

Effect of Different Mycorrhizal Inoculations and Phosphorus Doses on Vetch (*Vicia sativa*) Growth under Greenhouse Conditions

Ferhat YILDIRIM¹, Cenap CEVHERİ², Çiğdem KÜÇÜK^{2,*}

¹Harran University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Şanlıurfa, TÜRKİYE

²Harran University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, Şanlıurfa, TÜRKİYE

ORCID ID: Ferhat YILDIRIM: <https://orcid.org/0009-0006-9399-8245>; Cenap CEVHERİ: <https://orcid.org/0000-0002-3759-4645>;

Çiğdem KÜÇÜK: <https://orcid.org/0000-0001-5688-5440>

Received: 08.03.2024

Accepted: 13.05.2024

Published online: 30.06.2024

Issue published: 30.06.2024

Abstract: Many plants can establish symbiotic relationships with arbuscular mycorrhizal fungi in the soil to promote plant growth and nutrient uptake. In this study, the effects of different mycorrhizal preparations (Mikostar, Endo Roots, and *G. mosseae*) and different phosphorus doses on the development of common vetch were examined. The experiment was set up according to the random plot design with 3 replications. The effects of the treatments on plant height, green part weight, root weight, root length, chlorophyll content of the leaves, root infection rate of mycorrhizae, and the uptake of some macro- and micro-nutrients were investigated. The effects of the treatments on plant height, green parts and root dry weight, root length, and root infection percentages were found to be different. As a result of the combined application of increasing doses of phosphorus and mycorrhizal inoculants, the effect of mycorrhiza decreased with increasing doses of phosphorus. The results showed the positive effect of inoculating mycorrhiza with low phosphorus dose or alone on the plant.

Keywords: Arbuscular Mycorrhizal fungi, phosphorus, symbiosis, biofertilizer.

Sera Koşullarında Farklı Mikorizal Aşılamanın ve Fosfor Dozlarının Fiğ (*Vicia sativa*) Gelişimine Etkisi

Öz: Çoğu bitki, bitki büyümesini ve besin alımını teşvik etmek için topraktaki arbusküler mikorizal mantarlar ile simbiyotik ilişkiler kurabilir. Bu çalışmada farklı mikorizal preparatların (Mikostar, Endo Roots ve *G. mosseae*) ve farklı fosfor dozlarının adi fiğ gelişimi üzerine etkileri incelenmiştir. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekrerrülü olarak kurulmuştur. Bitki boyu, uygulamaların sürgün ağırlığı, kök ağırlığı, kök uzunluğu, yaprakların klorofil içeriği, mikorizanın kök enfeksiyon oranı ve bazı makro ve mikro besin elementlerinin alınma etkileri araştırılmıştır. Uygulamaların bitki boyu, sürgün ve kök kuru ağırlığı, kök uzunluğu ve kök enfeksiyon yüzdeleri üzerine etkisi farklı bulunmuştur. Artan dozlarda fosfor ve mikorizal aşılamanın birlikte uygulanması sonucunda, artan fosfor dozlarıyla mikorizanın etkisi azalmıştır. Sonuçlar mikorizanın düşük fosfor dozu veya tek başına aşılamanın bitki üzerinde olumlu etkisini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Arbusküler Mikorizal fungi, fosfor, simbiyosiz, biyogübre.

1. Giriş

Bitkisel üretimde önemli rol oynayan temel besinlerden biri fosfordur (P). Toprakta bitkilerin doğrudan kullanabileceği yeterli miktarda P bulunmamaktadır. P, toprakların çoğunda organik moleküllere veya mineral yüzeylere bağlanır veya çözünmeyen fosfat halinde çöker. Ayrıca P'nin topraktaki hareketliliği düşük olduğundan bitkilerin P'den yararlanması da oldukça zordur (Wipf et al., 2019). Bu durumda toprakta eksik veya yeterli miktarda bulunmayan P'den bitkinin yararlanamaması bitki gelişmesini sınırlandırmaktadır (Xie et al., 2021). Bitkilerin topraktan besin alımı için iki yol vardır: kök epidermal hücreleri yoluyla (doğrudan) ve arbusküler mikorizal mantarlarla ilişkiler yoluyla (El-Sherbeny et al., 2022). Günümüzde artan nüfus ile birlikte gıda ihtiyacını karşılamak için tarımsal üretimin artırılması amacıyla kimyasal gübreler bilinçsiz ve gereğinden fazla kullanılmaktadır. Kimyasal gübrelerin üretim maliyetleri oldukça yüksektir ve çevreye zararlı etkileri vardır. Bu nedenle, bitkisel verimi artırabilen ve üretim maliyetini düşürebilen çevre dostu sistemler olarak mikroorganizmaların gübre yerine kullanımına olan ilgi son yıllarda artmıştır. Son zamanlarda mikroorganizmaların biyogübre olarak kullanılması; daha

düşük maliyetli üretim, çevresel sürdürülebilirliğin ve verimin artırılması açısından umut verici alternatifler olarak ortaya çıkmıştır (El-Sherbeny et al., 2022). Arbusküler mikorizal mantarlar, karasal bitkilerin yüzde 85'inden fazlası ile simbiyotik ilişkiler oluşturmaktadır (Deng et al., 2017). Mikorizal simbiyozların; mineral ve su alımını, kök mimarisini iyileştirerek bitki büyümesini ve stres toleransını artırarak bitki ve topraklara birçok açıdan fayda sağladığı rapor edilmiştir (Parihar et al., 2019).

Yapılan çalışmalarda; uygulanan ekim sistemlerinin toprakta mikoriza mantar topluluklarının çeşitliliğini ve bolluğunu, bitki köklerinin morfolojik özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek bitkilerin kök yolu ile besin emilimini olumsuz yönde etkilediği rapor edilmiştir (Hou et al., 2021; Song et al., 2016). Genel olarak bitki ve mikoriza etkileşimi, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin iyileştirilmesinde etkili bulunmuştur (El-Sherbeny et al., 2022). Mikorizanın, rizosfer toprağında farklı mekanizmaları kullanarak farklı metabolitler ürettiği bildirilmiştir (Golubkina et al., 2020). Mikoriza tarafından üretilen organik asitin fosforu çözebildiği açıklanmıştır (Eldhuse et al., 2007). Mikoriza mantarlarının verimliliğinin artırılmasına katkıda bulduklarından ortamdaki besin maddelerinin bitkiye iletilmesinde de rol oynadıkları rapor

edilmiştir (Kameoka et al., 2019). Bu çalışmada, doğal ve ticari olarak satılan mikoriza inokulantlarının farklı dozlardaki fosfor gübrelemesi ile adi fiğın gelişimine olan etkisinin sera koşullarında değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmamızda bitki materyali olarak, adi fiğ (Cumhuriyet 99 çeşidi) tohumu kullanılmıştır. Kullanılan mikorizal inokulasyonlardan biri doğal (*Glomus mosseae*; Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü'nden temin edilmiştir) diğer ikisi ticari (Mikostar BTH-100; içerik olarak *Glomus* sp. ailesi karışımından oluşmaktadır ve Endo Roots Soluble; içerik olarak 9 arbusküler mikoriza türünden oluşmaktadır; *Glomus intraradices*, *G. mosseae*, *G. aggregatum*, *G. clarum*, *G. monosporum*, *G. deserticola*, *G. brasilianum*, *G. etunicatum* ve *Gigaspora margarita*) olup, satın alınmıştır. Denemede kullanılan saksılar (2 kg) torf ve perlit (1:1) karışımı ile doldurulmuştur.

2.1. Denemenin kurulması

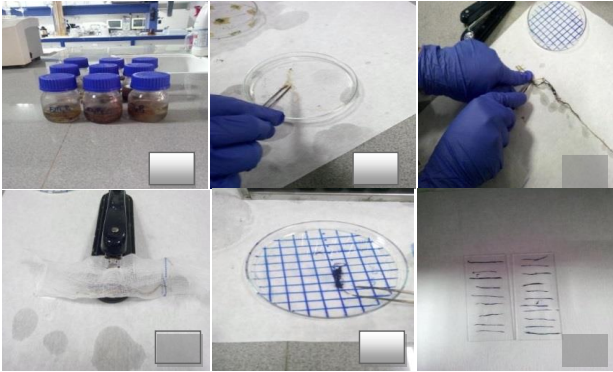
Mikoriza uygulamaları saksılara ayrı ayrı (*Glomus mosseae* ve Mikostar) tohum yatağının altına uygulanmış, Endo Roots ise kullanım talimatına göre tohumlar ile bulaştırılmıştır. Her bir saksıya ekim ile birlikte yüzey sterilizasyonu yapılan tohumlar ekilmiştir. Ayrıca ayrı ayrı sırasıyla farklı dozlarda 0, 0.2, 0.4 ve 0.6 g/kg P₂O₅ uygulanmıştır. Çalışma, tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak serada yürütülmüş, ekimden 14 hafta sonra hasat yapılmıştır. Hasat sonunda bitki boyu, kök uzunluğu, sürgün yaş ve kuru ağırlık, kök yaş ve kuru ağırlık, klorofil tayini, köklerde mikorizal kolonizasyon, bitkilerde element analizi belirlenmiştir (Chen et al., 2017).

2.2. Klorofil tayini

Hasat sırasında uygulamalara ait yaprak örnekleri alınmış, klorofil tayini yapılmıştır (Arnon, 1949). Yaprak örnekleri aseton: su karışımında homojenize edilmiş, içerik santrifüjlenmiş ve süzük spektrofotometrede okunmuştur. Sonuç mg/l olarak hesaplanmıştır.

2.3. Mikorizal kök kolonizasyon sayımı (%)

Hasat sırasında uygulamalara ait kök örneklerinde mikoriza enfeksiyonu için kökler alkol içeren kavanozlara yerleştirilmiştir (Koske & Gemma 1989). Boyama işlemi sonunda (Şekil 1) örnekler ışık mikroskopunda incelenmiş, kök enfeksiyonu hesaplanmıştır (Giovannetti & Mosse, 1980).



Şekil 1. Mikoriza koloni sayımında köklerin boyanması

Figure 1. Staining of roots in mycorrhizal colony counting

2.4. Bitkideki element analizleri

Mikro besin analizleri Harran Üniversitesi Merkez Laboratuvarında yapılmıştır. Kurutulup ve öğütülen bitki örneklerine (1 g); nitrik asit -perklorik asit eklenerek yaş yakma yapılmış, indüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES; PerkinElmer Optima 5300 DV) ile Mg, K, Fe, Cu, Zn ve Mn elementlerinin miktarı belirlenmiştir.

2.5. İstatistik Analiz

Uygulamalara ait sonuçlar JMP11 paket programı kullanılarak analiz edilmiş, uygulamaların karşılaştırmasında çoklu karşılaştırma testlerinden students-t testi kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Mikorizal mantarların bitkilerin büyük kısmı ile ortaklık oluşturduğu bilinmektedir (Chen et al., 2017). Mikoriza ile kök kolonizasyonunun bitkiye birçok yarar sağladığı; bitkinin besin maddesini arttırdığı, çeşitli hastalıklara, kuraklık, ağır metallere karşı toleransını artırarak gelişimi ve sağlığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu yapılan çalışmalarda açıklanmıştır (He et al., 2017; Wang et al., 2008). Mikoriza hiflerinin, zayıf köklere sahip olan bitkiye, besin sağlayarak fide oluşumuna ve gelişimine katkıda bulunduğu bildirilmiştir (Parihar et al., 2019). Mikorizal birliktelik oluşturmanın bitki büyümesi üzerindeki olumlu etkileri simbiyozun temel faydalarından biri olarak kabul edilmektedir ve bu etkiler çeşitli bitki türlerinde kapsamlı olarak incelenmiştir (Bowles et al., 2016; Nguyen et al., 2019). Çalışmamızda, fiğın biyokütlesinin artması açısından mikorizal mantar aşılmasının faydaları, düşük P konsantrasyonu altında en fazla olmuştur. Fiğın yeşil aksam ve kök kuru ağırlığı kontrol ile karşılaştırıldığında fosfor dozları ve mikoriza inokulasyonuna olumlu tepki verdiği belirlenmiştir (Tablo 1). P'un farklı dozları hem yeşil aksam hem de kök kuru ağırlığını kontrole göre artırmıştır. Mikorizal inokulasyon ile P dozları birlikte uygulandığında; biyokütle ağırlıkları uygulamalara göre farklılık göstermiştir. Fosforlu gübrenin düşük dozu ve mikorizal inokulasyon yeşil aksam ve kök kuru ağırlığını artırmıştır (Tablo 1). Mikorizal inokulasyon ile düşük P dozunda en yüksek kuru ağırlık belirlenmiştir. En yüksek yeşil aksam kuru ağırlık Endoroot inokulasyonu ve düşük P dozunda alınmıştır. En düşük değer kontrol grubunda elde edilmiştir. Göreceli olarak mikorizal aşılama, üç P dozu ile karşılaştırıldığında kontrole göre yeşil aksam ve kök ağırlıklarında artışlara neden olmuştur (Tablo 1).

Sonuçlarımızı diğer bitki türlerinde yapılan daha önceki çalışmalar doğrulamaktadır (Ortaş et al., 2011; Tawaraya et al., 2012). Jansa et al. (2008) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, *Allium porrum*'un aşılansın üç farklı mikoriza türü ile gelişiminin kontrole göre önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Mikorizal aşılama veya mikorizasız uygulama ile farklı P dozları fiğ yapraklarının klorofil içeriğini etkilemiştir (Tablo 1). Elde edilen sonuçlar aşılansın bitkilerdeki klorofil içeriğinin kontrole göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. En yüksek klorofil içeriği Endoroot ile aşılama ve 0.4 g/kg P₂O₅ dozunda, en düşük klorofil içeriği ise kontrolde belirlenmiştir. Düşük fosfor dozu ve mikorizal inokulasyon klorofil içeriğini arttırmıştır.

Tablo 1. Farklı mikorizal inokulasyonların temel bitki parametrelerine etkileri

Table 1. Effects of different mycorrhizal inoculations on basic plant parameters

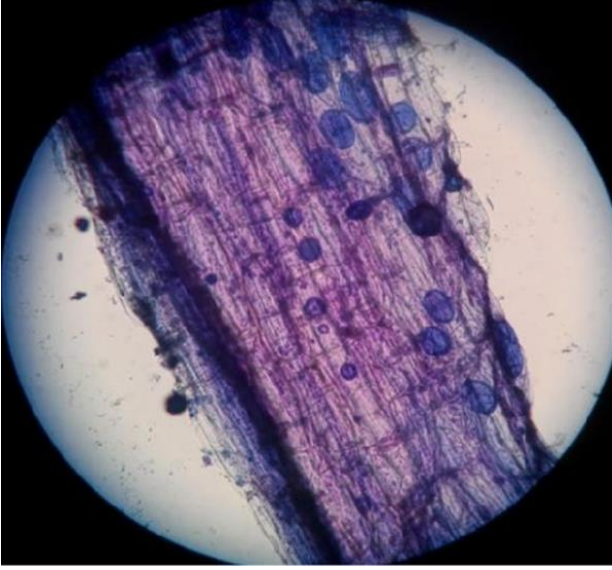
P ₂ O ₅ Dozu (g/kg)	kontrol	Mikostar	Endoroot	<i>G. mosseae</i>
bitki boyu (cm)				
0	44.71*	57.17e	47.3k	55.03g
0.2	50.7ı	64.6 a	51.3ı	61.4c
0.4	53.3h	62.57b	58.8d	56.03f
0.6	43.1m	49.3j	61.17c	55.47fg
LSD: 0.92				
kök uzunluğu (cm)				
0	8.8k	11.7j	13.5ı	20ef
0.2	15.8h	23.3c	28.7a	23.5c
0.4	17.6g	17.7g	28.7a	23c
0.6	20.8de	19.5f	21.5d	22.9c
LSD: 1.105				
bitki kuru ağırlığı (g/bitki)				
0	0.24m	1.07g	0.85hı	0.77k
0.2	0.80j	1.64d	2.34a	1.82b
0.4	0.84ı	1.63d	1.77c	1.79b
0.6	1.29f	0.72 l	1.41e	0.87h
LSD: 0.026				
kök kuru ağırlığı (g/bitki)				
0	0.07g	0.20def	0.10g	0.16efg
0.2	0.14fg	0.57a	0.57a	0.23cde
0.4	0.23cde	0.37b	0.27cd	0.20efg
0.6	0.50a	0.30bc	0.15efg	0.16efg
LSD: 0.09				
klorofil a (mg/g kuru ağırlık)				
0	14.0 ı	20.02g	20.85g	20.75g
0.2	15.23hı	29.5cd	34.29a	31.51b
0.4	16.4h	28.33cde	29.91bc	30.22bc
0.6	27.33e	27.67de	23.88f	20.94g
LSD: 0.18				
klorofil b (mg/g kuru ağırlık)				
0	6.12ı	8.83fg	11.16cde	9.7efg
0.2	6.59hı	19a	15.97b	16.31b
0.4	8.11gh	14.96b	11.85cd	12.14cd
0.6	10.52def	12.89c	12cd	10.50def
LSD: 1.80				

*Farklı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir ($p \leq 0.05$).

He et al. (2017) farklı mikoriza türleri ile yaptığı çalışmalarında; yer fıstığı ve domatesin klorofil içeriği ve gelişmesi üzerinde mikoriza türlerinin etkilerinin farklı olduğunu bulmuşlardır. *Funnelformis mosseae* ve *Rhizophagus intraradices*'in keçiboynuzu fidelerinde bitki büyümesi, klorofil ve besin içeriğine etkileri araştırılmıştır (Yang et al., 2014). Araştırmacılar farklı mikoriza türleri ile aşılamanın; incelenen özellikleri kontrole göre arttırmalarına rağmen, bitki özelliklerine farklı mikoriza türlerinin benzer etki gösterdiğini saptamışlardır. Akasya fidelerinin gelişme ve klorofil içeriğinde *G. versiforme* ile aşılamanın aşısızlara göre daha etkili olduğunu

saptamışlardır (Zhu et al., 2014). Kullandığımız mikorizal inokulasyonların fiğ üzerindeki etkilerinin farklı olması araştırmacıların bulguları tarafından desteklenmektedir. Mikorizanın, bitki köklerini farklı şekilde kolonize ederek, bitki büyümesi, bitki ağırlığı ve fotosentez üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir (Parihar et al., 2019; Wang et al., 2008). Çeşitli araştırmalarda yüksek P konsantrasyonuna sahip topraklarda mikoriza kolonizasyonunun azaldığı belirlenmiştir (Parihar et al., 2019). Kimyasal gübrelerin uygulanması ile topraktaki mevcut P içeriği, bu çalışmada da olduğu gibi farklı uygulamalarda kolonizasyon oranlarını etkileyen ana sınırlayıcı faktör olarak

açıklanmıştır (Dejena et al., 2022). Farklı fosfor dozları ve mikorizal inokulasyonun kök kolonizasyon yüzdesini gösteren değerler Tablo 2'de verilmiştir. Mikorizal inokulasyon sonrası köklerdeki % kolonizasyon %73.3-100 arasında değişmiştir (Tablo 2). *G. mosseae* ile aşıllı kökteki spor görünümü Şekil 2'de verilmiştir. P'un mikorizal kolonizasyon üzerindeki önleyici rolü yapılan çalışmalarda da açıklanmıştır ancak bitkiye ve mikoriza türüne göre değişiklik gösterdiği bildirilmiştir (Smith et al., 2011; Higo et al., 2020). Fiğ köklerinde mikorizal kolonizasyon hem aşılama mikoriza çeşidine hem de uygulanan fosfor dozuna bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Çalışmamızda düşük fosfor dozu mikoriza oluşumuna olanak sağlamış, fosfor dozunun artması ile kolonizasyonda azalma görülmüştür.



Şekil 2. Fiğ kökündeki arbusküler mikorizal mantarlar sporlarının mikroskopik görünümü (40x)

Figure 2. Microscopic view of arbuscular mycorrhizal fungi spores on vetch root (40x)

Yüksek kolonizasyon seviyeleri mikorizal yoldan daha güçlü bir fosfor alınmasına yol açabilir. Bizim çalışmamızda da düşük fosfor dozunda yüksek kolonizasyonun görülmesi bitkinin topraktaki P'den daha fazla faydalanabileceği şeklinde düşünülmektedir. Artan P dozu ile mikorizal kolonizasyon yüzdesi (Tablo 3). Xu et al. (2014) ve Nagy et al. (2009) tarafından yapılan çalışmalarda yüksek P dozlarının kök ağırlığının azalmasıyla köklerdeki mikorizal kolonizasyon yüzdesinin azalmasıyla paralel olduğu bildirilmiştir. Ayrıca bitki tarafından üretilen sinyallerin, mikoriza mantarları ile simbiyoz aracılığıyla bitkinin yeterli fosfora sahip olduğunda mikorizaya karbon dağıtımını durdurabileceği belirlenmiştir. Bu durum mantar hiflerinin gelişimini azaltmış, mikoriza mantarlarının köklerdeki kolonizasyonunu da baskıladığı bildirilmiştir (Smith et al., 2011). Mikoriza gelişiminin kısmen, hif dallanmasına ve mikoriza sporlarının çimlenmesinde etkili olduğu düşünülen bitki kaynaklı bir kök sızıntısı olan strigolakton tarafından kontrol edildiği Balzergue et al. (2011) tarafından saptanmıştır. Toprak çözeltisinde bitkilerde mevcut P konsantrasyonu yüksek olduğunda strigolakton üretiminin azaldığı saptanmıştır (Yoneyama et al., 2007). Çalışmamızda da artan fosfor dozlarındaki kolonizasyon yüzdesinin düşük olması kökler tarafından salgılanan bileşiklerin az olmasından kaynaklanabilir.

Uygulamaların, fiğdeki bazı mikro besin (Cu, Fe, Mn, Zn) içeriği Tablo 3'de verilmiştir. Fe ve Cu içeriği en yüksek Endoroot ve 0.6 g/kg P₂O₅ dozunun birlikte uygulamasında alınırken, Mn içeriği en yüksek 0.2 g/kg P₂O₅ ve *G. mosseae*'nin inokulasyonunda, Zn içeriği en yüksek Mikostar ve Endoroot inokulasyonunun artan fosfor dozlarında belirlenmiştir. Çalışmamızda, farklı mikorizal aşılamanın yapılan araştırmalarla uyumlu olarak K, Ca, Cu, Fe, Mn, Mg, Zn alımını olumlu etkilediği belirlenmiştir (Tablo 3). (Chen et al., 2017; Wang et al., 2008; Ortas et al., 2011). Zubek et al. (2015) tarafından yapılan çalışmada; mikoriza aşılama bitkideki Cu, Mg konsantrasyonlarını artırabileceği tespit edilmiştir.

Tablo 2. Farklı mikorizal inokulantlar ile aşılama sonucunda belirlenen kök kolonizasyonu yüzdesi

Table 2. Percentage of root colonization determined as a result of inoculation with different mycorrhizal inoculants

FosforDozu (g/kg)	Mikorizal kolonizasyon (%)		
	Mikostar	Endo Roots	<i>G.mosseae</i>
0	100	86.6	93.3
0.2	93.3	93.3	100
0.4	80	86.6	86.6
0.6	80	86.6	73.3

Tablo 3. Farklı mikorizal inokulasyonların bazı makro ve mikro besin element alınmasına etkileri

Table 3. Effects of different mycorrhizal inoculations on macro and micronutrient uptake

P ₂ O ₅ dozları (g/kg)	kontrol	Mikostar	Endoroot	<i>G. mosseae</i>
Cu (ppm)				
0	6.96 l	8.71k	10.5h	10.95g
0.2	9.20j	9.93 i	9.83 i	8.56 k
0.4	10.81 g	15.95 b	17.20a	11.97f
0.6	6.25 m	12.62 e	14.65 c	14.38 d

Tablo 3. (Devamı)

Table 3. (Continued)

P ₂ O ₅ dozları (g/kg)	kontrol	Mikostar	Endoroot	<i>G.mosseae</i>
Fe (ppm)				
0	85.55 k	201.4g	216.7f	119.6j
0.2	114.9j	232.8e	380.5b	230.1e
0.4	121.47j	278.9c	427.4a	270cd
0.6	150.50i	263.9d	381b	182.6h
Mn (ppm)				
0	26.2 i	24.85 j	41.19e	33.14g
0.2	26.6k	43.88c	45.84b	50.72a
0.4	30.64h	45.7b	34.24f	37.9e
0.6	37.41e	41.84d	43.76c	41.40d
Zn (ppm)				
0	61.6b	49.4f	53.9c-f	50.3ef
0.2	58.5bcd	57b-e	58.9bc	51.8def
0.4	60.9bc	77.9a	58.2bcd	56.3b-f
0.6	60.5bc	84.9a	84.7a	54.7b-f
Na				
0	4400 j	5010 e	40.45 l	4751.3 g
0.2	5201.7 d	9880.7 a	4622 h	5942.3 c
0.4	4996 e	5020.3 e	6271.7 b	5043.7 e
0.6	4171.3 k	4495 i	5043.7 e	4890.3 f
K				
0	30630.7 d	24279.7 i	19412.3 m	17206.7 p
0.2	35770 b	43739.7 a	20723 k	23540.3 j
0.4	33893.7 c	18580 o	24406.3 h	28454ç.3 f
0.6	27160 g	19200 n	20140 l	28751 e
Ca				
0	31162 i	35906.3 gh	35169 h	44782.3 d
0.2	37540.7 fg	68412 a	41190 e	47359.7 c
0.4	30209.7 i	44241.3 d	35252 h	37479.3 fg
0.6	35540.3 h	41169.3 e	51472.3 b	37140 f
Mg				
0	4309.7 efg	4613 d-g	4340.3 efg	4744.7 c-f
0.2	7458.3 a	7458.3 a	4859.7 cde	5384.7 c
0.4	4008 g	5278 cd	4420 efg	3925.3 g
0.6	4780.7 c-f	5184.3 cd	6340.3 b	5191 cd

4. Sonuç

Fiğ bitkisinin farklı mikorizal inokulantlar ile aşılmasının bitki ağırlığını, kök uzunluğunu, bitki boyunu ve topraktaki besin maddelerinin emilimini artırabildiği belirlenmiştir. Fosfor dozu kökte mikorizal kolonizasyonu etkilemiştir. Farklı mikorizal inokulasyonların topraktaki mikrobeyin elementlerinin alınımında da farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Küresel gıda ihtiyacı nüfusun artışı ile büyük bir sorun olacağından, mikorizanın kimyasal gübre yerine kullanımını bitkisel üretiminin artırılmasında alternatif olabilir. Bununla birlikte, mikorizal inokulasyonun bitki beslenmesindeki önemini ve gübre olarak kullanımını artırmak, tarımsal uygulamaların olumsuz çevresel etkilerini potansiyel

olarak azaltmak için yapılacak daha fazla araştırmaya gereksinim vardır.

Teşekkür: Bu çalışma Harran Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri birimi (HÜBAP) tarafından 13150 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir.

Etik kurul onayı: Bu çalışma için etik kurul onayı alınmasına gerek yoktur.

Çıkar çatışması: Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Yazar Katkısı: Fikir/Kavram - C.C.; Tasarım - C.C., Ç.K.; Denetleme/Danışmanlık - C.C., F.Y.; Kaynaklar/Fon Sağlama - Harran Üniversitesi; Materyaller - Harran Üniversitesi; Veri

Toplama veya İşleme - F.Y.; Analiz Yorumlama - Ç.K., F.Y.; Kaynak Taraması - C.C., Ç.K.; Makalenin Yazımı - Ç.K.; Eleştirel İnceleme - C.C., Ç.K.

Kaynaklar

- Arnon, D.T. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Balzergue, C., Puech-Pages, V., Becard, G., & Rochange, S.F. (2011). The regulation of arbuscular mycorrhizal symbiosis by phosphate in pea involves early and systemic signalling events. *Journal of Experimental Botany*, 62(3), 1049-1060. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq335>
- Bowles, T.M., Barrios-Masias, F.H., Carlisle, E.A., Cavagnaro, T.R., & Jackson, L.E. (2016). Effects of arbuscular mycorrhizae on tomato yield, nutrient uptake, water relations, and soil carbon dynamics under deficit irrigation in field conditions. *Science of the Total Environment*, 566, 1223-1234. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.178>
- Chen, S., Zhao, H., Zou, C., Li, Y., Chen, Y., Wang, Z., Jiang, Y., Liu, A., Zhao, P., Wang, M., & Ahammed, G.J. (2017). Combined inoculation with multiple arbuscular mycorrhizal fungi improves growth, nutrient uptake and photosynthesis in cucumber seedlings. *Frontiers Microbiology*, 8, 2516. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02516>
- Dejena, L., Ramirez-Serrano, B., Rivero, J., Gamir, J., Lopez-Raez, J.A., & Pozo, M.J. (2022). Phosphorus availability drives mycorrhiza induced resistance in tomato. *Front. Plant Science*, 13, 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1060926>
- Deng, Y., Feng, G., Chen, X.P., & Zou, C.Q. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungal colonization is considerable at optimal Olsen-P levels for maximized yields in an intensive wheat-maize cropping system. *Field Crop Research*, 209, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.04.004>
- Eldhuse, T.D., Swensen, B., Wickstrøm, T., & Gro, W. (2007). Organic acids in root exudates from *Picea abies* seedlings influenced by mycorrhiza and aluminum. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170, 645-648. <https://doi.org/10.1002/jpln.200700005>
- El-Sherbeny, T.M.S., Mousa, A.M., & El-Sayed, R. (2022). Use of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization to improve the yield of onion (*Allium cepa* L.) plant. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(1), 331-338. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.094>
- Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Roots. *New Phytologist*, 84, 489-500. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>
- Golubkina, N., Krivenkov, L., Sekara, A., Vasileva, V., Tallarita, A., & Caruso, G. (2020). Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi utilization in production of *Allium* plants. *Plants*, 9(2), 279. <https://doi.org/10.3390/plants9020279>
- He, L., Li, C.Y., & Liu, R.J. (2017). Indirect interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and *Spodoptera exigua* alter photosynthesis and plant endogenous hormones. *Mycorrhiza*, 27, 525-535. <https://doi.org/10.1007/s00572-017-0771-2>
- Higo, M., Azuma, M., Kamiyoshihara, Y., Kanda, A., Tatewaki, Y., & Isobe, K. (2020). Impact of phosphorus fertilization on tomato growth and arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Microorganisms*, 8(2), 178. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8020178>
- Hou, L., Zhang, X., Feng, G., Li, Z., Zhang, Y., & Cao, N. (2021). Arbuscular mycorrhizal enhancement of phosphorus uptake and yields of maize under high planting density in the black soil region of China. *Scientific Reports*, 11, 1100. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80074-x>
- Jansa, J., Smith, F.A., & Smith, S.E. (2008). Are there benefits of simultaneous root colonization by different arbuscular mycorrhizal fungi? *New Phytologist*, 177(3), 779-789. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02294.x>
- Kameoka, H., Maeda, T., Okuma, N., & Kawaguchi, M. (2019). Structure-Specific Regulation of Nutrient Transport and Metabolism in Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Plant Cell Physiology*, 60, 2272-2281. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcz122>
- Koske, R.E., & Gemma, J.N. (1989). A Modified Procedure for Staining Roots to Detect VA Mycorrhizas. *Mycological Research*, 92(4), 486-488. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(89\)80195-9](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(89)80195-9)
- Nagy, R., Drissner, D., Amrhein, N., Jakobsen, I., & Bucher, M. (2009). Mycorrhizal phosphate uptake pathway in tomato is phosphorus-repressible and transcriptionally regulated. *New Phytologist*, 181, 950-959. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02721.x>
- Nguyen, T.N., Cavagnaro, T.R., & Watts-Williams, S.J. (2019). The effects of soil phosphorus and zinc availability on plant responses to mycorrhizal fungi: a physiological and molecular assessment. *Scientific Reports*, 9, 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51369-5>
- Ortaş, I., Nebahat, S., Akpınar, C., & Halit, Y. (2011). Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*, 128, 92-98. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.12.014>
- Parihar, M., Meena, V.S., Mishra, P.K., Rakshit, A., Choudhary, M., Yadav, R.P., Rana, K., & Bisht, J.K. (2019). Arbuscular mycorrhiza: a viable strategy for soil nutrient loss reduction. *Archives Microbiology*, 201, 723-735. <https://doi.org/10.1007/s00203-019-01653-9>
- Smith, S.E., Jakobsen, I., Gronlund, M., & Smith, F.A. (2011). Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. *Plant Physiology*, 156, 1050-1057. <https://doi.org/10.1104/pp.111.174581>
- Song, Y., Rui, Y., Bedane, G., & Li, J. (2016). Morphological characteristics of maize canopy development as affected by increased plant density. *PLOS ONE*, 11, e0154084. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154084>
- Tawarayama, K., Hirose, R., & Wagatsuma, T. (2012). Inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi can substantially reduce phosphate fertilizer application to *Allium fistulosum* L. and achieve marketable yield under field condition. *Biology and Fertility of Soils*, 48, 839-843. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0669-2>
- Xie, K., Ren, Y., Chen, A., Yang, C., Zheng, Q., Chen, J., & Xu, G. (2021). Plant nitrogen nutrition: The roles of arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal Plant Physiology*, 269, 153591. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153591>
- Xu, P., Liang, L.Z., Dong, X.Y., Xu, J., Jiang, P., & Shen, R. (2014). Response of soil phosphorus required for maximum growth of *Asparagus officinalis* L. to inoculation of Arbuscular mycorrhizal fungi. *Pedosphere*, 24, 776-782. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(14\)60064-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(14)60064-3)
- Wang, C.X., Li, X.L., Zhou, J.C., Wang, G.Q., & Dong, Y.Y. (2008). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of cucumber plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39, 499-509. <https://doi.org/10.1080/00103620701826738>
- Wipf, D., Krajinski, F., van Tuinen, D., Recorbet, G., & Courty, P.E. (2019). Trading on the arbuscular mycorrhiza market: From arbuscules to common mycorrhizal networks. *New Phytologist*, 223(3), 1127-1142. <https://doi.org/10.1111/nph.15775>
- Yang Y., Tang M., Sulpice R., Chen H., Tian S., & Ban Y. (2014). Arbuscular mycorrhizal fungi alter fractal dimension characteristics of *Robinia pseudoacacia* L. seedlings through regulating plant growth, leaf water status, photosynthesis, and nutrient concentration under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 33, 612-625. <https://doi.org/10.1007/s00344-013-9410-0>
- Yoneyama, K., Yoneyama, K., Takeuchi, Y., & Sekimoto, H. (2007). Phosphorus deficiency in red clover promotes exudation of orobanchol, the signal for mycorrhizal symbionts and germination stimulant for root parasites. *Planta*, 225, 1031-1038. <https://doi.org/10.1007/s00425-006-0410-1>
- Zubek S., Rola K., Szweczyk A., Majewska M.L., & Turnau K. (2015). Enhanced concentrations of elements and secondary metabolites in *Viola tricolor* L. induced by arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil*, 390, 129-142. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2388-6>
- Zhu, X.Q., Wang, C.Y., Chen, H., & Tang, M. (2014). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis, carbon content, and calorific value of black locust seedlings. *Photosynthetica*, 52, 247-252. <https://doi.org/10.1007/s11099-014-0031-z>