu.....	34
Şekil 4.27. Toprakta alınabilir Cd konsantrasyonu.....	35
Şekil 4.28. Yulaf kökünde Cu konsantrasyonu.....	37
Şekil 4.29. Yulaf kökünde Zn konsantrasyonu.....	38
Şekil 4.30. Yulaf kökünde Cd konsantrasyonu.....	39
Şekil 4.31. Yulaf bitkisinde Cu konsantrasyonu.....	40
Şekil 4.32. Yulaf bitkisinde Zn konsantrasyonu.....	41
Şekil 4.33. Yulaf bitkisinde Cd konsantrasyonu.....	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge No:

Sayfa
No:

Çizelge 4.1. Deneme topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	14
Çizelge 4.2. VA mikorizanın enfeksiyon yüzdeleri.....	15
Çizelge 4.3. Yulaf bitki kuru ağırlıkları.....	18
Çizelge 4.4. Yulaf kök kuru ağırlıkları.....	22
Çizelge 4.5. Toprakta alınabilir Cu, Zn ve Cd.....	32
Çizelge 4.6. Yulaf kökünde Cu, Zn ve Cd konsantrasyonları.....	36
Çizelge 4.7. Yulaf bitkisinde Cu, Zn ve Cd konsantrasyonları.....	39
Çizelge 4.8. VA Mikoriza ile aşıllı ve aşırsız Cu uygulamalarında değişkenlerin birbirleri arasındaki korelasyonlar.....	44
Çizelge 4.9. VA Mikoriza ile aşıllı ve aşırsız Zn uygulamalarında değişkenlerin birbirleri arasındaki korelasyonlar.....	45
Çizelge 4.10. VA Mikoriza ile aşıllı ve aşırsız Cd uygulamalarında değişkenlerin birbirleri arasındaki korelasyonlar.....	46

1.GİRİŞ

Son yıllarda bütün dünyada çevrenin ve doğal dengenin korunması yolunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar tarım sektörünü de yakından ilgilendirmektedir. Özellikle tarımı gelişmiş batı ülkelerinde, üzerinde önemle durulan konulardan biri çevreye zarar vermeden yapılan tarımdır. Uygun üretim sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Çevresel sorunların artış göstermesi sonucunda özellikle kirlетici faktörlerin bir çoğunun besin zinciri içinde üst tüketicilere taşınması sonucu bir ekolojik kirlilik kavramı ortaya çıkmaktadır. Ağır metallerin bitki bünyesine alınması ve bu tarım ürünlerinin hayvan ve insan tüketimine sunulması, doğal olarak beslenme zinciri içerisinde insanlara ulaşmakta ve bu da çeşitli olumsuzluklara neden olmaktadır.

Tarım ekosisteminde amaç, doğal popülasyonu bozmadan veya olası zararlı etkileri minimuma indirmek için değişik alternatifler bulmaktır. Bu alternatiflerden biri de toprak mikroorganizmalarının tarımda kullanılması ile doğal bir koruma yönteminin geliştirilmesidir. Bilindiği gibi çevre kirlетici etmenlere ve bu arada ağır metallere karşı mikoriza mantarı bitkinin direncini arttırmaktadır.

Yüksek bitkilerle mikoriza mantarlarının simbiyotik yaşamlarının oluşumu çoğu zaman olumlu ürün etkilerine yol açar. Özellikle yarı optimal gelişme şartları altında artan besin maddesi alımıyla açıklanabilen ürün artışı belirlenmiştir. Simbiyozda (ortak yaşam) oluşan hiflerle aşılana bitkinin, kök sistemi gelişmektedir. Dolayısıyla toprağa daha iyi nüfuz ederek artan bir besin maddesi absorpsiyonuna ulaşılmaktadır. Ayrıca simbiyozun bitki beslenmesine etki yapan sekonder etkisi söz konusu olmaktadır. Bunlar arasında kök salgısının, modifiye oluşumun hormon kapsamının etkisi, stoma regülasyonu , ksilem transportunun besin maddesi alımına etkileri sayılabilir (Gerdeman 1964).

Deneme şartlarına bağlı olarak ağır metal alımına VAM etkisi konusundaki literattür verileri değişkenlik göstermektedir. Bitkilerin çinko alımı konusunda araştırmalar VAM'a bağlı yüksek konsantrasyonların yanında (Gnekow ve Marschner 1989) değişken (Dueck ve ark.1986) ve azalan konsantrasyonlar da (Nielsen ve Jensen 1983) göstermektedir. Heterojen VAM etkileri metallерden Mn (Arines ve ark.1989), Cu (Kothari ve ark.1990) , B ve Fe (Jakobsen 1983; Kucey ve Jansen 1987) üzerinde

görülmektedir. Mikorizalı kültür bitkilerindeki düşük konsantrasyonlar, bazı araştırmacılar tarafından da bitkisel dokulardaki birkaç elementin kapsamının VAM tarafından az alınmasına neden olduğu belirtilmiştir.

Ağır metal zehirlenmelerine karşı koruma, özellikle madencilik yapılan alanlar gibi kirlenmiş alanların yeniden kazanımında büyük önem taşımaktadır. Mikorizal mantarların kolonize ettikleri bitkileri patojenlerden mekaniksel olarak ve antibiyotik üreterek korudukları gösterilmiştir (Paul ve Clark 1989).

Ekosistem içerisinde yer alan toprak mikroorganizmalarından olan VAmikorizaların kirlilik unsurlarının azaltılmasında kullanılma olanaklarının araştırılması projenin amacını oluşturmaktadır. Bu çalışmada kirliliğe neden olan ağır metallerin bitkiye alımı ve kullanımı üzerine mikoriza mantarının etkisi; mikorizanın ağır metallere (Cu, Zn, Cd) toleransı belirlenmeye çalışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Mikoriza, bazı mantarların bitki kökleriyle ortak yaşam sürdürmesidir. Mikoriza mantarının bitki ortak yaşamına en önemli katkısı mineral besin alımı ve dağıtımı şeklinde olmaktadır. Bunun karşılığında konakçı bitki de mantara büyümesi için gerekli karbon bileşiklerini sağlar (Jakobsen ve Rosendahl 1990). Mikorizal bitkilerde görülen mineral besin alımı artışının nedenlerinden biri kök dışındaki hifin toprakta daha büyük hacimleri tarayabilmesidir (Hayman 1983). Besinlerden fosfor, azot (Haystead ve ark. 1988), çinko (Gilmore 1971), bakır (Timmer ve Leyden 1980), sülfür (Gray ve Gerdemann 1973) ve demirin (Treeby 1992) mikoriza mantarları tarafından topraktaki rezervlerinden bitkilere taşındığı ve dağıtıldığı (Rhodes ve Gerdemann 1975) gösterilmiştir. Bu sayılan mineraller arasında mikoriza ortak yaşamının oluşumu ve işlevi açısından fosforun özel bir yeri vardır (Gerdemann 1968; Mosse 1973).

Vesiküller – Arbusküler mikoriza birbirine bağlı 3 kısımdan meydana gelmektedir. Konukçu bitki, konukçu bitki içerisindeki misel gelişimi ve kök çevresindeki misel gelişimidir. Rizosfer içerisinde konukçu bitki köktü çevresindeki misel gelişmesi kökten dışarıya doğru bir yayılma gösteren gevşek bir fungus ağı tabakasından oluşur. Diğer taraftan *Glomus sp.* için yaşama şartlarının kötüye gittiği durumda veya kök çevresindeki liflerden meydana gelen, vesikül denilen kesecikler olgunlaştığı zaman bu vesiküller etraflarını kalınlaştırarak spor formuna dönüşürler ve bu sporlar toprakta bitki köküne bağlı kalmaksızın yaşayabilirler. Bu sporlar toprakta uygun koşullar bulunduğunda çimlenerek misel gelişmesini meydana getirebilmektedir. *Glomus* bitki kökünü enfekte ettikten sonra kök korteksi içerisinde hem hücreler arası boşlukta hem de hücre içi boşluklarda önce misel oluşturmakta ve daha sonra bu misellerden vesikül ve arbuskül meydana gelmektedir. Vesiküller spor formuna dönüşerek fungusun soyunu sürdürmesine yardımcı olmakta ayrıca alınan besin elementlerini gerektiğinde kullanılmak üzere depo etmektedir. Diğer bir ifadeyle fungusun besin maddesi deposu görevini yapmaktadır. Hücre içerisinde oluşan arbusküller ise besin maddesini bitki dokularına aktarmaktadır. Sonuçta miseller yardımıyla topraktan bitki kökü içerisine taşınan besin maddeleri vesikül ve arbusküllerde depo edilmektedir (Gür 1987; Allen 1991).

Genellikle, bitki büyümesinin mikorizal mantarlar tarafından iyileştirilmesi çözelti fazında fosfor konsantrasyonlarının düşük olduğu ancak fosforun adsorbe olmuş yada çözünmeyen rezervlerinin bulunduğu topraklarda

görülmektedir. Mikoriza oluşturan pek çok bitki yüksek çözünen fosfor konsantrasyonlarında mikoriza ortak yaşamını durdurur ve oluşumuna mani olur (Hepper 1983).

Mikoriza mantarları fitat gibi bitki kökleri tarafından alınamayan değişik fosfor formlarını çözebilme ve bitkiye taşıyabilmektedir (Jayachandran ve ark. 1992).

Bitki-mikoriza simbiyozunda ortamdaki besin maddelerinin çözünürlüğünün artırılmasında mantarların aktif olduğu ve bitkiye yarar sağladığı saptanmıştır. Mikorizaların bitki tarafından oluşturulan fotosentez ürünlerine gereksinimi olmaktadır. VA mikoriza mantarları da bitkiden C ihtiyacını sağlamaktadır (Haktanır ve Arcak 1997)

Mikorizal mantarlar fosforu, kolonize olmamış bitkilerin köklerine oranla daha düşük çözelti konsantrasyonlarında da absorbe ederler (Hayman ve Mosse 1972).

Mikorizal ortak yaşamının sayılan faydalarıyla birlikte bitkilere içinde bulundukları ekosistemlerde iyi bir rekabet ortamı sağladıkları görülmektedir. Bununla beraber, besince çok fakir olan topraklarda VA mikoriza mantarları kolonize ettikleri bitki için topraktan mineral besin çıkaramadıkları ve bitkinin fotosentetik ürünlerini paylaşmaya devam ettikleri için parazitik bir ilişkiye dönüşüm söz konusu olabilir. Bu yüzden, başarılı bir karşılıklı faydaya dayanan ortak yaşam ancak bitkinin mantara karbon bileşikleri sağlarken mantardan aldığı inorganik besinlerin miktarı arasında kurulan dengeyle oluşur. İyi dengelenmiş bir mikorizal ortak yaşamda karbon sağlanması bitkiye fazladan yük getirmemelidir. Mineral besin dengesinin mantar tarafından sağlandığı bitki fotosentetik kapasitesini arttırabildiğinden, mikorizanın yokluğunda zaten fotosentetik kapasitesinin altında çalışan bitki, buradaki karbon farkının bir bölümünü mantara aktarmaktadır. Toprakta yüksek metal konsantrasyonları bakteri ve mantarlar için toksiktir (Krumbein 1983).

Toprakta metal toksisitesi metallerin biyolojik yararıyla ilgili olarak, toprakta yaşayan organizmalara aktarılmaya yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Juste 1988).

Toprakta ağır metallerin bitkiler tarafından alımı yalnızca toprağın total metal içeriğine bağlı olmayıp, bitki türleri, KDK (katyon değişim kapasitesi), toprak organik maddesi, toprak pH'sı gibi birbirini etkileyen toprak ve bitki

faktörlerine de bağlıdır. Bitki bünyesindeki metal konsantrasyonları metallerin nerelerde biriktiğinin göstergesidir. Toprağa metal ilave edildiğinde bitki gelişiminde azalma ve daha fazla metal alımı pekçok çalışmada gösterilmiştir (Bjerre ve Schierup 1985).

Mikorizal enfeksiyon bir çok bitki türünün doğal şartları olup, çoğu ürün yüksek P seviyelerinde dahi mikorizadan faydalanabilirler. Mikorizasız bitkilerin bitki besleme denemelerinde kullanımı, P seviyesi değişken veya P, Zn ve Cu ile çalışılıyorsa uygun sonuçlar alınamayabilir. Bu elementler büyük oranlarda mikoriza mantarı sayesinde alınabilir. Mikoriza P, Cu ve Zn alımındaki etkisi veya çevresel incelemelerde bir bileşen olarak düşünülmelidir (Mosse 1973).

Mikorizanın yararı değişken olup, azalan P verimliliğini artırmaktadır. Besin alımını iyileştiren etkiye sahip mantar enfeksiyonu P gübrelemesi, ıslak topraklar, düşük sıcaklık, toprak fumigasyonunu içeren birtakım değişken faktörler tarafından etkilenmekte ve bu faktörlerle ilişkili olarak Zn ve bazan Cu alımı azalmaktadır. Genellikle artan yarıyıllı fosfor miktarı mikorizal kolonizasyonu engellemektedir (Lambert ve Baker 1979).

Gildon ve Tinker (1981) izole ettikleri *Glomus mosseae* VA mikoriza mantarının toprakta 100 mg kg^{-1} Zn'yu tolere etme yeteneğinde olduğunu; Zn, Cu, Ni ve Cd'un yüksek konsantrasyonlarında VA mikoriza mantar kolonizasyonunun azaldığını göstermişlerdir.

Özcan ve Taban (1999), yaptıkları bir çalışmada VAM'ın asit ve alkalin topraklarda yetiştirilen mısır bitkisinde fosfor alımına etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, mısır bitkisi gövdesinin fosfor içeriği VAM uygulamasıyla kontrole göre alkalin toprakta değişmediğini ve asit toprakta arttığını açıklamışlardır. Deneme bitkisi gövdesinin çinko içeriğinin her iki toprakta da VAM uygulamasıyla artmış olduğunu, fosfor uygulamasıyla azaldığını bulmuşlardır. Kök ve gövdenin Cu ve Mn içeriği bakımından her iki toprakta VAM uygulamasından etkilenmiş ve VAM uygulamasıyla gövdenin Cu ve Mn içerikleri artarken, kökün Cu ve Mn içeriklerinin azalmış olduğu tespit edilmiştir.

Gildon ve Tinker (1983a), VAM'lı bitkileri kontrolle kıyasladıklarında VAM'lı bitkilerin Cu alımını arttırdığını açıklamışlardır. Bu sonuçlar VA mikorizanın, gerekli seviyelerde besin ihtiyacı olarak çeşitli metalleri bitkiye sağlama yeteneğinde olduğu anlamında yorumlanabilir. Besin ihtiyacı seviyesinde metal alımı P alımından ayrılmaktadır.

Killham ve Firestone (1983), bozkır otunda (*Ehrhanta calycina* Sm), Cu, Ni, Pb, Zn, Fe ve Co metalleri ile VA mikoriza interaksiyonunu incelemişler, kontrol bitkilerine göre VA mikoriza aşıları bitkilerin kök ve gövdesinde bu metallerin birikiminin daha fazla olduğunu bulmuşlardır.

VA Mikoriza mantarları kolonize ettikleri bitkilerin köklerini patojenlere (Rosendahl ve Rosendahl 1990), nematodlara (Kellam ve Schenck 1980) ve ağır metal zehirlenmelerine karşı da korumaktadır (Read 1986).

Yüksek metal konsantrasyonuna sahip toprakta hıyar ve mısır bitkileri tarlada yetiştirildiğinde mikorizal kolonizasyonun Cd ve Zn'nun bitki gövdesindeki konsantrasyonunu azalttığı, düşük metal konsantrasyonlu toprakta mısırdaki mikorizanın Cd alımını azaltırken Zn alımını arttırdığı saptanmıştır (Schüepp ve ark.1987).

Koslowsky ve Boerner (1989), VA mikoriza aşıları *Panicum virgatum* bitkisinde, mikorizasız bitkilerden daha az alüminyum içermekte ve mikorizasız bitkilerde alüminyum uygulamasının artışı ile alüminyum alımının arttığı,VA mikorizalı bitkilerde tüm alüminyum uygulama seviyelerinde ise alüminyum alımının sabit kaldığını belirtmişlerdir.

Vesiküler-arbuskular mikorizanın (VAM) çoğu bitki türleri ve habitatlarda kök simbiyozu oluşturduğu (Harley ve Harley 1987) ve VAM'lı bitkilerce iz elementleri (Cu, Zn ve Co) eksik olan topraklardan bu elementlerin alımının arttığı bilinmektedir (Killham 1985, Faber ve ark. 1990).

Faber ve ark.(1990), mısırla yaptıkları çalışmada mikoriza aşıları mısırın aşısız mısıra göre dokularında , daha fazla çinko olduğunu göstermişlerdir.

Mikorizalı bitkilerin ağır metal alımını etkileyen faktörlerden , bitkilerin absorpsiyon yüzey alanı önemli bir rol oynamakla beraber toprakların kontaminasyon derecesine bağlı olduğu da görülmektedir (Loth ve Höffner 1994).

Ağır metalle bulaşık iki farklı kontamine toprakta yulaf bitkisinin Zn, Cu ve Cd gibi ağır metal alımı üzerine VAM izolatlarının etkisi sera denemeleriyle araştırılmıştır. Az miktarda ağır metal içeren toprakta ağır metal alımı sapta %37'ye kadar artış gösterdiği, yüksek miktarda ağır metal içeren toprakta ise ağır metal alımının kökte % 59'a kadar yükseldiği bulunmuştur (Loth ve Höffner 1994).

Gür (1987b) tarafından yapılan bir araştırmada, Erzurum yöresi topraklarında VA Mikorizanın kalitatif ve kantitatif olarak geniş bir dağılım gösterdiği ve bu dağılımın da söz konusu toprakların çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine göre dalgalanmalara yol açtığı bulunmuştur.

VA mikorizanın, hifleri vasıtasıyla bitkiye besin elementlerinin özellikle P alımını sağladığı bilinmektedir. Bunun aksine Fe ve Mn gibi bazı elementlerin alımı, bitki mikoriza ile aşılandığında azalmaktadır. İz elementlerin bitki tarafından aşırı alımına mikorizanın olası etkisi, son yıllarda özellikle evre kirliliğinin arttığı ortamda önem kazanmıştır. Mikoriza, toprakta var olan sporları aracılığıyla ekosistemdeki bitkilerin yaklaşık % 95'nin köklerine infekte olmaktadır. Mikoriza fosfor alımına ilave olarak Zn, Cu , Mn, Fe, Ca, K ve azotun bitkilerce alımında etkili olmaktadır (Marschner 1995).

Ortaş ve ark. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada mikorizal inokulasyonun P ve Zn alımı üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırmada ekşi portakal (*Citrus aurantium*) tohumları sera şartlarında *Glomus clarum* ile aşılanmış , P (0-100-200 ppm) ve Zn (0-2.5-5 ppm) dozları uygulanmıştır. Dokuz ay sonunda bitkide analizler yapılmış ve analiz sonucunda mikoriza aşılamasının bitkide P ve Zn alımını artırdığı görülmüş ancak, Cu zerine etkisi görülmemiştir. Araştırmacılar artan P uygulamasının mikorizayı ve bitki verimini azalttığını belirtmişlerdir.

Ağır metallerce kirlenmiş bulaşık toprakta yulaf köklerinde mikorizal kolonizasyonun Cu, Zn ve Cd'da yüksek oranda alıma yöneldiğini fakat bitkinin diğer kısımlarında ise dolaşımın azaldığı gözlemlenmiştir (Loth ve Höffner 1995).

Gr ve ark (1993) tarafından yapılan araştırmada, Konya ve civarındaki büyük toprak gruplarında VA Mikorizanın dağılımı üzerinde çalışılmış ve VA Mikorizanın kalitatif ve kantitatif dağılımlarının büyük toprak gruplarına göre, söz konusu toprakların bazı fiziksel (tekştr, strüktür, renk vb.), kimyasal (pH, kireç, organik madde, KDK vb.) ve biyolojik özelliklerine göre farklılık gösterdikleri tespit edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Denemede bitki yetiştirme ortamı olarak dere kumu, P içeriği düşük topraktan oluşan (3:1) w/w karışım kullanılmıştır. Aşılama materyali olarak VAM (vesiküler arbusküler mikoriza) mantarı karışık kültür şeklinde (*Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus intraradices*, *Gigaspora margarita* sporları; hif, kök karışımı) kullanılmıştır. Konukçu bitki olarak arpacık soğanı (*Allium cepa*); test bitkisi olarak Yeşilköy y-1779 çeşiti yulaf (*Avena sativa* L) tohumları kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Toprak örneklerinin alınması ve denemeye hazırlanması

Araştırmada kullanılmış olan toprak örneği Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü (Lodumlu) arazisinden 0-20 cm derinlikten, özel pirinç alaşımli bir kürek ile alınmış ve bez torbalara konularak seraya getirilmişlerdir. Toprak örneği serada beton üzerine serilerek, içerisindeki taş ve bitkisel artıklar ayıklandıktan sonra 4 mm'lik çelik elekten geçirilerek analize ve denemeye hazır hale getirilmiştir.

Denemede kullanılacak olan topraklara otoklavda, 3 gün süreyle 120°C 'de ikişer saat sterilizasyon işlemi uygulanmıştır. Kum da aynı şekilde sterilize edilmiştir.

Denemede 8 kg'lık plastik saksılar kullanılmıştır. Saksılar deneme kurulmadan önce çeşme suyu ve saf su ile yıkanarak, deneme sırasında oluşabilecek bulaşmalar önlenmiştir. Topraktaki mevcut mikroorganizmaları elimine etmek aynı zamanda toprakta olası mikoriza sporlarını yok etmek ve böylece toprağa aşılana sporların etkinliğini belirlemek amacıyla denemede kullanılacak toprak ve kum 120°C'de 2 saat süreyle arka arkaya 3 gün sterilize edilmiştir.

Sterilizasyon işleminden sonra toprak ve kum (6 kg toprak+ 2kg kum karışımı olacak şekilde) tartılarak serada temiz ambalaj kağıtları üzerinde karıştırılmıştır. Metal çözeltilerinden çinko; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, bakır; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ve kadmiyum; $3Cd(SO_4) \cdot 8H_2O$, sülfat formunda kullanılarak hazırlanmış olan çözeltiler konularına göre deneme toprağı üzerine aktararak iyice karıştırılmıştır.

Ağır metal çözeltileri karıştırılan topraklar saksılara konulmuş ve saksıların üzeri dışarıdan gelebilecek bulaşmayı önlemek için kağıtlarla kapatılmış ve ekim öncesi toprakların dengeye gelmesi için iki hafta süreyle bekletilmiştir.

3.2.2 Aşılama materyalinin çoğaltılması

Denemede kullanılan mikoriza kültürünün üretilmesi için konukçu bitki olarak arpacık soğanları (*Allium cepa*) kullanılmıştır. Bu amaçla arpacık soğanları % 30'luk H_2O_2 kullanılarak yüzey sterilizesi yapılmış ve daha sonra 3-4 kez steril saf sudan geçirilmiştir.

Denemede 17.5x 35 cm'lik plastik konik saksılar kullanılmıştır. Saksılar çeşme suyu ile yıkandıktan sonra steril saf sudan geçirilmiştir.

Steril kum ve toprak (1/ 1)w/w karıştırılarak saksılara konulmuştur. Tohum derinliğinin 1-2 cm altına karışık mikoriza kültürü konulmuş ve soğan tohumları toprak yüzeyinin 2 cm altına olacak şekilde her saksıya 7 adet soğan tohumu ekilmiştir (Ek.1).

Bitkilerin besin elementleri açısından normal bir gelişme gösterebilmesi için, çimlenmeyi takiben her saksıya 15 gün ara ile litresinde 0.45g NH_4NO_3 , 0.36 g K_2SO_4 ve 0.33g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ bulunan besin çözeltisi (Hayman ve Mosse 1971) sulama suyu ile birlikte verilmiştir.

Soğanlar 8 hafta sonunda hasat edilmiştir. Serada saksılardaki topraklar temiz ambalaj kağıtları üzerine boşaltılarak, soğanlar kökleriyle birlikte alınmış ve kese kağıtları içerisinde laboratuvara getirilmiştir. Soğan bitkilerinin kökleri çelik makasla kesilerek musluk suyunda yıkanmış ve saf sudan geçirilmiştir. Yıkanan kökler laboratuvarda kurutma kağıtları üzerine alınmıştır.

Her saksıdan bir soğan kökü alınarak mikorizal enfeksiyon tespiti için ayrılmıştır. Kökler Trypan Blue (Nicolson 1960) ile boyanarak 10x büyütme ışık mikroskobunda incelenmiştir. Enfekte olan kökler denemede aşılama materyali olarak kullanılmak üzere, kurutulduktan sonra yaklaşık 1-2 cm uzunluğunda kesilerek kese kağıtları içerisinde muhafaza edilmiştir.

3.2.3 Deneme deseni

Araştırma , tesadüf parselleri deneme deseninde dört tekrarlamalı olarak kurulmuştur.

Araştırma Konuları:

Kontrol (Mikoriza: 0, Ağır metal :0)

Mikoriza(Mikoriza: 1g , Ağırmetal:0)

Ağır metal düzeyleri:

Bakır uygulaması

Cu₅ (= 5mg kg⁻¹)

Cu₁₀ (=10 mg kg⁻¹)

Cu₂₀ (=20 mg kg⁻¹)

Cu₄₀ (=40 mg kg⁻¹)

Çinko uygulaması

Zn₅₀ (=50 mg kg⁻¹)

Zn₁₀₀ (=100 mg kg⁻¹)

Zn₂₀₀ (=200 mg kg⁻¹)

Zn₄₀₀ (=400 mg kg⁻¹)

Kadmiyum uygulaması

Cd₁(=1 mg kg⁻¹)

Cd₅ (=5 mg kg⁻¹)

Cd₁₀ (=10 mg kg⁻¹)

Cd₂₀ (=20 mg kg⁻¹)

Mikoriza + Bakır uygulaması

Mikoriza +Cu₅ (=5mg kg⁻¹)

Mikoriza +Cu₂₀ (=20 mg kg⁻¹)

Mikoriza +Cu₁₀ (=10 mg kg⁻¹)

Mikoriza +Cu₄₀ (=40 mg kg⁻¹)

Mikoriza+ Çinko uygulaması

Mikoriza +Zn₅₀ (=50 mg kg⁻¹)

Mikoriza +Zn₂₀₀ (=200 mg kg⁻¹)

Mikoriza +Zn₁₀₀ (=100 mg kg⁻¹)

Mikoriza +Zn₄₀₀ (=400 mg kg⁻¹)

Mikoriza+Kadmiyum uygulaması

Mikoriza +Cd₁(=1 mg kg⁻¹)

Mikoriza +Cd₁₀ (=10 mg kg⁻¹)

Mikoriza +Cd₅ (=5 mg kg⁻¹)

Mikoriza +Cd₂₀ (=20 mg kg⁻¹)

3.2.4 Sera denemesinin kurulması

Sterilizasyon işleminden geçirilmiş ve konularına göre metal çözeltileri ilave edilmiş olan toprakların üst kısmından tohum derinliği kadar toprak saksı içerisinden temiz plastik kürekle alınmıştır.

Aşılama yapılacak her bir saksıya daha önce iyice enfekte olduğu tespit edilen 1-2 cm uzunluğunda kesilmiş soğan bitkisi kökleri ve bu parçacıklardan 1'er gram tartılarak toprak üzerine serpiştirilmiş, saksı üzerinden alınan toprak ile aşılama materyalinin üzeri kapatılmıştır.

Her bir saksıya yüzeyleri % 30'luk hidrojen peroksit ve 5-6 kez saf sudan geçirilerek yüzey sterilizesi yapılmış y-1779 çeşiti yulaf tohumundan 30 adet ekilmiştir. Yulaf tohumları ekildikten sonra saksılar saf su ile tarla kapasitesine gelinceye kadar sulama yapılmıştır. Bitki çıkışından bir hafta sonra her saksıda 20 adet bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmış ve bitkilerin gelişim durumları izlenmiştir.

Bitkilerin besin elementleri açısından normal bir gelişme gösterebilmesi için, çimlenmeyi takiben her saksıya 15 gün ara ile litresinde 0.45g NH_4NO_3 , 0.36 g K_2SO_4 , ve 0.33g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ bulunan besin çözeltisi (Hayman ve Mosse 1971) sulama suyu ile birlikte verilmiştir.

3.2.5 Hasat ve bitkilerin analize hazırlanması

Ekimden 8 hafta sonra bitkiler hasat edilmiştir. Serada temiz ambalaj kağıtları üzerine saksılar boşaltılarak yulaf bitkileri kökleriyle birlikte alınmış ve çelik bir makasla bitki üst aksamı kesilmiştir.

Daha sonra laboratuvara kese kağıtları içerisinde getirilen bitkiler yıkanarak saf sudan geçirilmiş ve kurutma kağıtları üzerine alınmışlardır. Bitki kökleri kurutma kağıtları üzerinde fazla suları alındıktan sonra her saksıdan bir kök, boyama için ayrılmıştır.

Bitki üst aksam ve kök örnekleri kuru ağırlıkları belirlenmek üzere 65°C'lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve tartımları alınmıştır.

Bitki üst aksamı ve kökler çelik bıçaklı değirmende öğütülerek analizler için hazır hale getirilmişlerdir. Hasat sonrası ağır metal analizi için saksılardan toprak örnekleri alınmıştır.

3.2.6 VA Mikoriza enfeksiyon yüzdesinin belirlenmesi

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

Yulaf bitkisinde mikorizanın enfeksiyon yüzdesinin tespit edilmesi amacıyla her saksıdan alınan bir kök örneğine Philips ve Hayman (1970)'de belirtildiği şekilde boyama işlemi yapılmıştır.

Boyama işleminde şu basamaklar uygulanmıştır: Cam tüp içerisindeki kök üzerine kökü kapatacak şekilde % 10'luk KOH çözeltisi ilave edilmiş ve 90°C sıcak su banyosunda 1 saat bekletilmiştir. Daha sonra ağırlığının iki misli kadar musluk suyu ile çalkalanarak suları dökülmüştür. Kökler üzerine alkali H_2O_2 ilave edilerek 20 dakika bekletilmiştir. Bu süre sonunda alkali

H₂O₂ dökülmüş ve köklerin üzeri %1'lik HCl ile ıslatılarak 3-4 dakika süre ile bekletilmiştir. HCl döküldükten sonra üzerine %0.01'lik Trypan blue içeren lakto-gliserin konularak, tüpler içerisindeki kökler 60 dakika süre ile 90°C sıcak su banyosunda bekletilmiştir. Boya fazlasının çıkarılması amacıyla kökler lakto-gliserinde 24 saat bekletilmiştir.

Boyama işlemleri sonrası yaklaşık 1 cm uzunluğunda kesilmek suretiyle hazırlanan kökler lam üzerine alınmış ve mikroskop altında her kökün mikorizal enfeksiyon yüzdeleri Nicolson (1960) tarafından belirtildiği şekilde tespit edilmiştir (Ek.1).

3.2.7 Toprak ve bitki analiz yöntemleri

3.2.7.1 Toprak analizleri

Toprak örnekleri: Jackson (1962) tarafından bildirilen esaslara uygun olarak 0-20 cm derinlikten özel piring alaşımli bir kürekle alınmıştır. Toprak hava kurusu haline geldikten sonra 2 mm çaplı piring eleklerle elenmiş ve analize hazır hale getirilmiştir.

Suyla doygunluk: Richards (1954) tarafından bildirildiği şekilde toprağa doyuncaya kadar saf su ilave edilmek suretiyle tayin ve % olarak ifade edilmiştir.

Toprak reaksiyonu (pH): Richards (1954) tarafından bildirildiği şekilde hazırlanan suyla doygun toprakta cam elektrotlu pH-metre ile belirlenmiştir.

Bünye: Toprakların kum, silt, kil fraksiyonları Day (1956) tarafından bildirildiği şekilde hidrometre yöntemine göre bulunmuş ve bu fraksiyonlar % olarak ifade edilmiştir.

Toplam tuz (EC): Suyla doygun toprağın elektriksel iletkenliğinin iletkenlik aletiyle ölçülmesiyle bulunmuş (Richards 1954) ve % olarak ifade edilmiştir.

Tarla kapasitesi :Toprakların 1/3 atmosfer basınç altında tutabildikleri su miktarı , bu basınca dayanıklı seramik levha kullanılarak tayin edilmiştir (U.S.Salinity lab.Staff,1954).

Kalsiyum karbonat (Kireç) (%): Black (1965) tarafından ifade edildiği şekilde tayin ve % olarak ifade edilmiştir.

Organik madde (%): Black (1965) tarafından ifade edildiği şekilde Walkley- Black yöntemine göre tayin edilmiştir.

Alınabilir (yarayışlı) fosfor : Ekstrakt çözeltisi 0.5 M NaHCO₃ (pH: 8.5) olan Olsen ve ark. (1954) tarafından geliştirilen yöntemle saptanmıştır.

Alınabilir (yarayışlı) potasyum: Richards (1954) tarafından bildirildiği şekilde ekstrakt çözeltisi olarak 1 N NH₄OAc (pH 7.0) kullanmak ve ekstrakta geçen potasyum alev fotometresi ile ölçülmek suretiyle bulunmuştur.

Alınabilir (yarayışlı) Cu , Zn, Cd (ppm): Lindsay ve Norvell (1978) tarafından bildirildiği şekilde DTPA (pH 7.3) ile ekstraksiyon sonucu elde edilen süzüklerde Cu ve Zn atomik absorpsiyon spektrofotometresi (Perkin-Elmer 2100) ile Cd ise (Perkin-Elmer AS 800) AAS'de okunmuş ve değerler mg kg⁻¹ olarak ifade edilmiştir.

3.2.7.2 Bitki analizleri

Mikorizal enfeksiyon tespiti (%): Nicolson (1960) tarafından ifade edildiği şekilde yulaf bitkisi köklerinde boyama işlemi yapılarak mikroskopta mikorizanın kökteki enfeksiyonu tespit edilmiş ve % olarak ifade edilmiştir.

Cu, Zn , Cd (ppm): Kacar(1972)'de belirtildiği şekilde HNO₃- HClO₄ asit karışımında (1:3) yakılmış bitki üst aksamı ve bitki köklerinde, Cu ve Zn atomik absorpsiyon spektrofotometresi (Perkin-Elmer 2100) ile Cd ise (Perkin-Elmer AS 800) AAS'de okunmuş ve ppm olarak ifade edilmiştir.

Fosfor : Kacar (1972)'de belirtildiği şekilde Vanadomolibdofosforik sarı renk metoduna göre tespit edilmiş ve % olarak ifade edilmiştir.

Potasyum: Kacar (1972)'de belirtildiği şekilde fleym fotometrik metotla tespit edilmiştir ve % olarak ifade edilmiştir.

3.2.8 Uygulanan istatistiksel metotlar

Sera denemelerinden elde edilen verilere Yurtsever (1984)' de bildirildiği şekilde varyans analizi uygulanmış ve konular arası farklar Duncan testine göre değerlendirilmiştir. Denemedeki konular arası regresyon ilişkisi araştırılmış ve bütün değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkileri korelasyon (Pearson) katsayıları ile araştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Deneme Toprağının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bu araştırma çalışmasında mikorizanın yulaf bitkisinde ağır metal alınma etkisinin araştırılması amacıyla toplam 104 adet saksıda sera denemesi kurulmuştur. Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi deneme toprağı kumlu killi tınlı bünyeye sahiptir. Tuzsuz, kireçli, hafif alkali ve organik madde kapsamı düşüktür. Bitkiye yararışlı fosfor kapsamı orta, potasyum kapsamı çok yüksektir.

Çizelge 4. 1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprağın alındığı yer	Bünye (%)			Toplam tuz	Kireç (%) (CaCO ₃)	Org.mad. (%)	pH	Alınabilir (kg da ⁻¹)		
	Kum	Silt	Kil					P ₂ O ₅	K ₂ O	Cu Zn Cd
Lodumlu	49.71	27.45	22.84	SCL	0.060	10.2	1.90	7.65	88.4	0.55 0.48 0.028

4.2 VA Mikoriza Enfeksiyonu

Yulaf köklerinde mikorizal enfeksiyonun tespit edilmesi amacıyla yapılan boyama sonucunda mikroskop altında enfeksiyon yüzdeleri bulunmuştur. VA mikoriza ile aşılanmanın yulaf bitkisi köklerinde oluşturduğu enfeksiyon yüzdeleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 VA Mikoriza enfeksiyon yüzdeleri

Cu dozları (mg kg ⁻¹)		0	5	10	20	40
Mikoriza enf. (%)	+M	36	30	24	23.5	21
	-M	0	0	0	0	0

Zn dozları(mg kg ⁻¹)		0	50	100	200	400
Mikoriza enf. (%)	+M	36	22	21.5	18	15
	-M	0	0	0	0	0

Cd dozları (mg kg ⁻¹)		0	1	5	10	20
Mikoriza enf. (%)	+M	36	23	21	6	4
	-M	0	0	0	0	0

+M: Mikoriza aşıllı, -M:Mikoriza aşılsız

Çizelge 4.2’de de görüldüğü gibi yulaf köklerinde yapılan enfeksiyon tesbitinde sadece mikoriza aşılması yapılmış konuda enfeksiyon oranı %36 olmuştur. Mikoriza aşılması ve ağır metal uygulamaları yapılmayan kontrol konusunda ise herhangi bir enfeksiyon görülmemiştir.

Mikoriza aşılması ile birlikte artan düzeylerde bakır uygulaması yapılan konulardan en az düzeyde Cu ilave edilen Cu₅+M konusunda enfeksiyon oranı %30 bulunurken, bakır dozlarının artmasıyla mikoriza enfeksiyonu azalmış ve en yüksek Cu uygulaması yapılan Cu₄₀+M konusunda enfeksiyon oranı % 21’e düşmüştür. Yalnızca bakır uygulaması yapılmış ancak mikorizal aşılama yapılmamış konularda herhangi bir enfeksiyon görülmemiştir.

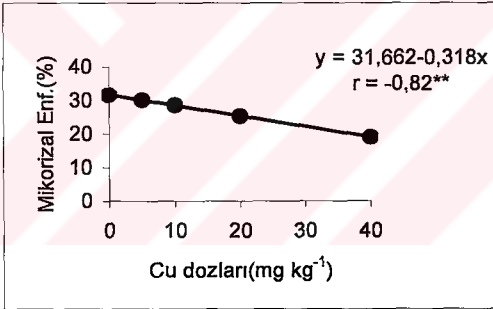
Mikoriza aşılması ile birlikte çinko uygulaması yapılan konular incelendiğinde, en düşük Zn ilavesi yapılan Zn₅₀+M konusunda enfeksiyon oranı %22 bulunurken, çinko dozlarının artmasıyla mikoriza enfeksiyonu azalmış ve en yüksek Zn uygulaması yapılan Zn₄₀₀+M konusunda enfeksiyon oranı % 15’e düşmüştür. Sadece çinko uygulaması yapılmış, ancak mikorizal aşılama yapılmamış konularda beklenildiği şekilde herhangi bir enfeksiyon görülmemiştir.

Kadmiyum uygulamasında da yine Cu ve Zn'da olduğu gibi düşük dozlarda enfeksiyon oranı en yüksek, Cd dozları arttıkça enfeksiyon oranı azalmıştır. Cd₁+M konusunda %23'lük bir enfeksiyon tespit edilirken, Cd₂₀+M konusunda enfeksiyon oranı %4'e kadar düşüş göstermiştir. Mikoriza aşılması yapılmayan yalnızca Cd ilave edilen uygulamalarda ise enfeksiyon görülmemiştir.

4. 3 VA Mikoriza Enfeksiyonunun Ağır Metallere Toleransı

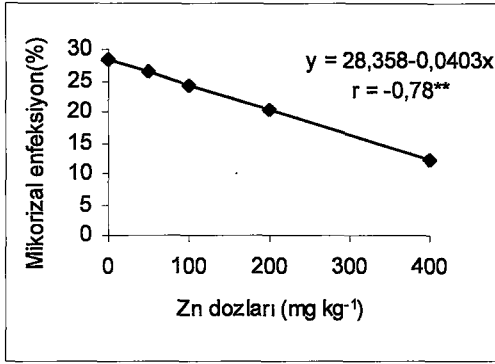
Mikoriza enfeksiyonunun ağır metallere karşı toleranslı olup olmadığı araştırılmış ve regresyonlarına bakılmıştır. Mikorizanın enfeksiyon oranında ağır metal (Cu, Zn ve Cd) dozlarının artışıyla birlikte azalma kaydedilmiştir.

Bakır uygulaması ile birlikte mikoriza aşılması yapılan yulaf köklerindeki enfeksiyonla Cu dozları arasındaki ilişki araştırıldığında aradaki regresyon $Y = 31.662 - 0.318x$ ($r = -0.82^{**}$, $P < 0.01$) formülüyle ifade edilmiş ve Cu dozları ile mikoriza enfeksiyonu arasında negatif ilişki söz konusu olmuştur (Şekil 4.1). Yani Cu dozları arttıkça mikorizal enfeksiyon azalmıştır.



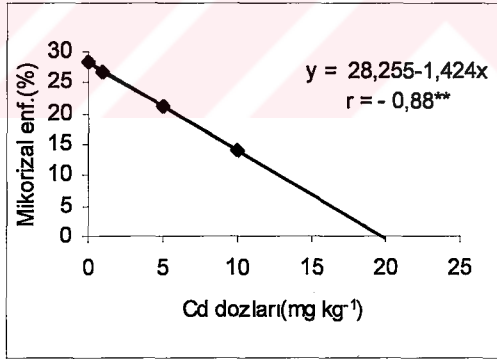
Şekil 4.1. Mikoriza enfeksiyonu ve Cu ilişkisi

Çinko uygulaması ile birlikte mikoriza aşılması yapılan yulaf köklerindeki enfeksiyonla Zn dozları arasındaki ilişki araştırıldığında aradaki regresyon, $Y = 28.358 - 0.0403x$ ($r = -0.78^{**}$, $P < 0.01$) formülüyle ifade edilmiş ve Zn dozları ile mikoriza enfeksiyonu arasında da negatif ilişki bulunmuştur (Şekil 4.2). Zn'nun dozları arttıkça mikorizal enfeksiyon oranı düşmüştür.



Şekil 4.2 Mikoriza enfeksiyonu ve Zn ilişkisi

Ağır metallerden Cu ve Zn'da olduğu gibi Cd uygulaması ile birlikte yapılan mikoriza aşılamaında da Cd'un mikorizadaki etkisine bakılmış ve aradaki ilişki, $Y=28.255 - 1.424x$ ($r= -0.88^{**}$, $P<0.01$) denklemi ile ortaya konulmuş ve burada da mikoriza ile Cd uygulaması arasında negatif bir ilişki ortaya çıkmıştır (Şekil 4.3). Artan Cd dozları mikoriza enfeksiyonunu azaltmıştır.



Şekil 4.3 Mikoriza enfeksiyonu ve Cd ilişkisi

4.4 Bitki Kuru Ağırlıklarına Ait Bulgular

4.4.1 Mikorizanın yulaf bitki kuru ağırlıklarına etkisi

Mikoriza ile birlikte Cu uygulaması yapılan konularda bitki kuru ağırlığına ait bulgular ile bulunan kuru ağırlık değerleri alınarak varyans analizi yapılmış ; Cu, Zn ve Cd kendi aralarında analiz edilmiş; konular arasındaki farklar Duncan testine göre değerlendirilmiş ve konular arasındaki fark istatistiksel anlamda Cu, Zn ve Cd uygulamaları ve mikoriza ile aşılı konular %1 seviyesinde önemli bulunmuş olup Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Mikoriza ile aşılama yapılan yulaf bitkisinde bitki kuru ağırlıkları değerlendirilmiş ve sadece mikoriza ile aşılana yulafta bitki kuru ağırlığı 5.970 g saksı⁻¹ bulunurken, aşılama yapılmayan kontrol konusunda 6.605 g saksı⁻¹ bitki kuru ağırlığı (b.k.a.) elde edilmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Yulaf bitki kuru ağırlıkları (g saksı⁻¹)

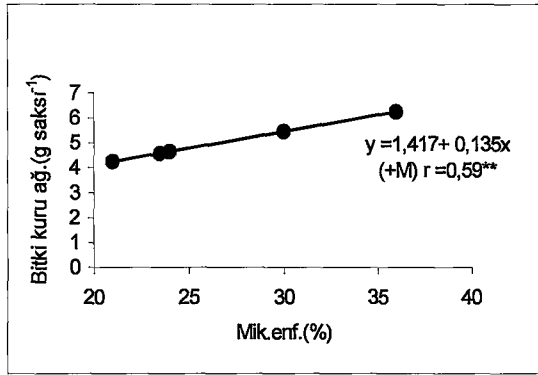
Cu Dozları(mg kg ⁻¹)		0	5	10	20	40
Bitki kuru ağırlığı (g saksı ⁻¹)	+M	5.970 abc	5.854 abc	5.351 abc	4.065 c	3.952 c
	-M	6.605 ab	6.881 a	5.419 abc	4.414 bc	4.280 c

Zn Dozları(mg kg ⁻¹)		0	50	100	200	400
Bitki kuru ağırlığı (g saksı ⁻¹)	+M	5.970 ab	4.423 bc	4.175 c	4.447 bc	3.758 c
	-M	6.605 a	4.653 bc	3.575 c	3.777 c	3.922 c

Cd Dozları(mg kg ⁻¹)		0	1	5	10	20
Bitki kuru ağırlığı (g saksı ⁻¹)	+M	5.970 ab	5.630 ab	5.401 abc	3.715 d	3.643 d
	-M	6.605 a	5.603 ab	5.412 abc	4.580 bcd	3.859 cd

+M: Mikoriza aşılı, -M: Mikoriza aşısız, (Duncan P<0.01)

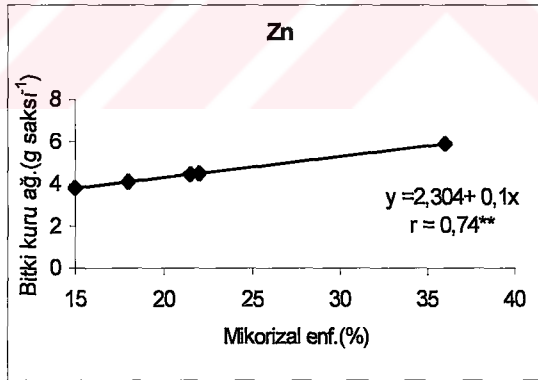
Çizelge 4.3 incelendiğinde Cu₅+Mikoriza konusunda bitki kuru ağırlığı 5.854 g saksı⁻¹ iken, doz artışlarına bağlı olarak kuru ağırlıkta azalma olduğu ve b.k.a Cu₄₀+Mikoriza konusunda 3.952 g saksı⁻¹ olduğu görülmüştür. Mikoriza ile bitki kuru ağırlığı arasındaki regresyon ilişkisi $Y=1.417+0.135x$ ($r=0.59^{**}$, $P<0.01$) formülü ile ifade edilmiş ve Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4 Mikorizanın (Cu denemesinde) yulaf bitki kuru ağırlığına etkisi

Mikoriza aşılmasıyla birlikte Zn uygulaması yapılan konularda bitki kuru ağırlığına ait bulgular incelendiğinde (Çizelge 4.3) $Zn_{50} + \text{Mikoriza}$ konusunda b.k.a. $4.423 \text{ g saksı}^{-1}$ iken, doz artışıyla birlikte $Zn_{400} + M$ konusunda b.k.a. $3.758 \text{ g saksı}^{-1}$ ya düşmüştür.

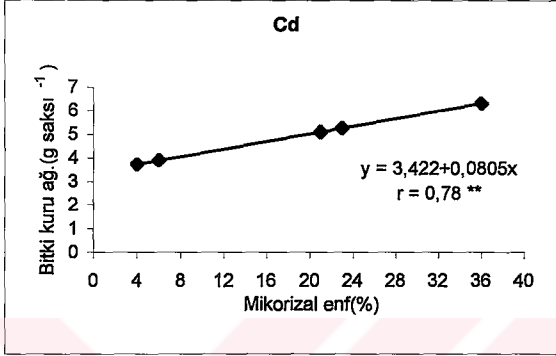
Çinko denemesinde mikoriza ve bitki kuru ağırlığı arasındaki regresyon $Y = 2.304 + 0.1x$ ($r = 0.74^{**}$, $P < 0.01$) formülü ile ifade edilmiş ve Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5 Mikorizanın (Zn denemesinde) yulaf bitki kuru ağırlığına etkisi

Mikoriza ile birlikte Cd'un uygulandığı konular bitki kuru ağırlığı açısından incelendiğinde (Çizelge 4.3) $Cd_1 + M$ uygulamasında $5.630 \text{ g saksı}^{-1}$, $Cd_{20} + M$ konusunda b.k.a. $3.643 \text{ g saksı}^{-1}$ olmuştur. Burada da Cd dozlarının artışıyla birlikte bitki kuru ağırlıklarında azalma olduğu görülmüştür.

Kadmiyum denemesinde de mikorizanın b.k.a. ile ilişkisi $Y = 3.422 + 0.0805x$ ($r=0.78^{**}$) regresyon formülü ile ifade edilmiş ve Şekil 4.6'da verilmiştir.

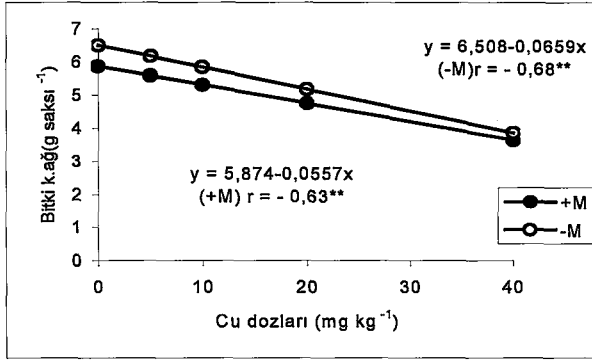


Şekil 4.6 Mikorizanın (Cd denemesinde) yulaf bitki kuru ağırlığına etkisi

4.4.2 Ağır metallerin yulaf bitki kuru ağırlıklarına etkisi

Mikoriza aşılması yapılmayan (-M) ve yalnızca artan dozlarda Cu uygulaması yapılan saksılarda b.k.a. Cu₅ konusunda 6.881 g saksı⁻¹ olurken, Cu₄₀ uygulamasında 4.280 g saksı⁻¹ b.k.a. elde edilmiştir (Çizelge 4.3).

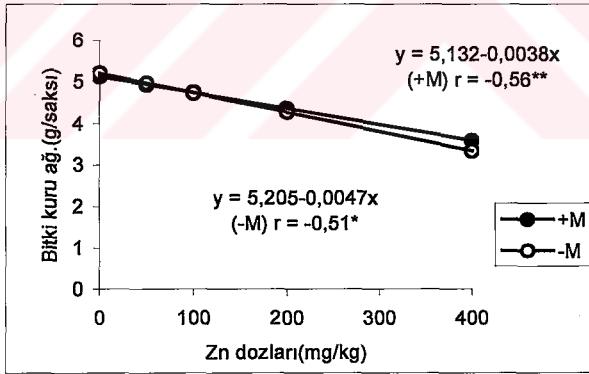
Bakır dozlarının bitki kuru ağırlıklarına nasıl bir etkisinin olduğu araştırılmış ve mikoriza ile aşılı (+M) ve aşısız (-M) bakır uygulamalarında artan dozlarla birlikte kuru ağırlıkların azaldığı görülmüştür. Yapılan regresyon analizlerinde +M'da $Y = 5.874 - 0.0557x$ ($r = -0.63^{**}$) denklemi ile formüle edilirken, -M'da $Y = 6.508 - 0.0659x$ ($r = -0.68^{**}$) denklemi ile ifade edilmiş ve Şekil 4.7.'de verilmiştir.



Şekil 4.7 Cu ve bitki kuru ağırlıkları arasındaki ilişki

Mikoriza aşısız (-M) Zn uygulamasında Zn₅₀ konusunda b.k.a. 4.653 g saksı⁻¹, Zn₄₀₀ konusunda ise 3.922 g saksı⁻¹ olmuştur (Çizelge 4.3).

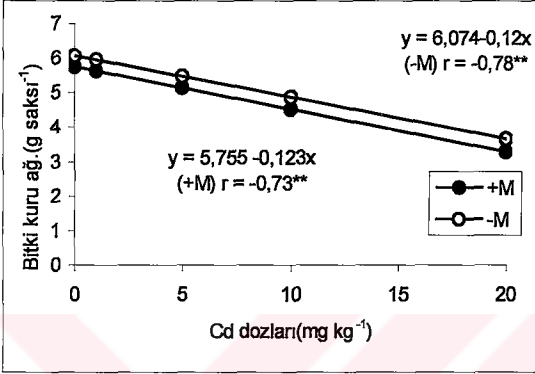
Çinko uygulamalarının mikoriza ile aşıllı ve aşısız konularda bitki kuru ağırlığına etkisi araştırıldığında çinko uygulamalarında +M'da $Y = 5.132 + 0.0038x$ ($r = -0.56^{**}$, $P < 0.01$), -M'da $Y = 5.205 - 0.0047x$ ($r = -0.51^{*}$, $P < 0.05$) regresyon ilişkileri bulunmuş ve Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8 Zn ve bitki kuru ağırlıkları arasındaki ilişki

Mikoriza aşılması yapılmayan (-M) ve yalnızca Cd uygulaması yapılan saksılarda b.k.a. Cd₁ konusunda 5.603 g saksı⁻¹ olurken, Cd₂₀ uygulamasında 3.859 g saksı⁻¹ b.k.a. elde edilmiştir (Çizelge 4.3).

Kadmiyum uygulamasının mikoriza aşılı ve aşısız konularda bitki kuru ağırlığına etkisi araştırıldığında +M'da $Y=5.755-0.123x$ ($r=-0.73^{**}$), -M'da $Y=6.074-0.12x$ ($r=-0.78^{**}$) regresyon ilişkileri bulunmuş ve Şekil 4.9'da açıkça görülmüştür.



Şekil 4.9. Cd ve bitki kuru ağırlıkları arasındaki ilişki

4.5 Yulaf ta Kök Kuru Ağırlıklarına Ait Bulgular

4.5.1 Mikoriza enfeksiyonunun yulaf kök kuru ağırlıklarına etkisi

Mikoriza ile aşılama yapılan yulaf ta kök kuru ağırlıkları değerlendirilmiş ve sadece mikoriza ile aşılama yapılan yulaf ta kök kuru ağırlığı 2.174 g saksı⁻¹ bulunurken, aşılama yapılmayan kontrolde 2.349 g saksı⁻¹ kök kuru ağırlığı (k.k.a.) elde edilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Yulaf kök kuru ağırlıkları (g saksı⁻¹) (*)

Cu dozları(mg kg ⁻¹)		0	5	10	20	40
Kök kuru ağı. (g saksı ⁻¹)	+M	2.174 ab	1.860 abc	1.821 abc	1.192 bc	1.159 c
	-M	2.349 a	1.769 abc	2.077 abc	1.405 abc	1.271 bc

Zn dozları(mg kg ⁻¹)		0	50	100	200	400
Kök kuru ağı. (g saksı ⁻¹)	+M	2.174 ab	1.087 c	1.463 bc	0.943 c	0.858 c
	-M	2.349 a	1.111 c	1.544 abc	1.225 c	1.016 c

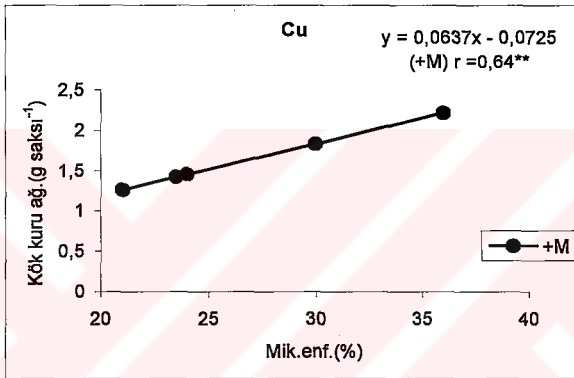
Cd dozları(mg kg ⁻¹)		0	1	5	10	20
Kök kuru ağı. (g saksı ⁻¹)	+M	2.174 ab	1.916abcd	1.846 abcd	1.512 bcd	1.061 e
	-M	2.349 a	1.966 abc	1.382 bcde	1.233 cde	1.138 de

M Mikoriza aşılı, -M: Mikoriza aşısız, (*:Duncan , P<0.01)

Yulaf kök kuru ağırlıklarına varyans analizi uygulanmış ve Cu, Zn ve Cd kendi aralarında analiz edilmiş; konular arasındaki farklar Duncan testine göre değerlendirilmiş ve mikoriza ile aşılı ve aşısız Cu, Zn ve Cd

denemelerinde istatistiksel anlamda konular arasında %1 seviyesinde önemli farklılık bulunmuştur (Çizelge 4.4).

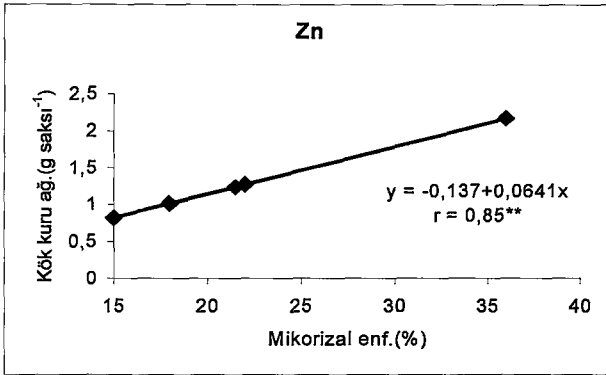
Mikoriza ile birlikte Cu uygulaması yapılan konularda kök kuru ağırlığına ait bulgular Çizelge 4.4’de verilmiştir. Çizelge 4.4 incelendiğinde Cu_5 +Mikoriza konusunda kök kuru ağırlığı $1.860 \text{ g saksı}^{-1}$ iken, doz artışlarına bağlı olarak kuru ağırlıkta azalma olduğu ve k.k.a Cu_{40} +Mikoriza konusunda $1.159 \text{ g saksı}^{-1}$ olduğu görülmüştür. Mikoriza ile kök kuru ağırlığı arasındaki regresyon ilişkisi $Y=0.0637x-0.0725$ ($r=0.64^{**}$) denklemi ile ifade edilmiş ve Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10 Mikorizanın (Cu denemesinde) kök kuru ağırlığına etkisi

Mikoriza aşılmasıyla birlikte Zn uygulaması yapılan konularda kök kuru ağırlığına ait bulgular Çizelge 4.4’de verilmiştir. Bu denemede Zn_{50} +Mikoriza konusunda k.k.a. $1.087 \text{ g saksı}^{-1}$ iken, Zn_{400} +M konusunda ise k.k.a. $0.858 \text{ g saksı}^{-1}$ bulunmuştur.

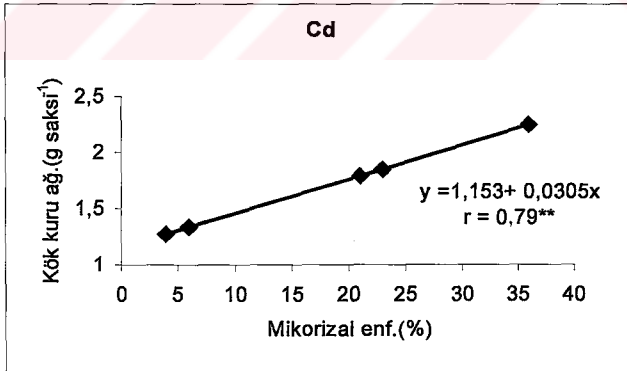
Çinko denemesinde mikoriza ve kök kuru ağırlığı arasındaki regresyon $Y=-0.137+ 0.0641x$ ($r=0.85^{**}P<0.01$) formülü ile ifade edilmiş ve Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11 Mikorizanın (Zn denemesinde) kök kuru ağırlığına etkisi

Mikoriza ile birlikte Cd'un uygulandığı konular kök kuru ağırlığı açısından incelendiğinde (Çizelge 4.4) Cd₁+M uygulamasında k.k.a 1.916 g saksı⁻¹, Cd₂₀+M konusunda k.k.a. 1.061 g saksı⁻¹ olmuştur. Burada da Cd dozlarının artışıyla birlikte kök kuru ağırlıklarında azalma olduğu görülmüştür.

Kadmiyum uygulamalarında da mikorizanın k.k.a. ile ilişkisi $Y = 1.153 + 0.0305x$ ($r = 0.79^{**}$) regresyon formülü ile ifade edilmiş ve Şekil 4.12'de verilmiştir.



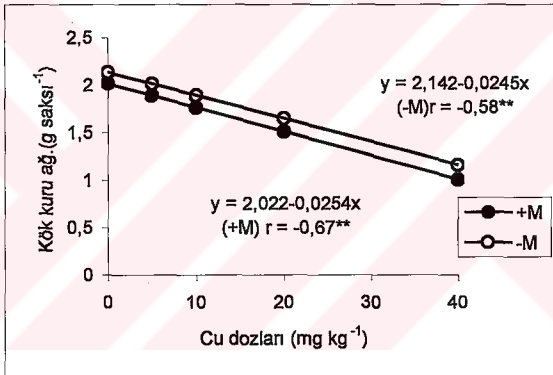
Şekil 4.12 Mikorizanın (Cd denemesinde) kök kuru ağırlığına etkisi

4.5.2 Ağır metallerin yulaf kök kuru ağırlıklarına etkisi

Bakır dozlarının kök kuru ağırlıklarına nasıl bir etkisinin olduğu araştırılmış ve mikoriza ile aşılı (+M) ve aşısız (-M) bakır uygulamalarında artan dozlarla birlikte kök kuru ağırlıklarının azaldığı görülmüştür.

Mikoriza aşılması yapılmayan (-M) ve yalnızca artan dozlarda Cu uygulaması yapılan saksılarda k.k.a. Cu₅ konusunda 1.769 g saksı⁻¹ olurken, Cu₄₀ uygulamasında 1.271 g saksı⁻¹ k.k.a. elde edilmiştir. Burada Cu dozları arttıkça kök kuru ağırlıklarında azalma olduğu tespit edilmiştir.

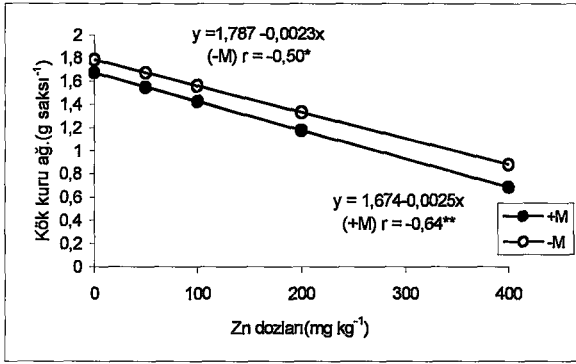
Yapılan regresyon analizlerinde +M'da $Y = 2,022 - 0,0254x$ ($r = -0,67^{**}$) denklemi ile formüle edilirken, -M'da $Y = 2,142 - 0,0245x$ ($r = -0,58^{**}$) denklemi ile ifade edilmiş ve Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.13 Cu ve kök kuru ağırlıkları arasındaki ilişki

Mikoriza aşılması yapılmayan (-M) ve artan dozlarda Zn uygulamasında Zn₅₀ konusunda k.k.a. 1.111 g saksı⁻¹, Zn₄₀₀ konusunda ise 1.016 g saksı⁻¹ kök kuru ağırlığı elde edilmiştir.

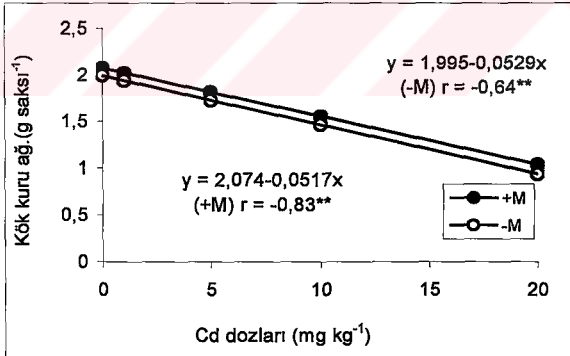
Çinko uygulamalarının mikoriza ile aşılı ve aşısız konularda kök kuru ağırlığına etkisi araştırıldığında çinko uygulamalarında +M'da $Y = 1,674 - 0,0025x$ ($r = -0,64^{**}$, $P < 0,01$), -M'da $Y = 1,787 - 0,0023x$ ($r = -0,50^{*}$, $p < 0,05$) regresyon ilişkileri bulunmuş ve Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14 Zn ve kök kuru ağırlıkları arasındaki ilişki

Mikoriza aşılması yapılmayan (-M) ve yalnızca Cd uygulaması yapılan saksılarda k.k.a. Cd₁ konusunda 1.966 g saksı⁻¹ olurken, Cd₂₀ uygulamasında 1.138 g saksı⁻¹ k.k.a. elde edilmiştir.

Kadmiyum uygulamasının mikoriza aşı ve aşısız konularda kök kuru ağırlığına etkisi araştırıldığında +M'da $Y=2.074-0.0517x$ ($r=-0.83^{**}$, $P<0.01$), -M'da $Y=1.995-0.0529x$ ($r=-0.64^{**}$, $P<0.01$) regresyon ilişkileri bulunmuş ve Şekil 4.15'de verilmiştir.



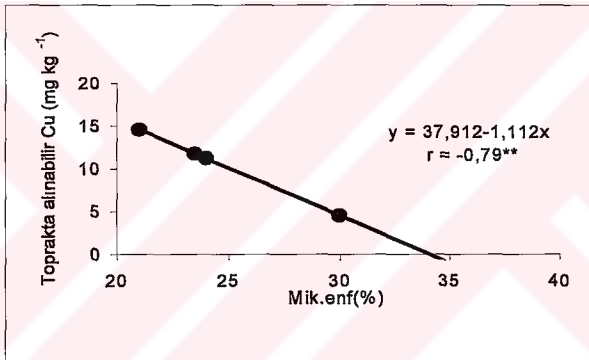
Şekil 4.15 Cd ve kök kuru ağırlıkları arasındaki ilişki

4.6 Ağır Metallerin Alımına Ait Bulgular

4.6.1 VA Mikoriza enfeksiyonu ile toprak, kök ve bitkideki ağır metal ilişkisi

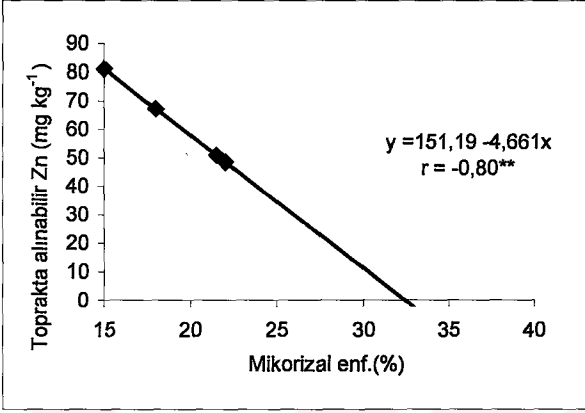
a-Toprak

Hasattan sonra saksılardan alınan toprakta yapılan analiz sonucu toprakta bulunan alınabilir Cu ile mikoriza enfeksiyonu arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmış ve topraktaki alınabilir Cu ile enfeksiyon arasında $Y=37.912 - 1.112x$ ($r=-0.79^{**}$) denklemi ortaya çıkmıştır ve arada negatif bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur. Toprakta Cu konsantrasyonu arttıkça enfeksiyon oranında azalma kaydedilmiştir (Şekil 4.16).



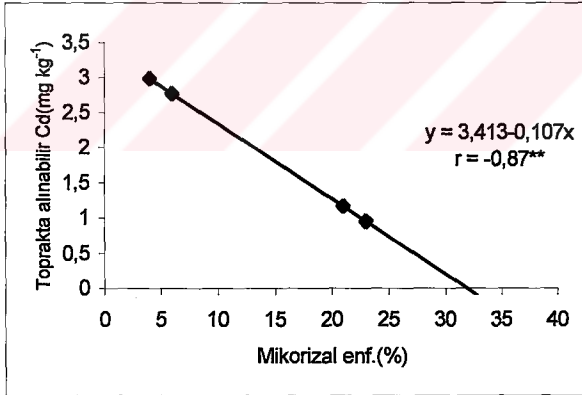
Şekil 4.16 Mikoriza enfeksiyonu ve toprakta alınabilir Cu konsantrasyonu

Mikoriza enfeksiyonunun topraktaki Zn miktarına etkisi araştırıldığında enfeksiyon %'si ile toprakta analiz sonucu bulunan Zn miktarları arasında $Y=151.19-4.661x$ ($r=-0.80^{**}$) denklemi ile negatif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Toprakta Zn konsantrasyonu arttıkça enfeksiyon oranında azalma kaydedilmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Mikoriza enfeksiyonu ve toprakta alınabilir Zn konsantrasyonu

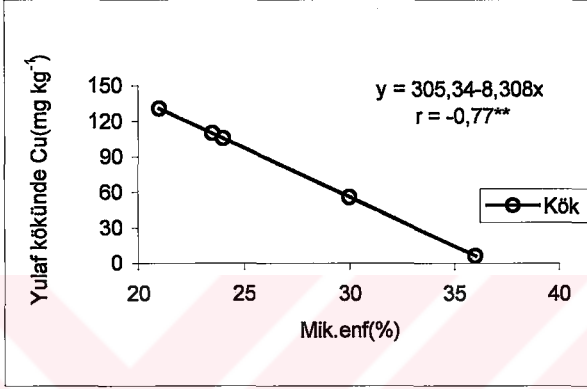
Mikoriza ve toprakta deneme sonrası analiz edilen Cd konsantrasyonu arasındaki ilişki $Y=3.413-0.107x$ ($r=-0.87^{**}$, $P<0.01$) denklemi ile ifade edilmiş ve Şekil 4.18’de verilmiştir. Mikoriza enfeksiyonu ile Cd konsantrasyonu arasında negatif bir ilişki bulunmuştur.



Şekil 4.18 Mikoriza enfeksiyonu ve toprakta alınabilir Cd konsantrasyonu

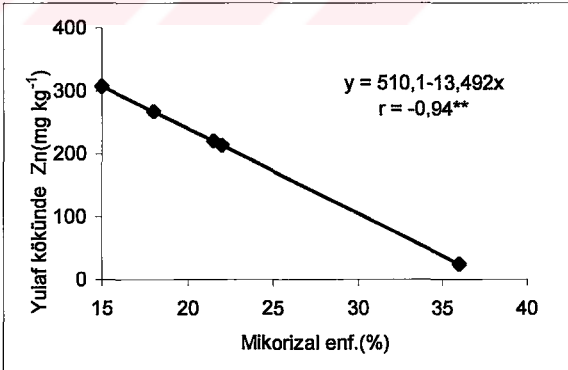
b-Kök

Kök tarafından ağır metal alımı ve mikoriza enfeksiyonu arasındaki ilişki araştırıldığında Cu denemesinde mikoriza enfeksiyonu azaldıkça kökte bulunan Cu miktarında artış olmuş ve $Y=305.34-8.308x$ ($r=-0.77^{**}$, $P<0.01$) denklemi ortaya çıkmıştır (Şekil 4.19).



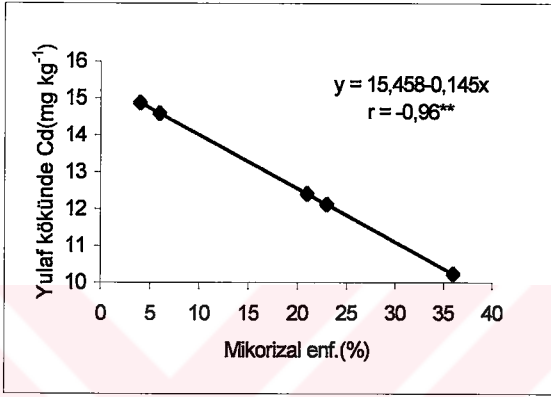
Şekil 4.19 Mikoriza enfeksiyonu ve kökte Cu konsantrasyonu

Aynı şekilde mikoriza aşılama ile birlikte uygulanan Zn dozlarında kökteki Zn miktarları tespit edilmiş ve enfeksiyonla kökteki Zn arasında önemli bir negatif ilişki bulunmuştur. Yapılan regresyon analizinde $Y=510.1-13.492x$ ($r=-0.94^{**}$, $P<0.01$) denklemi ile ifade edilen durum Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20 Mikoriza enfeksiyonu ve kök Zn konsantrasyonu

Mikoriza ile birlikte Cd uygulamalarının yapıldığı deneme konularında da Cu ve Zn'daki benzer durum ortaya çıkmıştır. Yapılan regresyon analizinde $Y=15.458-0.145x$ ($r=-0.96^{**}$, $P<0.01$) denklemi ile ifade edilen durum Şekil 4.21'de gösterilmiştir.

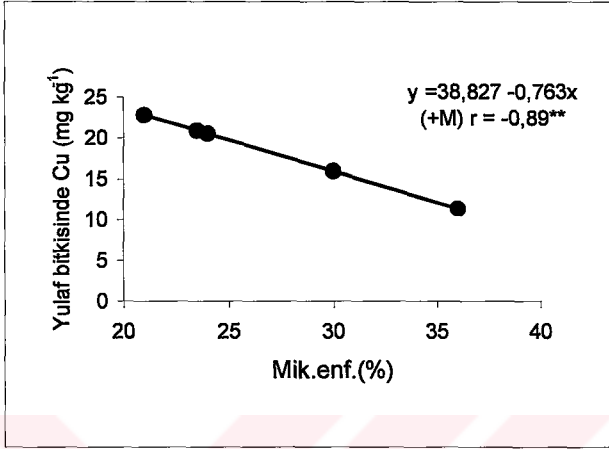


Şekil 4.21 Mikoriza enfeksiyonu ve kök Cd konsantrasyonu

c-Bitki

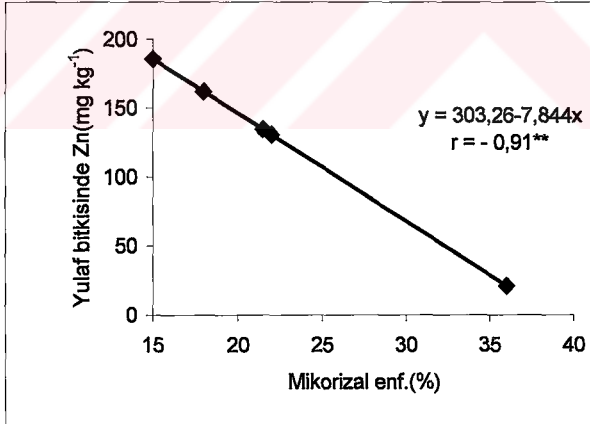
Mikorizanın ağır metallerle ilişkisinin araştırılma basamaklarından bir diğeri de bitkideki ağır metal durumları ile nasıl bir ilişki sergilediğinin araştırılmasıdır (Ek.2).

Mikoriza aşılması ile birlikte uygulanan Cu konularında toprak ve kökten sonra bitkide yaş yakma ile elde edilen çözeltilerden A.A.S'de okumalar yapılmış ve bitkideki Cu miktarları bulunmuştur. Bulunan bu değerlerle mikoriza enfeksiyon oranları arasındaki ilişki $Y= 38.827 -0.763x$ ($r=-0.89^{**}$, $P<0.01$) denklemi ile ortaya konulmuş ve Şekil 4.22'de olduğu gibi negatif bir ilişki ortaya çıkmıştır.



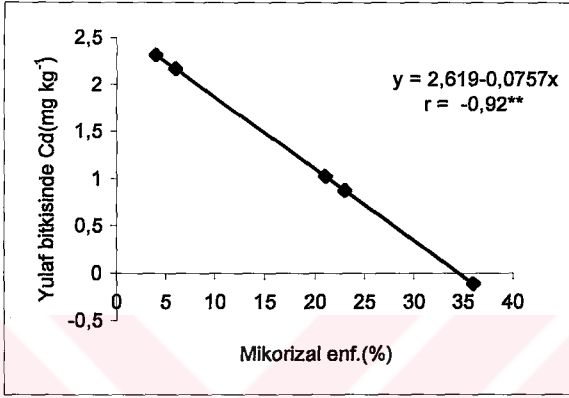
Şekil 4.22 Mikoriza enfeksiyonu ve bitkideki Cu konsantrasyonu

Mikoriza ve çinkonun birlikte uygulandığı konularda $Y=303.26-7.844x$ ($r=-0.91^{**}$, $P<0.01$) denklemi bulunmuş ve Şekil 4.23'de görüldüğü gibi enfeksiyon oranı ile bitkideki Zn arasında negatif bir ilişki bulunmuştur.



Şekil 4.23 Mikoriza enfeksiyonu ve bitkideki Zn konsantrasyonu

Mikoriza ve Cd denemesi sonuçlarında bitkideki Cd ile mikoriza enfeksiyonu arasında da $Y=2.619- 0.757x$ ($r=-0.92^{**}$, $P<0.01$) denklemi ve Şekil 4.24'de de görüldüğü gibi negatif bir ilişki olduğu ve mikoriza enfeksiyonu azaldıkça bitkideki Cd'un arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.24 Mikoriza enfeksiyonu ve bitki Cd konsantrasyonu

4.6.2 Toprakta alınabilir Cu, Zn ve Cd'a ait bulgular

Bu araştırma çalışmasında yapılan hasat sonrası toprakta mikoriza ile aşıllı ve aşısız ağır metallerin uygulandığı çalışmada, ağır metal analizleri yapılmış ve toprakta bulunan yarıyışlı (bitki tarafından alınabilir) Cu, Zn ve Cd miktarları Çizelge 4.5'de verilmiştir. Deneme kurulmadan önce toprak analiz sonucunda bulunan Cu, Zn ve Cd miktarları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 . Toprakta alınabilir Cu, Zn ve Cd miktarları

Cu dozları(mg kg ⁻¹)		0	5	10	20	40
Toprakta alınabilir Cu (mg kg ⁻¹)	+M	0.57 e	2.68 d	5.29 c	9.73 b	21.80 a
	-M	0.51 e	2.73 d	4.91 c	10.28 b	23.50 a

Zn dozları(mg kg ⁻¹)		0	50	100	200	400
Toprakta alınabilir Zn (mg kg ⁻¹)	+M	0.36 e	14.75 d	34.70 c	63.15 b	118.70 a
	-M	0.41 e	15.58 d	33.68 c	61.57 b	116.40 a

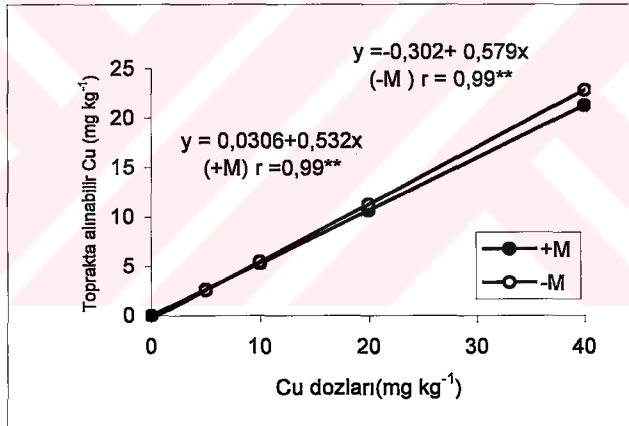
Cd dozları(mg kg ⁻¹)		0	1	5	10	20
Toprakta alınabilir Cd (mg kg ⁻¹)	+M	0.04 e	0.23 d	1.14 c	1.98 b	4.03 a
	-M	0.02 e	0.23 d	1.13 c	2.25 b	4.22 a

+M: aşıllı, -M: aşısız, (Duncan $P<0.01$)

Mikoriza aşılması yapılan ancak herhangi bir ağır metal uygulaması yapılmayan saksılarda 0.57 mg kg^{-1} Cu tespit edilmiş ve kontrol (-M) konusunda 0.51 mg kg^{-1} Cu bulunmuştur.

Mikoriza ile aşıllı en düşük Cu_5+M konusunda 2.68 mg kg^{-1} alınabilir Cu , en yüksek $\text{Cu}_{40}+\text{M}$ konusunda ise 21.80 mg kg^{-1} alınabilir Cu değeri elde edilmiştir. Mikoriza aşısız toprakta Cu_5 uygulamasında 2.73 mg kg^{-1} Cu ve yine en yüksek doz olan Cu_{40} konusunda alınabilir Cu 23.50 mg kg^{-1} bulunmuştur. Uygulanan Cu dozları arttıkça mikoriza aşısız konularda topraktaki alınabilir Cu konsantrasyonu da artmıştır.

Toprağa artan miktarda uygulanan Cu'nın alınabilir Cu miktarına etkisi Şekil 4.25'de gösterilmiştir. +M'da ve -M 'da doz artışıyla birlikte Cu konsantrasyonu da artmıştır. +M'da $Y=0.0306 + 0.532x$ ($r=0.99^{**}$, $P<0.01$) denklemi, -M'da $Y=-0.302+0.579x$ ($r=0.99^{**}$) denklemi kullanılmıştır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25 Toprakta alınabilir Cu konsantrasyonu

Mikoriza ile aşıllı ve aşısız konularda toprakta Cu konsantrasyonu bakımından farklılık çıkmamıştır. Yapılan varyans analiz sonucuna göre %1 seviyesinde önemli farklılık bulunmuştur. Duncan gruplandırmasında +M ve -M'li konular (aynı dozdakiler) aynı grupta yer almıştır (Çizelge 4.5).

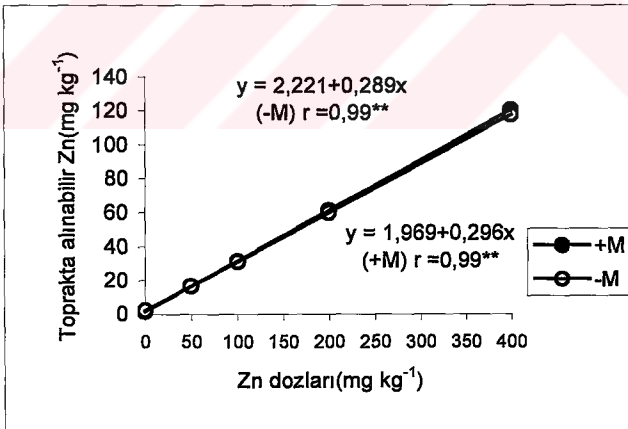
A.A.S (Atomik absorpsiyon spektrofotometre)' de yapılan Zn okumalarında mikoriza ile aşıllı konuda toprakta 0.36 mg kg^{-1} Zn , kontrol konusunda ise 0.41 mg kg^{-1} Zn tespit edilmiştir.

+M'da Zn_{50} +M uygulamasında 14.75 mg kg^{-1} Zn tespit edilirken, Zn_{400} +M uygulamasında $118.70 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn tespit edilmiştir. Mikoriza ile aşılsız Zn uygulamasında Zn_{50} dozunda topraktaki alınabilir Zn konsantrasyonu 15.58 mg kg^{-1} Zn_{400} dozunda ise $116.40 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn konsantrasyonu tespit edilmiştir.

Burada toprakta mikoriza ile aşıllı ve aşılsız konular arasında Zn konsantrasyonu açısından pek fark görülmemiş, her iki deneme konularında doz artışıyla topraktaki Zn konsantrasyonu da artış göstermiştir.

Topraktaki Zn konsantrasyonları Çizelge 4.5'de verilmiştir, yapılan varyans analiz sonuçlarına göre istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli farklılık bulunmuştur.

Topraktaki Zn konsantrasyonları ile ilgili olarak yapılan regresyon analiz sonuçlarında +M'da $Y=1.969+0.296x$ ($r=0.99^{**}$) denklemi, -M'da $Y=2.221+0.289x$ ($r=0.99^{**}$) denklemi ile ifade edilmiş ve Şekil 4.26'da gösterilmiştir.

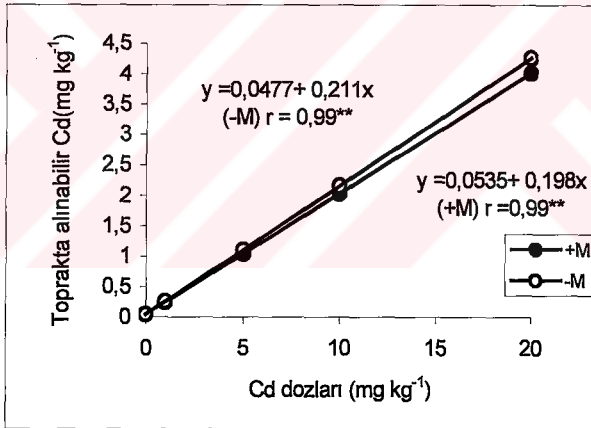


Şekil 4.26 Toprakta alınabilir Zn konsantrasyonu

Yapılan AAS okumaları sonucunda mikoriza aşılı ve Cd uygulaması yapılmayan toprakta 0.04 mg kg^{-1} Cd, kontrol (aşısız ve Cd'suz) konusunda ise 0.02 mg kg^{-1} alınabilir Cd belirlenmiştir.

Mikoriza ile birlikte Cd uygulaması yapılan en düşük $\text{Cd}_1+\text{M}'$ 'da 0.23 mg kg^{-1} alınabilir Cd bulunurken, en yüksek $\text{Cd}_{20}+\text{M}'$ 'da bu miktar 4.03 mg kg^{-1} Cd'a çıkmıştır. Mikoriza aşısız, sadece Cd uygulanan topraklarda Cd_1 konusunda 0.23 mg kg^{-1} alınabilir Cd bulunmuş , Cd_{20} konusunda 4.22 mg kg^{-1} alınabilir Cd elde edilmiştir.

Mikoriza ile aşılı ve aşısız Cd uygulamalarında topraktaki alınabilir Cd bakımından farklılık söz konusu olmamıştır. Yapılan regresyon analizinde +M için $Y=0.0535+0.198x$ ($r=0.99^{**}$, $P<0.01$), -M'da $Y=0.0477+0.211x$ ($r=0.99^{**}$, $P<0.01$) denklemleri kullanılmıştır. Dozlar arttıkça +M ve -M konularında da toprakta alınabilir Cd miktarında artışlar kaydedilmiştir (Şekil 4.27).Yapılan varyans analiz sonuçlarına göre konular arasında %1 seviyesinde önemli farklılık ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.5).



Şekil 4.27 Toprakta alınabilir Cd konsantrasyonu

4.6.3 Kökte Cu, Zn ve Cd 'a ait bulgular

+M ve -M'lı ağır metal uygulaması yapılan Cu,Zn ve Cd denemelerinde yulaf bitkisi köklerinde bulunan Cu,Zn ve Cd miktarları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Kökte Cu, Zn ve Cd miktarları (*)

Cu dozları(mg kg ⁻¹)		0	5	10	20	40
Kökte Cu (mg kg ⁻¹)	+M	24.80 f	47.18 d	54.76 c	92.45 b	190.12 a
	-M	14.10 g	36.55 e	46.52 d	89.03 b	186.43 a

Zn dozları(mg kg ⁻¹)		0	50	100	200	400
Kökte Zn (mg kg ⁻¹)	+M	43.95 h	179.45 f	191.62 ef	270.75 c	346.88 b
	-M	129.75 g	221.72 de	240.55 cd	325.00 b	413.43 a

Cd dozları(mg kg ⁻¹)		0	1	5	10	20
Kökte Cd (mg kg ⁻¹)	+M	0.185 g	4.46 f	8.98 e	12.87 d	13.43 d
	-M	0.825 g	4.78 f	17.07 c	22.23 b	24.28 a

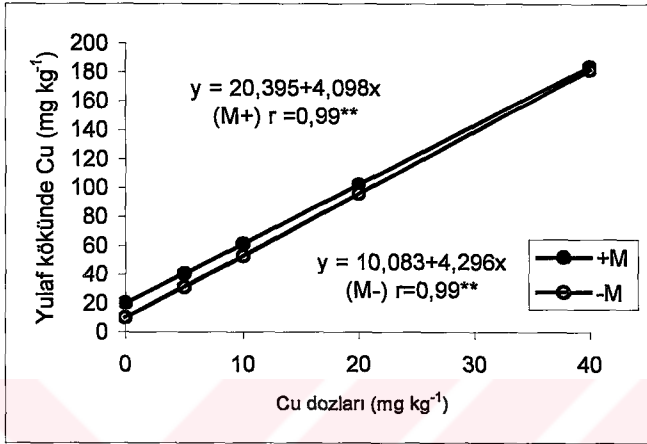
+M:aşılı, -M: aşısız, (*:Duncan, P<0.01)

Çizelge 4.6'nın incelenmesinden de görüleceği gibi Cu, Zn ve Cd uygulamalarında +M ve -M'lı konularda yapılan varyans analiz ve Duncan sınıflamasına göre konular arasında %1 seviyesinde önemli farklılık bulunmuştur.

Mikoriza aşılması yapılan saksılardaki köklerde yapılan analiz sonucuna göre kökte 24.80 mg kg⁻¹ Cu elde edilmiş ve kontrol konusunda 14.10 mg kg⁻¹ Cu bulunmuştur. Mikoriza bitki köküne kontrolden daha fazla Cu alımını sağlamıştır.

Mikoriza ile aşılı Cu₅+M konusunda 47.18 mg kg⁻¹ Cu , Cu₄₀+M konusunda 190.12 mg kg⁻¹ Cu elde edilmiştir. Mikoriza aşısız kökte Cu₅ uygulamasında 36.55 mg kg⁻¹ Cu ve yine en yüksek doz olan Cu₄₀ konusunda Cu 186.43 mg kg⁻¹ bulunmuştur. Uygulanan Cu dozları arttıkça mikoriza aşısız konularda köklerde Cu konsantrasyonu da artmıştır.

Toprağa artan miktarlarda uygulanan Cu'nın kökteki Cu miktarına etkisi Şekil 4.28'de gösterilmiştir. +M'da ve -M 'da doz artışıyla birlikte Cu konsantrasyonuda artmıştır.+M'da $Y=20.395+4.098x$ ($r=0.99^{**}$, $P<0.01$) denkleminde -M'da $Y=10.083+4.226x$ ($r=0.99^{**}$, $P<0.01$) denkleminde kullanılmıştır. +M ve -M'da köklerdeki Cu arasında fark görülmemiştir (Şekil 4.28).

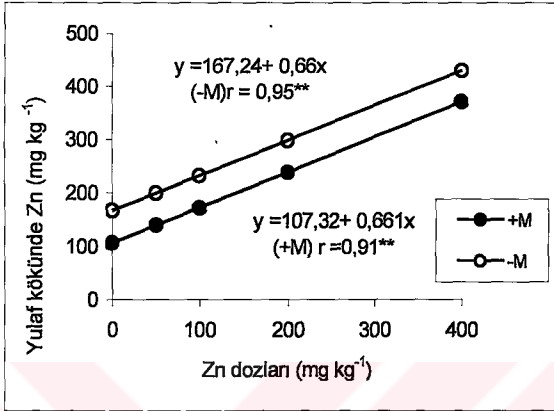


Şekil 4.28 Kökte Cu konsantrasyonu

AAS'de yapılan Zn okumalarında mikoriza ile aşıllı köklerde 43.95 mg kg^{-1} Zn , kontrol konusunda ise $129.75 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn tespit edilmiştir.

+M'da $\text{Zn}_{50}+\text{M}$ uygulamasında köklerde $179.45 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn tespit edilirken, $\text{Zn}_{400}+\text{M}$ uygulamasında $346.88 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn tespit edilmiştir. Mikoriza ile aşılsız Zn uygulamasında Zn_{50} dozunda kökteki Zn konsantrasyonu $221.72 \text{ mg kg}^{-1}$, Zn_{400} dozunda ise $413.43 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn konsantrasyonu tespit edilmiştir.

Doz artışıyla beraber +M ve -M'lı Zn uygulamalarında köke alınan Zn konsantrasyonunda da artış kaydedilmiştir. Yapılan regresyon analiz sonucuna göre +M'da $Y=107.32+0.661x$ ($r=0.91^{**}$), -M'da $Y=167.24+0.66x$ ($r=0.95^{**}$) denklemleri ortaya konulmuştur (Şekil 4.29). Varyans analiz sonucu da istatistiksel anlamda %1 seviyesinde önemlilik arz etmiştir.



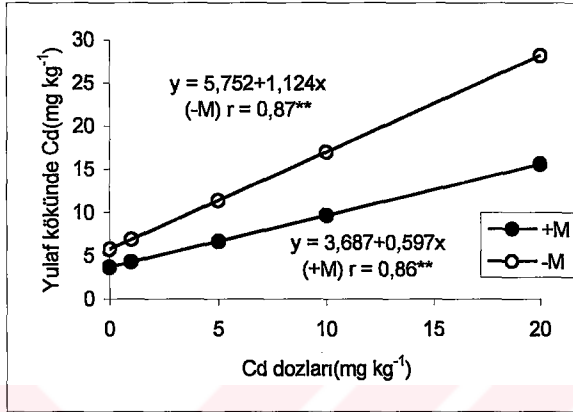
Şekil 4.29 Kökte Zn konsantrasyonu

Kökte Cu ve Zn'dan sonra Cd analizleri de yapılmış ve dozlarla kökteki Cd alımı arasında +M'lı ve -M'lı konular arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur.

Mikoriza aşılı ve Cd uygulaması yapılmayan köklerde 0.185 mg kg⁻¹ Cd, kontrol (aşısız ve Cd'suz) konusunda ise 0.825 mg kg⁻¹ Cd bulunmuştur.

Mikoriza ile birlikte Cd uygulaması yapılan Cd₁+M'da 4.46 mg kg⁻¹ Cd bulunurken , Cd₂₀+M'da bu miktar 13.43 mg kg⁻¹ Cd'a çıkmıştır. Mikoriza aşısız, sadece Cd uygulanan köklerde Cd₁ konusunda 4.78 mg kg⁻¹ Cd bulunmuş , Cd₂₀ konusunda 24.28 mg kg⁻¹ Cd elde edilmiştir.

Mikoriza ile aşılı ve aşısız Cd uygulamalarında köklerdeki Cd bakımından +M'lı köklerde Cd alımı -M'lılardan daha az olmuştur. Yapılan regresyon analizinde +M için $Y=3.687+0.597x$ ($r=0.86^{**}$), -M'da $Y=5.752+1.124x$ ($r=0.87^{**}$) denklemleri kullanılmıştır. Dozlar arttıkça +M ve -M konularında da köklerde Cd miktarında artışlar kaydedilmiştir (Şekil 4.30).Yapılan varyans analiz sonuçlarına göre konular arasında %1 seviyesinde önemli farklılık ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.6).



Şekil 4.30 Kökte Cd konsantrasyonu

4.6.4 Yulaf bitkisinde Cu, Zn ve Cd 'a ait bulgular

Yulaf bitkisinde mikoriza ile aşıllı ve aşılsız ağır metal uygulamalarında bitki bünyesindeki ağır metal alım durumunun ne olduğu sorusuna yanıt aranmış ve bitkide (bitki gövdesi ve yapraklar) yapılan analiz sonucunda elde edilen değerlerle bir ilişki bulunmaya çalışılmıştır (Çizelge 4.7 ve Ek.3).

Çizelge 4.7 Yulaf bitkisinde Cu, Zn ve Cd miktarları (*)

Cu dozları (mg kg ⁻¹)		0	5	10	20	40
Bitkide Cu (mg kg ⁻¹)	+M	11.50 f	16.90 e	17.40 e	20.15 e	25.50 d
	-M	12.83 f	33.88 c	43.98 b	48.02 a	51.70 a

Zn dozları (mg kg ⁻¹)		0	50	100	200	400
Bitkide Zn (mg kg ⁻¹)	+M	34.78 e	105.63 d	116.13 d	163.75 c	213.75 ab
	-M	48.18 e	107.63 d	156.13 c	183.50 bc	236.25 a

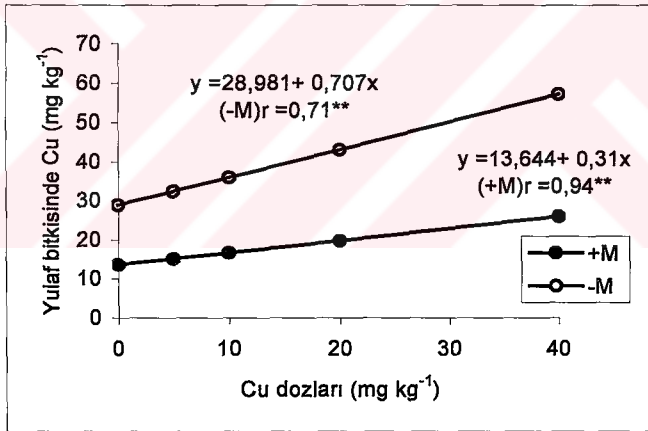
Cd dozları (mg kg ⁻¹)		0	1	5	10	20
Bitkide Cd (mg kg ⁻¹)	+M	0.06 e	0.37 e	1.32 d	2.04 bc	2.50 b
	-M	0.13 e	0.58 e	1.79 cd	1.92 c	3.72 a

+M: aşıllı, -M: aşılsız, (* : Duncan P<0.01)

Mikoriza aşılması yapılan yulaf bitkisi üst aksamda yapılan analiz sonucuna göre bitkide 11.50 mg kg^{-1} Cu elde edilmiş ve kontrol konusunda 12.83 mg kg^{-1} Cu bulunmuştur. Mikoriza, bitki üst aksamına kontrolden daha az Cu alımına izin vermiştir.

Mikoriza ile aşıli Cu_5+M konusunda 16.90 mg kg^{-1} Cu , $\text{Cu}_{40}+\text{M}$ konusunda 25.50 mg kg^{-1} Cu saptanmıştır. Mikoriza aşısız bitkide Cu_5 uygulamasında 33.88 mg kg^{-1} Cu ve yine en yüksek doz olan Cu_{40} konusunda Cu 51.70 mg kg^{-1} bulunmuştur. Uygulanan Cu dozları arttıkça mikoriza aşısız konularda bitkide Cu konsantrasyonu +M'ya göre daha çok artmıştır.

Toprağa artan miktarda uygulanan Cu'nın bitkideki Cu içeriğine etkisi Şekil 4.31'de gösterilmiştir. +M'da ve -M 'da doz artışıyla birlikte Cu konsantrasyonu da artmıştır. +M'da $Y=13.644+ 0.31x$ ($r=0.94^{**}, P<0.01$) denklemi , -M'da $Y=28.981+0.707x$ ($r=0.71^{**}, P<0.01$) denklemleri ile linear bir ilişki olduğu görülmüştür. +M 'da -M'ya göre daha az Cu alımı gerçekleşmiştir (Şekil 4.31).



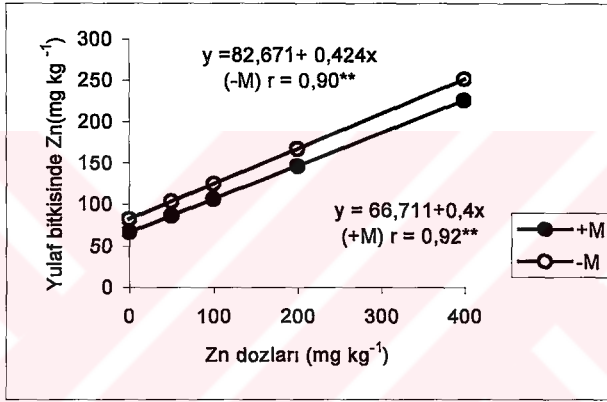
Şekil 4.31 Bitkide Cu konsantrasyonu

Zn okumalarında, mikoriza ile aşıli bitkilerde 34.78 mg kg^{-1} Zn , kontrol konusunda ise 48.18 mg kg^{-1} Zn tespit edilmiştir.

+M'da $\text{Zn}_{50}+\text{M}$ uygulamasında bitkide $105.63 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn tespit edilirken, $\text{Zn}_{400}+\text{M}$ uygulamasında $213.75 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn tespit edilmiştir.

Mikoriza ile aşısız Zn uygulamasında Zn_{50} dozunda bitkideki Zn konsantrasyonu $107.63 \text{ mg kg}^{-1}$, Zn_{400} dozunda ise $236.25 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn konsantrasyonu tespit edilmiştir.

Doz artışıyla beraber +M ve -M'lı Zn uygulamalarında bitkiye alınan Zn konsantrasyonunda da artış kaydedilmiştir. Ancak köke göre bitki üst aksamına daha az Zn alımı gerçekleşmiş olup, -M'da bitkideki Zn oranı daha yüksek olmuştur. Yapılan regresyon analizine göre +M'da $Y=66.711+0.4x$ ($r=0.92^{**}$, $P<0.01$), -M'da $Y=82.671+0.424x$ ($r=0.90^{**}$, $P<0.01$) denklemleri ortaya konulmuştur (Şekil 4.32).



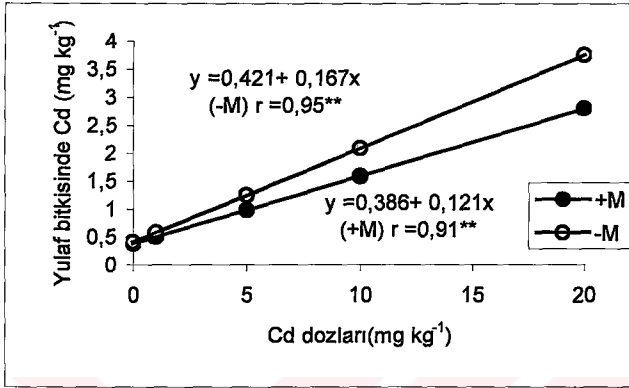
Şekil 4.32 Bitkide Zn konsantrasyonu

Kadmiyum uygulamasının yulaf bitkisi tarafından Cd alımına ilişkin bulgular değerlendirildiğinde Cu ve Zn'ya benzer sonuçlar Cd'da da görülmüştür. Mikoriza aşılı ve Cd uygulaması yapılmayan bitkide 0.06 mg kg^{-1} Cd, kontrol (aşısız ve Cd'suz) konusunda ise 0.13 mg kg^{-1} Cd bulunmuştur.

Mikoriza ile birlikte Cd uygulaması yapılan Cd_1+M 'da 0.37 mg kg^{-1} Cd bulunurken, $Cd_{20}+M$ 'da bu miktar 2.50 mg kg^{-1} Cd'a çıkmıştır. Mikoriza aşısız, sadece Cd uygulanan bitkilerde Cd_1 konusunda 0.58 mg kg^{-1} Cd bulunmuş, Cd_{20} konusunda 3.72 mg kg^{-1} Cd elde edilmiştir.

Mikoriza ile aşılı ve aşısız Cd uygulamalarında bitki üst aksamında Cd bakımından +M'lı bitkilerde Cd alımı -M'lılardan daha az olmuştur. Yapılan regresyon analizinde +M için $Y=0.386+0.121x$ ($r=0.91^{**}$), -M'da $Y=0.421+0.167x$ ($r=0.95^{**}$) denklemleri kullanılmıştır.

Dozlar arttıkça +M ve -M konularında da bitkilerde Cd miktarında artışlar kaydedilmiştir (Şekil 4.33).



Şekil 4.33 Bitkide Cd konsantrasyonu

Bitkilerde bulunan Cu, Zn ve Cd değerleri ile ilgili yapılan varyans analiz sonuçlarına göre konular arasında %1 seviyesinde önemli farklılık ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.7).

Araştırma bulguları içerisinde anlatılan Cu, Zn ve Cd denemelerinde her bir konu için korelasyon değerleri toplu halde sırasıyla; Cu konusunda mikoriza ile aşılı ve aşısız konuların korelasyon değerleri Çizelge 4.8’de , Zn konusunda mikoriza ile aşılı ve aşısız konuların korelasyon değerleri Çizelge 4.9’da ve Cd konusunda mikoriza ile aşılı ve aşısız konuların korelasyon değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.8’de görüldüğü gibi, Cu dozları ile mikorizal enfeksiyon yüzdesi arasında negatif bir korelasyon ($r: -0,82^{**}$, $P < 0,01$) mevcuttur. Topraktaki alınabilir Cu ile kök ve bitkideki Cu oranları arasında pozitif korelasyon ortaya çıkmıştır. Topraktaki konsantrasyon artışına bağlı olarak kök ve bitkideki Cu konsantrasyonları da artmıştır. Mikorizal enfeksiyonla kökteki ve bitkideki Cu arasında negatif bir korelasyon vardır. Enfeksiyon yüzdesi ile kök kuru ağırlıkları ve bitki kuru ağırlıkları arasında pozitif korelasyon vardır.

Çizelge 4.9’da mikorizal enfeksiyon ile Zn dozları arasında negatif bir korelasyon bulunmuştur. Yine Zn dozları ile kök kuru ağırlıkları ve bitki kuru ağırlıkları arasında negatif bir ilişki mevcuttur.

Mikorizal enfeksiyonla kök kuru ağırlığı ve bitki kuru ağırlıkları arasında da pozitif korelasyon saptanmıştır.

Çizelge 4.10 incelenecek olursa Cu ve Zn korelasyonlarındaki benzer sonuçlar burada da vardır. Mikorizal enfeksiyon ve Cd dozları arasında negatif korelasyon, Cd dozları ile kök kuru ağırlığı ve bitki kuru ağırlıkları arasında negatif bir korelasyon vardır. Kuru ağırlıklar doz artışlarına bağlı olarak azalmıştır. Ancak mikorizal enfeksiyon ile kuru ağırlıklar arasında pozitif korelasyonlar ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.8. Mikoriza ile aşı ve aşısız Cu uygulamalarında değişkenlerin birbirleri arasındaki korelasyonlar

	Cu dozları	Toprakta alınabilir Cu(+M)	Toprakta alınabilir Cu (-M)	Kökte Cu (+M)	Kökte Cu (-M)	Bitkide Cu (+M)	Bitkide Cu (-M)	Kök k.ağ. (+M)	Kök k.ağ. (-M)	Bitki k.ağ. (+M)	Bitki k.ağ. (-M)	Mik. Enf.
Cu dozları	1											
Toprakta alınabilir Cu (+M)	0.991**	1										
Toprakta alınabilir Cu (-M)	0.994**	0.996**	1									
Kökte Cu (+M)	0.992**	0.988**	0.996**	1								
Kökte Cu (-M)	0.995**	0.992**	0.997**	0.997**	1							
Bitkide Cu (+M)	0.949**	0.927**	0.925**	0.934**	0.937**	1						
Bitkide Cu (-M)	0.719**	0.682**	0.671**	0.676**	0.686**	0.868**	1					
Kök k.ağ. (+M)	-0.674**	-0.605**	-0.627**	-0.643**	-0.660**	-0.695**	-0.633**	1				
Kök k.ağ. (-M)	-0.586**	-0.582**	-0.574**	-0.578**	-0.583**	-0.603**	-0.551**	0.383	1			
Bitki k.ağ. (+M)	-0.637**	-0.611**	-0.612**	-0.602**	-0.612**	-0.568**	-0.513*	0.762**	-	1		
Bitki k.ağ. (-M)	-0.683**	-0.669**	-0.652**	-0.624**	-0.647**	-0.604**	-0.516*	0.440	0.635**	0.566**	1	
Mikoriza Enf.	-0.828**	-0.795**	-	-0.772**	-	-0.897**	-	0.649**	-	0.590**	-	1

(Pearson, **P<0.01, *P<0.05)

Çizelge 4.9. Mikoriza ile ağılı ve aşısız Zn uygulamalarında değişkenlerin birbirleri arasındaki korelasyonlar

Zn dozları	Toprakta alınabilir Zn(+M)	Toprakta alınabilir Zn (-M)	Kökte Zn (+M)	Kökte Zn (-M)	Bitkide Zn (+M)	Bitkide Zn (-M)	Kök k.ağ. (+M)	Kök k.ağ. (-M)	Bitki k.ağ. (+M)	Bitki k.ağ. (-M)	Mik. Enf.
Zn dozları	1										
Toprakta alınabilir Zn (+M)	0.997**	1									
Toprakta alınabilir Zn (-M)	0.997**		1								
Kökte Zn (+M)	0.912**			1							
Kökte Zn (-M)	0.959**		0.965**		1						
Bitkide Zn (+M)	0.920**		0.933**	0.960**		1					
Bitkide Zn (-M)	0.907**		0.913**	0.931**			1				
Kök k.ağ. (+M)	-0.645**		-0.651**	-0.802**	-0.741**	-0.717**	-0.694**	1			
Kök k.ağ. (-M)	-0.506*		-0.491**	-0.631**	-0.630**	-0.686**	-0.582**	0.582**	1		
Bitki k.ağ. (+M)	-0.565**		-0.588**	-0.705**	-0.624**	-0.569**	-0.597**	0.771**	0.537	1	
Bitki k.ağ. (-M)	-0.519*		-0.542*	-0.714**	-0.645**	-0.681**	-0.674**	0.616**	0.695**	0.626**	1
Mikoriza Enf.	-0.789**		-0.801**	-0.949**	-	-0.918**	-	0.855**	-	0.749**	1

(Pearson, **:P<0.01, *:P<0.05)

Çizelge 4.10. Mikoriza ile aşılı ve aşısız Cd uygulamalarında değişkenlerin birbirleri arasındaki korelasyonlar

	Cd dozları	Toprakta alınabilir Cd (+M)	Toprakta alınabilir Cd (-M)	Kökte Cd (+M)	Kökte Cd (-M)	Bitkide Cd (+M)	Bitkide Cd (-M)	Kök k.ağ. (+M)	Kök k.ağ. (-M)	Bitki k.ağ. (+M)	Bitki k.ağ. (-M)	Mik. Enf.
Cd dozları	1											
Toprakta alınabilir Cd (+M)	0.997**	1										
Toprakta alınabilir Cd (-M)	0.994**	0.994**	1									
Kökte Cd (+M)	0.861**	0.860**	0.870**	1								
Kökte Cd (-M)	0.873**	0.875**	0.878**	0.985**	1							
Bitkide Cd (+M)	0.915**	0.919**	0.916**	0.949**	0.965**	1						
Bitkide Cd (-M)	0.959**	0.963**	0.949**	0.878**	0.903**	0.910**	1					
Kök k.ağ. (+M)	-0.833**	-0.843**	-0.835**	-0.760**	-0.745**	-0.819**	-0.751**	1				
Kök k.ağ. (-M)	-0.647**	-0.645**	-0.656**	-0.770**	-0.769**	-0.668**	-0.685**	-	1			
Bitki k.ağ. (+M)	-0.736**	-0.731**	-0.731**	-0.744**	-0.743**	-0.797**	-0.656**	0.778**	0.681**	1		
Bitki k.ağ. (-M)	-0.781**	-0.784**	-0.784**	-0.798**	-0.773**	-0.812**	-0.756**	0.654**	0.717**	0.687**	1	
Mikoriza Enf.	-0.881**	-0.872**	-	-0.969**	-	-0.926**	-	0.794**	-	0.782**	-	1

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1 VA Mikoriza Enfeksiyon Sonuçları

Yulaf köklerinde yapılan mikoriza aşılması sonucunda mikoriza aşılı dört paralelli saksıların enfeksiyon oranı ortalama %36 bulunmuştur. Aşılama yapılmayan saksılarda mikorizal enfeksiyon görülmemiştir.

Sadece mikoriza aşılması yapılan bitkilerde enfeksiyonun % 36 gibi düşük değerlerde bulunması, analiz yapılan deneme toprağında yarayışlı fosfor miktarının 5 kg da^{-1} (Bkz.Çizelge 4.1) olması ve sterilizasyon sonrasında yarayışlı fosforun bir miktar daha artmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Genelde sterilizasyon ile topraktaki organik bileşiklerin parçalanması ve canlı organizmaların ölmesi sonucu ortamda fazla miktarda besin elementi açığa çıkmaktadır (Walker 1985, Stribley 1987).

Aynı şekilde Ergün (1998), yaptığı çalışmada sterilizasyon sonucu toprak serilerinde fosfor artışlarının Çavuşçu serisi toprağında 17.47 kg da^{-1} , dan 22.26 kg da^{-1} ; Koçaş serisi toprağında 11.14 kg da^{-1} , dan 16.95 kg da^{-1} a yükseldiğini bulmuştur.

Enfeksiyon seviyesindeki değişikliğe, bitkinin fosfor alımının etkisi olduğu kadar ağır metal alımı ve toleransının da etkili olduğu bilinmektedir (Olsen 1972, Baker 1978).

Lambert ve Baker (1979) tarafından yapılan bir çalışmada mikoriza aşılı mısır ve soyada fosforlu gübre uygulaması yapılmış ve yarayışlı fosforun artışıyla mikorizal kolonizasyonda azalma olduğu tespit edilmiştir.

Mikoriza aşılması ile birlikte Cu, Zn ve Cd metallerinin uygulandığı konularda enfeksiyon yüzdesi, artan doz miktarıyla (Cu'da %36-%21, Zn'da %36-%15 ve Cd'da %36 ile %4 arasında) birlikte azalma göstermektedir (Çizelge 4.2).

Gildon ve Tinker (1983 b) yaptıkları bir sera çalışmasında soğan bitkisini *Glomus mossea* ile aşılamışlar ve enfeksiyon yüzdesinin toprağa ilave edilen Cu, Zn ,Ni ve Cd'un doz artışları ile birlikte azaldığını bulmuşlardır. Uygulanan 0, 10, 20, 40 ve $75 \mu\text{g g}^{-1}$ Zn dozlarında mikoriza aşılı konularda enfeksiyon yüzdesini sırasıyla %55, 42, 39, 12 ve 0 olarak; 0, 5, 15, 30 ve $75 \mu\text{g g}^{-1}$ Cu dozlarında enfeksiyon %'sini sırasıyla %51, 44, 34, 12 ve 0

olarak tespit etmiş; Cd da ise 0, 0.1 ve 1µg g⁻¹ dozları uygulandığında enfeksiyon yüzdelelerini %74, 28 ve % 27 olarak bulmuşlardır.

Yüksek oranda uygulanan ağır metal konsantrasyonlarında endofit spor çimlenmesi azaldığı (Hepper ve Smith 1976), yüksek seviyede fosfor ve olası azotun VAM ile enfeksiyonu engellediği (Hayman 1978, Tinker 1980); bununla birlikte ağır metalin uygulandığı topraklarda mikorizal enfeksiyonda gecikme olduğu Gildon ve Tinker (1983 a) tarafından belirtilmiştir.

Mikoriza aşılmasıyla birlikte artan oranlarda ağır metal uygulanan bu çalışmada mikorizal enfeksiyonun artan ağır metal dozlarından olumsuz etkilenmesi yukarıdaki literatürlerle uyumluluk içerisinde olduğunu göstermektedir.

Ancak mikoriza enfeksiyonu artan ağır metal dozlarından olumsuz etkilenmesine rağmen bu çalışmada kullanılan dozlarda en yüksek doz seviyesinde bile enfeksiyon oranı sıfırlanmamıştır . Bu durum ise mikorizanın ağır metallerle karşı direnç gösterdiği yani ağır metallerle karşı toleranslı olduğu şeklinde açıklanabilir.

Bradley ve ark.(1981,1982) kum kültüründe yaptıkları çalışmada Colluna'nın mikorizal enfeksiyonla Cd metalinin toksisitesine karşı direncinin arttığını tespit etmişlerdir. Bu koruyucu olay, mikorizal köklerde hif kompleksleri üzerinde ağır metallerin bağlanmasındaki artış ile açıklanmıştır.

VAM üzerine ağır metallerin etkisi aynı zamanda konukçu bitkiler arasında değişiklikler göstermektedir (Gildon ve Tinker 1983 b).

5.2 VA Mikoriza ve Ağır Metallerin Bitki Kuru Ağırlık ve Kök Kuru Ağırlıklarına Etkisi

Mikoriza ile aşıllı bitkide 5.970 g saksı⁻¹ kuru ağırlık bulunmuş ve kontrol konusu 6.605 g saksı⁻¹ b.k.a.'ı ile ilk sırada yer almıştır. Mikoriza aşılmasının bitki kuru ağırlıklarının artışına katkısı olmamıştır. Mikorizanın enfeksiyon oranı azaldıkça bitki kuru ağırlıklarında azalmalar kaydedilmiştir.

Enfeksiyon yüzdelere göre VA mikorizanın bitki gelişimine etkisinin olup olmadığı incelendiğinde, araştırma bulgularında mikoriza türlerinin

(aşılama materyali) belirli bir düzeye kadar bitkilerde enfeksiyonu sağladığı belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Fakat bu enfeksiyonun bitki gelişimine yansımadağı görölmektedir.

Graham ve Fardelman (1986) yaptıkları çalışmalarda benzer bulgularla, kök enfeksiyonu ile mikoriza etkinliğı yönünden bir ilişkinin olmadığını belirtmişlerdir.

Mikoriza ile birlikte uygulanan Cu denemesinde uygulanan dozlar arttıkça b.k.a.'da azalmalar olduğı tespit edilmiştir. Cu+M'lı konularda b.k.a.'ı 5.854 ile 3.952 g saksı⁻¹ arasında değişmiştir. Cu-M'lı konularda Cu₅ dozunda 6.881 g saksı⁻¹ ile en yüksek b.k.a., endüşük b.k.a. ise 4.280 g saksı⁻¹ olmuştur. Burada Cu₅ uygulamasının b.k.a.'nı artırdığını söyleyebiliriz.

Zn+M denemesinde b.k.a.'ı 4.423 ile 3.758 g saksı⁻¹ arasında değişmiştir. Zn-M denemesinde b.k.a 4.653 -3.922 g saksı⁻¹ arasında değişmiştir. Burada da mikorizalı ve mikorizasız Zn uygulamalarında mikorizanın b.k.a' na herhangi bir etkisi olmamış ve Zn dozları arttıkça b.k.a'ı azalmıştır.

Cd+M denemelerinde b.k.a 5.630-3.643 g saksı⁻¹ arasında, Cd-M denemelerinde b.k.a 5.603-3.859 g saksı⁻¹ arasında değişmiştir. Mikorizanın Cd uygulamalarında da b.k.a'na etkisi olmamış ve artan Cd dozlarında +M ve -M'da bitki kuru ağırlıkları azalmıştır.

Cu, Zn ve Cd konularında +M ve -M'lı konular arasında b.k.a'ı bakımından farklılık çıkmamış ancak b.k.ağırlıklarına yapılan varyans analizlerinde konular arasında istatistiksel olarak farklılık bulunmuştur.

Kök kuru ağırlıklarından elde edilen sonuçlara baktığımızda b.k.a'larına benzer sonuçlar k.k.a'da da söz konusu olmuştur. Yulaf bitkisi kök kuru ağırlıkları incelendiğinde kontrol konusu 2.349 g saksı⁻¹ ile ilk sırada yer alırken mikoriza aşılı kök kuru ağırlıkları diğer konulara göre daha düşük bulunmuştur.

Cu, Zn ve Cd'un uygulandığı +M ve -M konularında kök kuru ağırlıkları arasında fark çıkmamıştır. Hem +M hem de -M'da ağır metal dozlarının artışıyla birlikte kök kuru ağırlıkları azalmıştır.

Smilde (1981) yaptığı saksı denemelerinde artan dozlarda Cu, Zn ve Cd metalleri uygulaması ve uygulanan metallerin mısır ve yulaf bitkisine olan

etkilerini araştırmıştır. 100, 200, 300 mg kg⁻¹ Cd uygulanan konularda yulaf bitkisi üşt aksam kuru ağırlıklarını kontrol konusunda 57 g saksı⁻¹ ve sırasıyla 60; 60; 59 g saksı⁻¹ olarak bulmuştur. 500-1000-1500 mg kg⁻¹ Cu uygulama konularında yulaf bitki üşt kısım kuru ağırlıkları kontrol konusunda 57 g saksı⁻¹ ve uygulanan dozlar sırasıyla 58, 54 ve 47 g saksı⁻¹ ağırlıklarını elde etmiştir. Buradan Cu ve Cd'un artan dozlarının yulafta bitki üşt kısım ağırlığını azalttığını Zn'da ise artan dozların bitkiye toksisite yapmadığını kuru ağırlıkta artış sağıladığını belirtmiştir.

Allinson ve Dzialo (1981) tarafından yapılan bir çalışmada pH'sı 4.5 ve 6.4 olan topraklarda Cd (50 ppm), Ni (50 ppm) ilave edilmiş yulaf ve çayır otunda bu metallerin konsantrasyonu izlenmiştir. Toprağı Cd ilave edildiğinde üç kez hasat edilen çayırotunda kuru madde veriminin düştüğü ve yulafta dane veriminin azaldığı tespit edilmiştir.

Gildon ve Tinker (1983b), yaptıkları sera çalışmasında Cu, Zn, Ni ve Cd metalleri uygulanarak yetiştirilen üçgül bitkisinde VA mikoriza ile aşılı konularda Cu, Cd ve P ilavesi ve mikorizal enfeksiyon nedeniyle bitki üşt aksam kuru ağırlığına etkisi önemsizken , yüksek oranda Zn ve Ni ilavesi kuru ağırlığı çok fazla azaltmıştır. Özellikle yüksek dozlar kuru ağırlıkların azalmasına neden olmuştur.

Yine aynı araştırıcılar tarafından bir başka çalışmada; iki faklı toprağı 0-50-200-1000 µg g⁻¹ Cd uygulanmış ve kuru ağırlık (g) ortalama 1.28-1.39 arasında bulunmuştur. Mikorizal enfeksiyonun metal ilavesiyle birlikte çok fazla azaldığı görölmüştür. 50-100 µg g⁻¹ Cd mikorizasız bitki üşt kısım kuru ağırlığını azaltmış fakat mikorizalı üşt kısım kuru ağırlığını daha az etkilemiştir. 100 ppm Cd dozunda enfeksiyon %20 civarında olmuştur. Cd'un toksik etkisi mantara göre bitkide daha fazla olduğı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir.

Loth ve Höffner (1994), Almanya'da ağır metallerle yüksek kontamine olan Münih toprağı ve az kirli olan Kleinlinden toprağında yaptıkları sera çalışmasında az seviyede mineral gübrelemeye rağımen, yulaf sapındaki kuru madde verimini daha yüksek bulmuşlardır. Yüksek oranda ağır metal kapsamı nedeniyle toksisite, ürün değerlerinde ve bitki gözlemlerinde görölmediğı ifade edilmiştir. VAM ile aşılamanın kuru verime etkisinin (dane-sap-kök) ağır metal içeriğı yüksek olan Münih toprağında istatistiki anlamda önemli bulunmuştur ancak Kleinlinden toprağında bu etki önemli bulunmadığı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir.

Yapılmış olan bu çalışmalardaki sonuçlar da kuru ağırlıklara mikorizal simbiyozun etkisi olmadığını göstermiş ve bizim sonuçlarımızla uyumlu olduğu görülmüştür.

Gedikoğlu ve ark.(1998), yaptıkları çalışmalarda bazı ağır metallerin buğday verimine olan etkilerini araştırdıkları çalışmalarında artan dozlarda (10, 20, 40 ve 80 mg kg⁻¹) Cu uygulamalarının killi toprakta buğdayın yaş ağırlığında % 50 ve kuru ağırlıklarında %40'a varan oranda önemli azalmalar olduğunu , aynı şekilde artan dozlarda (60-120-180-240 mg kg⁻¹) Zn uygulamalarının killi toprakta buğdayın yaş ve kuru ağırlıklarında azalma olduğu belirtilirken killi tınlı toprakta azalmaya neden olmadığını , aynı şekilde artan dozlarda (5-10-30-45 mg kg⁻¹) Cd uygulamalarının da killi ve killi tınlı toprakta buğdayda verim azalmasına neden olduğunu bulmuşlardır.

5.3 Yulaf Bitkisi Tarafından Cu, Zn ve Cd Alımında Mikorizanın Rolü

5.3.1 Toprakta ağır metal ve mikoriza ilişkisi

Mikoriza aşılması ile toprağa uygulanan ağır metal konsantrasyonları arasındaki ilişki araştırıldığında (Bkz. Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3) topraktaki Cu, Zn ve Cd konsantrasyonları ile enfeksiyon arasında negatif bir ilişki olduğu veya başka bir deyişle mikorizanın topraktaki ağır metal konsantrasyonuna etkisinin olmadığı görülmüştür.

Mikoriza ile aşılı ve aşısız ağır metal uygulamalarında topraktaki alınabilir Cu, Zn ve Cd miktarları bakımından aralarında farklılık çıkmamıştır. Mikorizanın topraktaki yarayışlı Cu, Zn ve Cd'a herhangi bir etkisi söz konusu değildir.

Mikoriza etkisiyle değişen modifiye kök verilerinin, element konsantrasyonu ve element alımına olası etkileri Zn, Cu ve Cd üzerine araştırılmıştır. Ağır metal akümülyasyonu konusunda elde edilen veriler ağır metalin toprağa bağlı olarak değişken bir etkisi olduğunu göstermiştir (Loth ve Höffner 1994).

Cd iyonları toprakta Zn ve Cu iyonlarına göre daha hareketli olup, bu metallerin difüzyon oranları iyonik çaplarının artışıyla azalmaktadır ve Cd daha büyük olduğundan, Cd aktarımında kütsel akış önemli olmaktadır (Joner ve Leyval 1997).

5.3.2 Ağır metallerin köke alımında VA mikorizanın rolü

Mikoriza ile aşılı ve aşısız konularda kökte ağır metallerin alımı ile ilgili sonuçlar değerlendirildiğinde mikoriza aşılması ile kökteki Cu miktarı kontrol konusunda yulaf kökündeki Cu içeriğinden daha yüksek çıkmıştır. Mikorizalı kökte Cu_0 konusunda mikorizasız kontrolden daha fazla Cu köke alınmıştır.

Mikorizalı bitkide Cu_0 konusunda Cu konsantrasyonunun mikorizasız bitkiden yüksek olması bitkinin mikoriza vasıtasıyla Cu alımı olarak Gildon ve Tinker (1983 a) tarafından açıklandığı şekilde bu çalışmada da bulunan sonucu desteklemektedir.

Mikoriza aşılı köklerde Cu içeriği mikoriza aşısız köklerden daha fazla çıkmıştır. Artan Cu dozlarıyla birlikte köke Cu alımı, uygulanan Cu dozlarıyla birlikte +M ve -M'lı konularda köklerdeki Cu içeriği artmıştır.

Kökte Zn durumuna bakıldığında mikoriza aşılı köklerde, kontrol konusundaki köklerden daha az çinko içeriği tespit edilmiştir. Yani mikorizanın köke Zn alımı kontrolden daha düşük olmuştur. Ancak, Zn ile birlikte +M ve -M 'lı konularda dozlar arttıkça kökteki çinko içerikleri artmış ama Zn+M'lı konularda Zn-M'ya göre kökteki Zn miktarları düşük olmuştur.

Gildon ve Tinker (1983 b) yaptıkları bir çalışmada yüksek oranda Zn (0, 5, 20,40,75 $\mu g\ g^{-1}$) uygulaması bitki gelişimini baskılamış ve enfeksiyon başarısız olmuştur. En fazla Zn ilavesi ile bitki dokusunda metal konsantrasyonu dört misli artmıştır. 100 $\mu g/g$ Zn uygulanmış saksılarda bitki köklerinde Zn konsantrasyonu (1227 $\mu g\ g^{-1}$), bitki üst kısmından (614 $\mu g\ g^{-1}$) fazla bulunmuştur.

Mikoriza çinkonun bulunduğu ortamda köke daha az çinko alımını gerçekleştirmiştir. Burada deneme toprağındaki yarıyışlı fosforun fazla oluşunun ve fosforun Zn üzerine olan olumsuz etkisi nedeniyle -M'ya göre daha az çinko alımı gerçekleşmiştir.

Zn bitki köklerine, ya kütsel akış veya difüzyon yoluyla geçmektedir. Eğer Zn'nun büyük çoğunluğu difüzyonla bitkiye geçerse bitkiler seyreltik çözültiden besinleri absorbe etmek için farklı yetenekler göstermektedir . P, Zn ve Cu gibi elementlerin sınırlı bir şekilde difüzyonuna mikorizal katkının çok yararlı olduğu gösterilmiştir (Cooper ve ark.1981).

Difüzyonun seviyesinde katkı sağlayan bitki faktörleri kök yoğunluğu , dağılım, salgı ve rizosfer pH'sı olmaktadır. Diğer bir mekanizma olan mikorizal simbiyoz bitkilerin besin alımını sağlamaktadır (Faber 1990).

Ağır metallerden Zn ve Cu toprak kolloidlerindeki kuvvetli adsorpsiyonu nedeniyle hareketsizdirler. Mısırdaki yapılan Zn uygulamasında , köklerde absorbe edilen miktarının %95'i difüzyonla aktarılmıştır. Çoğunlukla bitkinin yüksek alım hızına toprağın kapsadığı miktar bu elementler açısından yeterli olmadığından rizosferde boşalma bölgeleri oluşmaktadır. Kök morfolojisi gözlemleriyle VAM'ın kök yüzey alımını önemli ölçüde artırdığı ve daha yüksek absorpsiyon yüzeyi oluşturduğu saptanmıştır. Toprağın artan geçirimi veya nüfuz edilebilmesi difüzyon bölgesinin azalmasına ve böylece yüksek ağır metal kazanımına sebep olmaktadır.

Oransal olarak hareketsiz elementlerin artan toplam element alımı (kök morfolojisine bağlıdır) yanında her bitki kısımlarında farklı alım oranları belirlenmiştir ki bu da sadece artan kök yüzeyi ile açıklanamaz. Yüksek alınabilir nitelikli metal bulunan topraklarda, köklerde aynı zamanda güçlü birikim, toprak üstü aksamında daha düşük alım gözlenmiştir (Loth ve Höffner 1994).

Yapılan bu çalışmada da köklerde fazla alım gözlenmiş olması yukarıdaki literatürlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

Kökte Cd içerikleri incelendiğinde mikoriza aşılı köklerde kontrol konusundan daha az Cd tespit edilmiştir.

Cd'un mikoriza ile aşılı ve aşısız uygulanma konularında Cd₁ uygulamasında +M ve -M'lı konular aynı grupta yer alırken , doz artışlarıyla birlikte mikorizasyonsuz Cd konularında Cd içeriği artmıştır. Kökte en yüksek Cd değeri Cd₂₀ uygulamasında bulunmuştur.

Burada da mikoriza aşılmasının olumlu etkisi olduğunu ve aşılama ile bitki köküne daha az Cd geçtiğini , hücreler arası boşluklarda ve Cd'un VA mikorizanın hifleri içerisinde tutularak bitki köküne geçişini azaltmıştır. Bulunan bu sonuçları aşağıdaki literatür verileri destekler niteliktedir.

Mikoriza kolonizasyonu Zn ve Cu'da kök-gövde aktarımı önemli seviyede artarken , Pb ve Cd kök-gövde oranları uygulamalar arasında değişmemiştir. Zn ve Cu'nun hifsel alım ve aktarımı, P aktarımı ile benzerliği

bilinmekte, Zn ve Cu'ın bitkiye aktarımında hifsel katkı çeşitli çalışmalarla açıklanmıştır (Kothari ve ark.1991).

Joner ve ark.(1997), tarafından yapılan bir çalışmada Cd'un kökler tarafından alımı bitkinin mikorizal durumunu etkilememiştir. Mikorizasız bitkilere göre mikorizalı bitkilerde 1, 10 ve 100 mg kg⁻¹ Cd dozları uygulanan saksılarda hiflerce Cd alımı sırasıyla % 96-127-131 olarak bulunmuştur. Mikorizalı bitkilerin gittikçe artan Cd alımının büyük bir kısmı köklerde bağlanmıştır. VAM' ın dışsal hifleri Cd'u topraktan bitkiye aktarmakta fakat mantardan bitkiye aktarım mantar hareketsizliği nedeniyle sınırlı olmuştur.

5.3.3 Ağır metallerin bitkiye alımında VA mikorizanın rolü

Yulaf bitkisinde (gövde ve yapraklarda) Cu, Zn ve Cd içerikleriyle ilgili sonuçları incelediğimizde; mikoriza aşılı bitkilerde yapılan analiz sonucunda, kontrol konusundan daha az Cu bulunmuştur.

Mikorizalı ve mikorizasız Cu uygulamaları karşılaştırıldığında mikorizalı uygulamalarda köklerde yüksek olan Cu mikoriza tarafından tutularak bitki üst aksamına geçişi engellenmiş ve -M'lı konulara göre daha az Cu bitki üst aksamına geçmiştir.

Bitkideki Zn içeriklerine bakıldığında +M'lı bitkide kontrolden daha az Zn içeriği tespit edilmiştir.

Topraktan yulaf köklerine mikoriza ile aşılı Zn konularında daha az Zn alınmış ve bitkiye de daha az miktarda Zn geçişi olmuştur. Bitkilerin çinko alımını özellikle yetiştirme ortamının pH'sı ve P konsantrasyonu etkilemektedir. pH arttıkça Zn alımı azalmaktadır. Araştırmada kullanılan toprağın pH'sı 7.65 olup Zn'nun bitkiye az alımında pH'nın da etkisi olduğunu söyleyebiliriz.

Zn'nun bitkideki hareketi sınırlı olmakla birlikte Fe, B ve Mo'e göre daha az hareketlidir. Özellikle fazla Zn uygulandığı durumlarda Zn kök dokularında birikmektedir. Yaşlı yapraklardaki Zn hareket etmemektedir (Güneş ve ark.2000) .

Dueck ve ark.(1986) VAM'ın bitki üst kısmına Zn alımını tamamen engellememesine rağmen VAM kolonizasyonunun çayır otunun gelişimine Zn'nun olumsuz etkisini azalttığını belirtmişlerdir.

Yapılmış olan bu çalışmada Zn en fazla kökte birikmiştir ve mikoriza aşısız bitkilerde Zn içeriği daha fazla olmuştur. Ancak mikoriza aşılı konularda kökte Zn, mikoriza hifleri ile tutulduğu için kökteki alıma bağlı olarak aşısız konulara göre, bitkideki Zn içeriği daha az olmuştur. Mikorizalı bitkide üst aksamda Zn geçişi tamamen engellenmemiştir. Ancak mikorizasız bitkiye göre, bitki üst aksamında Zn içeriği mikorizalıda daha az olmuştur.

Weissenhorn ve ark.(1995) tarafından yapılan çalışmada metal ayrıştırıcı tasfiye fırını yakınında atmosferik kirlenme sonucu ağır metalle bulaşık toprak alınarak gama radyasyonuna maruz bırakılmış ve ağır metalle kirlenmiş topraktan izole edilmiş doğal VAM popülasyonu ve *G. mossea* ile aşılanmış mısır yetiştirilerek yapılan çalışmada doğal inokulant daha yüksek kök kolonizasyonu göstermiş; sterilize edilmemiş toprakta doğal VAM ile kök kolonizasyonu % 24.5 olmuştur. Bitkiye alınan total Cd, Cu ve Zn miktarları kontrole göre mikorizalı bitkide daha az bulunmuştur.

Bitki bünyesindeki Cd içerikleri değerlendirildiğinde mikoriza aşılı bitkide 0.06 mg kg^{-1} Cd elde edilmiş, kontrol konusunda ise 0.13 mg kg^{-1} Cd tespit edilmiştir. Bitkide mikorizanın kontrol ve Cd₁ uygulamasında Cd içeriği açısından fark çıkmamıştır.

Mikoriza ile aşılı bitkilerde aşısız bitkilere göre daha az Cd geçişi gerçekleşmiş ancak aradaki fark çok yüksek çıkmamıştır.

Cd uygulamasında da Cd'un artan dozları mikorizal enfeksiyonu olumsuz etkilemekle birlikte +M'lı kökteki Cd, mikorizasız köklere göre daha az alınmış ve mikoriza Cd'un çoğunu kökte tutarak üst aksamda daha az geçmesini sağlamıştır.

Schüepp ve ark.(1987), VAM kolonizasyonunun bitki kuru maddesine etkisi olmamasına rağmen mikorizalı mısır ve marulda gövdede Cd'un önemli derecede azaldığını rapor etmişlerdir. Bu sonuçlar Turnau ve ark.(1993) tarafından olası mekanizma olarak mantar vakuollerinde polifosfat granüllerince metallerin tutulduğu şeklinde açıklanmıştır.

"Kökler, hücreler arası boşluklarda Cd-oksalat gibi zararsız formlarda metalin depolanması ile bitki üst kısımlarına Cd taşınmasını engellemektedir" (Hardiman ve ark.1984). Dolayısıyla metal toksisitesi sonucu olarak gövde gelişimine göre kök gelişimi daha çok engellenmektedir (Cabrera ve ark.1988).

Toprak çözeltisinde Cd çözünürlüğü düşük pH'da yüksektir. Birçok çalışmada bitkiye yarıyışlılığın artışı ile birlikte Cd miktarındaki artış neticesinde bitkilerce absorbe edilmekte ve bu absorpsiyon Ca, Mn ve Zn gibi diğer katyonların diğer rekabet edici etkisi ile baskılanmaktadır (Jarvis ve ark.1976).

Loth ve Höffner (1994), toprağın kontaminasyon derecesine bağlı olarak VA mikorizanın yulaf bitkisinde ağır metal etkisinin araştırılması amacıyla yaptıkları bir çalışmada kontamine olmuş iki farklı toprakta sakı denemeleri yapmışlardır. Az miktarda ağır metal içeren Kleinlinden toprağında ağır metal alımı sapta % 37'ye kadar çıkmıştır. Yüksek oranda ağır metal içeren Münih toprağında ise daha yüksek alım oranlarının kökte %59'a kadar çıktığı tespit edilmiştir. VAM izolatlarının nisbeten hareketsiz metallere Zn ve Cu alımı üzerine etkisi ,kullanılan toprağın özelliğine bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Daha hareketli olan Cd'da ise her iki substratta , aşılınmış köklerden alınmış ve azalan miktarlarda sürgünlere kadar gitmiştir.

Münih toprağında kökte Zn ve Cu içeriği mikoriza aşılması ile artmıştır. Sap ve danede ise element konsantrasyonunda düşüş sağlanmıştır. Kökte Cu kapsamı istatistiki olarak artmıştır. Cd'da topraktan bağımsız olarak sap ve danede içerik azalması ve kökte artış görülmüştür. Mikorizanın ağır metal alımına (toprağa bağlı olarak) belirgin etkisi olduğu görülmüştür.

Mikorizalı kültür bitkilerinin içindeki düşük metal konsantrasyonlarının bazı araştırmacılar tarafından bitkisel dokulardaki birkaç elementin kapsamının VAM tarafından az alınmasına neden olduğunu belirtmişlerdir (Loth ve Höffner 1994).

Mikorizalı bitkiler mikorizasızlarla kıyaslandığında, düşük metal dozu seviyelerinde alımın arttığını , yüksek dozlarda VAM kolonizasyonu ile birlikte Zn, Pb, ve Cu'nun bitki üst kısım konsantrasyonlarının azaldığını açıklamışlardır (El-Kherbawy ve ark.1989, Leyval ve ark.1991).

Yapılan bu araştırmada da ağır metal dozları arttıkça enfeksiyon azalmış ve VAM aşılmasıyla bitki üst kısmı ağır metal konsantrasyonları azalmıştır .

Ağır metal bağlanması, misellerde ya da hif hücre duvarlarında veya onu saran polisakarit salgılarında olmaktadır. Metallerin selüloz,kitin ve melanin içeren mantar hücre duvarı komponentlerine absorbe olduğu

bilinmektedir. Özetlemek gerekirse , mikorizaların bitkilere ağır metalin etkisinde önemli rol oynadığı belirtilmektedir. Genellikle düşük konsantrasyonlarda metal alımını ya artırmakta veya toksik konsantrasyonlarda alımı azaltmaktadırlar (Van Elsas ve Trevors 1997).

Metale karşı koruma mekanizması açık olmamasına rağmen, polifosfat granüllerince fiksasyon ve hücre duvarlarına tutunan mantar miselleriyle ağır metallerin olası tutulması şeklinde olmaktadır (Galli ve ark.1994).

Mikorizanın yulaf bitkisine uygulanan Cu, Zn ve Cd'un toprak, kök ve bitkideki durumlarına etkisini özetleyecek olursak, VA mikoriza aşılması ile Cu, Zn ve Cd'un büyük bir kısmının topraktan köke alınıp kökte tutulduğunu ve bitki üst aksamına daha az ağır metal geçtiğini ; dolaylı olarak mikorizanın beslenme zinciri içerisinde metallerin zararlı düzeylerini azaltarak canlı beslenme sistemine geçişte olumlu bir katkı sağladığı görülmüştür. Mikorizanın bitki kökünde bir filtre gibi görev yaptığını da söyleyebiliriz.

Mikoriza aşılması ile ağır metalle kirli olan topraklarda bu metallerin olumsuz etkileri azaltılabilir ve doğal popülasyon bozulmadan çevre kirliliğinin azaltılmasında mikorizalar kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Allen, M.F. 1991. The ecology of mycorrhizae. Great Britain at the University Press, Cambridge. p.184, ISBN 0-521 33551-1.
- Allinson, D.W. and Dzialo, C. 1981. The Influence of lead, cadmium and nickel on the growth of ryegrass and oats. *Plant And Soil* 62:81-89.
- Arines, J., Vilarino, A. and Sainz, M. 1989. Effect of different inocula of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on manganese content and concentration in red clover (*trifolium pratense* L.) plants. *New Phytol.* 112, 215-219.
- Baker, A.J.M. 1978. Zinc-Phosphorus interactions in a zinc-tolerant and non-tolerant population of *Silene maritima* Wilt. *New Phytologist.* 81, 331-340.
- Bjerre, G. K. and Schierup, H.H. 1985. Uptake of six heavy metals by oats as influenced by soil type and additions of cadmium, lead, zinc and copper. *Plant and Soil* 88, 57-69.
- Black, C.A. (Editor-In-Chief) 1965. Methods of soil analysis part 1-part 2, chemical and microbiological properties. Amer. Soc. Agr. Inc., Madison, Wisconsin, U.S.
- Bradley, R. Burt, A.J. and Read, D.J. 1981. Mycorrhizal infection and resistance to heavy metal toxicity in *Calluna vulgaris*. *Nature.* 292; 335-337.
- Bradley, R. Burt, A.J. and Read, D.J. 1982. The Biology of mycorrhiza in the Ericaceae. VIII. The role of mycorrhizal infection in heavy metal resistance. *New Phytologist.* 91; 197-209.
- Cabrera, D., Young, S.D. and Rowell, D.L. 1988. The toxicity of cadmium to barley plants as affected by complex formation with humic acid. *Plant and Soil* 105. 195-204
- Cooper, K.M. and Tinker, P.B. 1981. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizae. IV. Effect on environmental variables on movement of phosphorus. *New Phytol.* 88, 327-329.
- Day, P.R. 1956. Report of the committee on physical analysis. *Soil. Sci. Soc. Am.* p20, 167-169.
- Dueck, Th.A., Visser, P., Ernst, W.H.O. and Schat, H. 1986. Vesicular Arbuscular Mycorrhizae decrease zinc-toxicity to grasses growing in zinc-polluted soil. *Soil Biol. Biochem.* 18 (3), 331-333.
- El-Kherbawy, M. Angle, J.S. Heggo, A. and Chaney, R.L. 1989. Soil pH, rhizobia and VAM inoculation effects on growth and heavy metal uptake of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Biol. Fertil. Soils* 8; 61-65.

- Ergün, B. 1998. Tarım topraklarındaki doğal mikoriza potansiyelinin bitki gelişimi ve besin elementleri alımı üzerine etkilerinin araştırılması. Çukurova Ün.v. Yüksek lisans tezi. p. 69.
- Faber, B.A., R.J. Zasoski, R.G. and K. Urru. 1990. Zinc uptake by corn as affected by VAM. *Plant Soil* 129:121-130.
- Galli, U. Schüepp, H. and Brunold, C. 1994. Heavy metal binding by mycorrhizal fungi. *Physiol. Plant.* 92, 364-368.
- Gedikoğlu, İ. Kalınbacak, K., Yalçıklı, A. ve Yurdakul, İ. 1998. Bazı ağır metallerin topraktan ekstraksiyon yöntemlerinin karşılaştırılması ve buğday yetiştirilerek kalibrasyonu. Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Yıllığı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları TGAE Yayınları Yayın No:106.
- Gerdemann, J.W. 1964. The effect of mycorrhizas on the growth of maize. *Mycologia* 56, 342-349.
- Gerdemann, J.W. 1968. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. *Annual Review of Phytopathology* 6, 397-418.
- Gildon, A., and P.B. Tinker. 1981. A heavy metal-tolerant strain of a mycorrhizal fungus. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 77:648-649.
- Gildon, A. and P.B. Tinker. 1983 a. Interaction of VA Mycorrhizal colonization and heavy metals in plants: 1. the effects of colonization on uptake of copper. *New Phytol.* 95:263-268.
- Gildon, A., Tinker P.B. 1983 b. Interactions of vesicular- arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants. *New Phytol.*, 95: 247-261.
- Gilmore, A.E. 1971. The influence of endotrophic mycorrhizae on the growth of peach seedlings. *Journal of American Society of Horticulture Science* 96, 35-38.
- Gnekow, M.A. and Marschner, H. 1989. Influence of the fungicide pentachloronitrobenzene on va-mycorrhizal and total root length and phosphorus uptake of oats (*Avena Sativa*). *Plant and Soil* 114, 91-98.
- Graham, J.H. and Fardelmann, D. 1986. Inoculation of citrus with root fragments containing chlamydospores of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Can. Jour. of Botany* 64:1739-1744.
- Gray, L.E. and Gerdemann, J.W. 1973 Uptake of sulphur-35 by vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Plant and Soil* 39, 687-689.
- Güneş, A., Alpaslan, M. ve İnal, A. 2000. Bitki Besleme ve Gübreleme. Ank. Ün.v. Ziraat Fakültesi Yayın No:1514
- Gür, K. 1987a. Toprak Biyolojisi. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:10 Konya.

- Gür, K., 1987b. Vesiküler-Arbasküler (V.A) Mikorizanın Erzurum Yöresi Topraklarındaki Dağılımı Üzerine Bir Araştırma. TÜBİTAK Tarım ve Ormanlık Araştırma Grubu. 5. Türkiye Fitopatoloji Kongresi, 18-21 Ekim 1988, Antalya.
- Gür, K., Uyanöz., R., Akın, M., Özkan, V.K., 1993. V.A. Mikorizanın Konya Yöresi Topraklarındaki Dağılımı Üzerine Bir Araştırma. 8. Kükem kongresi (20-22 Eylül 1993-Ankara). KÜKEM Dergisi Cilt.16, sayı:2, Sa:126, Ankara.
- Haktanır, K.ve Arcak, S.1997. Toprak Biyolojisi (Toprak Ekosistemine Giriş) Ank.Ünv.Ziraat Fakültesi Yayın No:1486
- Hardiman, R.T. Jacoby, B. and Banin, A.1984. Factors affecting the distribution of cadmium, copper and lead and their effect upon yield and zinc content in bush beans. *Plant and Soil*.81, 17-27.
- Harley, J.L. and Harley,E.L.1987.A check-list of mycorrhiza in the British flora. *New Phytol* [suppl] 105:1-102.
- Hayman,D.S. and Mosse,B.1971. Plant growth responses to v.a.i.growth of endogone inoculated plants in phosphate deficient soils. *New Phytol*. 70:419-27.
- Hayman,D.S. and Mosse, B.1972 Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza.iii.increased uptake of labile p from soil.*New Phytologist* 71,41-47.
- Hayman, D.S.1978. Endomycorrhizas.In: Interactions between Non-pathogenic micro-organisms and plants (Ed.by.Y.R.Dommergues & S.V.Krupa).pp.401-442. Elsevier,Amsterdam.
- Hayman,D.S.1983 The physiology of vesicular-arbuscular endomycorrhizal symbiosis. *Canadian Journal Of Botany* 61,944-963.
- Haystead,A., Malajczuk, N. and Grove,T.S.1988. Underground transfer of nitrogen between pasture plants infected with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi.*New Phytologist* 108,417-423.
- Hepper, C..M.& Smith, G.A.1976. Observations on the germination of endogone spores.*Transactions of the British Mycological Society*.66,189-194.
- Hepper, C.M..1983. The effect of nitrate and phosphate on the vesicular-arbuscular mycorrhizal infection of lettuce. *New Phytologist* 92,389-399.
- Jackson, M.L.1962.*Soil chemical analysis*.Prentice Hall.Inc.
- Jakobsen, I.1983. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in field-grown crops.11.effect of inoculation on growth and nutrient uptake in barley at two phosphorus levels in fumigated soil. *New Phytol*. 94, 595-604.

- Jacobsen, I. and Rosendahl, L. 1990. Carbon flow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber plants. *New Phytologist* 115, 77-83.
- Jarvis, S.C. Jones L.H.P. and Hopper, M.J. 1976. Cadmium uptake from solution by plants and its transport from roots to shoots. *Plant and Soil* 44, 179-191.
- Jayachandran, K., Schwab, A.P. and Hetrick, B.A.D. 1992. Mineralization of organic phosphorus by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology And Biochemistry* 24, 897-903.
- Joner, E.J. and Leyval C. 1997. Uptake Of ^{109}Cd by roots and hyphae of a *Glomus mosseae* / *Trifolium subterraneum* mycorrhiza from soil amended with high and low concentrations of cadmium. *New Phytol.* 135:353-360 .
- Juste, C. 1988. Appreciation de la mobilite et de la biodisponibilite des elements en traces du Sol. *Sci Sol* 26:103-112 .
- Kacar, B. 1972. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri: 1. bitki analizleri s. 44-50 A.Ü. Ziraat Fakültesi yayınları. 453.
- Kellam, M. and Schenck, N.C. 1980 Interactions between a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus and root-knot nematode on soybean. *Phytopathology* 70, 293-296.
- Killham, K., and M.K. Firestone. 1983. VA Mycorrhizal mediation of grass response to acid and heavy metal deposition. *Plant Soil* 72:39-48.
- Killham, K. 1985. Vesicular-arbuscular mycorrhizal mediation of trace and minor element uptake in perennial grasses: relation livestock herbage. Ecological interactions in soil: plants, microbes, and animals. Blackwell, Palo Alto, Calif. pp 225-232.
- Koslowsky, D.D. and R.E.J. Boerner. 1989. Interactive effects of aluminum, phosphorus and mycorrhizae on growth and nutrient uptake of *panicum vergatum* L. *Environ. Pollut* 61:105-125.
- Kothari, S.K., Marschner, H. and Römheld, V. 1990. 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 Phytol.* 116, 637-645.
- Kothari, S.K., Marschner and Römheld V. 1991. Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. *Plant and Soil* 131:177-185.
- Krumbein, W.E. 1983. Microbial geochemistry. Blackwell, Oxford .
- Kucey, R.M.N. and Janzen, H. 1987. Effects of VAM and reduced nutrient availability on growth and phosphorus and micro-nutrient uptake of wheat and field beans under greenhouse conditions. *Plant And Soil* 104, 71-78.

- Lambert, D.H. and Baker D.E . 1979. The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorus with zinc, copper and other elements. Soil Sci.Soc.Am.J.,Vol,43.
- Leyval,C. Berthelin,J. Schontz, D. Weissenhorn, I.and Morel, J.L. 1991. Influence of endomycorrhizas on maize uptake of Pb, Cu, Zn and Cd applied as mineral salts or sewage sludges. In:Farmer,J.G(ed). Heavy metals in the environment. CEP Consultants, Edinburgh, pp.204-207.
- Lindsay,W.L.and Norvell,W.A.1978. Development of a dtpa soil test for zinc,iron,manganese and copper.Soil Sci.Am.J.42:421-428.
- Loth, F-G. und Höffner, W. 1994. Einfluss der VA-Mykorrhiza auf die schwermetallaufnahme von hafer(*Avena Sativa* L.) In abhängigkeit vom kontaminationsgrad der böden.institut für pflanzenern hrung der Justus-Liebig-Univeritat, Südanlage 6,D-35390 GießEn.
- Loth ,F.G.,Höffner, W. 1995 Einfluss der va-mykorrhiza auf die schwermetallaufnahme von hafer(*Avena Sativa* L.) In abhängigkeit vom kontaminationsgrad der böden.z pflanzenernaehr bodenk 158:339-345.
- Marschener,H.1995.Mineral nutrition of high plants .second edition.Academic Press London.1986.
- Mossea, B.1973. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. Annu.rev.Phytopathol.11:171-196.
- Nicolson,T.H.1960.Mycorrhiza in the gramineae. . Development in the different habitats, particularly sand dunes.Trans.Brit. Mycol.Soc.43,132-145.
- Nielsen, J.D.and Jensen, A.1983. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi on growth and uptake of various nutrients as well as uptake ratio of fertilizer P for Lucerne (*Medicago Sativa*). Plant And Soil 70, 165-172.
- Olsen,S.R., Cole,V.,Watanable,F.S. and Dean ,L.A.1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate.U.S.Dept.Of Agr.Cir.939.Washington,D.C.
- Olsen,S.R.1972. Micronutrient interactions.In:Micronutrients in Agriculture pp.243-264. Soil Science Society of America, Madison.
- Orta , . Ortak ı,D. Kayal ,Z.  ınar, A. ve  nelge, N.2001. Workshop on "Managing arbuscular mycorrhizal fungi for improving soil quality and plant health in agriculture. University of  ukurova ,Adana,Turkey.
-  zcan, H. Taban,S.1999. Vesiküler-Arb sk ler mycorrhiza'nın asit ve alkalın topraklarda yeti tirilen mısır bitkisinde fosfor alımına etkisi. Turk .J. Agric for 24(2000) 629-635.T B TAK.

- Paul, E.A. and Clark, F.E. 1989 Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, San Diego, California.
- Phillips, J.M. and Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society. 55, 158-161.
- Read, D.J. 1986 Non Nutritional Effects Of Mycorrhizal Infection. Pp. 169-176. In Gianinazzi-Pearson And S. Gianinazzi (Eds.) Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae. Inra Press, Paris.
- Rhodes, L.H. and Gerdemann, J.W. 1975 Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non mycorrhizal onions. New Phytologist 75, 555-561.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement saline and alkaline soils. U.S. Dep. Agr. Handbook 60.
- Rosendahl, C.N. and Rosendahl, S. 1990. The role of vesicular arbuscular mycorrhiza in controlling damping-off and growth reduction in cucumber caused by *Phytophthora ultimum*. Symbiosis 9, 363-366.
- Schüepp, H., Dehn, B. and Sticher, H. 1987. Interaktionen zwischen vaukorrhizen und schwermetallbelastungen. Angew Bot 61:85-95.
- Smilde, K.W. 1981. Heavy metal accumulation in crops grown on sewage sludge amended with metal salts. Plant and Soil, 62:3-14.
- Stribley, D. 1987. Mineral nutrition. In Ecophysiology of VA mycorrhizal plants. (Ed.) G.R. Safir, pp 59-69. CRC press. Boca Raton, FL
- Timmer, L.W. and Leyden, R.F. 1980 The relationship of mycorrhizal infection to phosphorus-induced copper deficiency in sour orange seedlings. New Phytologist 85, 15-23.
- Tinker, P.B. 1980. Role of rhizosphere microorganisms in phosphorus uptake by plants. In: The Role of phosphorus in Agriculture (Ed. by F.E.K. Wasahneh, E.C. Sample & E.J. Kamprath). pp. 617-654. American Society of Agronomy, Madison.
- Treeby, M.T. 1992 The role of mycorrhizal fungi and non-mycorrhizal microorganisms in iron nutrition of citrus. Soil Biology And Biochemistry 24, 857-864.
- Turnau, K., Kottke, I. and Oberwinkler, F. 1993. Element localization in mycorrhizal roots of *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn collected from experimental plots treated with cadmium dust. New Phytol. 123:313-324.
- US Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. Agriculture Handbook, 60.
- Van Elsas, J.D. and Trevors, J. T. 1997. Mycorrhizae. Modern soil microbiology. ISBN 0-8247- 9436-2 (Alk. Paper).

- Walker, C.1985. Mycorrhizal growth enhancement in sitka spruce seedling differs in non-sterile compared to sterilized soil. In proceedings of 6th North American Conference on Mycorrhizae.(Ed) R.Molina.Oregon.
- Weissenhorn, I., Leyval, C.,Belgy, G. and Berthelin, J. 1995. Arbuscular mycorrhizal contribution to heavy metal uptake by maize (*Zea Mays L.*) In pot culture with contaminated soil. Mycorrhizae 5: 245-251.
- Yurtsever,N.1984. Deneysel istatistik metotlar. Tarım Orman Ve Köyşleri Bakanlığı.Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları.Toprak Ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları,Yayın No:121.

Ek.1

Foto.1 VAM ile aşılanan soğan bitkisinden aşılama materyali üretimi



Foto.2a. Soğan bitkisi köklerinde VAM enfeksiyonu (10x40 büyütme, orijinal)

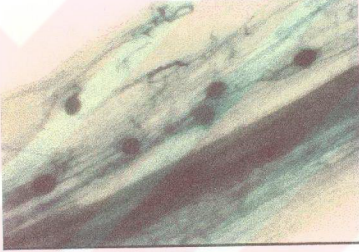
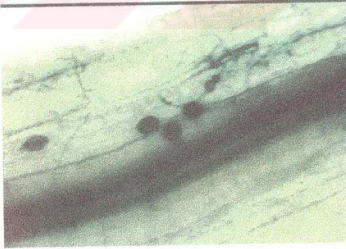


Foto.2.b Soğan bitkisi köklerinde VAM enfeksiyonu(10x40 büyütme, orijinal)



Ek.2.

Foto.3.a VAM ile aşılı Cu uygulaması yapılan yulaf bitkilerinin görünümü

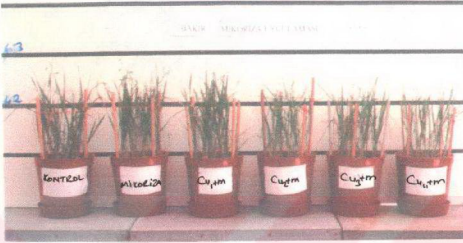


Foto.3.b VAM ile aşılı Zn uygulaması yapılan yulaf bitkilerinin görünümü



Foto.3.c VAM ile aşılı Cd uygulaması yapılan yulaf bitkilerinin görünümü



Ek.3.

Foto.3.a VAM ile aşıllı ve aşısız Cu uygulaması yapılan yulaf bitkilerinin görünümü



Foto.3.b VAM ile aşıllı ve aşısız Zn uygulaması yapılan yulaf bitkilerinin görünümü



Foto.3.c VAM ile aşıllı ve aşısız Cd uygulaması yapılan yulaf bitkilerinin görünümü



ÖZGEÇMİŞ

Elazığ'da 1967 yılında doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 1986 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü'nden Biyolog ünvanıyla 1990 yılında mezun oldu. Aynı yıl Kredi ve Yurtlar Kurumu'nda Yurt Yönetim Memuru olarak görev yaptı. 1993 yılında Tarsus Araştırma Enstitüsü'nde Toprak Yönetimi bölümünde çalıştı.

1996 yılından beri Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü'nde Toprak Mikrobiyolojisi alanında çalışmaktadır. Şubat 1998'de Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.