



The Effects of Applications of Fertigation and Mycorrhiza on Yield and Nutrient Uptake of Pepper Plant (*Capsicum annum* L.) under Field Conditions

Ahmet Demirbaş^{1*}, Zülküf Kaya², Çağdaş Akpınar³, İbrahim Ortaş⁴

¹Department of Crop and Animal Production, Vocational School of Sivas, Sivas Cumhuriyet University, 58140 Sivas, Turkey

Corresponding author, E-mail: ademirbas@cumhuriyet.edu.tr, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2523-7322

²Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Cukurova University, 01330 Adana, Turkey

³Department of Organic Farming Business Management, Kadirli School of Applied Sciences, Osmaniye Korkut Ata University, 80760 Osmaniye, Turkey

E-mail: cagdasakpinar@osmaniye.edu.tr, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2783-397X

⁴Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Cukurova University, 01330 Adana, Turkey

E-mail: iortas@cu.edu.tr, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4496-3960

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Research Article</p> <p>Received : 21/11/2018 Accepted : 20/12/2018</p> <p>Keywords: Fertigation Mycorrhizae Pepper Yield Nutrient uptake</p>	<p>This study was conducted to investigate the effects of different fertilization frequency (fertigation in every irrigation, fertigation in every second irrigation, fertigation in every third irrigation) in fertilization application and inoculation of mycorrhizae on yield and nutrient uptake of pepper plant. The experiment was carried out under field conditions during two years with three replications at experimental area of Department of Soil Science and Plant Nutrition-Faculty of Agriculture-University of Çukurova. In the research, fertigation application was performed comparatively with conventional irrigation system. Pepper and <i>Glomus caledonium</i> were used as test plant and mycorrhiza species, respectively. In the study, yield and nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), iron (Fe), zinc (Zn), manganese (Mn), copper (Cu) concentration of pepper plant were determined. Results revealed that, while the highest yield (2809 kg da⁻¹) was obtained from second every irrigation applied phosphorus and inoculated mycorrhizae in the first year, it was determined in every irrigation without phosphorus application and mycorrhizae inoculated with 2113 kg da⁻¹ in the second year. Also, the application of fertilizer in every irrigation has been significantly increased P concentration of pepper plant, compared with the other treatments. In the study, generally, it was determined that the plants inoculated mycorrhizae have higher yield and nutrition uptake than non-inoculated plants.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(1): 152-161, 2019

Fertigasyon ve Mikoriza Uygulamalarının Tarla Koşullarında Biber Bitkisinin (*Capsicum annum* L.) Verimine ve Besin Elementleri Alımına Etkileri[#]

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p>Araştırma Makalesi</p> <p>Geliş : 21/11/2018 Kabul : 20/12/2018</p> <p>Anahtar Kelimeler: Fertigasyon Mikoriza Biber Verim Besin elementi alımı</p>	<p>Bu çalışmanın amacı, fertigasyon uygulamalarında farklı gübreleme zamanlarının (her sulamada gübre: H.S.G., her ikinci sulamada gübre: H.İ.S.G., her üçüncü sulamada gübre: H.Ü.S.G.) ve mikoriza uygulamalarının biber bitkisinin verimine ve besin elementleri alımına olan etkilerini araştırmaktır. Araştırma Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'ne ait araştırma ve deneme alanında, tarla koşullarında, iki yıl süreyle ve üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çalışmada fertigasyon uygulaması geleneksel yöntem ile karşılaştırmalı olarak yapılmış, test bitkisi olarak biber ve mikoriza türü olarak <i>Glomus caledonium</i> kullanılmıştır. Araştırmada biber bitkisinin verimi ile yaprakların azot (N), fosfor (P), potasyum (K), demir (Fe), çinko (Zn), mangan (Mn) ve bakır (Cu) konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular, birinci yılda en yüksek verimin fosfor uygulanmış ve mikoriza aşılanmış her ikinci sulamada gübre uygulamasından elde edildiğini ortaya koymuştur (2809 kg/da). İkinci yılda ise, 2113 kg/da ile fosfor uygulanmayan mikoriza aşılanmış bitkilerde her sulamada gübre uygulamasında belirlenmiştir. Ayrıca, her sulamada gübre uygulaması diğer uygulamalarla karşılaştırıldığında, biber bitkisinin P konsantrasyonunu önemli ölçüde artırmıştır. Araştırmada genel olarak, mikoriza aşılanmış bitkilerin aşılanmamış bitkilerden daha yüksek verim ve besin elementi alımına sahip olduğu belirlenmiştir.</p>

[#]Bu çalışma "1st International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (EurasianBioChem 2018)" isimli kongrede özet olarak sunulmuştur.



Giriş

Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Artan nüfusun ihtiyaçlarının karşılanması tarım arazilerinin daha verimli kullanılması, ileri tarım teknolojilerinin uygulanması, genetik çalışmalar, sulama ve dengeli gübrelemenin yaygınlaştırılması ile mümkün olacaktır (Blanco, 2011). Su, dünyanın artan gıda talebini karşılamak ve tarım alanlarının verimliliğini artırmak için gerekli en önemli unsurdur. İnsanoğlu hem artan gıda talebini karşılamak hem de mevcut su kaynaklarını en etkili bir biçimde ve doğanın ekolojisini bozmadan kullanabilmek amacıyla yeni arayışlar içine girmiştir. Bu bağlamda, damla sulamanın gelişimine yol açan ilk denemeler 19. yüzyılın sonlarında başlamış, ancak 1950'li yılların sonu ve 1960'lı yılların başına kadar gerçek anlamda bir ilerleme kaydedilememiştir (Keller ve Bliesner, 1990). Damla sulamanın hızla yaygınlaşmaya başlaması, ucuz plastik boruların keşfedilmesinin bir sonucu olarak 1970'li yıllara denk gelmektedir. Bu sistemler ile 1974 yılında dünyada yaklaşık 66.000 hektar, 1996 yılında 2.98 milyon hektar (Magen ve Imas, 2003) ve 2006 yılında 6 milyon hektar alan sulanmıştır (Sne, 2006). Günümüzde dünyanın birçok ülkesinde su kıtlığı bulunmaktadır ve tarımsal alanlarda damla sulama tekniği ile düzenli su kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Fertigasyon, basit bir açıklama ile sulama sistemiyle bitki besin elementlerinin su ile birlikte toprağa veya bitki kök bölgesine uygulanmasıdır (Çetin, 2015). Fertigasyon, gübre dozunun bitki gereksinimine göre verilebilmesi, gübrenin kök bölgesinde dağılımının eşit olması ve toprak çözeltisinde az miktarda sürekli besleyici bulunması gibi önemli bir etkiye sahiptir (Karasahin ve ark., 2018). Ülkemizde, başlangıçta Akdeniz ve Ege bölgesinde örtü altı yetiştiricilikte kullanılmaya başlanan fertigasyon, günümüzde diğer bölgelerde de başta bağ-bahçe ve süs bitkileri olmak üzere tarla tarımında da yaygın bir kullanım alanı bulmuştur.

Yakın zamana kadar toprakta alınabilirliği yavaş olan besin elementlerinin alınımının yalnızca bitki kökleri tarafından sağlandığı sanılıyordu. Fakat son yıllarda yapılan bilimsel araştırmalar, bitki besin elementlerinin bitki köklerinin yanı sıra, çoğunlukla mikoriza diye adlandırılan ve teşhisi mikroskop altında yapılan, çok miktarda hif üreten mantar türleri tarafından alındığını ortaya koymuştur (Ortas, 2012). Mikoriza botanik olarak, toprak kökenli mantarlarla yüksek bitkilerin kökleri arasında karşılıklı yararlanmaya dayanan bir ilişkidir (Smith ve Read, 2008).

FAO (2016) verilerine göre dünya sebze üretimi 1075203877 ton olup, sebzeler içerisinde en fazla üretimi ve tüketimi yapılan türlerin başında domates gelmekte ve biberde üretim ve tüketim açısından önemli sebzeler arasında yer almaktadır. Türkiye ise sebze üretiminde 24401231 ton ile dünyada üçüncü sırada yer almaktadır (FAO, 2016). Türkiye'de üretilen sebzeler içerisinde domates birinci sırada yer almakta ve domatesi karpuz, biber, soğan, hıyar, kavun ve patlıcan gibi sebzeler izlemektedir (TUIK, 2017). Domates ve biber ülkemizin iç tüketimi ve ihracatı bakımından stratejik ürünler arasında yer almaktadır. Dolayısıyla bu iki ürün üzerinde bilimsel çalışmalar yürütmek büyük önem arz etmektedir. Biber gibi mikorizal bağımlılığı bilinen bitkilerin ekolojik tarım yaklaşımlarına uygun olarak yetiştirilmesi günümüzde artan bir ilgi görmektedir.

Dünyada giderek azalan gübre kaynakları ve pahalı üretim maliyetleri önümüzdeki 50 yılda bitkisel üretimde ciddi verim sorunları yaşayacağımızı göstermektedir (Ortas ve Lal, 2011). Bu nedenle kimyasal gübreye olan talebi azaltan, doğaya ve çevreye dost, ekolojinin kendi doğal kaynaklarından olan mikoriza mantarının tarımsal üretimde kullanılması giderek önem kazanmaktadır. Gübre kullanım etkinliğinin yüksek, su tüketiminin az olduğu fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen bitkilere mikoriza aşılması, hem ekonomik hem de ekolojik anlamda önemli bir tarım stratejisi olarak görülmektedir. Ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkeler için pahalı ve doğal kaynakları sınırlı alanlarda, gübre girdisi yerine çok az girdi gereksinimi olan ve doğal gübre olarak bilinen mikorizanın doğal potansiyelinin bilinmesi ve mikorizaya bağımlı bitkilerin tespit edilmesi ve besin elementi noksanlığı olan alanlara bu tür bitkilerin mikoriza ile infekte edilmesi gelecekte uygulanması gerekli önemli tarım stratejilerindedir.

Bütün bu bilgiler ışığı altında çalışmanın amacı; fertigasyon uygulamalarında farklı gübreleme zamanlarının ve mikoriza uygulamalarının Çukurova Bölgesi'nde yetiştiriciliği oldukça fazla yapılan biber bitkisinin verimine ve besin elementleri alımına olan etkilerini araştırmak olarak belirlenmiştir.

Materyal ve Metot

Materyal

Araştırma 2009-2010 yıllarında 2 yıl süreyle Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama Çiftliği arazisinde yer alan Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü araştırma ve deneme alanında Menzilat toprak serisinde (Typic Xerofluvents Fluvents, Entisols) (37°00' 55.80" K – 35° 21' 17.20" D koordinatlar ve deniz seviyesinin yaklaşık 31 m üzerinde) tarla koşullarında yürütülmüştür. Tipik Akdeniz iklimine sahip bölgede uzun dönemli ortalama yıllık hava sıcaklığı 19,1°C ve yağış 670,8 mm'dir. Araştırmada kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Araştırmada kullanılan toprak hafif alkalın, kireçli, tuzsuz, organik madde ve fosfor konsantrasyonu düşük, potasyum konsantrasyonu yeterlidir.

Tablo 1 Araştırmada kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 1 Some physical and chemical features of soil used in the research

Toprak Özellikleri	Değerler
Derinlik	0-30
Bünye	CL
pH	7,5
Tuz	0,045
CaCO ₃	27
OM	1,2
P ₂ O ₅	4,6
K ₂ O	105,8
Zn	0,49
Fe	4,84
Mn	1,99
Cu	0,38

OM: Organik madde, Derinlik: cm, pH: (1:1 H₂O), CaCO₃: %, P₂O₅- K₂O: kg/da, Zn-Fe-Mn-Cu: mg/kg

Araştırmada test bitkisi olarak Demre Sivri biber (*Capsicum annuum* L.) çeşidi, mikoriza olarak da *Glomus caledonium* mikoriza türü kullanılmıştır.

Metot

Araştırma, iki parselde fertigasyon (36 parsel) ve geleneksel (12 parsel) yöntem karşılaştırması şeklinde yürütülmüştür. Deneme fosfor uygulanmış (fertigasyon uygulamalarında 18 parsel, geleneksel uygulamada 6 parsel) ve uygulanmamış (fertigasyon uygulamalarında 18 parsel, geleneksel uygulamada 6 parsel) olarak kendi içinde mikorizalı ve mikorizasız olmak üzere 2 ana parsel kurulmuş ve bölünmüş parseller deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Parseller 3 m uzunlukta, 2,4 m genişlikte olmak üzere toplam 7,2 m² olup, parseller arası mesafe 2,5 m olacak şekilde hazırlanmıştır. Ayrıca, sıra araları 1,5 m ve sıra üzeri 60 cm olacak şekilde her parselde 15 bitki dikimi, toplam 720 bitki dikimi yapılmıştır.

Çalışmada mikoriza uygulamaları yapılması nedeniyle ortamdaki doğal olarak bulunabilecek mikorizanın elimine edilebilmesi için deneme alanı kısmi sterilizasyon (fumigasyon) işlemine tabi tutulmuştur. Sterilizasyon işlemi için birinci yıl (2009) metam sodyum (metam fluid), ikinci yıl (2010) ise basamid kullanılmıştır.

Hazırlanan torf ve perlit karışımında (1:1 hacim) viyoller içerisine ekilen biber tohumları yaklaşık 60 gün süreyle düzenli olarak sulanarak fide oluşturulmuş, fideler 3 yapraklı olduğunda usulüne uygun olarak araziye dikilmiştir. Araştırmada mikoriza aşılması hem fide oluşturma hem de biber bitkilerinin araziye aktarılması aşamasında yapılmıştır. Mikorizalı parsellerde, fideler hazırlanan dikim çukurlarına aktarılırken, mikorizalı olarak yetiştirilen her fidenin yaklaşık 5 cm altına serilecek şekilde 1000 spor/bitki uygulaması (yaklaşık 100 g) yapılarak mikoriza aşılması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada biber fidelerinin iklim şartlarına bağlı olarak birinci yıl (2009) 12 Mayıs, ikinci yıl ise (2010) 20 Nisan tarihlerinde araziye dikimi gerçekleştirilmiş, 150 gün büyüme periyodu belirlenen biber bitkisinin hasadı 1. yıl için Ekim ayında, 2. yıl için ise Eylül ayı sonunda tamamlanmıştır. Denemede fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisi için dikimden 7 yapraklı oluncaya kadar olan 20 günlük süreçte, 5 günde bir sulama işlemi yapılmıştır. Diğer süreçlerde, bitkiler hasat edilinceye kadar 3 günde bir sulama işlemi yapılmıştır. Aynı sulama işlemleri geleneksel yöntemle yetiştirilen biber bitkisi için de uygulanmıştır. Biber bitkisinin hasadı, 100 gün boyunca meyveler olgunlaştıkça elle toplama ile yapılmıştır.

Araştırmada toprak analiz sonuçları dikkate alınarak, saf olarak 20 kg N/da, 20 kg K₂O/da, fosfor uygulanan parsellere 6 kg P₂O₅/da, uygulanmayanlara hiç verilmeyecek şekilde gübreleme yapılmıştır. Çalışmada N amonyum sülfat ((NH₄)₂SO₄), P monopotasyumfosfat (MKP) ve K potasyum nitrat (KNO₃) formlarında uygulanmıştır. Denemede fertigasyon uygulamaları; her sulamada gübre, her ikinci sulamada gübre ve her üçüncü sulamada gübre şeklinde yapılmıştır. Geleneksel yöntemde ise yetiştirilen bitkilere gübre uygulamaları yarısı dikimle birlikte, diğer yarısı üst gübrelemeyle olacak şekilde topraktan yapılmıştır.

Bitki Analizleri

Biber bitkisinde meyvelerde olgunlaşmasının yarısına geldiğinde, sürgün ucundan itibaren 4.-5. yaprakтан alınan örnekler element tayinleri için öğütüldükten sonra 550°C'de 5 saat süreyle yakılıp elde edilen kül 1/3'lük HCl içerisinde filtre edildikten sonra P kolorimetrik olarak spektrofotometrede (Murphy ve Riley, 1962), K, Fe, Mn, Zn ve Cu ise ICP cihazı (Perkin-Elmer 7000) ile belirlenmiştir. N analizi ise Kjeldal aletinde Bremner (1965)'e göre yapılmıştır.

İstatistiksel Analizler

Deneme iki yıl tekrarlanmış ve her yıl araştırmada 2 fosfor uygulaması (fosfor uygulanmış ve uygulanmamış), 2 mikoriza uygulaması (mikoriza aşılması ve aşılınmamış), 3 fertigasyon uygulaması (HSG, HİSG, HÜSG ile geleneksel yöntem) yapılmıştır.

Araştırmada bölünmüş parseller deneme desenine göre fertigasyon uygulamalarından elde edilen veriler, her yıl için kendi içinde ayrı ayrı ANOVA testi ile varyans analizine tabi tutulmuştur. Fertigasyon uygulamalarının (H.S.G., H.İ.S.G ve H.Ü.S.G.) ortalamaları ile geleneksel yöntemde (G.G.) elde edilen veriler ise her yıl birlikte istatistik analizine tabii tutulmuştur. Araştırmadan elde edilen ve ölçülen bütün değişkenler, istatistiki analiz için SPSS 13.0 for Windows paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklılıklar Tukey testi ile belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Birinci Yıl (2009) Sonuçları

Araştırmanın ilk yılında fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkilerinin verim değerleri ile N, P ve K konsantrasyonları Tablo 2'de verilmiştir.

Fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkilerinin verim değerleri incelendiğinde, en yüksek verim 2809,3 kg/da ile fosfor uygulanan ve mikoriza aşılması yapılan H.İ.S.G. uygulamasında elde edilmiştir (Tablo 2). Bu uygulamayı 2195,2 kg/da biber verimi ile yine fosfor uygulanan ve mikoriza aşılması yapılan H.S.G. uygulaması takip etmiştir. En düşük biber verimi ise 211,8 kg/da ile fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılmasının yapılmadığı, H.S.G. uygulamasından alınmıştır. Gul ve ark. (2011), açık ve kapalı sistemde volkanik tüfte yetiştirilen biber bitkilerine dört farklı N dozu ve sulama zamanları kapalı entegre solar radyasyona bağlı olan dört fertigasyon sıklığı uygulamışlardır. Bunlar I₁ (6 MJ/m²), I₂ (4 MJ/m²), I₃ (2 MJ/m²) ve I₄ (1 MJ/m²) şeklinde olmuştur. Araştırmaları sonucunda, açık sistemde I₄ uygulamasında, yaklaşık 4700 kg/da biber verimi ile en yüksek değeri belirlemişlerdir. Araştırmada, fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkilerinin veriminin geleneksel yöntemde göre oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek ortalama verimin 2112,7 kg/da ile fosfor uygulanan ve mikoriza aşılması yapılan fertigasyon parsellerinde olduğu tespit edilmiştir. Geleneksel gübre uygulamasında ise en yüksek biber veriminin 700,0 kg/da ile yine aynı uygulamada olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, ilk yıl için hem fosfor uygulamasının hem de mikoriza aşılmasının, fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin verimine önemli derecede etki ettiği belirlenmiştir (P<0,001).

Tablo 2 Farklı fertigasyon uygulamalarının biber bitkisinin verimine (kg/da), N, P ve K konsantrasyonlarına etkileri (%) (2009 Yılı)

Table 2 The effects of different fertigation applications on the yield (kg da⁻¹), N, P and K concentrations of pepper plants (%) (year 2009)

Uygulamalar		Verim (kg/da)	N		P		K	
					(%)			
(- M)	H.S.G.	211,8 ±33,4 ^f	2,58 ±0,10 ^f	0,21 ±0,01 ^f	4,70 ±0,35 ^{de}			
	H.İ.S.G.	572,3 ±95,7 ^{ef}	2,49 ±0,09 ^f	0,24 ±0,03 ^{ef}	4,88 ±0,10 ^{c-e}			
	H.Ü.S.G.	266,5 ±7,5 ^f	3,10 ±0,07 ^{de}	0,27 ±0,01 ^{d-f}	4,54 ±0,32 ^{de}			
	Ortalama	350,2 ±194,3 ^{BC}	2,72 ±0,33 ^{BC}	0,24 ±0,03 ^{BC}	4,70 ±0,17 ^{CD}			
(- P)	G.G.	100,4 ±10,7 ^C	2,87 ±0,06 ^{BC}	0,19 ±0,01 ^C	4,51 ±0,06 ^{CD}			
	H.S.G.	661,3 ±353,5 ^{ef}	3,34 ±0,11 ^{a-c}	0,38 ±0,01 ^a	6,38 ±0,38 ^{ab}			
	H.İ.S.G.	1753,9 ±213,9 ^{b-d}	3,23 ±0,07 ^{b-d}	0,38 ±0,04 ^b	5,78 ±0,73 ^{bc}			
	H.Ü.S.G.	790,7 ±137,4 ^e	3,45 ±0,07 ^{ab}	0,31 ±0,03 ^{cd}	7,22 ±1,00 ^a			
(+ M)	Ortalama	1068,6 ±597,0 ^{A-C}	3,34 ±0,11 ^{AB}	0,35 ±0,04 ^A	6,46 ±0,72 ^A			
	G.G.	424,8 ±68,1 ^{BC}	3,66 ±0,01 ^A	0,27 ±0,05 ^{A-C}	5,40 ±0,30 ^{BC}			
	H.S.G.	1988,5 ±29,6 ^{bc}	2,22 ±0,17 ^g	0,32 ±0,02 ^{b-d}	5,53 ±0,11 ^{b-d}			
	H.İ.S.G.	1609,2 ±94,9 ^{cd}	2,11 ±0,11 ^g	0,27 ±0,02 ^{d-f}	4,88 ±0,30 ^{c-e}			
(+ P)	H.Ü.S.G.	607,8 ±125,4 ^{ef}	2,95 ±0,05 ^e	0,28 ±0,01 ^{de}	4,48 ±0,55 ^e			
	Ortalama	1401,8 ±713,3 ^{AB}	2,42 ±0,46 ^C	0,29 ±0,03 ^{AB}	4,96 ±0,53 ^{CD}			
	G.G.	256,9 ±25,4 ^{BC}	3,16 ±0,05 ^{AB}	0,22 ±0,00 ^{BC}	4,29 ±0,12 ^D			
	H.S.G.	2195,2 ±178,4 ^b	3,11 ±0,08 ^{de}	0,41 ±0,01 ^a	6,01 ±0,07 ^b			
(+ M)	H.İ.S.G.	2809,3 ±599,4 ^a	3,22 ±0,19 ^{cd}	0,36 ±0,05 ^{a-c}	6,09 ±0,11 ^b			
	H.Ü.S.G.	1333,6 ±55,0 ^d	3,54 ±0,03 ^a	0,31 ±0,05 ^{cd}	5,81 ±0,64 ^{bc}			
	Ortalama	2112,7 ±741,3 ^A	3,29 ±0,22 ^{AB}	0,36 ±0,05 ^A	5,97 ±0,14 ^{AB}			
	G.G.	700,0 ±33,8 ^{BC}	3,70 ±0,05 ^A	0,28 ±0,02 ^{AB}	5,19 ±0,20 ^{B-D}			
Fosfor (P)		0,001	0,001	0,001	0,306			
Mikoriza (M)		0,001	0,001	0,001	0,001			
Fertigasyon (F)		0,001	0,001	0,001	0,222			
PXM		0,945	0,001	0,002	0,003			
PXF		0,001	0,001	0,003	0,001			
MXF		0,001	0,001	0,001	0,003			
PXMFX		0,255	0,173	0,156	0,010			

En yüksek N konsantrasyonu %3,54 N ile fosfor uygulanan, mikoriza aşılması yapılan H.Ü.S.G. uygulamasında ortaya çıkmıştır. Bu uygulamayı ise %3,45 N konsantrasyonu ile fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılan H.Ü.S.G. uygulaması takip etmiştir. En düşük azot konsantrasyonu ise %2,11 N ile fosfor uygulanan, mikoriza aşılması yapılmayan H.İ.S.G. uygulamasında gözlemlenmiştir. Araştırmada her ne kadar H.Ü.S.G. uygulamasında en yüksek azot konsantrasyonu tespit edilse de, fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen pamuk bitkisinde azotun sulama süresinin hangi dönemlerinde uygulanması gerektiği konusunda yapılan benzer bir çalışmada, azot kullanımı ve azot kullanım etkinliği yönünden, azotlu gübrenin fertigasyonda her sulamanın başlangıcında uygulanmasının daha etkin olduğu tespit edilmiştir (Hou ve ark., 2007). Fertigasyon ve geleneksel yöntemle yetiştirilen biber bitkisinin ortalama % N değerleri incelendiğinde, geleneksel yöntemle yetiştirilen biber bitkisinin azot konsantrasyonunun fertigasyonla yetiştirilene göre tüm parsellerde daha yüksek olduğu ve en yüksek mikoriza aşılması yapılan parsellerde gözlemlendiği tespit edilmiştir (%3,70 N). Bu durumun fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinde seyrelme faktöründen kaynaklandığı düşünülmektedir. Bitkinin üst kısmı büyüdükçe, dokularındaki besin elementleri konsantrasyonu azalmaktadır. Fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin en yüksek fosfor konsantrasyonu, %0,41 P ile en yüksek fosfor uygulanan

ve mikoriza aşılması yapılan H.S.G. uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Bu uygulamayı ise aralarında istatistiki olarak fark bulunmayan fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılan, H.S.G. ve H.İ.S.G. uygulamaları takip etmiştir (%0,38 P). En düşük fosfor konsantrasyonu ise %0,21 P ile fosfor uygulanmayan ve mikoriza aşılması yapılmayan H.S.G. uygulamasında gözlemlenmiştir. Fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin P konsantrasyonuna hem fertigasyon hem de mikoriza uygulamalarının etkide bulunduğu (P<0,001) belirlenmiştir (Tablo 2). Silber ve ark. (2005) tarafından dolmalık biberde yapılan bir çalışmada, fertigasyon uygulama sıklığının bitkilerin özellikle fosfor ve magnezyum alımını önemli düzeyde artırdığı tespit edilmiştir. Böylece, bitkinin erken döneminde (vegetatif dönem) yaprak P konsantrasyonu ile toprak üstü toplam kuru madde miktarı arasında linear bir regresyon elde edilmiştir. Genel ortalamalar bakımından fertigasyon ve geleneksel gübre uygulamalarının en yüksek % P konsantrasyonları karşılaştırıldığında, aralarında istatistiki olarak fark olmadığı belirlenmiştir (sırasıyla %0,35 P, %0,36 P). Fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin % P konsantrasyonunun Jones (1998)'e göre yüksek olduğu (%0,20 P), Bergmann (1993)'a göre sadece mikoriza aşılana bitkilerde yeter düzeyde olduğu, geleneksel yöntemle yetiştirilen biber bitkisinin % P konsantrasyonunun ise Jones (1998)'e göre yüksek olduğu (%0,20 P), Bergmann (1993)'a göre ise düşük olduğu

(%0,30-0,60) belirlenmiştir. Araştırmamızda her iki yöntemle de yetiştirilen biber bitkisinin P konsantrasyonunun mikoriza aşılması ile önemli derecede arttığı belirlenmiştir. Mikoriza mantarı, genelde topraktaki P konsantrasyonunun yarayışlılığını arttırdığı gibi, hifler yolu ile P absorpsiyon oranını (Sharif ve Claassen, 2011) ve immobil halde bulunan P alımını da arttırmaktadır (Kothari ve ark, 1991; Smith ve Read, 2008). Çalışmada en yüksek potasyum konsantrasyonu %7,22 ile fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılan H.Ü.S.G. uygulamasında, en düşük K konsantrasyonu ise %4,48 ile fosfor uygulanan, ancak mikoriza aşılması yapılmayan H.Ü.S.G. uygulamasında tespit edilmiştir. Genel ortalamalara göre fertigasyon uygulamalarının biber bitkisinin K değerlerini geleneksel yöntemle göre daha fazla artırdığı belirlenmiştir (%6,46 K). Cassman ve ark. (1990), damla sulama yolu ile K fertigasyonunun topraktan

K uygulamasına alternatif bir yaklaşım olabileceğini belirtmişlerdir. Bunun nedenini sulama ya da yağmurları takip eden kurak evrede, toprakta K fiksasyonunun daha fazla olacağı şeklinde açıklamışlar ve damla sulama ile toprak neminin daha iyi muhafaza edilerek K fiksasyonunun azaltılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, yoğun kök bölgesi etrafındaki damlama hattında sürekli toprak K çözeltisinin artırılmasıyla, K yarayışlılığının önemli derecede artırılabilirliğini belirtmişlerdir. Çalışmamızda, ayrıca fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin K konsantrasyonuna fosfor uygulamasının etki etmediği ($P < 0,306$), ancak mikoriza aşılmasının önemli derecede etkide bulunduğu ($P < 0,001$) belirlenmiştir.

Araştırmada fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin Zn, Fe, Mn ve Cu konsantrasyonları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3 Farklı fertigasyon uygulamalarının biber bitkisinin Zn, Fe, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkileri (mg/kg) (2009 Yılı)

Table 3 The effects of different fertigation applications on Zn, Fe, Mn and Cu concentrations of pepper plants (mg kg⁻¹) (year 2009)

Uygulamalar		Zn	Fe	Mn	Cu
		(mg/kg)			
(- M)	H.S.G.	36,2 ±4,4 ^a	63,9 ±1,4 ^{e-g}	61,1 ±0,8 ^{bc}	7,6 ±0,5 ^{ef}
	H.İ.S.G.	28,0 ±5,7 ^{b-e}	61,4 ±1,6 ^{fg}	52,0 ±3,6 ^{fg}	7,2 ±0,2 ^{ef}
	H.Ü.S.G.	33,0 ±0,0 ^{ab}	87,9 ±1,9 ^{ab}	65,9 ±1,3 ^a	8,7 ±0,0 ^d
	Ortalama	32,4 ±4,13AB	71,0 ±14,63BC	59,6 ±7,06C	7,8 ±0,78C
	G.G.	17,9 ±0,50D	68,2 ±0,50C	59,8 ±0,35A-C	9,2 ±0,25C
(+ M)	H.S.G.	23,7 ±1,6 ^e	64,8 ±0,7 ^{e-g}	56,4 ±0,6 ^{c-f}	11,3 ±0,0 ^b
	H.İ.S.G.	35,8 ±0,6 ^a	71,4 ±0,7 ^d	51,6 ±0,6 ^g	11,4 ±0,2 ^b
	H.Ü.S.G.	33,0 ±2,7 ^{ab}	67,6 ±1,1 ^{de}	65,4 ±3,3 ^{ab}	8,7 ±0,2 ^d
	Ortalama	30,8 ±6,33A-C	67,9 ±3,31C	57,8 ±7,01C	10,4 ±1,53BC
	G.G.	28,8 ±1,55A-C	88,1 ±0,60A	70,2 ±0,90A	15,0 ±0,70A
(- M)	H.S.G.	15,1 ±1,1 ^f	66,4 ±1,9 ^{d-f}	56,0 ±1,1 ^{d-g}	8,4 ±0,1 ^d
	H.İ.S.G.	25,4 ±0,0 ^{de}	60,6 ±1,2 ^g	51,8 ±1,5 ^{fg}	10,5 ±0,0 ^c
	H.Ü.S.G.	23,9 ±1,4 ^e	63,9 ±1,0 ^{e-g}	52,9 ±1,3 ^{e-g}	11,0 ±0,5 ^{bc}
	Ortalama	21,4 ±5,56CD	63,6 ±2,91C	53,5 ±2,18C	9,9 ±1,38C
	G.G.	23,0 ±0,06B-D	64,4 ±1,05C	55,6 ±1,00C	9,6 ±0,20C
(+ M)	H.S.G.	31,6 ±0,3 ^{a-c}	85,1 ±0,6 ^{bc}	57,6 ±3,8 ^{c-e}	12,8 ±0,8 ^a
	H.İ.S.G.	26,8 ±0,5 ^{c-e}	79,7 ±5,2 ^c	59,2 ±2,7 ^{cd}	7,7 ±0,2 ^e
	H.Ü.S.G.	29,9 ±1,2 ^{b-d}	92,2 ±5,7 ^a	60,1 ±4,2 ^{cd}	7,0 ±0,4 ^f
	Ortalama	29,4 ±2,43A-C	85,6 ±6,27AB	58,9 ±1,27BC	9,1 ±3,17C
	G.G.	35,5 ±1,60A	74,5 ±0,50A-C	68,3 ±1,45AB	14,4 ±0,40AB
Fosfor (P)		0,001	0,001	0,001	0,001
Mikoriza (M)		0,001	0,001	0,006	0,001
Fertigasyon (F)		0,001	0,001	0,001	0,001
PXM		0,001	0,001	0,001	0,001
PXF		0,825	0,001	0,001	0,001
MXF		0,175	0,001	0,002	0,001
PXMFX		0,001	0,001	0,825	0,001

Mikroelement konsantrasyonları yönünden Tablo 3 değerlendirildiğinde, fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin Zn konsantrasyonunun, en yüksek 36,2 mg/kg Zn ve 35,8 mg/kg Zn ile istatistiki olarak aynı gruba giren sırasıyla fosfor uygulaması ve mikoriza aşılması yapılmayan H.S.G. ve fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılan H.İ.S.G. uygulamalarından elde edildiği belirlenmiştir. En düşük Zn konsantrasyonu ise 15,1 mg/kg Zn ile fosfor uygulanan, mikoriza aşılması yapılmayan

H.S.G. uygulamasında tespit edilmiştir. Genel ortalamalar incelendiğinde, en yüksek Zn konsantrasyonunun fosfor ve mikoriza uygulanmış geleneksel yöntemle yetiştirilen biber bitkisinde olduğu gözlemlenmiştir (35,5 mg/kg Zn) Fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin Zn konsantrasyonu % P konsantrasyonu ile karşılaştırıldığında, çoğu uygulamalarda P alımının artmasıyla Zn alımı azalmıştır. Bu durumun P-Zn interaksiyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bitki

tarafından yüksek miktarda fosfor alındığında, fosfor fazlalığının çinko ve mangan gibi mikro elementlerin eksikliğine neden olduğu bilinmektedir (Hopkins ve ark., 2003). Eğer aşırı P varsa, normalde bitkiye alınabilir formdaki büyük bir Zn miktarını bağlar ve sonuç olarak fosfora bağlı bir Zn noksanlığı meydana gelebilir. Bu durum, genellikle yapraklarda Zn konsantrasyonunda azalma ve büyümede yavaşlamayla sonuçlanır (Marschner, 2002). Aynı tablo Fe konsantrasyonları bakımından değerlendirildiğinde, en yüksek ortalamanın 92,2 mg/kg Fe ile fosfor uygulaması ve mikoriza aşılması yapılan H.Ü.S.G. uygulamasında olduğu görülmüştür. En düşük Fe konsantrasyonunun ise 60,6 mg/kg Fe ile fosfor uygulanan, mikoriza aşılması yapılmayan H.İ.S.G. uygulamasından elde edildiği belirlenmiştir. Çalışma bulguları istatistik açıdan değerlendirildiğinde, fosfor uygulaması ve mikoriza aşılmasının, fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin Fe konsantrasyonuna etkide bulunduğu gözlemlenmiştir (P<0,001). Fertigasyon ve geleneksel gübreleme yöntemlerinin ortalama Fe konsantrasyonları karşılaştırıldığında, en yüksek Fe konsantrasyonunun geleneksel yöntemle yetiştirilen biber bitkisinde olduğu tespit edilmiştir (88,1 mg/kg Fe). Araştırmada, en yüksek Mn konsantrasyonu 65,9 mg/kg Mn ile fosfor uygulanmayan ve mikoriza aşılması yapılmayan H.Ü.S.G. uygulamasında kaydedilmişken, en düşük ise 51,6 mg/kg Mn ile fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılan H.İ.S.G. uygulamasında belirlenmiştir.

Fertigasyon ve geleneksel yöntemle yetiştirilen biber bitkisinin Mn konsantrasyonları karşılaştırıldığında, en yüksek Mn konsantrasyonunun 70,2 mg/kg Mn ile fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılan geleneksel yöntemle yetiştirilen biber bitkisinde olduğu görülmektedir (Tablo 3). Araştırmada fosfor (P<0,001), mikoriza uygulaması (P<0,006) ve fertigasyon uygulamaları ile bu uygulamalar arasındaki etkileşimlerin Mn konsantrasyonuna etkisi belirlenmiştir. Biber bitkisinin en yüksek Cu konsantrasyonu ise 12,8 mg/kg ile fosfor uygulanan, mikoriza aşılması yapılan H.S.G. uygulamasında olduğu tespit edilmiştir. Çalışmadan elde edilen verilere göre, hem fosfor uygulamasının hem de mikoriza aşılmasının fertigasyon yöntemi ile yetiştirilen biber bitkisinin Cu konsantrasyonuna etkisi olduğu belirlenmiştir (P<0,001). Ortalamalar karşılaştırıldığında, 15,0 mg/kg Cu ile geleneksel yöntemde fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılan uygulamaların en yüksek değere sahip oldukları saptanmıştır. Genelde biber bitkisinin Cu konsantrasyonunun çok yüksek olmadığı belirlenmiştir. Bu durumun araştırma alanında Cu değerinin düşük olması ve Cu içeren bir gübre uygulanmamış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

İkinci Yıl (2010) Sonuçları

Araştırmada ikinci yılda (2010) fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin verim değerleri, N, P ve K konsantrasyonları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4 Farklı fertigasyon uygulamalarının biber bitkisinin verimine (kg/da), N, P ve K konsantrasyonlarına etkileri (%) (2010 Yılı)

Table 4 The effects of different fertigation applications on the yield (kg da⁻¹), N, P and K concentrations of pepper plants (%) (year 2010)

Uygulamalar		Verim (kg/da)	N	P (%)	K
	H.S.G.	212,9 ±33,4 ^g	3,00 ±0,07 ^{ef}	0,21 ±0,00 ^f	5,58 ±0,14 ^c
	H.İ.S.G.	427,1 ±29,5 ^{ef}	3,16 ±0,10 ^{ef}	0,26 ±0,01 ^{ef}	5,06 ±0,02 ^d
(- M)	H.Ü.S.G.	238,9 ±9,5 ^{f^g}	2,38 ±0,05 ^g	0,31 ±0,00 ^{a-d}	4,59 ±0,12 ^e
	Ortalama	292,9 ±116,9 ^{DE}	2,84 ±0,41 ^C	0,26 ±0,05 ^B	5,07 ±0,50 ^B
(- P)	G.G.	198,8 ±2,4 ^E	2,80 ±0,08 ^C	0,23 ±0,01 ^B	5,07 ±0,07 ^B
	H.S.G.	2113,5 ±220,7 ^a	4,19 ±0,07 ^a	0,35 ±0,00 ^a	6,33 ±0,18 ^b
	H.İ.S.G.	1916,8 ±62,0 ^a	4,24 ±0,03 ^a	0,34 ±0,02 ^{ab}	6,19 ±0,02 ^b
	H.Ü.S.G.	1677,6 ±93,5 ^b	3,74 ±0,26 ^{bc}	0,34 ±0,02 ^{ab}	6,76 ±0,07 ^a
(+ M)	Ortalama	1902,6 ±218,3 ^A	4,05 ±0,28 ^A	0,34 ±0,01 ^A	6,42 ±0,30 ^A
	G.G.	777,0 ±85,7 ^{BC}	3,68 ±0,09 ^{AB}	0,27 ±0,01 ^B	5,21 ±0,48 ^B
	H.S.G.	511,8 ±3,6 ^e	2,86 ±0,10 ^f	0,30 ±0,02 ^{a-f}	4,69 ±0,05 ^e
	H.İ.S.G.	727,5 ±27,1 ^d	2,93 ±0,01 ^f	0,31 ±0,00 ^{a-d}	4,54 ±0,27 ^{ef}
(- M)	H.Ü.S.G.	763,3 ±166,6 ^d	3,59 ±0,11 ^{cd}	0,26 ±0,01 ^{ef}	5,14 ±0,33 ^d
	Ortalama	667,5 ±136,1 ^{CD}	3,12 ±0,40 ^{BC}	0,29 ±0,03 ^{AB}	4,79 ±0,31 ^B
(+ P)	G.G.	147,5 ±38,1 ^E	2,89 ±0,09 ^C	0,23 ±0,00 ^B	4,93 ±0,07 ^B
	H.S.G.	818,6 ±101,3 ^d	3,64 ±0,49 ^{b-d}	0,30 ±0,04 ^{a-f}	4,44 ±0,16 ^{ef}
	H.İ.S.G.	1381,5 ±84,2 ^c	3,30 ±0,02 ^{de}	0,27 ±0,04 ^{d-f}	4,25 ±0,09 ^f
	H.Ü.S.G.	1252,9 ±133,2 ^c	3,95 ±0,07 ^{ab}	0,29 ±0,00 ^{c-f}	4,70 ±0,05 ^e
(+ M)	Ortalama	1151,0 ±295,0 ^B	3,63 ±0,33 ^{AB}	0,28 ±0,02 ^{AB}	4,46 ±0,23 ^B
	G.G.	1707,2 ±36,9 ^A	3,53 ±0,02 ^{A-C}	0,26 ±0,04 ^B	5,11 ±0,35 ^B
Fosfor (P)		0,001	0,077	0,055	0,001
Mikoriza (M)		0,001	0,001	0,001	0,001
Fertigasyon (F)		0,001	0,954	0,241	0,001
PXM		0,001	0,001	0,001	0,001
PXF		0,001	0,001	0,001	0,001
MXF		0,062	0,051	0,006	0,001
PXMFX		0,001	0,022	0,001	0,001

Çalışmadan elde edilen bulgular, fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkilerinden alınan verim açısından değerlendirildiğinde en düşük verimin 212,9 kg/da ile fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılmayan H.S.G. uygulamasında, en yüksek verimin ise 2113,5 kg/da ile fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılan H.S.G. uygulamasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 4). Bu uygulamayı ise 1916,8 kg/da ile istatistiki açıdan aralarında fark bulunmayan yine fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılan H.İ.S.G. uygulaması takip etmiştir. Genel ortalamalar değerlendirildiğinde ise mikoriza uygulamasının biber bitkisinin verimini önemli derecede artırdığı belirlenmiştir. En düşük biber verimi 292,9 kg/da ile fosfor uygulanmayan ve mikoriza aşılması yapılmayan uygulamada gözlemlenmişken, en yüksek verim ise 1902,6 kg/da ile fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılan parsellerde kaydedilmiştir. Bununla birlikte, bu uygulama ile fosfor uygulanmış ve mikoriza aşılanmış geleneksel yöntem arasında istatistiki olarak fark bulunamamıştır (1707,2 kg/da). Çalışmada, fosfor uygulaması ve mikoriza aşılmasının fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin verimine etki ettiği belirlenmiştir ($P<0,001$). Verim değerleri bir bütün olarak değerlendirildiğinde, hem fosfor uygulanan hem de fosfor uygulanmayan parsellerde mikoriza aşılmasının önemli derecede verim artışı sağladığı tespit edilmiştir. Wang ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, fide aşamasında mikoriza aşılmasının, bitki gelişiminin yanı sıra tarlaya aktarıldıktan sonra bitki performansını da artırdığı rapor edilmiştir. Bu durum, yaptığımız çalışmanın sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Benzer şekilde, Aguilera-Gomez ve ark. (1999), biber bitkisinde *G. intraradices* ile aşılamanın bitki büyümesi ve gelişimini artırdığını ve mikorizanın bahçe bitkileri üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Mevcut çalışmada, fertigasyon uygulamalarından ise H.S.G. uygulamasının en yüksek biber verimini sağladığı belirlenmiştir. Ancak yapılan benzer bir çalışmada, Neary ve ark. (1995), kumlu-tınlı bir toprakta 11 veya 22 gün fertigasyon aralığının, biber bitkisinin veriminde herhangi bir etkiye sahip olmadığını tespit etmişlerdir. Araştırmamızda, en yüksek azot konsantrasyonu %4,24 N ve %4,19 N ile istatistiki olarak aynı gruba giren sırasıyla, fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılan H.İ.S.G. ve H.S.G. uygulamalarında kaydedilmiştir (Tablo 4). Fertigasyon ile geleneksel yöntem karşılaştırıldığında, %4,05 N ile fosfor uygulanmamış, mikoriza aşılması yapılmış fertigasyon yönteminin daha yüksek N konsantrasyonuna sahip olduğu gözlemlenmiştir. Drost ve Koenig (2001), nitrat azotunun çok hareketli olduğunu ve toprakta yeterli su varsa toprak profilinden hızlıca yıkanacağını, bu nedenle su ve azotun dikkatli şekilde uygulanmasıyla azotun kök bölgesinin altına yıkanmasının en aza indirilmenin mümkün olabileceğini ve bunun damla sulamayla başarılabilirliğini belirtmişlerdir. Benzer olarak Stark ve ark. (1983), sulamayla birlikte azot uygulamasının azotun gübre kullanım etkinliğini artıracağını, Gardner ve Roth (1984) ve Papadopolous (1988), bu şekilde büyüme periyodu boyunca bitki ihtiyacını karşılamak için zamanı kontrol etmede fırsat sağlanacağını bildirmişlerdir. Gastaldi ve Sutton (1989), damla sulama ile azotlu gübrelemenin optimize edilebileceğini ve etkili bir şekilde kullanılabilirliğini rapor etmişlerdir. Çalışma ile elde

edilen bulgulara göre, fosfor uygulamasının fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin azot konsantrasyonuna etkisinin olmadığı ($P<0,077$), ancak mikoriza aşılmasının önemli derecede etki ettiği ($P<0,001$) belirlenmiştir. Çoğunlukla mikoriza içinde kılcal kök gelişmediğinden, mikoriza mantarının oluşturduğu iplikçikler toprakta değinme yüzeyini artırır ve çok küçük çapları (2-12 μm) nedeniyle dar porlara girerler ve bundan dolayı mantar simbiyozu köklerle madde alımını (su ve besin) oldukça artırabilir (Özbek ve ark., 1995). Fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin fosfor konsantrasyonlarına etkisi değerlendirildiğinde, %0,35 P ile biber bitkisinde en yüksek fosfor konsantrasyonunun fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılan H.S.G. uygulamasında olduğu belirlenmiştir. En düşük fosfor konsantrasyonu ise %0,21 P ile fosfor uygulanmayan ve mikoriza aşılması yapılmayan H.S.G. uygulamasında tespit edilmiştir. Farklı araştırmacılar da mikorizanın bitkilerin P alımını önemli derecede artırdığını bildirmişlerdir. Ortas ve ark. (2011), biber bitkisinde 3 yıl süreyle (1999-2001) yaptıkları çalışmada 1., 2. ve 3. yıl için en düşük P konsantrasyonunun sırasıyla %0,22, %0,14 ve %0,16 P ile kontrolde görüldüğünü, mikoriza aşılmasının ise sırasıyla %0,30, %0,27 ve %0,25 P ile en yüksek P konsantrasyonuna sahip olduğunu belirlemişlerdir. Martin ve Stutz (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, biber bitkisinin *G. intraradices* mikoriza mantar türü ile aşılması durumunda, yeşil aksam ve kök kuru ağırlığı ile birlikte bitkinin P konsantrasyonunun, mikoriza mantarı aşılamanın biber bitkisine oranla daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Genel ortalamalar açısından %P konsantrasyonu incelendiğinde ise fertigasyon yönteminden elde edilen %P konsantrasyonu ortalamasının geleneksel yöntemle göre oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir (%0,34 P). Bu durumun, damla sulama ile birlikte fosforun bitki kök bölgesi yakınına verilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Segars, 2004). Pan ve ark. (2011), fertigasyon yöntemiyle muz fidelerinde yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişler ve fertigasyonun geleneksel gübrelemeye oranla P alım etkinliğini %18,2-27,8 arasında önemli derecede artırdığını bildirmişlerdir. Bulgular istatistik açısından değerlendirildiğinde, fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin % P konsantrasyonuna, mikoriza aşılmasının önemli bir etkisinin olduğu ($P<0,001$) saptanmıştır. Deneme dataları fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin K konsantrasyonu açısından değerlendirildiğinde, %6,76 ile en yüksek K konsantrasyonu fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılan H.Ü.S.G. uygulamasında elde edilmiştir (Tablo 4). Genel ortalamalar incelendiğinde, en yüksek K konsantrasyonu %6,42 ile fosfor uygulanmayan ve mikoriza aşılması yapılan parsellerde belirlenmiştir. Bar-Yosef ve Sagiv (1985) tarafından yapılan bir çalışmada, damla sulama sistemleri ile farklı bitkilerin besin elementlerini maksimum kullandığı dönemde, toprakta yeterli konsantrasyonda K bulunsa bile, potasyumun sulama suyu ile toprağa ilave edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Pratikte, ıslak kök bölgesinde kökler K bulabildiği için büyüydüklerinden, topraktan damlama noktasına K dağılımı daha az önem taşımaktadır. Bitki köklerinin K alma etkinliği o kadar yüksektir ki kökler bir K kaynağı ile karşılaştığı zaman kolaylıkla

alırlar. Düşük K konsantrasyonuna sahip özellikle kök hacmi sınırlı olan kumlu topraklarda, günlük fertigasyon uygulaması ile bitkilerin ihtiyaç duydukları K ve N bitkilere sağlanabilmektedir (Bar-Yosef, 1999).

Denemenin ikinci yılında, fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin Zn, Fe, Mn ve Cu konsantrasyonları Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5 Farklı fertigasyon uygulamalarının biber bitkisinin Zn, Fe, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkileri (mg/kg) (2010 Yılı)

Table 5 The effects of different fertigation applications on Zn, Fe, Mn and Cu concentrations of pepper plants (mg kg⁻¹) (year 2010)

Uygulamalar		Zn	Fe	Mn	Cu
		(mg/kg)			
(- M)	H.S.G.	29,4 ±0,6 ^{c-e}	70,5 ±1,3 ^f	65,2 ±0,3 ^{bc}	11,1 ±0,1 ^{de}
	H.İ.S.G.	30,1 ±0,8 ^{b-d}	73,0 ±0,9 ^{ef}	67,9 ±0,6 ^b	20,1 ±0,2 ^b
	H.Ü.S.G.	35,1 ±0,6 ^b	65,0 ±0,5 ^f	58,4 ±0,5 ^{de}	13,0 ±0,1 ^c
	Ortalama	31,5 ±3,11AB	69,5 ±4,09C	63,8 ±4,90B	14,7 ±4,74A
	G.G.	21,1 ±0,35B	65,0 ±0,65C	65,6 ±1,25B	8,9 ±0,40A
(+ M)	H.S.G.	35,3 ±4,1 ^b	106,3 ±0,9 ^b	78,3 ±0,3 ^a	12,0 ±2,2 ^{cd}
	H.İ.S.G.	45,7 ±3,2 ^a	83,1 ±0,4 ^{de}	75,1 ±0,4 ^a	21,3 ±0,5 ^b
	H.Ü.S.G.	32,8 ±5,4 ^{bc}	100,5 ±4,2 ^b	80,4 ±3,2 ^a	12,0 ±0,9 ^{cd}
	Ortalama	37,9 ±6,84A	96,6 ±12,07AB	77,9 ±2,67A	15,1 ±5,37A
	G.G.	22,8 ±0,15B	74,0 ±0,10BC	72,2 ±0,25AB	11,7 ±0,15A
(- M)	H.S.G.	25,0 ±2,5 ^{de}	82,6 ±2,9 ^{de}	56,5 ±4,3 ^e	13,2 ±0,3 ^c
	H.İ.S.G.	18,0 ±0,7 ^f	65,6 ±1,0 ^f	63,4 ±0,6 ^{b-d}	13,2 ±1,0 ^c
	H.Ü.S.G.	18,0 ±1,0 ^f	72,1 ±8,4 ^f	66,1 ±3,5 ^{bc}	9,6 ±0,4 ^e
	Ortalama	20,3 ±4,04B	73,4 ±8,58BC	62,0 ±4,95B	12,0 ±2,08A
	G.G.	23,9 ±0,30B	66,8 ±0,85C	68,2 ±0,40AB	9,7 ±0,20A
(+ M)	H.S.G.	18,6 ±2,8 ^f	96,3 ±1,1 ^{bc}	76,2 ±6,6 ^a	10,5 ±0,3 ^{de}
	H.İ.S.G.	24,6 ±3,2 ^e	89,8 ±13,8 ^{cd}	61,7 ±0,8 ^{c-e}	11,9 ±1,4 ^{cd}
	H.Ü.S.G.	26,2 ±0,4 ^{de}	127,1 ±0,4 ^a	64,4 ±2,1 ^{bc}	23,4 ±0,6 ^a
	Ortalama	23,1 ±4,01B	104,4 ±19,93A	67,4 ±7,71AB	15,2 ±7,08A
	G.G.	40,3 ±6,35A	73,6 ±4,25BC	70,2 ±0,30AB	11,8 ±0,10A
Fosfor (P)	0,001	0,001	0,001	0,001	
Mikoriza (M)	0,001	0,001	0,001	0,001	
Fertigasyon (F)	0,010	0,001	0,039	0,001	
PXM	0,008	0,119	0,001	0,001	
PXF	0,001	0,001	0,016	0,001	
MXF	0,001	0,001	0,001	0,001	
PXMXF	0,001	0,001	0,001	0,001	

Biber bitkisinin Zn konsantrasyonu sonuçları değerlendirildiğinde, 45,7 mg/kg Zn ile en yüksek Zn konsantrasyonu fosfor uygulaması yapılmayan, mikoriza aşılması yapılan H.İ.S.G. uygulamasında, en düşük Zn konsantrasyonu ise 18,0 mg Zn/kg ile fosfor uygulaması yapılan, mikoriza aşılması yapılmayan H.İ.S.G. ve H.Ü.S.G. uygulamalarında belirlenmiştir (Tablo 5). Araştırmada hem fosfor uygulanmayan hem de fosfor uygulanan parsellerde mikoriza uygulamalarının biber bitkisinin Zn konsantrasyonunu artırdığı tespit edilmiştir. Ortas ve ark. (2011), biber bitkisi ile yaptıkları 3 yıllık çalışmada Zn konsantrasyonunu incelemişler ve 1., 2. ve 3. yıl kontrol bitkilerinde en düşük sırasıyla 19,1, 19,3 ve 20,5 mg/kg Zn, en yüksek ise mikoriza aşılmasında sırasıyla 25,8, 47,8 ve 29,1 mg/kg Zn tespit etmişlerdir. Denemenin her 3 yılı için de mikoriza aşılması ile biber bitkisinin Zn konsantrasyonunun kritik düzey olan 20 mg/kg Zn seviyesinin üzerinde olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan çalışmalarda, mikoriza uygulaması ile immobil halde bulunan besin elementlerinden özellikle çinkonun alımını bitkiler tarafından kabul edilir oranda artırdığı tespit edilmiştir (Ortaş ve Akpınar, 2006; Smith ve Read, 2008).

Araştırmada biber bitkisinin Fe konsantrasyonunu mikoriza uygulamalarının önemli derecede artırdığı belirlenmiştir. En düşük Fe konsantrasyonunun 65,0 mg/kg Fe ile fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılmayan H.Ü.S.G. uygulamasında, en yüksek Fe konsantrasyonunun ise 127,1 mg/kg Fe ile fosfor uygulanan, mikoriza aşılması yapılan H.Ü.S.G. uygulamasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 5). Biber bitkisinin Zn konsantrasyonunda olduğu gibi, mikoriza uygulamasının önemli derecede Fe konsantrasyonunu artırdığı belirlenmiştir. Genel ortalamalar açısından değerlendirildiğinde, fosfor uygulanan ve mikoriza aşılması yapılan uygulamalarda 104,4 mg/kg Fe ile fertigasyon yönteminin, geleneksel yöntemle göre daha yüksek Fe konsantrasyonuna sahip olduğu saptanmıştır. Bulgular istatistiki açıdan değerlendirildiğinde, fosfor uygulamasının (P<0,001) ve mikoriza aşılmasının fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin Fe konsantrasyonuna önemli derecede katkı sağladığı belirlenmiştir (P<0,001). Biber bitkisinin Mn konsantrasyonuna, fosfor ve mikoriza uygulamalarının önemli derecede etkide bulunduğu tespit edilmiştir

($P < 0,001$). En düşük Mn konsantrasyonunun 56,5 mg/kg Mn ile fosfor uygulanan, mikoriza uygulaması yapılmayan H.S.G. uygulamasında, en yüksek Mn konsantrasyonunun ise 80,4 mg/kg ile fosfor uygulanmayan, mikoriza uygulaması yapılan H.Ü.S.G. uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Ancak istatistiki açıdan aynı uygulamaların H.S.G. (78,3 mg/kg Mn), H.İ.S.G. (75,1 mg/kg Mn) ve hem fosfor uygulanan hem de mikoriza aşılması yapılan parsellerin H.S.G. (76,2 mg/kg Mn) uygulamaları arasında fark olmadığı belirlenmiştir. Cu konsantrasyonu bakımından Tablo 5 incelendiğinde, en düşük Cu konsantrasyonu 9,6 mg/kg Cu ile fosfor uygulanan, mikoriza aşılması yapılmayan H.Ü.S.G. uygulamasında, en yüksek Cu konsantrasyonunun ise fosfor uygulanan, mikoriza aşılması yapılan H.Ü.S.G. uygulamasında olduğu belirlenmiştir (23,4 mg/kg Cu). Genel ortalamalar bakımından değerlendirildiğinde, istatistiki olarak fertigasyon ve geleneksel yöntem arasında fark olmadığı gözlemlenmiştir.

Sonuçlar ve Öneriler

Çalışmada, 2009 ve 2010 yılları arasında 2 yıl süreyle, fertigasyon uygulamalarında farklı gübreleme zamanlarının ve mikoriza uygulamalarının, Çukurova bölgesinde yetiştiriciliği oldukça fazla yapılan biber bitkisinin verimine ve besin elementleri konsantrasyonuna olan etkileri geleneksel yöntemle karşılaştırılarak araştırılmıştır.

Çalışma ile elde edilen bulgular verim değerleri açısından bir bütün olarak değerlendirildiğinde; her 2 yılda da fertigasyon yöntemiyle yetiştirilen biber bitkisinin veriminin geleneksel yöntemle göre yetiştirilen biber bitkisinin verimine oranla oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, mikoriza aşılması yapılan parsellerde verimin, mikoriza aşılması yapılmayan parsellere göre daha fazla olduğu saptanmıştır.

Fertigasyon uygulama sıklıkları açısından bulgular değerlendirildiğinde, birinci yılda fosfor uygulanan ve mikoriza aşılması yapılan H.İ.S.G., ikinci yılda ise fosfor uygulanmayan, mikoriza aşılması yapılan H.S.G. uygulamalarının verimi önemli derecede artırdığı belirlenmiştir. Bitki besin elementlerinin alımı yönünden çalışma ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, mikoriza uygulamalarının genelde bitkilerin besin elementleri konsantrasyonlarını artırdığı tespit edilmiştir. Fertigasyon uygulama sıklıklarından H.S.G. uygulamasının, biber bitkisinin % P konsantrasyonunu her 2 yılda da artıran uygulama olduğu gözlemlenmiştir. Biber bitkisinin K, Zn, Fe, Mn ve Cu konsantrasyonları değerlendirildiğinde, H.S.G. ve H.İ.S.G. uygulamalarının, H.Ü.S.G. uygulamasına göre, bitkilerin besin elementlerini daha fazla artırdığı tespit edilmiştir.

Araştırmada iki yıllık deneme sonuçları, H.İ.S.G. uygulamasının ve mikoriza aşılmasının, bitkilerin gelişimini ve bitki besin elementleri alımını artırdığını göstermiştir. Su kaynaklarının giderek azaldığı günümüzde, fertigasyon uygulamaları oldukça önem kazanmaktadır. Dünyadaki su kaynaklarının büyük bölümünün tarımsal üretim sistemlerinde kullanıldığı düşünüldüğünde, damla sulama yolu ile gübreleme, hem kısıtlı olan suyun ekonomik ve sürdürülebilir olarak kullanılmasını, hem de gübreler yoluyla çevre kirliliğinin

azaltılmasını sağlayacaktır. Su ve gübrelerin kullanım etkinliğinin artırılması, çevre ve doğal kaynakların korunması açısından önemli olduğu kadar, insan sağlığı için de önemlidir.

Kaynaklar

- Aguilera-Gomez L, Davis FT, Duray SA, Phavaphutanon L, Olalde-Portugal V. 1999. Influence of Phosphorus and Endomycorrhiza (*Glomus intradices*) on Gas Exchange and Plant Growth of Chile Ancho Pepper (*Capsicum annuum* cv. San Luis). *Photosynthetica*, 36: 441–449.
- Bar-Yosef B, Sagiv B. 1985. Potassium Supply to Field Crops Grown under Drip Irrigation and Fertilization. *Proc. K Symposium*. Pretoria, International Potash Institute., pp. 185–188.
- Bar-Yosef B. 1999. Advances in Fertigation. *Adv Agron*, 65: 1–77.
- Bergmann W. 1993. *Ernaehrungsstörungen bei Kulturpflanzen*. 3. Auflage, Verlag Jena-Stuttgart: Erustav Fischer, 835 p.
- Blanco M. 2011. Supply of and access to key nutrients NPK for fertilizers for feeding the world in 2050. *Universidad Politécnica de Madrid (UPM)*, Report.
- Bremner JM. 1965. *Method of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Methods*. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wise S-1149-1178, USA.
- Cassman KG, Bryant DC, Roberts BA. 1990. Comparison of Soil Test Methods for Predicting Cotton Response to Soil and Fertilizer Potassium on Potassium-fixing Soils. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 21: 1727-1743.
- Çetin Ö. 2015. Fertigasyon: Sulama ile birlikte gübreleme. *Dicle Ü. Ziraat Fak. Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü*, Diyarbakır.
- Drost D, Koenig R. 2001. Improving Onion Productivity and N Use Efficiency with a Polymer Coated Nitrogen Source. In: Brown BD. (editor), *Western Nutrient Management Conference*. Salt Lake City, UT, 8-9 March 2011, pp: 39-46.
- FAO. 2016. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. www.fao.org web page.
- Gardner BR, Roth RL. 1984. Applying Nitrogen in Irrigation Waters. In: R.D. Hauck (editor), *Nitrogen in Crop Production*. Madison, WI: Soil Science Society of America. Pp: 493-506.
- Gastaldi CR, Sutton BG. 1989. Optimizing nitrogen fertilization of vegetable crops by drip irrigation. *Acta Hort*, 247: 217-221.
- Gul A, Tuzel Y, Tuzel IH, Irget ME, Kidoglu F, Tepecik M. 2011. Effects of Nutrition and Irrigation on Sweet Pepper Production in Volcanic Tuff. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9: 221-229.
- Hopkins BG, Ellsworth JW, Stark JC, Geary BD. 2003. Potato Nutrition BJ-KB35. *Potato Research and Extension Progress Reports for Idaho Potato Commission*, Moscow, University of Idaho. pp. 18–20.
- Hou Z, Li P, Li B, Gong J, Wang Y. 2007. Effects of fertigation scheme on N uptake and N use efficiency in cotton. *Plant and Soil*, 290: 115-126.
- Jones B. 1998. *Plant Nutrition Manual*. Boston: Crc Press.
- Karashin M, Dundar O, Samanci A. 2018. The Way of Yield Increasing and Cost Reducing in Agriculture: Smart Irrigation and Fertigation. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 6(10): 1370-1380.
- Keller J, Bliesner RD. 1990. *Sprinkle and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Kothari SK, Marschner H, Romheld V. 1991. Contribution of the VA Mycorrhizal Hyphae in Acquisition of Phosphorus and Zinc By Maize Growth in A Calcareous Soil. *Plant and Soil*, 131: 177-185.

- Magen H, Imas P. 2003. Fertigation – The Global View. 4th Fertigation Training Course. Basel, Switzerland, September 2003. NWSUAF, International Potash Institute.
- Marschner H. 2002. Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press.
- Martin CA, Stutz JC. 2004. Interactive Effects of Temperature and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth, P Uptake and Root Respiration of *Capsicum annuum* L. Mycorrhiza, 14 (4): 241–244.
- Murphy J, Riley JP. 1962. A modified single solution for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chemica Acta, 27: 31–36.
- Neary PE, Storlie CA, Paterson JW. 1995. Fertigation Requirements for Drip-irrigated Bell Peppers Grown on Loamy Sand Soils. Prof. 5th Int. Microirrigation Congr. Orlando, FL. pp. 187–193.
- Ortas I, Akpınar C. 2006. Response of Kidney Bean to Arbuscular Mycorrhizal Inoculation and Mycorrhizal Dependency in P and Zn Deficient Soils. Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant, 56: 101–109.
- Ortas I, Lal R. 2011. Climate Change and Food Security in West Asia. International Conference on Adaptation to Climate Change and Food Security in West Asia and North Africa. Kuwait, 14-17 November 2011.
- Ortas I, Sari N, Akpınar C, Yetisir H. 2011. Screening Mycorrhiza Species for Plant Growth, P and Zn Uptake in Pepper Seedling Grown Under Greenhouse Conditions. Scientia Horticulturae, 128: 92–98.
- Ortas I. 2012. The effect of mycorrhizal fungal inoculation on plant yield, nutrient uptake and inoculation effectiveness under long-term field conditions. Field Crops Research, 125: 35–48.
- Özbek H, Kaya Z, Gök M, Kaptan H. 1995. Toprak Bilimi. Adana: Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları. Genel Yayın No.73, Ders Kitapları Yayın No. 16, 816 s.
- Pan N, Shen N, Wu DM, Deng LS, Tu PF, Gan HH, Liang YC. 2011. Mechanism of Improved Phosphate Uptake Efficiency in Banana Seedlings on Acidic Soils Using Fertigation. Agricultural Water Management, 98: 632–638.
- Papadopolous I. 1988. Nitrogen Fertigation of Trickle-Irrigated Potato. Fert Res, 16: 157-167.
- Segars B. 2004. Efficient Fertilizer Use-fertigation. Fourth Edition. <http://www.agcentrl.com/imcdemo/10fertilization.html>.
- Sharif M, Claassen N. 2011. Action Mechanisms of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Phosphorus Uptake by *Capsicum annuum* L. Pedosphere, 21: 502-511.
- Silber A, Bruner M, Kenig E, Reshef G, Zohar H, Posalski I, Yehezkel H, Shmuel CS, Dinar M, Matan E, Dinkin I, Cohen Y, Karni L, Aloni B, Assoulin S. 2005. High fertigation frequency and phosphorus level: effects of on summer-grown bell pepper growth and blossom-end rot incidence. Plant and Soil, 270: 135-146.
- Smith S, Read DJ. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. San Diego, CA: Academic Press.
- Sne M. 2006. Micro irrigation in arid and semi-arid regions. In: Kulkarni SA. (editor). Guidelines for planning and design. New Delhi, India: ICID-CIID. International Commission on Irrigation and Drainage.
- Stark JC, Jarrell WM, Letey J, Valoras N. 1983. Nitrogen use Efficiency of Trickle-irrigated Tomatoes Receiving Continuous Injection of N. Agron J, 75: 672–676.
- TUIK. 2017. Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr>.
- Wang C, Li X, Zhon J, Wang G, Dong Y. 2008. Effects of AM Fungi on the Growth and Yield of Cucumber Plants. Commun Soil Sci Plant Anal, 39: 499–509.