AgriTR Science

Araştırma Makalesi / Research Article | e-ISSN: 3062-0058 | 2024- 6 (1): 19-32

Topraksız domates (*Solanum lycopersicum*) yetiştiriciliğinde mikoriza ve *Trichoderma* aşılamasının bitki gelişimi, verim ve meyve kalitesi üzerine etkisi

Hakan Aktaş[1*] Yunus Hor[2]

Geliş Tarihi: 12.09.2023 / **Kabul Tarihi:** 23.02.2023

Öz: Bu çalışmada, Hindistan cevizi lifi ortamında mikoriza, *Trichoderma*, mikoriza+*Trichoderma* kombinasyonunun bitki gelişimi, verim ve meyve kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Mantarlar, bitki fidelerinin kök bölgelerine dikimden hemen sonra uygulanmıştır. Mikoriza aşılamalarında bitki başına 0.1 g ve *Trichoderma* aşılamalarında bitki başına 0.2 g aşılama yapılmıştır. Sonuçlara göre, mikoriza uygulaması kontrol grubuna kıyasla toplam meyve sayısında (93.46 adet/bitki), bitki başına verimde (10.376 kg/bitki), bitki boyunda (3.76 m) ve kök ağırlığında (221.3 g) önemli ölçüde artış sağlamıştır. Aynı zamanda *Trichoderma* ve mikoriza+*Trichoderma* uygulamaları, likopen (11.65 mg/100g), *ß*-karoten (3.78 mg/100g) ve Vitamin-C (15.68 mg/100g) değerlerinde önemli artışlara neden olmuştur. Mikoriza+*Trichoderma* uygulamasının yaprakta klorofil ve karotenoid miktarlarının kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, topraksız tarımda mikoriza ve *Trichoderma* aşılamasının topraksız tarım yöntemleri ile birlikte kullanılmasının verim ve kaliteyi olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Mikoriza, *Trichoderma*, *Solanum lycopersicum*, topraksız tarım, hindistan cevizi lifi

The effect of mycorrhiza and *Trichoderma* Inoculation on Plant Growth, Yield, and Fruit Quality in soilless tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivation

Abstract: This study investigates the effects of mycorrhiza, *Trichoderma*, and a combination of mycorrhiza+*Trichoderma* on plant growth, yield, and fruit quality in a coconut fiber medium. Fungi were applied to the root zones of plant seedlings immediately after planting. For mycorrhizal inoculations, 0.1 g per plant and for *Trichoderma* inoculations, 0.2 g per plant were used. According to the results, mycorrhizal application has significantly increased the total number of fruits (93.46 fruits/plant), yield per plant (10.376 kg/plant), plant height (3.76 m), and root weight (221.3 g) compared to the control group. Additionally, *Trichoderma* and mycorrhiza+*Trichoderma* applications have led to significant increases in lycopene (11.65 mg/100g), *ß*-carotene (3.78 mg/100g), and Vitamin-C (15.68 mg/100g) values. It was determined that the amount of chlorophyll and carotenoids in the leaves was higher in the mycorrhiza+*Trichoderma* application compared to the control group. According to the research results, it has been determined that the use of mycorrhiza and *Trichoderma* inoculations positively affects yield and quality when used in conjunction with soilless agriculture methods.

Keywords: Mycorrhiza, *Trichoderma*, *Solanum lycopersicum*, soilless agriculture, cocopeat

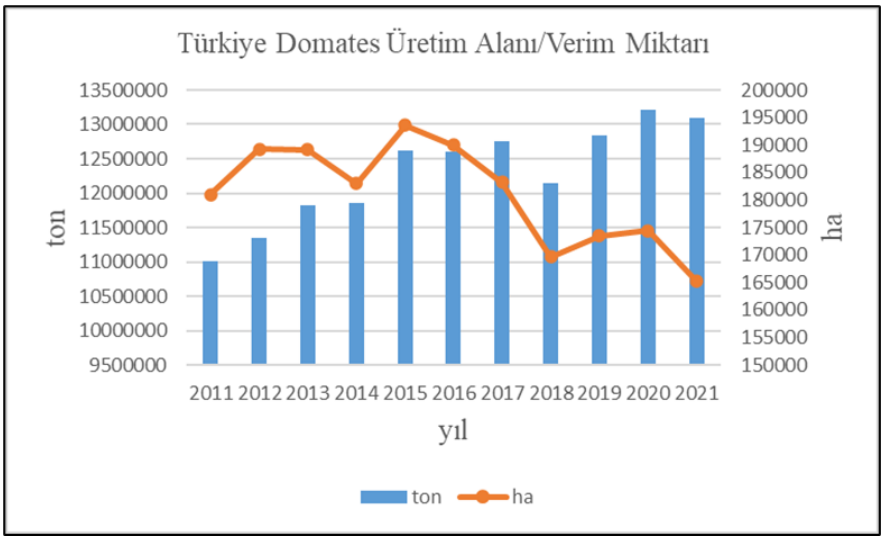
Giriş

Domates (*Solanum lycopersicum*), Türkiye'nin önemli tarımsal ürünlerinden biri olup, ülkenin tarımsal ihracatında kritik bir role sahiptir (Güvenç, 2019). Türkiye, 2021 yılında gerçekleştirdiği yaklaşık 13.1 milyon tonluk domates üretimi ile dünya genelindeki toplam domates üretiminin %7'sini karşılamakta ve dünya çapında üçüncü büyük domates üreticisi konumundadır (FAO, 2021). Domateslerin Türkiye'deki üretiminin yaklaşık %68-72'si açık tarla koşullarında gerçekleşirken, %28-32'si sera koşullarında yetiştirilmektedir (Güvenç, 2019). Türk mutfağında sıklıkla kullanılan domates, pek çok

[1]* Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Isparta/Türkiye
[2] Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Isparta/ Türkiye
*Sorumlu yazar: aktashakan33@gmail.com

Cite/Atıf:	Copyright © 2024 by AgriTR Science.
Aktaş, H., Hor, Y. (2024). Topraksız domates (*Solanum lycopersicum*) yetiştiriciliğinde mikoriza ve *Trichoderma* aşılamasının bitki gelişimi, Verim ve Meyve Kalitesi Üzerine Etkisi. *AgriTR Science*, 2024, 6(1): 19-32.	This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

yemeğin temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmekte olup (Demirgül, 2018), aynı zamanda Türkiye'nin dünya genelinde önemli bir domates ihracatçısı olduğu bilinmektedir. Domates ihracatında başlıca pazarlar arasında Rusya Federasyonu ve Almanya bulunmaktadır (Güvenç, 2019). Türkiye'de domates üretim alanı ve veriminin son on yıl içerisindeki değişimine bakıldığında, 2011 yılında 180 bin hektar olan domates üretim alanı, 2021'de 165 bin hektara düşmüştür. Ancak bu süreçte verim artışı sağlanarak, 2011'de 11 milyon ton olan domates üretimi, 2021'de 13.1 milyon ton seviyesine ulaşmıştır (Şekil 1). Bu değişim, modern tarım yöntemlerinin benimsenmesi ve teknolojinin etkin kullanımıyla açıklanabilir.



Şekil 1. Türkiye domates üretim alanı ve verim miktarları (FAO, 2021)

Türkiye'nin domates üretim sektörü, dünya liderleri arasında yer alsa da bu başarıya rağmen sektörde çeşitli önemli sorunlar yaşanmaktadır. Bu sorunlar arasında yüksek üretim maliyetleri, hastalık ve zararlılarla mücadele gibi konular yer almaktadır (Özdemir ve Demirbaş, 2020; Keskin, 2021). İklim değişikliğine bağlı olarak yaşanan kuraklık ve su kaynaklarının azalması gibi faktörler de domates üretimini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, domates üretiminde sürdürülebilir ve yenilikçi çözümlerin geliştirilmesi ve uygulanması büyük önem taşımaktadır (Boyacı vd., 2022). Topraksız tarım teknolojileri ve biyoteknolojik uygulamalar, domates üretiminde verimliliği artırarak sektöre katkı sağlayabilecek potansiyel çözümler arasında yer almaktadır.

Günümüzde bilim ve teknoloji alanlarında yaşanan hızlı gelişmeler, tarımsal sektörde sürdürülebilir ve etkili yöntemlerin benimsenmesi ve uygulanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, topraksız tarım ve faydalı mikroorganizmalar gibi alternatif ve yenilikçi yaklaşımların adaptasyonu, tarımsal üretim süreçlerine önemli katkılar sağlayarak sürdürülebilirliğin artırabilir olacağı farklı araştırmacılar tarafından bildirilmektedir (Gianinazzi vd., 2010; Savvas ve Gruda, 2018). Topraksız tarım uygulamaları, son yıllarda artan popülaritesiyle dikkat çeken, sürdürülebilir ve verimli tarım yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Topraksız tarım, bitkilerin geleneksel toprak yerine inert bir ortamda veya besin maddeleri açısından besin maddelerince zengin bir sıvı ile yetiştirildiği modern bir tarım metodudur. Bu yöntem, su ve besin elementlerinin verimli kullanımını sağlayarak tarımsal üretimde sürdürülebilirliği artırma potansiyeline sahiptir. Topraksız tarım yöntemleri, verimliliği artırma, daha az su ve gübre kullanımı gibi avantajlar sunabilmektedir (Gül, 2019). Topraksız tarım uygulamalarında besin solüsyonu yönetimi, açık ve kapalı sistemler şeklinde iki farklı kategoriye ayrılmaktadır. Açık sistemlerde bitkilere ihtiyaç duydukları besin solüsyonu sürekli olarak temin edilir ve kullanılan solüsyonun artıkları genellikle atılır, bu nedenle sürekli bir besin doldurma gerekliliği bulunmaktadır. Kapalı sistemlerde ise bitki kök bölgesine besin solüsyonu uygulanır ve daha sonra süzülen solüsyon toplanarak işlenir ve tekrar kullanılır (Meriç ve Öztekin, 2008). Topraksız yetiştiricilikte kullanılan yöntemlerden birisi organik substrat kullanımıdır. Organik substratlar (torf, hindistan cevizi lifi, talaş vb.), bitkilerin köklerinin tutunabileceği ve besinleri alabileceği bir ortam sağlar. Bu substratlar arasında Hindistan cevizi lifi en çok kullanılan ortamdır (Hazar ve Baktır, 2013).

Hindistan cevizi lifi, hafif, hava geçirgen, suyu iyi emen ve besinleri tutabilen bir yapıya sahiptir (Alaboz ve Çakmakcı, 2020). Bu özellikleri sayesinde, bitkilerin sağlıklı bir şekilde büyümesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, Hindistan cevizi lifinin organik olması, mikroorganizmaların yaşamasına ve gelişimine olanak vermesi topraksız tarımda besin solüsyonlarının etkili kullanımına olanak sağlar olmasından dolayı, topraksız tarımda faydalı mikroorganizmaların artışına neden olduğu düşünülmektedir. Nitekim yapılan araştırmalar, simbiyotik mantarların, bitkilerin kök sistemleri ile mutualistik (ortak yaşam) bir ilişki içerisinde bulunarak bitki büyüme ve gelişimini olumlu yönde desteklediği yönündedir (Koide ve Mosse, 2004; Smith ve Read, 2010). Ayrıca bu mikroorganizmaların, bitkilerin kök yapılarına bağlanarak, su ve mineral alımını artırıp, hastalıklara karşı dirençli hale gelmelerine ve hızlı büyüme göstermelerine katkı sağladığı bildirilmektedir (Ortaş, 2012).

Mikorizaların, bitkiler ve mantarlar arasında simbiyotik bir ilişki kurup, büyüme, gelişme ile stres koşullarına karşı dirençli olmalarına yardımcı olan mutualistik (ortak yaşam) bir simbiyoz olduğu belirtilmiştir (Smith ve Read, 2010; Öztekin vd., 2013). Bu etki, dünya üzerindeki bitki türlerinin büyük çoğunluğunda görülmekte olup ayrıca bitkilerin mineral alımı ve besin kullanımına ilişkin evrimsel süreçlerin anlaşılması açısından kritik bir öneme sahip olduğu da belirlenmiştir (Brundrett, 2009). Mikorizalar, arbusküler mikoriza ve ektomikoriza olarak iki ana mikoriza tipinde sınıflandırılmaktadır. Arbusküler mikoriza, *Glomeromycota* şubesine ait mantar türleri ile bitkiler arasındaki ilişkiyi ifade ederken, bu tür mikoriza dünya üzerindeki bitki türlerinin yaklaşık %80'ini kapsamaktadır (Redecker vd., 2013). Bu simbiyoz sürecinde, bitkiler daha fazla su ve fosfor alımı gerçekleştirirken, mantarlar ise bitkiden elde edilen karbonhidratlardan faydalanmaktadır (Smith ve Smith, 2011). Mikorizalar, bitkilerin azot, fosfor ve diğer mikro mineralleri etkili bir şekilde almasına yardımcı olarak, besin ihtiyaçlarının karşılanmasında kritik bir rol oynarlar (Dere vd., 2019; Pasković vd., 2021; Liu vd., 2023). Ayrıca, mikorizalar sayesinde, bitkilerin su tutma kapasitesi artmaktadır (Özbucak vd., 2020). Mikoriza çalışmaları, tarımsal verimliliği artırma ve ekosistemlerin sürdürülebilirliğini destekleme potansiyeli nedeniyle büyük önem taşımaktadır (Gianinazzi vd., 2010). İklim değişikliği ve artan çevresel stres koşullarına karşı bitki direncini geliştirme yeteneği sayesinde, mikoriza simbiyozunun gelecekte tarımsal uygulamalarda daha fazla önem kazanması beklenmektedir (Augé, 2001). Mikoriza uygulamalarının topraksız tarım sistemleriyle entegrasyonu, bitkilerin büyüme ve verimliliklerini artırma potansiyeline sahiptir (Douds vd., 2007; Dere vd., 2019). Mikorizaların kullanımı, aynı zamanda bitkilerin hastalıklara ve zararlı organizmalara karşı direncini güçlendirerek, dayanıklılıklarını artırabilir (Song vd., 2010; Sanmartín vd., 2020). Bazı koşullarda birden fazla farklı türün kullanımı farklı sonuçların elde edilmesine neden olabilmektedir. Son yıllarda bu gruba *Trichoderma* mantarı da girmiştir (Harman vd., 2004).

Trichoderma mantarları da, yine mikorizalar gibi toprakta doğal olarak bulunmakta ve bitki kökleri ile etkileşime girerek bitki gelişimleri üzerine etkide bulunabilmektedirler (Kubicek vd., 2011). Bitki köklerinde simbiyotik yaşam süren *Trichoderma* cinsi türler, kök gelişimine önemli ölçüde destek sağlamakta, aynı zamanda bitki gelişimine katkıda bulunarak hormonların aktivasyonunu tetiklemektedir (Dönel vd., 2011). Bu mantarlar, bitki büyümesini ve gelişimini teşvik eden, aynı zamanda hastalık ve zararlı organizmalara karşı doğal savunma sağlayan bileşikler olarak bildirilmektedir (Hermosa vd., 2012). Topraklı domates yetiştiriciliğinde kullanılan *Trichoderma* türlerinin, verim ve kaliteyi olumlu yönde etkilediği birçok araştırıcı tarafından bildirilmektedir (Harman vd., 2004; Shoresh vd., 2010; Mastouri vd., 2010; Martínez-Medina vd., 2014). Ayrıca *Trichoderma* uygulamalarının domates üretimi üzerindeki olumlu etkilerinin yanında, bu mantarların bitki kökleriyle simbiyotik bir ilişki kurarak bitkilerin besin ve su alımını artırması ve aynı zamanda patojenler ve zararlılara karşı doğal savunma mekanizmalarını güçlendirmesiyle de ilişkilendirilmektedir (Vinale vd., 2008). Tüm bu olumlu etkilerin ise *Trichoderma* türlerinin ürettiği bazı enzimler ve hormonlara bağlı olduğu yönündedir (Altomare vd., 1999). Yapılan literatür çalışmalarına göre konu ile yapılan araştırmaların daha çok topraklı yetiştiricilikte yoğunlaştığı ve ayrı ayrı bu mikroorganizmaların uygulaması şeklinde gerçekleştirildiği yönündedir. Ancak topraksız tarımda kullanımı ve mikoriza+*Trichoderma* birlikte etkilerinin bulunduğu araştırmaların kısıtlı sayıda olduğu belirlenmiştir.

Bu araştırmada, topraksız tarımda Hindistan cevizi lifi kullanılarak yetiştirilen domates bitkilerinin köklerine mikoriza ve *Trichoderma* türü mantarların uygulanmasının, bitki verimliliği, kalitesi ve gelişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Materyal ve Metot

Araştırma, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'ne bağlı çiftlik arazisinde bulunan polikarbon serada ve aynı üniversitenin Bahçe Bitkileri Bölümü Fizyoloji Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, 2022 yılı boyunca Mart-Aralık ayları arasında yürütülmüş olup, süreçler titizlikle takip edilerek bilimsel geçerlilik sağlanmıştır.

Çalışmada, Türkiye'de topraksız tarım yetiştiriciliğinde yaygın olarak tercih edilen Altess F_1 salkım domates çeşidi kullanılmıştır. Fideler Yaşa Fide'den hazır 4-5 gerçek yapraklı aşamada temin edilmiştir.

Mikoriza olarak Bioglobal A.Ş. (Antalya) tarafından üretilen ve ERS (Endo Roots Soluble) adıyla ticari olarak piyasaya sürülen ve içeriğinde 1 x 104 kob/g miktarda canlı organizma içeren (*Glomus intraradices, Glomus aggregatum, Glomus mosseae, Glomus clarum, Glomus monosporum, Glomus deserticola, Glomus brasilianım, Glomus etunicatum, Gigaspora margarita*) mikoriza kullanılmıştır.

Trichoderma harzianum (T22-%1.15 *Trichoderma harzianum* Rifai IRK-AG2) mantarı ise yine Bioglobal A.Ş. (Antalya) şirketi tarafından temin edilmiştir.

Denemede 8 litre hacimli saksılar, yetiştirme ortamı olarak ise Hindistan cevizi lifi kullanılmıştır.

Deneyin gerçekleştirildiği serada, gübrelerin karışabilirlik durumlarına göre A tankı (NH_4NO_3, KNO_3, $Ca(NO_3)_2$, Na_2.Fe-EDTA) ve B tankı (H_3 PO_4, $MgSO_4$, $ZnSO_4$, $MnSO_4$, H_3BO_3, $CuSO_4$, $5H_2O$, $(NH_4)6Mo_7O_{24}.4H_2O$) stok çözelti karışımları hazırlanmıştır. A ve B stok tanklarından hazırlanan gübreler eşit oranlarda 1 tonluk ana sulama tankına aktarılarak 1:100 oranında seyreltilmiştir. Bu karışıma göre elde edilen son besin solüsyonunun konsantrasyonu Çizelge 1'de verilmiştir. Besin solüsyonu damla sulama sistemi (çap 16 mm, boy 40 cm, 4 L/s) kullanılarak bitkilere düzenli ve etkin bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan besin solüsyonunun içeriği (Akınoğlu ve Korkmaz, 2016).

Besin Elementi	Kullanılan Miktar (mg L^{-1})
N	242
P	31-54*
K	234-263*
Ca	160
Mg	48
Fe	2.5
Mn	0.5
Zn	0.5
Cu	0.2
B	0.5
Mo	0.1

*Meyve tutum dönemi sonrasında kullanılmıştır.

Bir tonluk su tankına bağlı su pompası, ayarlanabilir dijital zamanlayıcı (Horoz Timer-2 Watt Dijital) sayesinde istenilen süre ve aralıklarda sulanarak bitkilerin %30 drenaj yapması sağlanmıştır. Filtre çıkışına bağlı elektrik kontaklı selenoid vana, sistem kapalıyken istenmeyen su akışını engellemiştir. Ayrıca, su pompasında oluşan fazla basınçlı su, tekrar su tankına yönlendirilerek sistemde sürekli bir dolaşım sağlanmıştır. Tank içerisindeki besin solüsyonunun EC değerleri 2.0-2.5 olacak şekilde WTV (Almanya, 2020) marka taşınabilir EC metre ile ve pH ise yine WTV (Almanya, 2020) marka pH metre ile 5.5-6.5 değerleri arasında nitrik asit (%30) yardımıyla getirilmiştir.

Denemede 5 kg'lık Hindistan cevizi lifi balyaları, 180 litrelik plastik tanklarda %2 KNO_3 içeren su kullanılarak şişirilip, doygun seviyeye ulaşan Hindistan cevizi lifleri temiz bir plastik örtü üzerine yayılarak 5 gün kurutulmaya bırakılmıştır. Böylece, Hindistan cevizi lifinin dikim işlemi için hazır hale getirilmiş ve sera içerisindeki 8 litrelik saksılara yerleştirilmiştir.

Deneme sıra arası 1.5 m sıra üzeri ise 40 cm olacak şekilde 200 m^2 polikarbon sera içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 2). Sulama borusu, saksıların üzerinden geçecek şekilde çekilip iplerle sabitlenmiştir.

Fideler 4-5 gerçek yapraklı aşamada (2 Mayıs 2022) dikilmiştir. Dikim işlemiyle eş zamanlı olarak mikoriza, her bitkiye 1000 spor/bitki olacak şekilde, *Trichoderma* aşılama işlemi ise, *T. harzianum* T22 kullanılarak firmanın önerdiği miktarda (6g/10L), klor içermeyen temiz suyla karıştırılmıştır. Tüm uygulamalar her bitki için ayrı ayrı hesaplanarak eşit miktarda saksılara aşılama yapılarak karıştırılmıştır. Kontrol gruplarına ise herhangi bir uygulama yapılmamıştır.

Araştırma, tek faktörlü tesadüf parselleri deneme desenine göre düzenlenmiş olup, Mikoriza (+), *Trichoderma* (+), Mikoriza +*Trichoderma* (+) grubu ile kontrol grubu (-) olarak düzenlenmiştir. Deneme 4 tekerrürlü ve her tekerrürde 4 saksı olacak şekilde planlanmıştır. Şekil 2'de sunulan deneme deseninin görseli, bu deneyin organizasyonunu ve planlamasını göstermektedir.

Şekil 2. Deneme desenine ait genel görsel

Domates bitkileri, dikimden 10 gün sonra ipe alma işlemine tabi tutulmuştur. İpe alma işlemi gerçekleştirildikten sonra, haftalık sardırma ve sürgün budamaları düzenli aralıklarla yapılmıştır. İlk yaprak budama işlemi, dikimden 53 gün sonra, 24 Haziran tarihinde gerçekleştirilmiş olup, daha sonraki budamalar, hava şartları ve bitki gelişimi göz önünde bulundurularak planlanmıştır. İlk meyve hasadı, dikimden 75 gün sonra başlamıştır. Bitki boyu, askı teli seviyesine ulaştığında, bitkilerin asılı olduğu ip makarasından serbest bırakılarak yan tarafa düzenli olarak 12-13.cü salkımlara kadar yatırılmıştır. Bu kültürel işlemler, bitkilerin söküm tarihi olan 5 Ekim 2022'ye kadar düzenli olarak sürdürülmüştür. Araştırma fide dikiminden 156 gün sonra sonlandırılmıştır.

Araştırmada İncelenen Parametreler

Drenaj sularından elde edilen elektriksel iletkenlik (EC) değerleri (mS/cm) haftalık ölçümler yapılarak kayıt altına alınmıştır.

Bitki gövde kalınlıkları her tekerrürde özellikle bitkinin tepe noktasından yaklaşık 50 cm aşağıda bulunan bölgede dijital kumpas kullanılarak ölçülmüştür.

Bitki boyu değerleri (cm), söküm işlemi sırasında bitkilerin boğum arası uzunlukları ve kök boğazından büyüme ucuna kadar olan kısımları ölçülerek belirlenmiştir.

Bitki başına verim değerleri (kg), meyveler kırmızı olgunluk aşamasına ulaştığında hasatlar yapılmış ve tartılarak her bir bitkinin toplam meyve ağırlığı alınarak kaydedilmiştir.

Toplam meyve sayıları her hasat süreci boyunca, sayılmış ve adet/bitki olarak kaydedilmiştir.

Ortalama meyve ağırlığı (g/meyve), her bir tekrarlama için bitkiyi temsil eden 10 adet meyve dikkatle seçilmiş ve tartılmıştır. Daha sonra, bu ağırlıkların ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Yaş kök ağırlıkları (g), bitkilerin sökümü sırasında gövdeler yetiştirme ortamına en yakın noktadan kesilerek kök ve gövde kısımları ayırılmıştır. Daha sonra, saksı içinde bulunan kökler dikkatlice su ile yıkanarak yetiştirme substratı olan Hindistan cevizi lifi tamamen temizlenmiş ve tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir.

Ortalama meyve çapı değerleri, her tekrardan seçilen, bitkileri temsil eden 10 adet meyve ekvatoral bölgesindeki çapları dijital bir kumpas kullanılarak mm cinsinden ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm değerlerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Kabuk renk değerleri, her tekrardan seçilen 10 adet meyvenin her iki yüzeyinden, meyve sapına yakın bölgelerden dijital renk ölçer (Konica Minolta, CR-400, Japonya) ile ölçülmüştür. Ölçülen parametreler L* (parlaklık), a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) şeklinde belirlenmiştir (McGuire, 1992).

Meyve sertliği değerleri (kg/cm^2), her tekrardan seçilen ve bitkiyi temsil edecek 10 adet meyvenin ekvatoral bölgesinin her iki tarafından el tipi penetrometre (GULLIMEX FT-327) ve 8 mm'lik uç kullanılarak ölçülmüştür.

Askorbik asit (vitamin C) tayini, 100 g örnek ağırlığına eşit miktarda %2'lik oksalik asit çözeltisi eklenerek homojen bir karışım hazırlanmıştır. Bu karışımdan 30 g alınarak %2'lik oksalik asit çözeltisi ile 100 mL'ye tamamlanmış, örnekler çalkalanmış ve filtrasyon ile partikül ve bulanıklıklardan arındırılmıştır. Filtre edilen 10 mL örnek, 2,6-diklorofenolindofenol (DCPIP) çözeltisi ile titrasyon yapılmış ve harcanan DCPIP miktarı kaydedilmiştir. Bu işlemler Cemeroğlu (1992) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir.

Likopen ve *β*-karoten bileşenlerinin kantitatif tayini için ekstraksiyon ve spektrofotometrik analiz yöntemleri uygulanmıştır. Domates örnekleri önceden tartılarak 1 gram ağırlığında alınmış ve bunlar, 4:6 oranında aseton ve hekzanın karıştırılmasıyla elde edilen 16 mL'lik solvent karışımında homojenizatör yardımıyla 2 dakika süreyle homojenize edilmiştir. Homojenizasyonun ardından, elde edilen ekstraktın üst kısmında bulunan hekzan fazı, mikropipet kullanılarak dikkatlice alınmış 663 nm, 645 nm, 505 nm ve 453 nm dalga boylarında spektrofotometrik analiz gerçekleştirilmiştir. Absorbans değerleri, Nagata ve Yamashita (1992) yöntemine göre likopen ve *β*-karoten konsantrasyonlarının mg/100 g olarak ifade edilmiştir.

Domates yapraklarında klorofil ve karotenoid analizi için öncelikle 0.5 g domates yaprak örneği tartılıp ve bir santrifüj tüpüne alınmıştır. Ardından, örneğin üzerine 10 mL %80'lik aseton eklenip ve homojenizatör yardımıyla iyice parçalanmıştır. Daha sonra örnek, 10 dakika boyunca 2500 rpm hızında santrifüj edilmiştir. Santrifüj işlemi tamamlandıktan sonra, elde edilen ekstrakt alınmış ve %80'lik aseton ile 10 mL'ye tamamlanmıştır. Son olarak, spektrofotometre kullanılarak toplam klorofil için 645 ve 663 nm, toplam karotenoid için ise 480, 645 ve 663 nm dalga boylarında ölçüm yapılmıştır. Elde edilen değerler, Arnon (1949) ve Kirk ve Allen (1965) tarafından sağlanan formüller kullanılarak hesaplanmış ve mg/g şeklinde ifade edilmiştir.

Verilerin İstatistiksel Değerlendirilmesi

Tek faktörlü deneyden elde edilen veriler, Minitab (17) programı kullanılarak varyans analizi yapılmış ve önemli bulunan ortalama farklılıkları Tukey testi ile belirlenmiştir. Ortalama değerler arasındaki farklılıklar, farklı harfler kullanılarak gösterilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Bitki Başına Verim, Toplam Meyve Sayısı Ve Ortalama Meyve Ağırlığı

Ortalama meyve ağırlığı açısından uygulamalar arasında istatistiksel anlamda fark bulunmazken, Mikoriza+*Trichoderma* uygulaması en yüksek değere sahip olmuştur (124.4 g), diğer uygulamaların değerleri ise birbirlerine yakın olarak bulunmuştur (Çizelge 2).

Toplam meyve sayısı bakımından, mikoriza uygulaması istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek meyve sayısına (93.46 adet/bitki) sahip olurken, en az meyve sayısı ise kontrol grubunda (78.04 adet/bitki) belirlenmiştir. *Trichoderma* ve Mikoriza+*Trichoderma* uygulamaları sırasıyla 90.17 ve 83.38 adet/bitki meyve sayılarına ulaşmıştır (Çizelge 2).

Bitki başına verimde, mikoriza uygulaması istatistiksel olarak anlamlı bir üstünlük göstermiştir (10.376 kg/bitki). Diğer uygulamalar arasında ise istatistiksel olarak bir fark gözlenmemiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Uygulamaların ortalama meyve ağırlığı, toplam meyve sayısı ve bitki başına verimi

Uygulamalar	Ortalama Meyve		Toplam Meyve		Bitki Başına Verim	
Kontrol	117.3±6.03	Ö.D.*	78.04±4.09	B*	9.037±0.13	B
Mikoriza	115.9±8.40		93.46±4.77	A	10.376±0.23	A
Trichoderma	109.7±10.8		90.17±2.56	AB	9.278±0.17	B
Mikoriza+*Trichoderma*	124.4±6.09		83.38±1.21	AB	9.460±0.12	B

*: P<0.05 düzeyinde anlamlılığa sahip olan farklar, farklı harflerle gösterilmiştir. Ö.D.: Önemli değil. ±: Standart hata.

Bu araştırmanın bulguları, mevcut literatür ile uyumlu bir şekilde, topraksız tarım uygulamalarında mikoriza aşılamanın bitki büyümesi ve verimlilik üzerinde olumlu etkileri olduğunu teyit etmektedir (Dasgan vd., 2008). Benzer bulgular, Dere vd. (2019) tarafından topraksız ortamda yetiştirilen kavunlar üzerinde yapılan çalışmada da gözlenmiş, mikoriza uygulamasının pazarlanabilir verimi arttırdığı rapor edilmiştir. Ancak, Michałojć vd. (2015) tarafından yapılan bir başka çalışma, literatüre farklı bir bakış açısı getirerek, mikoriza uygulamalarının domates bitkisinde toplam ve pazarlanabilir verim üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda, topraksız domates yetiştiriciliğinde mikoriza uygulamasının faydalarını daha kapsamlı bir şekilde değerlendirmek ve meyve ağırlığı üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için ek araştırmalara ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılmıştır. Aynı şekilde, literatüre uyumlu olarak, *Trichoderma*'nın verim üzerinde doğrudan bir artırıcı etkisi olmadığı, fakat meyve kalitesi gibi diğer parametreler üzerinde olumlu etkileri olabileceği belirtilmiştir (Behiry vd., 2023; Chien ve Huang, 2020).

Bitki Boyu, Boğum Arası Uzunluk, Gövde Çapı Ve Kök Ağırlığı

Bitki boyu açısından, mikoriza uygulaması istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek bitki boyu sağlamıştır (3.76 m). *Trichoderma* uygulaması ise en düşük bitki boyuna (3.43 m) sahip olmuştur. Mikoriza ve *Trichoderma* kombinasyonu uygulaması ise (3.49 m) bitki boyu açısından kontrol grubu (3.48 m) ile benzer sonuçlar vermiştir (Çizelge 3).

Boğum arası uzunluk değerleri arasında ise önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Bu durum, uygulamaların boğum arası uzunluk üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Aynı şekilde gövde çapı kalınlıkları ile uygulamalar arasında istatistik bir farklılığa rastlanılmamıştır (Çizelge 3).

Trichoderma uygulaması istatistiksel olarak anlamlı şekilde diğer uygulamalara göre daha yüksek kök ağırlığına (225.5 g) sahip olurken, kontrol grubunun ise en düşük kök ağırlığı (186.0 g) gösterdiği belirlenmiştir. Mikoriza ve Mikoriza+*Trichoderma* uygulamaları ise kök ağırlığı açısından benzer sonuçları göstermiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Uygulamaların bitki boyu, boğum arası uzunluk, gövde çapı ve kök ağırlığı

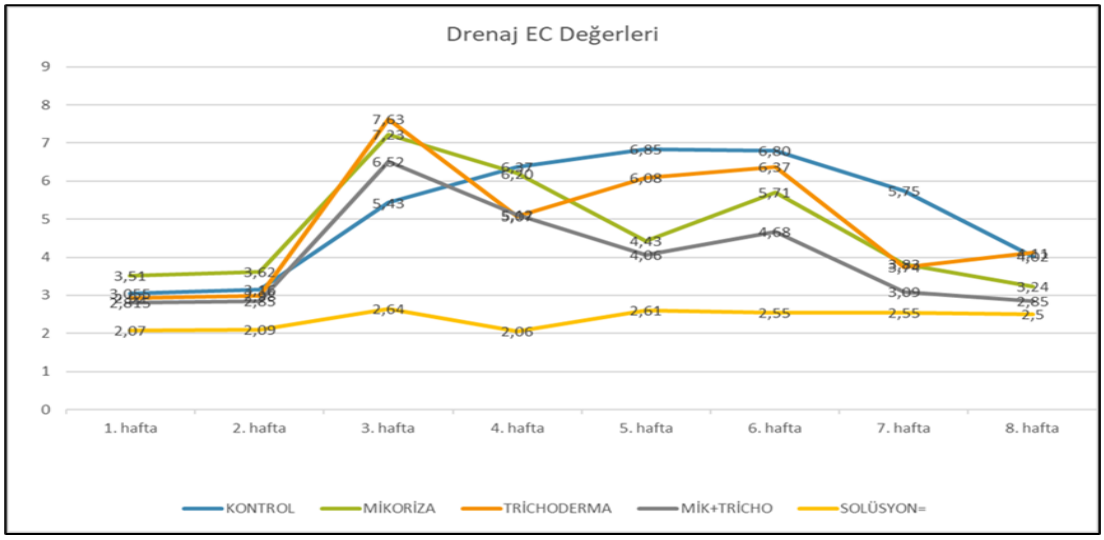
Uygulamalar	Bitki Boyu (m)		Boğum Arası Uzunluk		Gövde Çapı (mm)		Kök Ağırlığı (g)	
Kontrol	3.48±0.06	B*	8.56±0.35	Ö.D.*	10.2±0.73	Ö.D.	186.0±12.7	B
Mikoriza	3.76±0.08	A	8.71±0.34		10.6±0.66		221.3±8.26	AB
Trichoderma	3.43±0.03	B	7.68±0.29		10.3±0.19		225.5±3.68	A
Mikoriza+	3.49±0.08	AB	8.00±0.29		10.9±0.68		212.7±6.55	AB

*: P<0.05 düzeyinde anlamlılığa sahip olan farklar, farklı harflerle gösterilmiştir. Ö.D.: Önemli değil. ±: Standart hata.

Araştırma bulgularımız, mikoriza ve *Trichoderma*'nın özellikle bitki boyu ve kök ağırlığı üzerine etkisinin olduğu yönündedir. Nitekim, Öztekin vd., (2013) mikoriza'nın bitki boyunu artırdığını, Calvo vd., (2014) ve Rouphael vd., (2015) ise Trichoderma'nın kök ağırlığına olumlu etki yaptığını belirlemişlerdir. Ayrıca, Ganugi vd., (2023) mikoriza ve *Trichoderma* kombinasyonunun kök gelişimini ve fenolojik büyümeyi iyileştirdiğini rapor etmiştir. Bu veriler, kullanılan mikroorganizmaların bitki gelişimi üzerinde farklı etkilerinin olduğunu göstermektedir. Bizim de elde etmiş olduğumuz sonuçlara göre bitki boyu ve kök gelişimlerinin istatistiki düzeyde etkilendiği yönünde olup, mevcut literatür ile benzerlik göstermiştir.

Drenaj EC Değerleri

Besin solüsyonunun EC değeri süreç boyunca ortalama 2.5 civarında seyretmiştir. Kontrol grubunun drenaj EC değerleri 3.055 ile başlamış, 19.07.2022 (5. hafta) tarihinde 6.85 ile en yüksek değerine ulaşmış ve 16.08.2022'de (8. hafta) 4.02'ye gerilemiştir. Mikoriza uygulamasının drenaj EC değerleri 3.51 (1. hafta) ile başlamış, 4.07.2022'de (3. hafta) 7.23 ile en yüksek değere ulaşmış ve bu pikten sonra EC değerleri diğer gruplara göre daha hızlı bir şekilde azalıp 16.08.2022'de 3.24'e (8. hafta) düşmüştür. *Trichoderma* uygulamasının EC değeri 2.92 (1. hafta) ile başlamış, 4.07.2022'de (3. hafta) 7.63 ile en yüksek değerini görmüş ve 16.08.2022'de (8. hafta) 4.11'e inmiştir. Mikoriza ve *Trichoderma*'nın birlikte kullanıldığı grup 2.815 (1. hafta) ile başlamış ve süreç sonunda 16.08.2022'de (8. hafta) 2.85 değerini almıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Solüsyon ve uygulamaların drenaj EC değerlerindeki haftalık değişimler

Bu bulgular besin solüsyonunun EC değerinin süreç boyunca ortalama 2.5 civarında seyrettiğini göstermiştir. Mikoriza, *Trichoderma* ve Mikoriza+*Trichoderma* gruplarının drenaj EC değerleri kontrol gurubuna göre genelde daha düşük gözlemlenmiştir.

Literatürde de benzer şekilde, topraksız tarım sistemlerinde mikroorganizma uygulamalarının, bitkilerin besin maddesi alımını ve buna bağlı olarak drenaj EC değerlerini etkileyebileceği bildirilmiştir (Smith ve Read, 2010). Özellikle mikorizanın, bitkinin besin maddesi alım kapasitesini artırarak drenajdaki EC değerlerinde değişikliklere yol açabileceği belirtilmiştir (Porras-Soriano vd., 2009). *Trichoderma*'nın

ise literatürde genellikle patojenlere karşı biyolojik kontrol ajanı olarak daha etkin olduğu bunun yanında bitki gelişimi ve besin alımını da etkileyerek drenaj EC'inde azalmalara neden olabileceği rapor edilmiştir (Harman vd., 2004). Bu çalışmanın bulguları da hem mikoriza uygulamasının hem de *Trichoderma* uygulamasının drenaj EC değerlerini kontrol grubuna göre düşüreceği yönünde olup, mevcut çalışmalar ile uyumludur. Bu durum kullanılan mikroorganizmaların kök bölgesinde bulunan besin elementlerini daha efektif kullanımlarıyla açıklayabileceği şeklinde yorumlanabilir.

Likopen, *ß*-Karoten ve Vitamin-C

Trichoderma ve Mikoriza+*Trichoderma* uygulamaları, likopen içeriği açısından istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde diğer uygulamalardan daha yüksek değerlere ulaşmıştır; bu değerler sırasıyla 11.72 mg/100 g ve 11.65 mg/100 g olarak belirlenirken, mikoriza uygulaması ise 9.88 mg/100g olarak belirlenmiştir. Kontrol grubu likopen değeri ise 6.17 mg/100 g ile en düşük seviyede kalmıştır (Çizelge 4).

ß-karoten içeriği bakımından, yine *Trichoderma* (4.37 mg/100 g) ve Mikoriza+*Trichoderma* (3.78 mg/100 g) uygulamaları istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde en yüksek değerlere ulaşırken, mikoriza uygulaması 2.44 mg/100 g, kontrol grubu ise 1.48 mg/100 g seviyelerinde kalmıştır (Çizelge 4).

Meyve vitamin C içeriği bakımdan en yüksek değer 15.68 mg/100 değeriyle Mikoriza+*Trichoderma* uygulamasında belirlenirken, bunu 13.38 mg/100 g ile *Trichoderma* takip etmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Uygulamaların likopen, B-karoten ve vitamin-C içerikleri

Uygulamalar	Likopen (mg/100 g)		*ß*-Karoten (mg/100 g)		Vitamin-C (mg/100 g)	
Kontrol	6.17±0.12	C *	1.48±0.29	C	12.60±0.26	B
Mikoriza	9.88±0.40	B	2.44±0.06	B	11.60±0.18	B
Trichoderma	11.72±0.01	A	4.37±0.06	A	13.38±0.80	B
Mikoriza+*Trichoderma*	11.65±0.04	A	3.78±0.21	A	15.68±0.20	A

*: P<0.05 düzeyinde anlamlılığa sahip olan farklar, farklı harflerle gösterilmiştir. ±: Standart hata.

Araştırma bulgularımıza göre *Trichoderma* ve Mikoriza+*Trichoderma* uygulamalarının likopen içeriğini önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, önceki çalışmaların *Trichoderma* ve mikoriza uygulamalarının domates meyvelerinin likopen içeriğini artırabileceği sonucunu desteklemektedir. Nitekim, Aguilera vd. (2022) çalışmalarında, mikoriza uygulamasının domates likopen konsantrasyonunu (%114-%125) artırabileceğini belirtmişlerdir. Ganugi vd. (2023) yaptıkları çalışmada ise, domates bitkilerine mikoriza ve *Trichoderma* aşılamasının sonucunda domates meyvelerinde *ß*-karoten, Z-karoten, 13-z-likopen ve all-trans-likopen gibi bileşenlerde artış olduğunu bildirmişlerdir. *ß*-karoten ve vitamin C içerikleri açısından da benzer etkiler görülmüştür. *Trichoderma* uygulamasının *ß*-karoten içeriğini en yüksek düzeye çıkardığı (4.37 mg/100 g) ve Mikoriza+*Trichoderma* uygulamasının vitamin C içeriğini en yüksek seviyeye (15.68 mg/100 g) taşıdığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, mikroorganizma uygulamaların domates meyvelerinin antioksidan bileşenlerini artırarak besin değerini ve sağlık yararlarını optimize etmede önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir (Adesemoye ve Kloepper, 2009).

Meyve Kabuk Rengi

Mikoriza+*Trichoderma* uygulamasının en yüksek L* (41.830) ile en parlak meyve kabuklarına sahip olduğu, diğer uygulamaların L* değerlerinin ise birbirine yakın olduğu, *Trichoderma* uygulamasının da en düşük L* değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Trichoderma uygulaması, 28.143 a* değeriyle meyve kabuğunda en koyu kırmızı renklenmeye yol açarken, kontrol grubu 25.816 a* değeriyle en düşük renk değerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5).

Mikoriza+*Trichoderma* uygulaması en yüksek b* değeri olan 29.197 ile en sarı meyve kabuklarına sahipken, kontrol grubu 27.583 ile en düşük değeri almıştır (Çizelge 5).

Çizelge 5. Uygulamaların meyve kabuk renk ortalama değerleri

Uygulamalar	L*		a*		b*	
Kontrol	41.11±0.39	Ö.D.*	25.82±0.31	B	27.58±0.25	Ö.D.
Mikoriza	41.25±0.26		26.15±0.46	AB	27.92±0.45	
Trichoderma	41.02±0.19		28.14±0.42	A	29.01±0.61	
Mikoriza+*Trichoderma*	41.83±0.26		26.65±0.71	AB	29.20±0.20	

*: P<0.05 düzeyinde anlamlılığa sahip olan farklar, farklı harflerle gösterilmiştir. Ö.D.: Önemli değil. ±: Standart hata.

Araştırmanın renk sonuçları, mikorizanın meyve kabuk renkleri üzerinde olumlu etkileri olabileceğini göstermektedir. Özellikle, bu bulgular Öztekin ve Ece'nin (2014) mikoriza uygulamasının domateslerin kırmızı renk değeri (a*) üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu saptadığı çalışmasıyla uyumludur. Bu etkinin, mikroorganizmaların bitki sağlığı, stres toleransı ve besin alımı üzerindeki genel etkileriyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda, Al-Karaki (2006) ve Harman (2000) gibi önceki çalışmalar da mikoriza ve *Trichoderma*'nın bitki büyümesi ve besin alımı üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermişlerdir. Dolayısıyla, mevcut araştırmamızın sonuçları, bitki kalitesi ve renk özellikleri üzerinde mikoriza ve *Trichoderma*'nın pozitif etkilerini desteklemektedir.

Meyve Çapı Ve Sertliği

Meyve sertliği değerleri istatistiksel olarak önemli farklar içermektedir. Kontrol grubu için 6.77 kg/cm^2, Mikoriza+*Trichoderma* grubu için 5.55 kg/cm^2, mikoriza grubu için 6.64 kg/cm^2 ve *Trichoderma* grubu için 5.85 kg/cm^2 olmuştur. Gruplandırma sonuçları, kontrol ve mikoriza uygulamalarının benzer ve daha yüksek meyve sertliği değerlerine sahip olduğunu, *Trichoderma* ve Mikoriza+*Trichoderma* uygulamalarının ise daha düşük meyve sertliği değerlerine sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 6).

Meyve çapı değerleri arasında ise istatistiksel olarak önemli farklara rastlanılmamıştır. Meyve çapı değerleri kontrol grubu için 64.86, Mikoriza+*Trichoderma* grubu için 62.67, mikoriza grubu için 63.09 ve *Trichoderma* grubu için 61.61 mm olarak belirlenmiştir. Bu durum, mikoriza ve *Trichoderma* uygulanmasının meyve çapı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Uygulamaların meyve sertliği ve meyve çapı değerleri

Uygulamalar	Meyve Sertliği (kg/cm^2)		Meyve Çapı (mm)	
Kontrol	6.77±0.23	A*	64.86±1.31	Ö.D.
Mikoriza	6.64±0.12	AB	63.09±1.06	
Trichoderma	5.85±0.25	BC	61.61±0.85	
Mikoriza+*Trichoderma*	5.55±0.16	C	62.67±0.93	

*: P<0.05 düzeyinde anlamlılığa sahip olan farklar, farklı harflerle gösterilmiştir. Ö.D.: Önemli değil. ±: Standart hata.

Elde edilen bu sonuçlar, mikoriza ve *Trichoderma* uygulamalarının meyve sertliği üzerinde negatif bir etkisinin olduğunu işaret etmektedir. Ancak, mevcut literatürde bazı çalışmalar mikoriza uygulamasının meyve sertliğine olumlu etkiler sağlayabileceğini belirtmektedir (Smith ve Read, 2010), bu nedenle bu çalışmanın bulguları literatürdeki bazı çalışmalarla uyumsuzluk göstermektedir. Diğer yandan, *Trichoderma* ve Mikoriza+*Trichoderma* uygulamalarının meyve sertliği üzerinde daha düşük değerlere yol açtığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, biyolojik kontrol ajanlarının meyve sertliğini azaltabileceği düşündürmektedir. Fakat literatürde bu konuda çelişkili sonuçlar mevcuttur. Harman vd. (2004) tarafından yapılan bazı çalışmalar, *Trichoderma* ve mikoriza uygulamalarının meyve sertliğini olumlu yönde etkileyebileceğini ifade ederken, Öztekin ve Ece (2014) gibi diğer çalışmalarda, bu uygulamaların meyve sertliği üzerinde önemsiz ya da negatif etkileri olduğu gösterilmektedir.

Klorofil ve Karotenoid

Klorofil içeriği açısından, mikoriza uygulaması diğer uygulamalara göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek klorofil içeriğine sahip olmuştur (0.3777 mg/g). Mikoriza+*Trichoderma* uygulaması da kontrol ve *Trichoderma* uygulamalarına göre daha yüksek klorofil içeriği göstermiştir

(0.3531 mg/g). *Trichoderma* uygulaması 0.2817 mg/g, kontrol grubunun ise 0.2068 mg/g ile en düşük klorofil içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Karotenoid içeriği bakımından, Mikoriza ve Mikoriza+*Trichoderma* uygulamaları diğer uygulamalara göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek karotenoid içeriğine sahip olurken (sırasıyla 3.956 mg/g ve 3.927 mg/g), *Trichoderma* uygulaması 3.110 mg/g, kontrol grubu ise 2.358 mg/g değer ile en düşük karotenoid içeriğine sahip olmuştur (Çizelge 7).

Çizelge 7. Uygulamaların yaprakta klorofil (mg/g) ve karotenoid (mg/g) ortalama değerleri

Uygulamalar	Klorofil (mg/g)		Karotenoid (mg/g)	
Kontrol	0.207±0.005	C*	2.358±0.117	B
Mikoriza	0.378±0.023	A	3.956±0.334	A
Trichoderma	0.282±0.002	BC	3.110±0.027	AB
Mikoriza+*Trichoderma*	0.353±0.027	AB	3.927±0.363	A

*: P<0.05 düzeyinde anlamlılığa sahip olan farklar, farklı harflerle gösterilmiştir. ±: Standart hata.

Çalışmamızın elde ettiği sonuçlar, mikoriza ve *Trichoderma*'nın domates bitkilerinin klorofil ve karotenoid içeriğini pozitif yönde etkileyebileceğini göstermektedir, bu da mevcut literatürle uyumludur. Örneğin, yapılan araştırmalarda klorofil ve karotenoid içeriğinin, bitkilerin büyümesi, gelişmesi ve stresle başa çıkma yetenekleri açısından önemli pigmentler olduğu uzun yıllardır bildirilmektir (Demmig-Adams, 1992). Karotenoidlerin, bitkilerde önemli bir antioksidan görevi gördüğü ve stresle başa çıkma mekanizmalarında önemli bir roller üstlendiği bildirilmektedir (Nisar vd., 2015). Çalışmalar, mikoriza ve *Trichoderma*'nın bitkilerin karotenoid içeriğini artırarak stres koşullarında daha dayanıklı hale gelmelerine yardımcı olduğu yönündedir (Pozo vd., 2009). Benzer şekilde, *Trichoderma'*nın bitki köklerinde büyüme ve dallanmayı teşvik ederek, besin alımını ve fotosentez süreçlerini iyileştirdiği mikoriza ile aşılanmış bitkilerde fosfor ve azot alımının arttığı ve bu durumun fotosentez ve klorofil üretimini desteklediği de belirtilmektedir.

Sonuç

Bu çalışmada, topraksız tarımda önemli bir yer tutan salkım domates yetiştiriciliğinde mikoriza ve *Trichoderma* mantarlarının aşılanması ile elde edilen sonuçları değerlendirilmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre mikoriza uygulaması, topraksız tarımda salkım domates yetiştiriciliğinde verim ve kaliteye olumlu etkiler yapmıştır. Özellikle toplam meyve sayısında ve verimde gözlemlenen artışlar, mikorizanın bitkilerin gelişimini ve üretim kapasitesini önemli ölçüde iyileştirebildiğini göstermektedir. Ayrıca, fizyolojik parametrelerdeki olumlu değişimler, bu tür mikroorganizmaların bitki sağlığına genel bir katkı sağladığını ifade etmektedir.

Trichoderma uygulaması ise meyve kalitesine ve yaprak bileşenlerine olan pozitif etkisiyle dikkat çekmektedir. Özellikle meyve kalite parametrelerinde görülen iyileşmeler, bu mikroorganizmanın ürün kalitesini artırmada etkili bir mantar olarak kullanılabileceğini göstermektedir. *Trichoderma*'nın hastalık baskılayıcı etkisi de unutulmamalıdır; bu sayede bitkilerin sağlıklı bir şekilde büyümesine katkı sağlayabileceği belirlenmiştir.

Mikoriza ve *Trichoderma'nın* bir arada kullanımı, topraksız tarım uygulamalarında özellikle drenaj EC (elektriksel iletkenlik) değerlerini düşürerek su ve besin yönetimini daha verimli hale getirdiğini bu durumunda meyve kalite kriterlerini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir.

Bu araştırma sonuçlarına göre bu tip yararlı mikroorganizmaların topraksız tarım yetiştiriciliğinde kullanımı sonucunda gerek verim üzerine gerekse meyve kalitesi üzerine olumlu etkilerinin olabileceği belirlenmiştir.

Yazarlar Katkısı

Yazarlar makalenin hazırlanmasında eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar olarak makalenin planlanması, yürütülmesi ve yazılması konusunda herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

Teşekkürler

Bu araştırma makalesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalında Yunus HOR tarafından sunulan Yüksek Lisans tezinden türetilmiştir

Ayrıca, tez çalışmasında kullanılmak üzere temin edilen Mikoriza ve *Trichoderma* için Bioglobal Tarım San.ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Adesemoye, A. O. ve Kloepper, J. W. (2009). Plant–microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. Applied Microbiology and Biotechnology, 85, 1-12. https://doi.org/10.1007/s00253-009-2196-0

Aguilera, P., Becerra, N., Alvear, M., Ortiz, N., Turrini, A., Azcón-Aguilar, C., Miguel L. G., Romero, J. K., Massri, M., Seguel, A., Mora, M. D. L. ve Borie, F. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi from acidic soils favors production of tomatoes and lycopene concentration. Journal of the Science of Food and Agriculture, 102(6), 2352-2358. https://doi.org/10.1002/jsfa.11573

Akınoğlu, G. ve Korkmaz, A. (2016). Topraksız tarımda farklı substrat miktarı ve besin çözeltisi uygulamalarının domateste beslenme ve verim kriterlerine etkisi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 4(2), 49-56.

Alaboz, P. ve Çakmakcı, T. (2020). Kumlu tın ve killi tın toprakta kokopit oluşturduğu tarla kapasitesi ve sürekli solma noktası üzerine etkisi. Akdeniz Tarım Bilimleri, 33(2), 285-290. https://doi.org/10.29136/mediterranean.660207

Al-Karaki, G. N. (2006). Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. Scientia Horticulturae, 109(1), 1-7. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.02.019

Altomare, C., Norvell, W. A., Björkman, T. ve Harman, G. (1999). Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. Applied and Environmental Microbiology, 65(7), 2926-2933. https://doi.org/10.1128/AEM.65.7.2926-2933.1999

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24(1), 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Augé, R. M. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza, 11(1), 3-42. https://doi.org/10.1007/s005720100097

Behiry, S., Soliman, S. A., Massoud, M. A., Abdelbary, M., Kordy, A. M., Abdelkhalek, A. ve Heflish, A. (2023). *Trichoderma* pubescens elicit ınduced systemic resistance in tomato challenged by *Rhizoctonia solani*. Journal of Fungi, 9(2), 167. https://doi.org/10.3390/jof9020167

Boyacı, S., Abaci Bayar, A. A. ve Başak, H. (2022). Evaluation of harvest waste in soilless agriculture tomato cultivation. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 1(1), 29-42.

Brundrett, M. C. (2009). Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. Plant and Soil, 320, 37-77. https://doi.org/10.1007/s11104-008-9877-9

Calvo, P., Nelson, L. ve Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. Plant and Soil, 383, 3-41. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8

Cemeroğlu, B. (1992). Meyve ve Sebze İşleme Endüstrisinde Temel Analiz Metotları. Ankara, Türkiye: Biltav Yayınları.

Chien, Y. C. ve Huang, C. H. (2020). Biocontrol of bacterial spot on tomato by foliar spray and growth medium application of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Trichoderma asperellum*. European Journal of Plant Pathology, 156(4), 995-1003. https://doi.org/10.1007/s10658-020-01947-5

Dasgan, H. Y., Kusvuran, S. ve Ortas, I. (2008). Responses of soilless grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal (*Glomus fasciculatum*) colonization in re-cycling and open systems. African Journal of Biotechnology, 7(20), 3606-3613.

Demirgül, F. (2018). Çadırdan saraya Türk mutfağı. Uluslararası Türk Dünyası Turizm Araştırmaları Dergisi, 3(1), 105-125.

Demmig-Adams, B. ve Adams Iii, W. W. (1992). Photoprotection and other responses of plants to high light stress. Annual Review of Plant Biology, 43(1), 599-626.

Dere, S., Coban, A., Akhoundnejad, Y., Ozsoy, S. ve Daşgan, H. (2019). Use of mycorrhiza to reduce mineral fertilizers in soilless melon (*Cucumis melo* L.) cultivation. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 47(4), 1331-1336. http://doi.org/10.15835/nbha47411738

Douds Jr, D. D., Nagahashi, G., Reider, C. ve Hepperly, P. R. (2007). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potatoes in a high P soil. Biological Agriculture & Horticulture, 25(1), 67-78.

Dönel, G., Algur, Ö. F. ve Doğan, S. (2011). Rafignatoyid akarlarin vücut yüzeyi ve vücut içi mikrofunguslarinin belirlenmesi. Erzincan University Journal of Science and Technology, 5(1), 25-42.

FAO (2021). Tomato production in Turkey. Retrieved from http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize (Son erişim tarihi: 27 Mart 2023)

Ganugi, P., Fiorini, A., Tabaglio, V., Capra, F., Zengin, G., Bonini, P., Caffi, T., Puglisi, E., Trevisan, M. ve Lucini, L. (2023). The functional profile and antioxidant capacity of tomato fruits are modulated by the ınteraction between microbial biostimulants, soil properties, and soil nitrogen status. Antioxidants, 12(2), 520. https://doi.org/10.3390/antiox12020520

Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M. N., van Tuinen, D., Redecker, D. ve Wipf, D. (2010). Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. Mycorrhiza, 20(8), 519-530. https://doi.org/10.1007/s00572-010-0333-3

Gül, A. (2019). Topraksız Tarım (3. Baskı). Hasad Yayıncılık.

Güvenç, İ. (2019). Türkiye'de domates üretimi, dış ticareti ve rekabet gücü. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 22(1), 57-61. https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.432316

Harman, G. E. (2000). Myths and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzinum* T-22. Plant Disease, 84(4), 377-393. https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.4.377

Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I. ve Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature Reviews Microbiology, 2(1), 43-56. https://doi.org/10.1038/nrmicro797

Hazar, D. ve Baktır, İ. (2013). Topraksız tarım kesme gül yetiştiriciliği. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(2), 21-27.

Hermosa, R., Viterbo, A., Chet, I. ve Monte, E. (2012). Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. Microbiology, 158(1), 17-25. https://doi.org/10.1099/mic.0.052274-0

Keskin, G. (2021). Türkiye'nin domates üretimindeki kayıpları ve rekabet gücü. Eurasıan Journal of Agricultural Economics (Ejae), 1(2), 18-37.

Kirk, J. T. O. ve Allen, R. L. (1965). Dependence of chloroplast pigment synthesis on protein synthesis: effect of actidione. Biochemical and Biophysical Research Communications, 21(6), 523-530. https://doi.org/10.1016/0006-291X(65)90516-4

Koide, R. T. ve Mosse, B. (2004). A history of research on arbuscular mycorrhiza. Mycorrhiza, 14, 145-163. https://doi.org/10.1007/s00572-004-0307-4

Kubicek, C. P., Herrera-Estrella, A., Seidl-Seiboth, V., Martinez, D. A., Druzhinina, I. S., Thon, M., ve Grigoriev, I. V. (2011). Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral life style of *Trichoderma*. Genome Biology, 12, 1-15. https://doi.org/10.1186/gb-2011-12-4-r40

Liu, J., Fang, L., Pei, W., Li, F. ve Zhao, J. (2023). Effects of magnesium application on the arbuscular mycorrhizal symbiosis in tomato. Symbiosis, 89, 1-10. https://doi.org/10.1007/s13199-022-00862-z

Martínez-Medina, A., Del Mar Alguacil, M., Pascual, J. A. ve Van Wees, S. C. (2014). Phytohormone profiles induced by *Trichoderma* correspond with their biocontrol and plant growth-promoting activity on melon plants. Journal of Chemical Ecology, 40, 804-815. https://doi.org/10.1007/s10886-014-0478-1

Mastouri, F., Björkman, T. ve Harman, G. E. (2010). Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. Phytopathology, 100(11), 1213-1221. https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-10-0091

McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, *27*(12), 1254-1255.

Meriç, M. K. ve Öztekin, G. B. (2008). Topraksız tarımda kapilar sistemler. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 45(2), 145-152.

Michałojć, Z., Jarosz, Z., Pitura, K. ve Dzida, K. (2015). Effect of mycorrhizal colonization and nutrient solutions concentration on the yielding and chemical composition of tomato grown in rockwool and straw medium. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, 14(6), 15-27.

Nagata, M. ve Yamashita, I. (1992). Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 39(10), 925-928. https://doi.org/10.3136/nskkk1962.39.925

Nisar, N., Li, L., Lu, S., Khin, N. C. ve Pogson, B. J. (2015). Carotenoid metabolism in plants. Molecular Plant, 8(1), 68-82.

Ortaş, 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. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.08.005

Özbucak, T., Kabul, D. ve Ergen Akçin, Ö. (2020). Mikoriza ve fungusit uygulamalarının domates bitkisinin bazı büyüme ve gelişim parametreleri üzerine etkisi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7(1), 529-543. https://doi.org/10.35193/bseufbd.716195

Özdemir, R. ve Demirbaş, N. (2020). Meyve ve sebze meyveleri ortaya çıkan kayıplar üzerinde etkili olan faktörler: İzmir ili örneği. Akdeniz Tarım Bilimleri, 33(1), 85-91. https://doi.org/10.29136/mediterranean.659011

Öztekin, G. B., Tuzel, Y. ve Tüzel, I. H. (2013). Does mycorrhiza improve salinity tolerance in grafted plants?. Scientia Horticulturae, 149, 55-60. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.033

Öztekin, GB ve Ece, M. (2014). Sera Domates Yetiştiriciliğinde Symbion VAM (Glomus fasciculatum) İnokulasyonunun Bitki Gelişimi, Verim ve Meyve Kalitesi Üzerine Etkisinin Belirlenmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 1 (1), 35-42. https://doi.org/10.19159/tutad.65880

Pasković, I., Soldo, B., Ban, S. G., Radić, T., Lukić, M., Urlić, B., Mimica, M., Bubola, K. B., Colla, G., Rouphael, Y., Major, N., Šimpraga, M., Ban, D., Palčić, I., Franić, M., Grozić, K. ve Lukić, I. (2021). Fruit quality and volatile compound composition of processing tomato as affected by fertilisation practices and arbuscular mycorrhizal fungi application. Food Chemistry, 359, 129961. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129961

Porras-Soriano, A., Soriano-Martín, M. L., Porras-Piedra, A. ve Azcón, R. (2009). Arbuscular mycorrhizal fungi increased growth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions. Journal of Plant Physiology, 166(13), 1350-1359. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.02.010

Pozo, M. J., Verhage, A., García-Andrade, J., García, J. M. ve Azcón-Aguilar, C. (2009). Priming plant defence against pathogens by arbuscular mycorrhizal fungi. In Mycorrhizas-Functional Processes and Ecological Impact. (pp. 123-135) https://doi.org/10.1007/978-3-540-87978-7_9

Redecker, D., Schüßler, A., Stockinger, H., Stürmer, S. L., Morton, J. B. ve Walker, C. (2013). An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*). Mycorrhiza, 23, 515-531. https://doi.org/10.1007/s00572-013-0486-y

Rouphael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M., De Pascale, S., Bonini, P. ve Colla, G. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. Scientia Horticulturae, 196, 91-108. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.002

Sanmartín, N., Sánchez-Bel, P., Pastor, V., Pastor-Fernandez, J., Mateu, D., Pozo, M. J., Cerezo, M. ve Flors, V. (2020). Root-to-shoot signalling in mycorrhizal tomato plants upon *Botrytis cinerea* infection. Plant Science, 298, 110595. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110595

Savvas, D. ve Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry—A review. European Journal of Horticultural Science, 83(5), 280-293. https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2

Shoresh, M., Harman, G. E. ve Mastouri, F. (2010). Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. Annual Review of Phytopathology, 48, 21-43. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114450

Smith, S. E. ve Read, D. J. (2010). Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press.

Smith, S. E. ve Smith, F. A. (2011). Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. Annual Review of Plant Biology, 62, 227-250. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103846

Song, Y. Y., Zeng, R. S., Xu, J. F., Li, J., Shen, X. ve Yihdego, W. G. (2010). Interplant communication of tomato plants through underground common mycorrhizal networks. PloS One, 5(10), e13324. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013324

Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R., Woo, S. L. ve Lorito, M. (2008). *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. Soil Biology and Biochemistry, 40(1), 1-10. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.002