

Mikorizaların Bitkilerde Stres Mekanizması Üzerine Etkileri

Yusuf ÇELİK^{1*}

Garip YARŞI*

Adem ÖZARSLANDAN**

Özet: Son yıllarda olumsuz etkileri daha çok hissedilen küresel ısınma nedeni ile çevresel ve iklimsel sorunlar yaşanmaktadır. Bitkisel üretim, hem biyotik hem de abiyotik stres faktörleri tarafından etkilenmektedir ve gelecekte özellikle çevresel stres faktörlerinin daha etkili olacağı düşünülmektedir. Küresel ısınmanın gelecekteki en önemli olumsuz etkilerinin başında tuzluluk ve kuraklık stresi gelmektedir. Tuzluluk ve kuraklık stresi altındaki topraklarda yetiştirilen bitkisel üretimde verim ve kalite olumsuz etkilenmektedir. Tarımsal alanlardaki toprak florasının korunması ve sürdürülebilir hale gelmesi için mikorizaların kullanılması tüm dünyada giderek yaygınlaşmaktadır. Mikorizalar, bitkilerin besin maddesi alınımına olumlu katkı sunarken bunun yanında tuzluluk ve kuraklık, ağır metal toksisitesi ve sıcaklık stresine dayanımı arttırmaktadır. Bununla birlikte büyümeyi teşvik edici maddelerin salgılanmasını uyarmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, mikorizaların biyolojik mücadele ve bitki besleme alanlarında pozitif etkisinin olduğu vurgulanmaktadır. Sonuç olarak; bitkisel üretimde mikoriza kullanımı hastalık ve zararlılarla mücadelede maliyet azalacak, ürünlerin verim ve kalitesi artacaktır. Ayrıca tarıma dayalı toprak ve çevre kirliliği azaltılmış olacaktır.

Anahtar kelimeler: Mikoriza, bitkisel üretim, kuraklık, tuzluluk, stres

Effects of Mycorrhizas on Stress Mechanism in Plants

Abstract: In recent years, environmental and climatic problems are experienced due to global warming, which has a negative impact. Plant production is influenced by both biotic and abiotic stress factors, and environmental stress factors are thought to be more effective in the future. Salinity and drought stress are the most important negative effects of global warming. The yield and quality are negatively affected in plant production grown in soil under salinity and drought stress. The use of mycorrhiza to protect and maintain the soil flora in agricultural areas is becoming more widespread all over the world. Mycorrhizas contribute positively to the nutrient uptake of plants, while increasing resistance to salinity and drought, heavy metal toxicity and temperature stress. However, it stimulates the secretion of growth-promoting substances. In recent years, it has been emphasized that mycorrhiza has a positive effect on biological control and plant nutrition. As a result, the use of mycorrhiza in plant production will decrease the cost of combating diseases and pests, the yield and quality of the products will increase. In addition, agriculture-based soil and environmental pollution will be reduced. In addition, agriculture-based soil and environmental pollution will be reduced.

Keywords: Mycorrhiza, crop production, drought, salinity, stress

¹ Silifke Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Mersin Üniversitesi/Türkiye,
Sorumlu yazar: ycelik3334@gmail.com

² Silifke Uygulamalı Teknoloji ve İşletmecilik Yüksekokulu, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye

GİRİŞ

Mikoriza bitki kökleri ile bazı toprak mantarları arasındaki ortak yaşama durumunu ifade etmektedir. Bitki türlerinin yaklaşık %95'i en az bir mantar ile mikoriza oluşturmaktadır. Yunanca'da mykes=fungus, rhiza= kök anlamına gelen sözcüklerden oluşmakta olan mikoriza terimi ilk kez Frank (1885) tarafından bitki kökleri ile belli bazı fungal yapıların oluşturdukları ortak fayda neden ile yapılan tanımdır. (Moser and Haselwandter, 1975). Toprak mikroflorasındaki mikroorganizmalar ile bitkiler arasındaki en yaygın simbiyotik yaşam şekillerinden biri olan mikorizal yaşam, dünyada neredeyse tüm kara bitkilerinde görülmektedir. Dikotiledonların %83'ü monokotiledonların %79'u ve Gymnospermlerin tümü bu simbiyotik yaşam şekline gösterir. Mikorizal yapıya sahip olmayan bitkiler, ya kurak yâda çok tuzlu, su altında kalmış, toprak verimliliği oldukça yüksek veya oldukça düşük yaşam alanlarında bulunurlar. Ayrıca Cruciferae ve Chenopodiceae familyasına dâhil bitkilerde de, çok değişik çevre şartlarında mikorizal yaşam görülmemektedir. (Harley, 1975; Brundrett, 1991; Marschner, 1995).

Mikorizal fungusların yeryüzünde kolonize oluşunun yaklaşık olarak 1000 milyon yıl öncesine kadar dayandığı tahmin edilmektedir. Bu tarihten itibaren mikorizal funguslar ile bitkiler arasında simbiyotik ilişkinin kurulmaya başlandığı veya bitkilerin yeryüzüne yayılmasında önemli rollerinin olduğu düşünülmektedir (Smith ve Read, 2008). Mikoriza mantarlarının çok farklı tipleri mevcuttur. Bunlar genel olarak kök bölgesinde yaşadığı yere göre ikiye ayrılırlar: ENDO (kökün iç bölgesinde yaşayanlar) ve EKTO (kökün dış bölgesinde yaşayan) Mikoriza. Mikoriza'nın etkili olabilmesi için kök ile temasının olması şarttır.

Topraktaki mikroorganizmalarla bitkiler arasında simbiyotik ilişkiler vardır. Bunlardan bir tanesi de "mikoriza mantarıdır. Günümüzde pek çok araştırmada bitkiler ile mikorizalar arasındaki bu ortak yaşamın varlığını kanıtlamışlardır. Bazı Orman ağaçları ile bazı meyve ağaçlarında "Ektomikoriza" tipi bir simbiyosis yaşam görülürken, hemen hemen tüm kültür bitkilerinde ve diğer meyve ağaçlarında "Endomikoriza" tipi görülmektedir (Marschner, 1995). Bitkilerin topraktan kolay alınabilen besin elementleriyle gübrelenmesi yerine toprakta mevcut olan bitki besin elementlerinden daha etkin şekilde faydalanmaları çevre sağlığı ve doğal kaynaklardan istifade etme yönünden daha etkili bir uygulamadır. Kökte yaşayan mantarları olarak da bilinen mikorizal funguslar kök içindeki morfolojik yapıya göre değişik gruplara ayrılırlar. En geniş gruba sahip olan Endomikorizaların çok bilineni Arbuskuler Mikoriza (AM)'dir (Ortaş, 1997).

En önemli endomikorizal yaşam şekillerinden biri olan Arbusküler Mikoriza (AM), kültür bitkileri de dahil neredeyse bütün kara bitkilerinde görmek mümkündür. Ekto ve endo mikorizalar içinde çok yaygın rastlanan simbiyotik yaşam şeklidir. Mikorizal yaşam dikkatleri çekmeye başladığı 1950'li yılların başından itibaren çalışmalar daha çok AM fungusları üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Gerdemann, 1968; Mosse, 1973; Bethenfalvay, 1992; Marschner, 1995). Schenck (1991) AM'ya gösterilen bu ilginin sebebini, AM funguslarının birçok yönden konukçuya sağladığı faydalar olduğu bildirilmiştir. Doğada ve diğer tarımsal alanlarda bulunan birçok tarla ve bahçe bitkisinin hiçbir kimyasal girdi kullanmadan sağlıklı olarak yetiştirildiğini bildirilmektedir. Yakın zamana kadar toprakta alınabilirliği zor olan bitki besin elementlerinin alınımının sadece bitki kökleri tarafından alındığını, son yıllarda yapılan bilimsel araştırmalarda ise bitki besin maddelerinin bitki kökleri yanı sıra mikoriza diye isimlendirilen ve teşhisi mikroskop altında yapılabilen ve çok miktarda hif üretebilen fungus türleri tarafından alındığının tespit edildiğini bildirmişlerdir (Ortaş ve ark. 1996).

Genel olarak mikoriza sporları, birlikte simbiyotik olarak yaşadıkları bitkilerin isteklerine benzer istekler ihtiyaç duymaktadırlar. Mikoriza mantarlarının hifleri konukçu bitkinin köklerindeki korteks dokulara nüfuzu ile infeksiyon başlamakta ve bunu takiben spor oluşumu teşekkül etmektedir. Bitki türüne ve yoğunluğuna göre 1 kg toprakta 10-20 bin kadar spor bulunduğu belirtilmiştir. Mikoriza sporları yaşamlarını sürdürebilmesi için belirli şartların gerçekleşmesi gerekmektedir. Örneğin yapılan birçok araştırmaya göre mikoriza sporlarının hayatta kalabilmeleri için uygun değer sıcaklığın 30°C olması gerektiği bildirilmiştir(Schenck ve Schroder, 1974). Bunun dışında düşük ve yüksek sıcaklıklarda mikoriza sporlarının etkinliğinin azaldığı ifade edilirken mikoriza ile sıcaklık arasındaki ilişkinin bölgeler arasında farklılık gösterdiği de saptanmıştır(Bagyaraj, 1991).

Topraktaki Mikorizal mantarının aktivitesi toprak tekstürü, kimyası, sıcaklık, pH, nem, organik madde kapsamı ile kireç, gübre ve kimyasal pestisit uygulamaları dahil bir çok faktöre bağlı olduğu tespit edilmiştir (Lambert et al., 1979; Trappe et al., 1984; Dodd ve Jeffries, 1989). Arbusküler Mikorizal Funguslar (AMF) doğal ve tarımsal ekosistemlerde en yaygın olarak bulunan ve toprak rizosferindeki en fonksiyonel mikrobiyal simbiyontlardan biri olarak bilinirler (Smith ve Read 2010).

Arbusküler Mikorizal Funguslar, konukçu bir bitkinin köklerinde simbiyotik olarak yaşayan obligat biyotrof canlılardır. Konukçu bir bitki olmadan kültür olarak çoğalmaları mümkün değil. Çoğu türlerinin sporları toprakta bulunur ve bu sporların hepsi konukçu bitki olmadan çimlenme kabiliyetindedirler. Bu sporlar farklı edafik ve çevresel koşullar altında çimlenebilirler fakat konukçu bitki olmadan yoğun misel üretmezler ve yaşam döngülerini tamamlayamamaktadırlar. Hayat döngülerini tamamlamaları ve simbiyotik fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için konukçu bitkinin varlığına ihtiyaç duymaktadırlar. (Kapulnik and Douds 2000a)

AMF, kök korteksi içerisinde kolonize olur ve çok miktarda hif (misel) üreterek, bitki kök yüzey alanını arttırmakla beraber kökten çok uzakta bulunan ve bitkinin topraktan alamayacağı form ve miktardaki besin maddelerini (özellikle fosfor, azot, potasyum, demir, çinko, bakır ve molibden) hifleri vasıtasıyla alıp, bitkinin üst aksamalarına taşınmasında etkili olurlar. Ayrıca bünyesinde su taşıyarak bitkilerin su stresine maruz kalmasını engellemektedirler. Böylece bitkinin mikorizal fungusa karbon, mikorizal fungusun da bitkiye besin elementi sağladığı simbiyotik bir yaşam döngüsü sağlamaktadırlar. (Marschner ve Dell, 1994; Ortaş, 1997; Demir, 1998; Al-Karaki, 2000).

AMF ile konukçu bitki arasındaki besin alış verişi AM fungusunun intraradikal hifleri ile konukçu bitkinin kök hücreleri arasında gerçekleşmektedir. Kök dokularına nüfuz eden AMF hifleri orada vesikül ve arbuskül denen özel AMF yapıları meydana getirirler. Arbusküller çok yönlü karakterize olmuş AMF hifleridir ve bunlar kök korteks hücresine yerleştikten sonra hızla dallanırlar ve ağaca benzer bir şekil alırlar. Arbuskülün oluşumu ile kök hücre yapısı değişiklik gösterir. Yapılan araştırmalara göre, arbusküllerin besin transferine aracı olan organeller olduğu bildirilmiştir. AMF hifi arbuskül oluşturmak için kök kortikal hücresine etki edince fungal hücre duvarı incelmeye başlar ve etkisi artmaktadır. Fungal hücre duvarının ana komponentlerinden bir tanesi de düzensiz yapıdaki kitindir. Kitin ekstraradikal ve interselüler hiflerde fibril yapıdadır. Fungal yapının hücre içerisine girmesi ile konukçu hücrenin plazma zarı içeriye doğru kılıf şeklinde girer ve oluşan arbuskülün etrafını sarmaya başlar. Arbuskülün etrafını saran bu zara periarbusküler zar denilmektedir. Bitki hücre duvarı ile periarbusküler zar birbirine çok yakındır ve aralarında çok ince bir boşluk mevcuttur. Bu boşluk, β -glukangliko proteinle zengin hidroksi-proline, N-asetil alaktozlu polisakkaritler ve galaktoz kalıntıları ile zengin bir yapıya sahiptir (Kapulnik ve Douds 2000b).

Mikorrhiza'da bitki kökleri ve belli fungus türleri birbirlerinin partneri olacak şekilde sıkı bir yaşam birlikteliği oluştururlar. Bitkiler, bu yaşama sanılanın çok üstünde bağımlıdırlar. Bu yaşama sahip olmayan bitkiler ya gelişme depresyonuna uğramakta (Pinüstürleri gibi) ya da hiç gelişmemektedirler (orkide türleri gibi). Yine bu simbiyotik yaşam o denli dengelidir ki konukçu hücrelerin büyük bir çoğunluğu fungal hifler tarafından sarılmasına rağmen, burada gözle görülür bir doku tahribatı yoktur ve belli koşullar altında konukçu bitkinin gelişimi ve çeşitli olumsuzluklara karşı direnci artmaktadır (Rhodes, 1980)

AM fungusları ile simbiyotik yaşam süren bitkilerde, kök morfolojisinde ve fizyolojisinde önemli değişikliklere yol açmaktadır. Konukçu dokuda, topraktan mineral maddelerin alınımına karşılık olarak ortaya çıkan bu değişimler, hücre zarı geçirgenliğinde ve kök hücrelerinin yapısal ve biyokimyasal bakımdan değişimlere uğradığı söylenebilir. Bu bakımda da kök salgılarının kalitesi ve miktarı artış gösterir. Salgılarda meydana gelen değişimler rizosfer toprağındaki mikroorganizmaların kompozisyonlarındaki değişimleri de artırmakta ve bu değişimlerin meydana geldiği ortam mikorizosfer olarak tanımlanmaktadır (Linderman, 1988; 1994). Bu nedenle mikorizosferdeki AMF ve mikroflora etkileşimleri kök hastalıklarının seyrini de değiştirmektedir.

Mikorizal funguslar bitkilerin topraktan daha fazla su ve besin maddesi alımını sağlamaktadırlar. Verim düşüklüğü düşük ürün kalitesi gibi sorunlar nedeni ile besin maddelerinden direkt etkilenen bitkiler için bu durum önemle ele alınmalıdır. (Maboko ve ark., 2013; Farahani ve ark., 2008)

Mikorizal araştırmalar, bitkiye sağladığı faydaların önemi açısından, özellikle endomikorizal yaşam şekilleri içinde yer alan Arbusküler Mikoriza (AM) olması dikkatleri çekmiştir. (Demir, 1998).

Mikorizal funguslar, kökteki, rizosferdeki ve topraktaki mikroorganizmalar ile ilişki içindedir. Bu ilişkiler bazen engelleyici bazen teşvik edici olabilmektedir. Ayrıca aralarında bazen rekabet olurken bazen de karşılıklı olarak birbirleri ile uyum sağlarlar. Sonuçta bu tip interaksiyonlar, mikorizal fungusun yaşam çemberindeki spor popülasyonun dinamiğinde dışsal hiflerin köklerin kolonizasyonuna kadar bütün gelişim süreçlerinde görmek mümkündür (Fitter and Garbaye, 1994).

Mikoriza bitki köklerini etkili bir şekilde infekte ettiği zaman bitkiye daha fazla besin ve su taşımaktadır (Ortaş., 1997). Mikoriza oluşturduğu uzun ve ince hifleri vasıtası ile bitki köklerinin bir uzantısı gibi işlev kazanmaktadır. Böylece daha derinlere ulaşma ve daha çok yüzey alanı kapsama suretiyle toprakta daha çok bitki kökü için temas yüzeyi sağlamaktadır. Böylece bitkinin topraktan daha fazla su ve mineral maddeyi etkin bir şekilde kullanmasını sağlar. Bu bağlamda, mikoriza uygulaması bitki kuru madde verimini arttırmayı sağlamıştır (Mohammed ve ark., 2004).

Çok yaygın olarak bulunan Mikorizal funguslar bitki türlerinin çoğu yaşamlarını bunlarla birlikte sürdürürler. Mikorizal funguslar içinde arbusküler mikorizal funguslar (AMF) en büyük grubu oluşturur. Mikorizal funguslar bitki kökleri ile toprak arasında köprü görevi gören ve topraktan köklere besin maddelerinin iletilmesini sağlarlar, mikorizosferde değişiklik, köklerde meydana gelen fizyolojik ve morfolojik değişiklikler ve rekabet gibi birtakım olaylar bitki gelişimine yarar sağlar. Ayrıca, mikorizal ilişkinin görüldüğü bitkiler toprak kaynaklı fungal patojenlere ve nematodlara karşı daha dayanıklı hale geldiğinden mücadelesi oldukça güç olan bu etmenlere karşı mücadele de büyük bir avantaj sunmaktadırlar. Ancak, vesiküler arbusküler mikoriza ile ortak yaşam içinde bulunan bitkilerin daha iyi gelişmelerine bağlı olarak bazı obligat patojenlere karşı daha duyarlı hale geldikleri de bildirilmektedir. (Yıldız 2009).

Mikoriza mantarları ihtiyacı olan karbon kaynağını direkt olarak bitkinin fotosentez ürünlerinden aldıkları için, mikoriza oluşumu ve etkinliği tamamen etkin fotosentez ve karbonhidratların sentezine ve kök bölgesine aktarılmasına bağlıdır. İyi bir kök kolonizasyonu için 12 saat veya daha fazla saatteki fotoperiyod miktarı etkinliği artırmaktadır. (Schenck ve Schroder, 1974). Ayrıca ışığın mikoriza üzerine olan etkisi bitki türlerinin fotosentezle olan ilişkisi doğru orantılıdır (Tinker, 1975).

Tarla koşullarında mikorizal funguslar ile bitki kökleri arasındaki simbiyotik bir ilişkinin mısır üretiminde verim ve kalite parametreleri üzerindeki etkisini araştırıldıkları çalışma sonucuna göre; bitki besin maddeleri eksikliği durumunda AMF'in bitki verim ve kalite özellikleri ile bitki hastalıklarına dayanıklılık açısından yarar sağladığını bildirmişlerdir (Çetinkaya, N., Dur., S., 2010).

AMF, bitki gelişimini, özellikle bitki besin madde miktarlarının kritik seviyelerde olduğu bazı topraklarda ve koşullarda olumlu etki yönde etki etmektedir. Bu etki simbiozise sahip köklerinin topraktan kantitatif olarak, başta fosfor olmak üzere bazı makro ve mikro besin maddelerinden daha iyi yararlandıklarını vurgulamışlardır. Fungus ise bitkiden bazı organik maddeleri ve karbonhidratları almaktadır. Bu yaşam şeklinde, her iki ortak da belli koşullar altında birbirlerinden yararlanmaktadırlar (Demir, 1998; Rhodes, 1980) AMF kök gelişimi, köklerin absorpsiyon kapasitesinin artması sonucunda daha fazla besin ve su alınımını sağladığı gibi köklerde hücre yenilenmesini de sağlar. Fosfor dışında, azot (N), kalsiyum (Ca), bakır (Cu), mangan (Mn), kükürt (S) ve çinko (Zn) gibi diğer besin maddelerinin alınımını gerçekleştirir. (Sieverding, 1991; Ortaş, 2002).

Bitkilerin kökleri vasıtasıyla almakta güçlük çektikleri P'unmikorizalar sayesinde kökten içeriye daha kolay aktarıldığını, trikalsiyum fosfat şeklinde çökelmiş ve yarayırsız formda olan P'unmikorizalar tarafından önemli düzeylerde yarayırlı forma dönüştürüldüğünü, mikorizanın oluşturduğu hifler yardımıyla, toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini, mikorizanın kıtsu koşullarında bitkinin su kullanımına önemli fayda sağladığı belirtilmektedir (Keklikçi, Z., 2014). Bütün mikoriza spor türlerinde salgılanabilen, glukoprotein yapıda olan "Glomalin" toprak ile bitki kökleri arasında yapıştırıcı özelliğinden dolayı kurduğu köprü görevi ile agregat oluşumunda ve besin elementlerinin alınımının artmasında önemli rolleri vardır (Rilling ve ark., 2003). Arbusküler mikorizal fungusların köke etki ettikten sonra, köklerde tepki olarak arginin, isoflavonoidler gibi bileşikler (Caron, 1989) ve sitokinin ve gibberellin gibi hormonların üretiminde artış meydana getirmektedirler. (Muchovej, 2001).

Tuz uygulaması yapılan ve yapılmayan koşullar (0,100 mg Na Cl/kg) ile artan çinko uygulamaları (0, 25, 50 mgZn/kg)'nin mikorizalı ve mikorizasız ortamlarda mısırın gelişim kriterleri ile fosfor ve çinko alınımına etkisinin araştırıldığı çalışma sonucunda; mikoriza aşılmasının mikorizasız uygulamalara göre kuru ağırlık, yaş ağırlık, çinko ve fosfor içeriğinde kayda değer düzeyde artış sağladığı bildirilmiştir. Ayrıca, tuz uygulaması ile bitki boyu ve yaş ağırlıkta azalma, fosfor alınımında ise artış olduğu, çinko uygulamalarına bağlı olarak da bitki boyu, yaş ağırlık ve kuru ağırlık ile fosfor ve çinko içeriğinin arttığı belirlenmiştir (Sönmez ve ark., 2013).

Yapılan ilk çalışmalar sonucunda besin element noksanlığı gösteren bir toprakta yetiştirilen mısır, arpa ve buğday bitkilerine ekim öncesi vesiküler-arbusküler mikoriza aşılmasının bitki verimini önemli ölçüde artırdığını kanıtlamıştır. Besin elementlerindeki bu artış Mikoriza hiflerinin bitki kök yüzeyinden 7 cm. dışarı uzanarak topraktan ekstrakte edilebilir besin elementlerini daha fazla alıyor olması sonucun varılmıştır (Koide, 1991). Mikoriza hiflerinin bu fonksiyonu özellikle fosfor, çinko ve bakır gibi bitki kökü etrafındaki difüzyon alanı daha dar olan ve bu nedenle de dağılımı orantısız olan besin elementleri açısından kayda bulunmuştur (Lambert et al., 1979).

Mycorrhhyzae çoklu biyolojik gübresi normal kimyasal gübrenin dörtte biri kadar bir gübreleme ile kontrole kı yasla domates kuru ağırlığını % 245 oranında artırdığı belirtilmiş (Saber, 2001). *Azospirillum* bakterilerinin *Glomus* sp. Funguslar birlikte uygulaması sorgumda P, N, Zn, Cu ve Fe alımını (Veeraswamy vd., 1992), buğdayda kök ve gövde ağırlığını (Gori ve Favili, 1995) artırmıştır. *Azospirillum* bakterilerinin funguslarla birlikte inok ulasyonu çilekte özellikle kök morfolojinde değişimler ortaya çıkarmıştır (Bellone ve Bellone, 1995).

Demir (1998), sera koşullarında yaptığı çalışmada domates, biber ve patlıcan bitkilerinin mikoriza uyumunun oldukça iyi olduğunu ve gelişim parametrelerinin mikoriza olmayanlara göre daha yüksek olduğunu ortaya belirtmiştir. Bitkinin kuraklığa karşı dayanıklılığını artırdığı bilinen mikoriza, bu işlevi hifleri vasıtasıyla yada kök büyümesi sonucu oluşan kılcal kök ile gerçekleştirmektedir (Davies ve ark., 1992).

Topraksız kültürde biber yetiştiriciliğinde iki farklı mikoriza türü (*G. Caledonim* ve *G. clarum*) uygulanan parsellerde iyi bir infeksiyon olduğu görülmüş buna bağlı olarak da özellikle kök gelişimine ait (kök uzunluğu, kök yaş ve kuru ağırlığı) bitki gelişim parametreleri kontrole göre daha fazla olduğu saptanmıştır. Yapraklarda ki besin içerikleri, bitki başına meyve miktarını artırmıştır. Topraksız kültür ortamında, ortama mikoriza aşılamanın bitki gelişimi, verimi ve verim bileşenlerini artırdığını bildirmişler (İkiz, 2003).

VAM mantarı aşılamalarının kuraklık şartlarında bitki verimini etkileyip etkilemediğini araştırdıkları ve deneme bitkisi olarak sorgum bitkisini kullandıkları çalışma sonucunda; orta kurak toprak şartlarında bitkinin gelişimi, fotosentez hızı ve stomatal dayanıklılığı aşıllı bitkilerde daha en iyi seviyelerde taşındığını, aşıllı bitki sayısının aşıllı olmayanlara göre daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, sonuçlar, kuraklık koşullarında VAM mantarının sorgum bitkisinin verimini artırdığını sonucuna varmışlardır (Ortaş ve ark., 1996).

AMF'lerin Dayanıklılık Etkisi

Arbusküler mikorhizal fungusun (AMF) özelliklerinin anlaşılması ile birlikte bitkiye inokulasyonunun birçok bitkide uygulanması yaygınlık kazanmış ve yapılan çalışmalar sonucunda AMF'nin su ve besin maddesi alım mekanizmasını güçlendirdiğini; bitki büyümesi ve verimi artırdığını; antioksidant enzimlerinin aktivitelerini artırdığını, kuraklık, tuzluluk gibi abiyotik; nematod, *Fusarium*, *Verticillium* gibi biyotik stres faktörlerine karşı bitki toleransını (dayanıklılığı) artırdığını; çözülebilir şeker içeriği vb, net fotosentez hızı ev etkinliğini, fotosentetik su kullanım etkinliğini ve neticede toplam verimi artırdığı sonucuna varılmıştır (Pfeiffer ve Bloss, 1988; Al-Karaki, 2000; Ruiz-Lozano, 2003).

Bitki Dokularındaki kimyasal bileşiklerde değişiklikler meydana getirerek: AMF kolonizasyonu sonucu oluşmuş kısmi fizyolojik değişimler kök patojenleri üzerinde kısmi olumsuz etkiler yaptığı görülmüştür. Örneğin, mikorizal bitkilerdeki arginin (Baltruschat and Schönbeck, 1975) ve antifungal kitinaz enziminin konsantrasyonlarının artışı nedeniyle (Dehne et al., 1978) patojenlerin sporulasyonu önlenmektedir. Ayrıca yaklaşık olarak son yıllarda yapılan çalışmalarda mikorizal simbiyotik yaşamda fitoaleksinin ve fenolik bileşiklerin miktarı araştırılmış, Morandi (1996) tarafından yapılan bir çalışmada AMF bitkilerinde fitoaleksinin benzeri isoflavonid bileşiklerinin konsantrasyonunun arttığı belirlenmiştir. Fakat bu bileşiklerin iki simbiyotik partner için biyolojik önemi ve hastalıkların biyolojik kontrolüne nasıl katkı sağladıkları tam olarak açıklığa kavuşturulmamıştır (Siqueria et al., 1991).

Tuzlu toprak koşullarında yetiştirilen bitkilerde görülen verim azalmasının nedenleri arasında; aşırı miktarda bulunan Na ve Cl gibi iyonların neden olduğu toksik etki, bitki iyon dengesindeki bozulmalar, besin alımı, taşınmasındaki problemler, fotosentez ve solunum gibi fizyolojik işlevlerin zarar görmesi şeklinde sıralanmıştır. Aynı şekilde tuz stresinde bitkilerde aşırı miktarlarda biriken Na, potasyumun alınımını, Cl ise özellikle NO₃ alınmasını engelleyerek bitkilerin iyon dengesinde bozulmalara neden olduğu bildirilmektedir(Kayış 2014).

Mikoriza, bitkinin yararlanamadığı çözünürlüğü az veya zor olan besin elementlerini, başta fosfor olmak üzere bazı besin elementlerini absorbe etmekte ve bitkiye kazandırmaktadır. Konukçu bitkinin, bazı toprak kökenli zararlıları, fungusları ve nematodlara karşı dayanıklılık sağlamaktadır. Daha iyi beslenen mikorizalı bitki, zayıf gelişen mikorizasız bitkiye nazaran obligat patojenlere karşı dayanıklılık sağladığı bildirilmiştir(Demir ve Onoğur, 1999) Ayrıca, mikorizal funguslar, kök yenilenmesini teşvik eder, bitki büyümesini hızlandırır ve kimyasal gübre kullanımını azalttığı gözlenmiştir (Kara ve Tilki, 2001).

AMF ile aşılana patlıcan bitkisinde verim ve meyve sayısında artış sağlanmıştır. Özellikle *Glomus etunicatum* ile inoküle edilen patlıcan bitkisinde *Verticillium* hastalığının gelişmesini *Gigaspora margarita* sporunun daha etkili olarak engellendiğini belirtmişlerdir. (Matsubara ve ark., 1995). Harley ve Smith (1983), bitki kökünün çevresindeki topraktan bitki besin maddeleri alma gücünü belirleyen en önemli özelliklerden birisinin bitkinin uygun AMF ile uyum sağlaması olduğunu belirtmişlerdir. AMF kolonizasyonu sonucu oluşmuş kısmi fizyolojik değişimler kök patojenleri üzerinde kısmi olumsuz etki meydana getirmektedir. Örneğin, mikorizal bitkilerdeki arginin (Baltruschat and Schönbeck, 1975) ve antifungal kitinaz enziminin miktarlarının artışı nedeniyle(Dehne et al.,1978) patojenlerin sporulasyonu engellenmektedir. Morandi (1996) tarafından yapılan bir çalışmada AMF bitkilerinde fitoaleksinin benzeri isoflavonid gibi bileşiklerinin konsantrasyonunu arttığını saptamışlardır. Fakat bu bileşiklerin iki simbiyotik partner için biyolojik önemi ve hastalıkların biyolojik kontrolüne nasıl yarar sağladıkları tam olarak şekilde açıklanmamıştır(Siqueria et al., 1991).

Mikorizal fungusların hastalıklara karşı etkileri, mikorizal fungusların kökü penetre etmesinden sonra, köklerde tepki olarak arginin, isoflavonoidler gibi bileşiklerin (Caron,1989) ve sitokin ve gibberellin gibi hormonların üretiminde artış olduğu yönünde görüş bildirmişlerdir. (Muchovej, 2001). Ayrıca bitki köklerinde anti fungal kitinaz enzimi konsantrasyonunda da artış olduğu belirtilmiştir. kitinaz enzimi ve arginin birikimi bazı patojenlerin sporulasyonunu engellediği saptanmıştır. (Linderman, 1996). Yapılan bir başka çalışmada; AMF'nin (*Glomus intraradices*) soya fasulyesi köklerinde bazı fitoaleksinin oranını arttırdığı ve bu bileşiklerin antimikrobiyal özellikleri nedeni ile mikorizosferinde patojenlerin gelişimi için uygun olmayan koşullar oluşturduğunu saptanmıştır (Morandi vd.,1984).Mikorizal ilişkinin görüldüğü bitki-toprak ortamında, bitkiler toprak kaynaklı fungal patojenlere ve nematodlara karşı daha dayanıklı yapı kazandığından mücadelesi oldukça zor olan bu etmenlere karşı mücadelede çok önemli bir fayda sağlamaktadırlar. Ancak, vesiküler arbusküler mikoriza ile ortak yaşam içinde bulunan bitkilerin daha iyi gelişmelerine bağlı olarak bazı obligat patojenlere karşı daha duyarlı hale geldikleri şeklinde görüş bildirmişleridir. (Yıldız 2009) .

AM fungusları, bitkiye besin maddesi alınımını artırmanın yanında, bitkinin tuzlu ve kurak toprak koşullarında, ağır metal toksisitesine ve sıcaklık stresine karşı direncini arttırmakta ve bitkinin, büyümeyi teşvik edici maddeler (hormonlar) salgılamasını gerçekleştirmektedir. Ayrıca, mikorizal funguslardan bazıları miselleri aracılığıyla toprak agregatlarını bir yumak şeklinde sarar ve

salgıladıkları enzimler vasıtasıyla toprak strüktürünün daha iyi oluşmasını sağlamakta ve toprak erozyonunu nedeni ile oluşan kayıplarına da engel oluşturmaktadır (Tisdall, 1994). Mikorizal fungus inokule edilmiş bitkilerin mikorizosferi, inokule edilmemiş bitkilere göre farklılık gösterir. Mikorizal bitkilerin mikorizosferindeki bakteri popülasyonu fazladır. Ayrıca bu fungusların toprakta yayılan ekstradikül hücrelerinin salgıladıkları organik maddeler diğer toprak mikroorganizmaları için besin oluşturur. Topraktaki toplam bakteri, N bağlayan bakteri ve P çözen bakteri ve aktinomiset popülasyonunu olumlu yönde etkilediği sonucunda varmışlardır (Fitter ve Garbaye, 1994; Andrade, 1998).

Bahçe bitkilerinde çok sayıda sebze türünde mikoriza denemesi yapılmış olup, Havuç (Smith ve Read 1997), domates (Demir 1998, Al-Karaki ve ark. 2001), biber, (Bagyaraj ve Sreeramulu 1982, Demir 1998, Dod ve ark. 1983, Türkmen ve ark. 2005), patlıcan (Demir 1998), soya (Lambert 1991) bu çalışmalardan bazılarıdır. Bu çalışmada, topraktaki abiyotik stres faktörlerinden tuzluluğun patlıcan fidesinin gelişimi üzerine olumsuz etkilerinin arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*)'un bitkinin beslenmesine olumlu katkılarından ve bitkiyle olan simbiyotik yaşamından faydalanılarak kullanılmasıyla elemine edilip edilemeyeceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır ve kayda değer sonuçlar alınmıştır.

Mikoriza bitkiye fosforun yanında çinko ve bakır gibi bitki besin elementlerinin de alımını sağlar. Bitki kökünün canlılığını artırır. Ayrıca bitki kökünü çevre faktörleri sonucu oluşan tuz stresi, ağır metal toksitesine ve bazı patojenik organizmalara karşı bitkiyi koruduğu gözlemlenmiştir (Marschner 1995).

SONUÇ

Mikoriza mantarlarının gerek kök yüzey alanını artırması, gerekse köklerin su ve besinden yararlanma gücünü 5-7 kat artırması, özellikle küresel ısınmanın sebep olacağı su stresi problemlerine karşı ciddi anlamda çözüm sunmaktadır. Mikorizalar sahip oldukları etkiler özellikle çok olumsuz çevre (kuraklık, soğukluk) ve toprak şartlarında (çoraklaşma, çölleşme, ağır metal birikimi, tuzlanma gibi) taşıdığı olumlu özellikler nedeni ile çare olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Al-Karaki GN (2000). Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza*,10(2), 51-54.
- Al-Karaki, G.N., Hammad, D.R., Rusan, M., 2001. Response of two tomato cultivars differing in salt tolerance to inoculation with mycorrhizal fungi under salt stress. *Mycorrhiza* 11: 41-47.
- Andrade, G., Mihara, K.L., Linderman R.G. and Bethelenfalvay, G.J. 1998. Soil aggregation status and rhizobacteria in the mycorrhizosphere. *Plant and Soil*. 2002:89-96.
- Bagyaraj, D. J. 1991. Ecology of vesicular-arbuscular mycorrhizae. In. *Handbook of Applied Mycology, Soil and Plants*, vol. 1, (Eds.) by D.K. Arora., B. R., K.G. Mukerji., and G. R. Knudsen. Marcel Dekker. USA.
- Bagyaraj, D., Sreeramula, K.R. 1982. Preinoculation with Vesicular Arbuscular Mycorrhiza improves growth and yield of chilli transplanted in the field and saves phosphatic fertilizer. *Plant and Soil* 69: 375-381.
- Baltruschat, H. and Schönbeck, F. 1975. Studies on the Influence of Endotrophic Mycorrhiza on the Infection of Tobacco by *Thielaviopsis basicola* Phytopath. Z., 84: 172 –178.
- Bellone, C.H., Bellone, S.C., 1995. Morphogenesis strawberry roots infected by *Azospirillum brasilense* and *V.A. mycorrhiza*. NATO ASI Ser. SerG.37,251-255.

- Bethlenfalvay, J. G 1992. Mycorrhizae and Crop Productivity. Mycorrhizae in Sustainable Agriculture. ASA Special Publication, Number 14, p: 1 - 27.
- Brundrett, M. 1991. Mycorrhizas in Naturel Ecosystem. *Advanced in Ecological Research*, Vol (21): 171 - 313.
- Caron, M. 1989. Potential use of mycorrhizae in control of soil-borne diseases. *Canad J Plant Pathol* 11:177-179.
- Çetinkaya, N., Dur., S., 2010. Mısır Vejetatif Gelişimi ve Verimi Üzerinde Bir Endomikorizal Preparatın Etkileri. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 47 (1): 53-59.
- Davies, F. T. J., Potter, J. R. Linderman, R. G., 1992, Mycorrhiza and repeated drought exposure effect drought resistance and extraradical hyphae 54development of pepper plants independent of independent of plant size and nutrient content. *J. Plant Physiol* 139: 289-294.
- Dehne, H.W., Schönbeck, F., Baltruschat, H. 1978. Untersuchungen zum Einfluss der Endotrophen Mycorrhiza auf Pflanzenkrankheiten. 3. Chitinase Aktivitat und Ornithin Zyklus (The influence Endotrophic Mycorrhiza on Plant Disease. 3. Chitinase - Activity and Ornithinecycle) *Z. Pflkrankh.* 85: 666 - 678.
- Demir S (1998) Bazı Kültür Bitkilerinde Vesiküler Arbüsküler Mikorrhiza Oluşumu ve Bunun Bitki Gelişimi ve Dayanıklılıktaki Rolü Üzerinde Araştırmalar. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi.
- Demir, S. ve Onoğur, E.1999.Bitkilerde Vesiküler-Arbüsküler Mikoriza Oluşumunun Bitki Besleme ve Bitki Korumadaki Önemi. *Anadolu Dergisi*, 9(2), 12-32.
- Demir, S., Akköprü, A., 2007. Using of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) for Biocontrol of Soil-Borne Fungal Plant Pathogens. In: *Biological Control of Plant Diseases*.Eds.S.B. Chincholkar, K.G. Mukerji, Haworth Press, NY, USA, p:17-37.
- Dod, J.C., Krikun, J., Hass, J. 1983. Relative Effectiveness indigenou populations of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi from four sites in the stress in the negev. *Israil Journal of Botany* 32: 10-21.
- Dodd, J.C., Jeffries, P., 1989. Effects of herbicides on three vesicular-arbuscular fungi associated with winter wheat (*Riticum aestivum*L.). *Biol. Fertil. Soils*,7: 113-119.
- Farahani HA, Lebaschi MH, Hamidi A (2008). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, phosphorus and water stress on quantity and quality characteristics of coriander. *Advances in Natural and Applied Sciences*,2(2), 55-60.
- Fitter, A.H., Garbaye, J. 1994. Interactions BetweenMycorrhizal Fungi and Other Soil Organism. *Plant and Soil*, Vol: 159, No: 1, p: 123 - 133.
- Fritz M, Jakobsen I, Lyngkjær MF, Thordal-Christensen H, Pons-Kühnemann J (2006). Arbuscular mycorrhiza reduces susceptibility of tomato to *Alternaria solani*. *Mycorrhiza*,16(6), 413-419.
- Gerdemann, J.W. 1968. Vesicular - Arbuscular Mycorrhiza and Plant Growth. *Annu. Rev. Phytopathol.* 6: 397 - 418.
- Harley, J. L., Smith, S. E., 1983, *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press. London UK.
- Harley, J.L. 1975. The Mycorrhizal Associations. *Encyclopedia of Plant Physiology*, Vol:17, p: 148 - 186.
- İkiz, Ö., 2003, Topraksız biber tarımında mikorizaların etkileri.Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi. Adana.
- Kapulnik, Y. and Douds, D. D. Jr (eds.) 2000a. *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. p: 47-68.

- Kapulnik, Y. and Douds, D. D. Jr (eds.) 2000b. *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. p: 85-106.
- Kara Ö. ve Tilki F.2001. Mikoriza ve Ormancılıkta Kullanımı. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri: B, Cilt: 51, Sayı: . 1. pp. 127-139.
- Kayış SU, 2014. Bazı mercimek (*Lens culinaris Medic.*) çeşitlerinin çimlenme ve fide döneminde tuza toleransı, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Keklikçi, Z., 2014. Bitkisel Üretim. %. Ulusal Çevre ve Ekoloji Öğrenci Kongresi 1-2 Mart 2014, Odtü KKM B Salonu. Ankara.
- Koide, R.T., 1991. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New Phytol.*, 117: 365-386.24
- Lambert, D.H., Baker, D.E. and Cole, H., 1979. The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorus with zinc, copper and other elements. *Soil Science Society of America Journal*, 43: 976-980.
- Linderman, R.G., 1996. Role of VAM fungi in Biocontrol. In: *Mycorrhizae and Plant Health*. Ed.Pfleger, F.L. and Linderman R.G. Symposium Series, APS Press, 1-25 p
- Maboko MM, Bertling I, Du Plooy CP (2013). Effect of Arbuscular Mycorrhiza and Temperature Control on Plant Growth, Yield, and Mineral Content of Tomato Plants Grown Hydroponically. *HortScience*,48(12), 1470-1477.
- Marschner H, Dell B (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and soil*,159(1), 89-102.
- Marschner, H. 1995. *Mycorrhizas. Mineral Nutrition of Higher Plants (Second Edition)*, Academic Press. p: 566 - 595.
- Matsubara, Y., Harada, T., Yakuwa, T., 1995, Effect of inokulum density of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungal spores and addition of carbonized material to bed soil on growth of welshonion seedlings, *journal of the Japanese society for horticultural science* 64(3): 549-554.
- Mohammed, A., B. Mitra, A.G. Khan. 2004. Effects of sheared root inoculum of *Glomus intraradices* on wheat grown at different phosphorous levels in the field. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.103(1) p.245-249.
- Morandi, D. 1996. Occurrence of Phytoalexins and Phenolic Compounds in Endomycorrhizal Interactions and Their Potential Role in Biological Control. *Plant and Soil*, Vol: 185, No: 2, p: 241 – 251.
- Morandi, D., J.A. Bailey and P.A.Gianinazzi, 1984. *Physiol. Pl. Pathol.* 24,357-364.
- Moser, M., and Haselwandter, K. 1975. *Ecophysiology of Mycorrhizal Symbiosis*. *Encyclopedia of Plant Physiology*. Vol: 12, p:391 – 421.
- Mosse, B. 1973. *Advances in the Study of Vesicular - Arbuscular Mycorrhiza*. *Annu. Rev. Phytopathol.* , 11: 429 – 454.
- Muchovej, R. M., 2001. *Importance of Mycorrhizae for Agricultural Crops*. University of Florida, Extension Institute of Food Agricultural Sciences, SS-AGR-170.
- Ortaş, I., P. J. Harris and D. L. Rowell. 1996. Enhanced uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plants as influenced by forms of nitrogen. *Plant and Soil*. 184: 255-264.
- Ortaş, İ. 2002. Do Plants Depend on Mycorrhizae In Terms of Nutrient Requirement? *International Conference On Sustainable Land Use And Management*. Çanakkale.
- Ortaş,İ.,1997.Mikoriza nedir?TUBİTAK dergisi. Ankara Şubat.(351).

- Pfeiffer CM, Bloss HE (1988). Growth and nutrition of guayule (*Parthenium argentatum*) in a saline soil as influenced by vesicular-arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilization. *New Phytol.* 108, 315–320.
- Rhodes, L. H. 1980. The use of mycorrhizae in crop production systems. *Outlook on Agriculture*, 10(6): 275-281.
- Rilling, M.C., Ramsey, P.W., Morris, S. and Paul, E.A., 2003. Glomalin, an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein, responds to land use changes. *Plant Soil*, 253: 293-299.
- Rodriguez, H., Fraga, R., 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17(4-5): 319-339.
- Ruiz-Lozano JM (2003). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza*, 13(6), 309-317.
- Saber, M.S.M., 2001. Clean Biotechnology for sustainable farming. *Eng. Life Sci.*, 1, 217-223.
- Schenck, N. C., and Schroder, V. N., 1974. Temperature response of *Endogone* mycorrhiza on soybean roots. *Mycologia*, 66: 600-6005.
- Schenck, N.C. 1991. *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*, APS Press, 244 p.
- Sieverding, E. 1991. *Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae Management in Tropical Agrosystems*. Technical Cooperation. Federal Republic of Germany 372 pp.
- Siqueria, J.O., Safir, G.R. and Nair, M.G. 1991. Stimulation of Vesicular - Arbuscular Mycorrhiza Formation and Growth of White Clover by Flavonoid Compounds. *New Phytol.*, 118, p. 87 – 93.
- Smith SE, Read DJ, 2010. *Mycorrhizal symbiosis*, Academic press, p.
- Smith, S. E., and D. J. Read. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*, Third Edition (Hardcover). Academic Press is an imprint of Elsevier, New York, 800p.
- Smith, S.E., Read, D.J. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis* 2nd ed. Academic Press, London. 605 pp.
- Sönmez, F., Çığ, F., Erman, M., Tüfenkçi, Ş., 2013. Çinko, Tuz ve Mikoriza Uygulamalarının Mısırın Gelişimi ile P ve Zn Alımına Etkisi. *Y.Ü. Tar. Bil. Der.* 23(1):1–9
- Tinker, P. B., 1975. The chemistry of phosphorous and effects on plant growth in *Endomycorrhizas* (Eds. Sanders, F.C., Mosse, B. and Tinker, P.B.). Academic Press, London.
- Tisdall, J.M. 1994. Possible Role of Soil Microorganisms in Aggregation in Soils. *Plant and Soil*, Vol: 159, No: 1 p. 115 – 123.
- Trappe, J. M., Molina, R. and Castellano, M., 1984. Reactions of Mycorrhizal Fungi and Mycorrhiza Formation to Pesticides. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 22: 331-59
- Türkmen, Ö., Demir, S., Şensoy, S., Dursun, A. 2005. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungus and humic acid on the seedling development and nutrient content of pepper grown under saline soil conditions. *Journal of Biological Sci.* 5(5) : 568-574.
- Veeraswamy, J., Padmavathi, T., Venkateswarlu, K., 1992. Interaction effects of *Glomus intraradices* and *Azospirillum lipoferum* on sorghum. *I. J. Microbiol.* 32, 305-30.
- Yıldız A, 2009. Mikoriza ve arbusküler mikoriza bitki sağlığı ilişkileri.