

Atf İçin: Bilici S, Demir S, Boyno G, 2021. Uçucu Yağ ve Arbusküler Mikorhizal Fungus'un Domates Kök ve Kök Boğazı Çürüklüğü (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* Jarvis & Shoemaker) Hastalığına Etkileri. . İğdir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(2): 857-868.

To Cite: Bilici S, Demir S, Boyno G, 2021. The Effects of Essential Oils and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Decay Disease (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* Jarvis & Shoemaker) of Root and Root Collar of Tomato. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(2): 857-868.

Uçucu Yağ ve Arbusküler Mikorhizal Fungus'un Domates Kök ve Kök Boğazı Çürüklüğü (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* Jarvis & Shoemaker) Hastalığına Etkileri

Seda BİLİCİ¹ Semra DEMİR^{1*} Gökhan BOYNO¹

ÖZET: Bu çalışmada, bazı Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF) türleri (*Rhizophagus intraradices* (Ri) ve *Funneliformis mosseae* (Fm)) ile bazı uçucu yağların (kekik, nane ve adaçayı), domatesteki önemli hastalıklar arasında yer alan *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (Jarvis & Shoemaker) (FORL)'nin yol açtığı kök ve kök boğazı çürüklüğü hastalığı üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmanın birinci aşamasında, *in-vitro* koşullarda üç farklı uçucu yağ ile bunların beş farklı dozu (25, 50, 75, 100 ve 150 µl L⁻¹), FORL'ye karşı denenmiştir. Çalışma sonucunda patojenin miseliyal koloni gelişiminin sadece kekikten elde edilen uçucu yağın (KUY) tüm dozlarının %50.8-80.8 oranında engellediği; en iyi dozun ise 150 µl L⁻¹ doz olduğu saptanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında *in-vivo* koşullarında yetiştirilen domates bitkilerine, AMF türleri ile 150 µl L⁻¹ dozundaki KUY uygulanmıştır. Uygulama gruplarının bitki gelişimine önemli bir etkileri olmamakla beraber, AMF kolonizasyon yoğunluklarına ve mikorizal bağımlılık kriterlerine göre en iyi uyumun Ri ile olduğu saptanmıştır. Çalışmanın üçüncü aşamasında Ri ile KUY'un 150 µl L⁻¹ doz uygulamasının, domates bitkisinde FORL'ye olan etkileri araştırılmıştır. Tüm uygulamalar kontrol grubuna göre hastalığı %28-55 oranlarında baskılamakta, Ri+KUY+FORL kombinasyonunun patojene karşı en etkili grup olduğu, uygulama gruplarının bitkinin morfolojik gelişimine önemli katkı sağlamadığı gözlenmiştir. AMF kök kolonizasyon yoğunluğu açısından en yüksek değerler Ri ve Ri+KUY+FORL uygulama gruplarında sırasıyla, %43.89 ile %37.77 oranlarında olurken, AMF spor yoğunluklarında istatistik olarak önemli fark oluşmamıştır. Mikorizal bağımlılık ise sadece Ri+KUY uygulamasında tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan Ri ile KUY uygulamalarının patojeni engellemede önemli bir potansiyele sahip olduğu, ancak bitki gelişimine önemli katkı sağlamadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Domates, *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici* (Jarvis & Shoemaker), arbusküler mikorhizal fungus, uçucu yağlar

The Effects of Essential Oils and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Decay Disease (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* Jarvis & Shoemaker) of Root and Root Collar of Tomato

ABSTRACT: In this study, the effects of some Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) species (*Rhizophagus intraradices* (Ri) and *Funneliformis mosseae* (Fm)) and some essential oils (thyme, mint and sage) on *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* (Jarvis & Shoemaker) (FORL) of root and root collar of tomato which are two of the important diseases were investigated. In the first stage of study three different essential oils and five different doses of oils (25, 50, 75, 100, 150 µl L⁻¹) have been tested against FORL *in-vitro* conditions. As a result of the study, it was determined that all doses of essential oils obtained from thyme (KUY) prevented the development of micellar colonies of the pathogen by 50.8-80.8%; and the best dose was 150 µl L⁻¹. In the second stage of the study, 150 µl L⁻¹ dose of KUY was applied to tomato plants grown under *in-vivo* conditions with AMF species. Although treatment groups did not have a significant effect on plant growth, according to AMF colonization densities and mycorrhizal dependence criteria, the best effect was found with Ri. In the third stage of the study, the effects of 150 µl L⁻¹ dose of KUY and Ri application on FORL in tomato plant were investigated. Ri+KUY+FORL combination was determined to be the most effective group against the pathogen. In addition, although all treatments suppressed the pathogen at a rate of 28-55%, they did not show significant effect on the morphological development of the plant. While the AMF root colonization density Ri and Ri+KUY+FORL treatment groups had the highest values at 43.89% and 37.77% respectively, there was no significant difference in spore density in the rhizosphere. Mycorrhizal dependence was detected only in Ri+KUY treatment. As a result, it was determined that Ri and KUY treatments have an important potential in preventing the pathogen, but they do not contribute significantly to plant growth.

Keywords: Tomato, *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici* (Jarvis & Shoemaker), arbuscular mycorrhizal fungi, essential oils.

¹ Seda BİLİCİ ([Orcid ID:0000-0001-6551-211X](https://orcid.org/0000-0001-6551-211X)), Semra DEMİR ([Orcid ID: 0000-0002-0177-7677](https://orcid.org/0000-0002-0177-7677)), Gökhan BOYNO ([Orcid ID: 0000-0003-3195-0749](https://orcid.org/0000-0003-3195-0749)), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Semra DEMİR, e-mail: semrademir@yyu.edu.tr

Bu çalışma Seda BİLİCİ'nin Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Dünyada en çok üretilen, tüketilen ve ticareti yapılan domates (*Solanum lycopersicum* L.), renk, lezzet ve besin içeriği gibi özellikleri açısından önemli sebze ürünlerinin başında gelmektedir (Wang ve ark., 2010). Ayrıca, gıda sanayinde dondurulmuş, konserve, salça, ketçap, turşu gibi çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olması; bünyesinde B6, B1, A ve C vitaminlerini içermesi gibi birçok özelliği nedeniyle insan beslenmesinde önemli rol oynamaktadır (Vural ve ark., 2000).

Domatesin dünyadaki toplam üretimi, yaklaşık 182 256 458 ton olup, 12 150 000 tonluk üretimi ile de Türkiye dünya çapında dördüncü sıradadır (FAO. 2020). Üretimi oldukça fazla olan bu üründe ise, hastalıkların salgın halde görülmesi kaçınılmazdır. Bu hastalıkların başında fungal patojenlerin neden olduğu hastalıklar gelmektedir (Kırbağ ve Turan, 2006; Song ve ark., 2011). Özellikle toprak kaynaklı patojenler arasında yer alan *Fusarium* türleri, domates yetiştiriciliği yapılan tüm alanlarda ciddi verim kayıplarına sebep olmaktadır (Attitalla ve ark., 2004; Bogale ve ark., 2007).

Fusarium türleri içinde domateste en yaygın görüleni *Fusarium oxysporum*'dur. Bu etmenin ise domatesi hastalandıran *F. oxysporum* f.sp. *lycopersici* (Snyder & Hans) (FOL), *Fusarium solgunluğuna* ve *F. oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* (Jarvis & Shoemaker) (FORL) ise kök ve kök boğazı çürümelerine sebep olan iki patojenik spesiyal form olarak belirlenmiştir (Castano ve ark., 2013; McGovern, 2015). FORL, bitkinin iletim borularında FOL'e göre daha az kahverengileşmeye sebep olmaktadır. Aynı zamanda kök boğazının 20-30 cm üzerinde kahverengi çizgilere yol açmaktadır. FORL'nin en tipik belirtisi ise çürümüş yan köklerin dip kısımlarındaki yuvarlak şekilde kahverengi lezyonlardır. Ayrıca bu fungus, ölü ve kuruyan bitkiler üzerindeki nekrotik gövde lezyonlarında beyaz-pembe renkli sporulasyon oluşturmaktadır (Can ve ark., 2003; Can ve ark., 2004).

F. oxysporum'un mikro-konidi, makro-konidi ve klamidospor olmak üzere üç tip aseksüel spor yapısı bulunmaktadır. FORL'nin yayılmasında ve hayatta kalmasında mikro-konidiler ve klamidospor yapıları oldukça etkilidir. Mikro-konidiler, çok bol miktarda oluşmakta ve çoğunlukla hava, toprak ve su hareketleri ile yayılmaktadır. Bu yayılım tekrarlı enfeksiyonlara sebebiyet vermekte ve %90'a varan ürün kayıplarına neden olmaktadır (Hajlaoui ve ark., 2001; Hibar, 2002; Çolak ve Biçici, 2011). Klamidosporlar ise kalın duvarlara sahip olup, fungusun toprakta uzun yıllar canlı kalmasını sağlamaktadır (Ozbay ve ark., 2002).

Fusarium türlerinin neden olduğu solgunluk ve kök çürüklüğü hastalıklarına karşı mücadele, çoğunlukla dayanıklı çeşit kullanımı ile kültürel yöntemler ve kimyasal mücadele programları şeklinde uygulanmaktadır (Aydın, 2019). Ancak hastalığa neden olan etmenin saprofitik yaşama özelliği ve dayanıklı çeşitlerin sınırlı sayıda geliştirilmesi nedeniyle kültürel yöntemler yetersiz kalmaktadır (Landa ve ark., 2004; Jiménez-Díaz ve ark., 2015). Bununla beraber, FORL'ye karşı uygun dayanıklılığa sahip ticari olarak kesin kabul edilebilir çeşitler henüz geliştirilmemiştir (Çolak ve Biçici, 2011). Bu nedenlerden dolayı üreticiler kimyasal mücadeleye başvurumaktadırlar. Kullanılan bu kimyasallar ise, insan sağlığına olan tehdidinin yanı sıra; su kaynaklarına ve toprağa bulaşarak, hedef dışı organizmalara zarar vermekte, kalıntılar ve kalıcı bileşikler nedeniyle biyolojik sistemlere ve çevreye büyük problemler oluşturmaktadır (Yıldız ve ark., 2005). Buna ek olarak, toksisite ve patojenlerin direnç problemlerini de beraberinde getirmektedir (Saito ve ark., 2016). Bu çerçevede, farklı mücadele yöntemleri son zamanlarda kimyasal mücadeleye alternatif yaklaşımlar içinde önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bu yöntemlerin başında ise biyolojik mücadele çalışmaları yer almaktadır.

Hastalıklarla mücadelenin ileri bir adımı olarak biyolojik mücadele düşünülebilir (Aydın, 2015; 2019). Bu bağlamda kullanılan biyolojik kontrol ajanları (BKA)'nın bitki kök bölgesine kolonize olmaları teşvik edilerek, bir savunma hattı oluşturmak suretiyle, bitkilerin hastalanması

engellenmektedir (Benítez ve ark., 2004). Özellikle de bitkileri bazı kök hastalıklarına karşı korumada, bitki gelişimini artırmada ve çeşitli stres faktörlerine karşı bitkiyi dirençli hale getirmede oldukça etkili simbiyotlar olarak kabul edilen Arbusküler Mikorhizal Funguslar (AMF) önemli bir yere sahiptir (Smith ve Smith, 2012; Demir ve ark., 2015). Bu kapsamda AMF'nin domates patojeni olan *F. oxysporum*'un mikrokonidial çimlenmesini etkilediği (Scheffknecht ve ark., 2007), aynı zamanda bu hastalığa karşı bitkinin direncini ve biyo-kütlesini de arttırdığı rapor edilmiştir (Wang ve ark., 2020).

Son zamanlarda hastalık etmenleriyle mücadelede, doğal yapıda birçok koruyucu ajanlar kullanılmaktadır. Özellikle bitkilerden elde edilen uçucu yağlar, doğal nitelikte olmaları ile beraber, insan sağlığını ve doğayı tehdit etmemeleri nedeniyle sentetik pestisitlere alternatif olarak kullanılabilir. Özellikle bitkilerden elde edilen uçucu yağlar, doğal nitelikte olmaları ile beraber, insan sağlığını ve doğayı tehdit etmemeleri nedeniyle sentetik pestisitlere alternatif olarak kullanılabilir. Özellikle bitkilerden elde edilen uçucu yağlar, doğal nitelikte olmaları ile beraber, insan sağlığını ve doğayı tehdit etmemeleri nedeniyle sentetik pestisitlere alternatif olarak kullanılabilir. Özellikle bitkilerden elde edilen uçucu yağlar, doğal nitelikte olmaları ile beraber, insan sağlığını ve doğayı tehdit etmemeleri nedeniyle sentetik pestisitlere alternatif olarak kullanılabilir.

Kök ve kök boğazı çürümesine sebep olan hastalığın, hem uçucu yağların hem de AMF ile kontrolüne yönelik araştırmaların sınırlı sayıda olduğu; bunların kombinasyonları ile yapılan araştırmalara yönelik literatüre ise rastlanmadığı görülmektedir. Bu çalışmada, domates tarımında önemli verim kayıplarına neden olan, kök ve kök boğazı çürümesine sebebiyet veren hastalık etmeni FORL'ye karşı AMF ile uçucu yağların biyolojik kontrol/doğal koruyucu ajanları olarak potansiyellerinin ve bitki gelişimlerine olan etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Materyalleri

Test bitkisi olarak yaygın bir şekilde yetiştiriciliği yapılan ve *Fusarium* solgunluğuna duyarlı olduğu bilinen Fla. 7781 nolu domates çeşidi kullanılmıştır. AMF izolatları olarak, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Mikoloji laboratuvarı stoklarında bulunan *Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler ve *Funneliformis mosseae* (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler izolatları kullanılmıştır. Patojen izolat olarak ise, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü (BATEM)'den temin edilen *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici* (FORL) izolatı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kekik, nane ve adaçayı uçucu yağları ise ticari olarak temin edilmiştir.

Uygun AMF ile Uçucu Yağ ve Dozunun Belirlenmesi

Çalışmada uygun AMF ile uçucu yağ kombinasyonlarının ve uçucu yağın uygulama dozunun belirlenmesi için hem *in-vitro* hem de *in-vivo*'da testler yapılmıştır.

In-vitro testlerde, sterilize edilmiş PDA ortamları su banyosunda 50°C'ye kadar soğutulduktan sonra kekik, nane ve adaçayı uçucu yağları 25, 50, 75, 100 ve 150 µl L⁻¹ konsantrasyonlarında olacak şekilde ilave edilerek steril petrilere aktarılmıştır. Daha sonra katılan bu ortamlara ise bir haftalık FORL kültüründen 5 mm çapında diskler alınıp ekimi yapılarak, 27°C'de inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyonun 3., 4., 5. ve 6. günlerinde petrilere gelişen fungusun miseliyal koloni çapları dijital kumpas kullanılarak birbirine dik yönlerde ölçülmüştür. Denemeler üç tekerrürlü ve her tekerrürde üç tekrar olacak şekilde yürütülmüştür. Bu test sonucunda en iyi uçucu yağ ve dozu belirlenerek *in-vivo* testine geçilmiştir.

In-vivo testi, 24±2°C sıcaklık, % 50-60 nem, 12 saat aydınlık ve 12 saat karanlık olacak şekilde ayarlanan iklim odasında yürütülmüş olup, 2:1 oranında torf:perlit doldurulmuş 16x18 cm boyutunda saksılar hazırlanmıştır. Hazırlanan bu saksıların tohum yatağına her bir AMF türünden 2.5 g'lık inokulum (yaklaşık 25-40 spor g⁻¹ toprak inokulum yoğunluğu) koyularak, yüzey sterilizasyonu yapılmış

domates tohumları ekilmiştir. Domates fidelerinin ilk çıkışlarından 6 hafta sonra *in-vitro* testinde başarılı bulunan uçucu yağ, belirlenen uygun dozda topraktan uygulanmıştır. Çalışma 3 tekerrürlü yürütülmüş olup, 10 haftalık gelişim periyodunu tamamlayan bitkiler hasat edilerek, morfolojik parametrelerine, AMF kök kolonizasyonu, rizosfer bölgesinde AMF spor yoğunluğu ve mikorhizal bağımlılığa bakılmıştır.

Bitki morfolojik parametrelerinin belirlenmesi

Hasat edilen bitkilerin sürgün yaş/kuru ağırlığı, kök yaş/kuru ağırlığı, sürgün/kök boyları ve sürgün çapı değerlendirilmiştir. Bu amaçla kök boğazından kesilen bitkilerin üst kısımları doğrudan tartılmış, kökler ise musluk suyu yardımı ile yetiştirme ortamı materyallerinden arındırıldıktan sonra tartılmıştır, bu yolla yaş ağırlıklar elde edilmiştir. Tartılan materyaller 70°C'de 48 saat kurutulmuş kuru ağırlıklar tespit edilmiştir. Sürgün ve kök boy ölçümleri bir cetvel ile, sürgün çapı ise dijital kumpas yardımıyla ölçülerek belirlenmiştir.

AMF kök kolonizasyonu, rizosfer bölgesinde AMF spor yoğunluğu ve mikorizal bağımlılığın belirlenmesi

Bitki kökleri temizlenip, % 0.05'lik Laktofenol mavisi katılarak hazırlanan boya çözeltisi ile boyanmıştır (Phillips ve Hayman, 1970). Daha sonra AMF kök kolonizasyonunun belirlenmesi için ışık mikroskobu altında mikorizal fungus yapıları gözlenmiştir. Ayrıca kök kolonizasyonu Grid-Line Intersect yöntemi ile ölçülerek, yüzde (%) olarak hesaplanmıştır (Giovannetti ve Mosse, 1980). AMF'li bitkilerin rizosfer bölgesindeki topraklarda AMF spor yoğunlukları ise ıslak eleme yöntemi ile 1 g topraktaki sporlar sayılarak belirlenmiştir (Gerdemann ve Nicholson, 1963) Daha sonra bitkilerdeki AMF'nin etkinliğini belirlemek amacıyla mikorhizal bağımlılığa bakılmıştır. Mikorhizal bağımlılık (MB), bitkilerin 10 haftalık gelişiminden sonra kuru ağırlıkları tartılıp, 1 no'lu Eşitlik kullanılarak belirlenmiştir (Declerck ve ark., 1995).

$$MB (\%) = [(A - B) \div A] \times 100 \quad (1),$$

Eşitlikte:

A; AMF (+) bitkinin toplam kuru ağırlığı,

B; AMF (-) bitkinin toplam kuru ağırlığı ifade etmektedir.

Elde edilen veriler sonucunda en iyi uyumu gösteren AMF x uçucu yağ kombinasyonu belirlenerek daha sonraki testlerde kullanılmıştır.

Seçilen AMF ve Uçucu Yağın FORL'ye Etkisi

In-vitro ve *in-vivo* testler sonucuna göre en iyi uyum gösteren AMF x uçucu yağ kombinasyonunun ve bunların tekli uygulamaları *in-vivo*'da FORL inokule edilen bitkiler üzerinde etkilerine bakılmıştır. Yukarıda bahsedildiği gibi domates tohumları AMF (+) ve AMF (-) olacak şekilde 3 tekerrür olarak ekimleri yapılmıştır. İlk fide çıkışlardan 6 hafta sonra uçucu yağ ile birlikte, 1×10^6 konidi ml^{-1} yoğunluğunda patojen süspansiyonu 5 mL bitki⁻¹ olacak şekilde topraktan içirme yöntemi ile bitkilere uygulanmıştır. Patojen inokulasyonundan 4 hafta sonra hastalık şiddeti 0 – 5 skalası (0: belirti yok, 1: Kökte hafif renk değişikliği (toplam alanın % 10'undan daha az), 2: Koyu renkli leke ve lezyonlar kökün 1/4'üne yayılmış, 3: Enfeksiyon toplam kök alanının yarısını kaplamış, ana kökte bariz renk değişikliği, 4: Enfeksiyon kökün 3/4'ünü kaplamış, kök boğazında lezyonlar, yapraklarda solgunluk 5: Enfeksiyon kökün tümüne yayılmış, genç yapraklarda sararma ve ölüm) ile değerlendirilmiştir. Elde edilen değerler hastalık şiddeti (DI) formülü (Eşitlik 2) yardımı ile yüzde hastalık şiddetine dönüştürülmüştür.

$$DI (\%) = [\sum(SD \times BS) \div (ESD \times TB)] \times 100 \quad (2),$$

Eşitlikte;

SD; Skala değeri

BS; Aynı skala değerindeki bitki sayısı

ESD; En yüksek skala değeri,

TB; Toplam bitki sayısını ifade etmektedir.

Hastalık şiddeti yüzdeleri baz alınarak uygulama gruplarının hastalığı baskılama oranları (BO) Eşitlik 3'te gösterilen formül ile hesaplanmıştır.

$$BO (\%) = [(Dik - DI) \div Dik] \times 100 \quad (3),$$

Eşitlikte;

Dik; Kontrol grubunun hastalık şiddeti değerini temsil etmektedir.

Daha sonra bitkiler hasat edilerek yukarıda da belirtildiği gibi, bitkinin morfolojik parametrelerine, AMF kök ve rizosfer bölgesinde ki kolonizasyon yoğunlukları ile mikorhizal bağımlılığa bakılmıştır.

İstatistiksel Analizler

Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre dizayn edilmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde SAS paket programı kullanılarak, Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ve T testi (ikili karşılaştırmalarda) uygulanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Uygun AMF ile Uçucu Yağ ve Dozunun Belirlenmesi

En uygun uçucu yağın belirlenmesine yönelik *in-vitro* testinde, uygulamaların patojen üzerindeki etkileri (Çizelge 1) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). Bu çerçevede, kontrole göre nane ve adaçayından elde edilen uçucu yağların herhangi bir dozu, fungusun miseliyal koloni gelişimine etki etmediği belirlenirken, kekikten elde edilen uçucu yağın tüm dozları bu gelişimi azaltmıştır (Çizelge 1). Boyraz ve Koçak (2006) tarafından yapılan bir çalışmada da farklı bitkilerden elde ettiği uçucu yağların patojenlere karşı etkilerinin farklı olduğu belirtilmiştir. Uçucu yağların patojenlere olan etkilerinin farklılık göstermesinin en büyük nedeninin, yapılarında bulunan bileşiklerin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Romagnoli ve ark., 2005). Bu çalışmada kekik uçucu yağın en yüksek dozunun ($150 \mu\text{l L}^{-1}$), %84.8 oranında patojenin koloni gelişimini inhibe ettiği tespit edilmiştir (Çizelge 1). Benzer çalışmalarda da kekikten elde edilen uçucu yağın birçok patojenin gelişimini engellediği bildirilmiştir (Boyraz ve Koçak, 2006; Uçar ve ark., 2015). Bunun nedeni ise, bu uçucu yağda ana bileşen olarak öne çıkan “carvacrol” ün antibakteriyel, antifungal, antihelmintik, insektisidal, analjezik ve antioksidan etkisinin olmasıdır (Baytop, 1999). Nitekim Bozhüyük ve ark. (2015) kekik uçucu yağının *in-vitro* koşullarda bazı fungal patojenlere (*Fusarium equiseti*, *Botrytis* sp., *Phytophthora capsici*, *Nigrospora oryzae*, ve *Rhizoctonia solani*) karşı antifungal etkisinin olduğunu belirtmişlerdir.

In-vitro testi sonucunda, engelleme oranı en yüksek olan kekik uçucu yağı (KUY) ve bunun $150 \mu\text{l L}^{-1}$ dozu sonraki testlerde kullanılmak üzere seçilmiştir. Seçilen KUY ve dozunun AMF türleri (*R. intraradices* ve *F. mosseae*) içinde en iyi uyumu belirlemek üzere *in-vivo* testine geçilmiştir. Bu kapsamda, uygulama gruplarının bitki gelişim parametreleri üzerinde etkileri (Çizelge 2) istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($P < 0.05$). Ancak bu uygulamaların AMF kök kolonizasyon yoğunluğu (%) ve rizosfer bölgesindeki spor yoğunluğu (spor g^{-1} toprak) üzerinde etkileri ise (Çizelge 3) önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). Elde edilen veriler KUY'a göre karşılaştırıldığında bitkinin morfolojik gelişimine, AMF türlerinin (*R. intraradices* ve *F. mosseae*) KUY ile kombinasyonlarının etki etmediği belirlenmiştir. Nitekim bazı uçucu yağların AMF ile uygulandığında, AMF'nin bitkiyle simbiyosis

oluşumunu olumsuz etkilediği ve bu olumsuzluğun bitki gelişimine de yansıdığı düşünülmektedir (Stamou ve ark., 2017). Bu bağlamda Chaudhary ve ark. (2008), uçucu yağ+AMF uygulamalarının AMF kolonizasyon yoğunluğunda artış göstermesine rağmen, bitkinin sürgün biyo-kütlesinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit etmiştir.

Çizelge 1. Kekik, nane ve adaçayı uçucu yağlarının farklı dozlarının *in vitro*'da FORL'nin miseliyal gelişimine etkileri

Uygulamalar	Uygulama Dozları ($\mu\text{l L}^{-1}$)	Koloni Çapı (mm)*	Yüzde Etki (%)**
Kekik	0	1.18 ^{ba***}	
	25	0.58 ^c	50.8
	50	0.58 ^c	50.8
	75	0.51 ^{dc}	56.7
	100	0.41 ^d	65.2
	150	0.18 ^e	84.8
Nane	25	1.22 ^{ba}	-
	50	1.26 ^{ba}	-
	75	1.33 ^a	-
	100	1.24 ^{ba}	-
	150	1.30 ^{ba}	-
	Adaçayı	25	1.18 ^{ba}
50		1.31 ^{ba}	-
75		1.18 ^{ba}	-
100		1.18 ^{ba}	-
150		1.18 ^{ba}	-

*: İnkübasyondan 3., 4., 5. ve 6. günlerinde petrielerde gelişen fungusların miseliyal koloni çapları ölçülüp, ortalamaları alınarak hesaplanmıştır,

** : Kontrolle göre hesaplanmış olup, -; fungusun miseliyal koloni gelişimini etkilemediğini gösterir,

***: Duncan çoklu karşılaştırma testine göre aynı sütundaki aynı harfler arasındaki fark önemsizdir ($p < 0.05$)

Çizelge 2. AMF ve KUY uygulamalarının domateste bitki gelişim parametrelerine etkileri

Uygulamalar	SB* (cm)	KB (cm)	SÇ (mm)	SYA (g)	KYA (g)	SKA (g)	KKA(g)
KUY	48.80 ^{a**}	18.62 ^a	5.58 ^a	28.55 ^a	12.12 ^a	3.20 ^a	0.60 ^a
Ri+KUY	44.26 ^a	19.82 ^a	5.73 ^a	28.70 ^a	12.22 ^a	3.30 ^a	0.63 ^a
Fm +KUY	46.16 ^a	17.40 ^a	5.65 ^a	28.22 ^a	12.06 ^a	3.10 ^a	0.59 ^a

*: SB: Sürgün boyu, KB: Kök boyu, SÇ: Sürgün çapı, SYA: Sürgün yaş ağırlığı, KYA: Kök yaş ağırlığı, SKA: Sürgün kuru ağırlığı, KKA: Kök kuru ağırlığı,

** : Duncan çoklu karşılaştırma testine göre aynı sütundaki aynı harfler arasındaki fark önemsizdir ($p < 0.05$)

Ri+KUY kombinasyonun AMF kök kolonizasyon yoğunluğunda (%42.16) ve rizosfer bölgesindeki spor yoğunluğunda (31 spor g^{-1} toprak) Fm+KUY kombinasyonuna göre daha yüksek olduğu saptanmıştır (Çizelge 3). Kekik türlerinin AMF kolonizasyon yoğunluğunu arttırdığı tespit edilmekle beraber (Karagiannidis ve ark., 2012), kekikten elde edilen uçucu yağın AMF üzerindeki etkisinin tam olarak ortaya koyan bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak naneden elde edilen uçucu yağın *R. intraradices*'in kök kolonizasyon yoğunluğuna önemli bir etkisinin olmadığını rapor edilirken (Stamou ve ark., 2017), *Artemisia annua* bitkisinden elde edilen uçucu yağların ise, *G. macrocarpum* ve *G. fasciculatum*'un kök kolonizasyon yoğunluğunu arttırdığı belirlenmiştir (Chaudhary ve ark., 2008). Mikorizal bağımlılıkta ise, bitkinin biyo-kütlesine göre paralellik gösterdiği bilinmektedir (Declerck ve ark., 1995). Bu nedenle, Ri+KUY kombinasyonunun istatistiksel fark olmamakla beraber bitki biyo-kütlesini arttırdığı ve dolayısıyla düşüğe olsa mikorizal bağımlılık oluşturduğu (+ (%3.3)); Fm+KUY kombinasyonu ise bitki biyo-kütlesine etkisinin olmadığı ve dolayısıyla mikorizal bağımlılık

oluşturmadığı (- (%2.9)) tespit edilmiştir (Çizelge 3). Bu sonuçlar baz alınarak Ri+KUY kombinasyonu en iyi uyumu gösterdiği belirlenmiş olup, sonraki çalışmalarda bu kombinasyon ve bunların tekli uygulamaları kullanılmıştır.

Çizelge 3. AMF ve KUY uygulamalarının domateste AMF kök kolonizasyonu, rizosfer spor yoğunluğu ve mikorhizal bağımlılığa etkileri

Uygulamalar	AKK* (%)	RSY (spor g ⁻¹ toprak)	MB (%)
Ri+KUY	42.16 ^{a**}	31 ^a	+*** (3.3)
Fm +KUY	26.50 ^b	20 ^b	- (2.9)

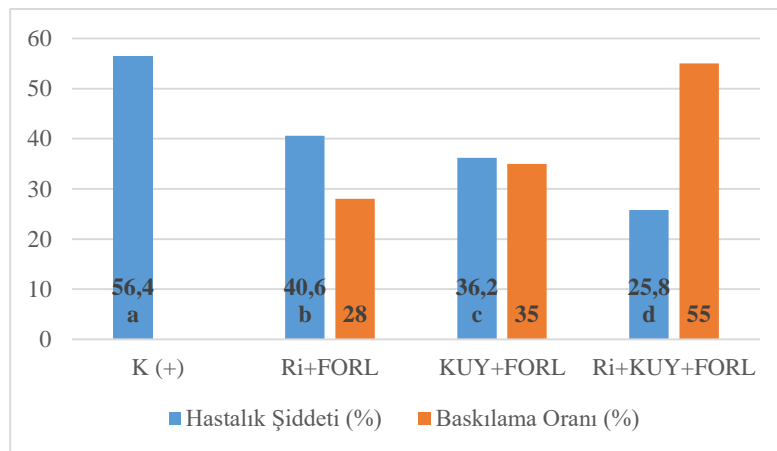
*: AKK: AMF Kök Kolonizasyonu, RSY: Rizosfer Bölgesinde AMF Spor Yoğunluğu, MB: Mikorizal bağımlılık

** : T testine göre aynı sütundaki aynı harfler arasındaki fark P< 0.05'e göre önemsizdir,

***: +; Mikorizal bağımlılık var, -; Mikorizal bağımlılık yok

R. intraradices ve KUY Uygulamalarının FORL'ye Etkisi

In-vitro ve *in-vivo* testler sonucunda belirlenen Ri+KUY kombinasyonu ve bunların tekli uygulamaları hastalık şiddeti üzerinde etkileri (Şekil 1) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P<0.05). Pozitif kontrol (K (+)) uygulamasında hastalık şiddeti %56.40 oranında tespit edilirken, Ri+FORL ve KUY+FORL uygulamalarının ise sırasıyla %40.60 ve %36.18 oranları ile önemli derecede hastalık şiddetini düşürdüğü belirlenmiştir. Özellikle bu uygulamaların bir arada kullanılması ile yapılan kombinasyonun (Ri+KUY+FORL) hastalık şiddetini en aza indirdiği saptanmıştır (%25.84). Baskılama oranlarına bakıldığında ise tüm uygulamaların %28-55 aralığında hastalığı baskıladığı tespit edilmiştir. Patojene karşı bu etkilerin, konukçu bitkinin biyolojik kontrol ve/veya doğal koruyucu ajanlarını tanıma sürecinde bazı savunma mekanizmalarını aktif hale getirip, enzim ve hormon aktivitelerini arttırdığı ve bu süreçte aktivasyonların en yüksek seviyeye ulaştığı bilinmektedir (Morandi, 1996; Azcón-Aguilar ve Barea, 1997). Bu aktivasyonun etkisi ve mekanizmaları tam olarak ortaya konulmamakla birlikte; hızlı ve lokalize olmuş bir şekilde biyokimyasal savunma mekanizmaları neticesinde ortaya çıkan lignifikasyon, hidroksiprolin ve hipersensitif reaksiyonlarla zenginleştirilmiş hücre duvarının oluşması ile aktive edilmiş fiziksel bariyerler ve antifungal enzimlerin üretilmesi gibi, mekanizmaların etkili olduğu belirtilmektedir (Demir, 2005). Bu kapsamda Wang ve ark. (2020) AMF uygulamasının, Nguéfac ve ark. (2009) ise bahçe kekiğinden elde edilen uçucu yağ uygulamasının bu mekanizmaları kullanarak bazı fungal patojenlere karşı etkili olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 1. R. intraradices ve KUY uygulamalarının domateste FORL'nin hastalık şiddetine etkileri ve hastalığa karşı baskılama oranları.

Ri+KUY kombinasyonu ve bunların tekli uygulamaları patojeni baskıladığı görülürken (Şekil 1), bitki gelişimine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir ($P<0.05$) (Çizelge 4). Nitekim aynı bitki türünün farklı çeşitlerinin mikorhizal yaşama tepkileri birbirinden farklı olabilmektedir (Linderman ve Davis, 2004; Şensoy ve ark., 2007). Ayrıca uçucu yağların antifungal etkilerinden dolayı, AMF'nin bitkiyle tam simbiyosis oluşturamaması ve bitki gelişimini teşvik etmesi noktasında olumsuz etkilerinin olması muhtemeldir (Stamou ve ark., 2017). Bunun dışında bazı uçucu yağlarda bulunan kimyasal bileşikler bitkilerde; hücre yıkımına, fotosentez için gerekli pigmentlerin oluşumuna ve amino asit sentezine engel olabilmektedir (Arminante ve ark., 2006; Yazlık, 2014). Uçucu yağların bu özellikleri dikkate alındığında birçok kültür bitkisinin morfolojik gelişimini etkilemediği ya da olumsuz etkisinin olduğu söylenebilir (Yazlık ve Üremiş, 2017).

Çizelge 4. *R. intraradices* ve KUY uygulamalarının FORL ile inokule edilmiş domates bitkilerinin morfolojik gelişim parametrelerine etkisi

Uygulamalar	SB* (cm)	KB (cm)	SÇ (mm)	SYA (g)	KYA (g)	SKA (g)	KKA (g)
K (-)	46.50 ^{a**}	13.76 ^a	5.55 ^a	28.10 ^a	11.40 ^a	3.56 ^a	0.46 ^a
K (+)	44.56 ^a	13.53 ^a	4.50 ^a	27.30 ^a	12.66 ^a	3.53 ^a	0.65 ^a
Ri	45.33 ^a	13.33 ^a	4.80 ^a	30.20 ^a	13.50 ^a	3.03 ^a	0.64 ^a
KUY	46.43 ^a	12.40 ^a	4.06 ^a	27.10 ^a	10.80 ^a	3.53 ^a	0.50 ^a
Ri+KUY	48.06 ^a	12.50 ^a	3.93 ^a	26.60 ^a	13.20 ^a	3.60 ^a	0.62 ^a
Ri+FORL	45.80 ^a	13.60 ^a	4.76 ^a	27.20 ^a	14.20 ^a	2.96 ^a	0.66 ^a
KUY+FORL	47.10 ^a	13.70 ^a	4.46 ^a	27.30 ^a	13.26 ^a	3.30 ^a	0.55 ^a
Ri+KUY+FORL	50.80 ^a	13.43 ^a	4.83 ^a	27.60 ^a	11.56 ^a	3.20 ^a	0.63 ^a

*: SB: Sürgün boyu, KB: Kök boyu, SÇ: Sürgün çapı, SYA: Sürgün yaş ağırlığı, KYA: Kök yaş ağırlığı, SKA: Sürgün kuru ağırlığı, KKA: Kök kuru ağırlığı, **: Duncan çoklu karşılaştırma testine göre aynı sütundaki aynı harfler arasındaki fark önemsizdir ($P<0.05$)

Çizelge 5. *R. intraradices* ve KUY uygulamalarının domatiste AMF kök kolonizasyonu, rizosfer spor yoğunluğu ve mikorhizal bağımlılığa etkileri

Uygulamalar	AKK* (%)	RSY (spor g ⁻¹ toprak)	MB (%)
Ri	43.89 ^{a**}	22 ^a	-*** (9.5)
Ri+KUY	32.65 ^b	25 ^a	+ (4.7)
Ri+FORL	11.56 ^c	23 ^a	- (15.5)
Ri+KUY+FORL	37.77 ^{ab}	21 ^a	- (9.13)

*: AKK: AMF kök kolonizasyonu, RSY: Rizosfer bölgesinde AMF spor yoğunluğu, MB: Mikorizal bağımlılık

** : Duncan çoklu karşılaştırma testine göre aynı sütundaki aynı harfler arasındaki fark önemsizdir ($P<0.05$),

***: +; Mikorizal bağımlılık var, -; Mikorizal bağımlılık

AMF kök kolonizasyonu yoğunluğu açısından uygulama grupları arasında istatistiki olarak fark bulunurken, rizosfer bölgesindeki AMF spor yoğunluğunda bu farkın olmadığı tespit edilmiştir ($P<0.05$) (Çizelge 5). AMF kök kolonizasyon yoğunluğunda Ri uygulaması %43.89 ile en yüksek orana sahip olurken, Ri+FORL uygulamasının ise %11.56 ile en az AMF kök kolonizasyon oranına sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5). Ri+KUY uygulamasında rizosfer bölgesindeki AMF spor yoğunluğunda istatistiksel fark olmamakla beraber en yüksek değere sahip olduğu ve sadece bu grupta mikorizal bağımlılığın olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5). Diğer uygulama grupları ise mikorizal bağımlılık oluşturamamıştır. AMF'ler rizosferde oldukça önemli simbiyont mikroorganizmalardan biri olup, lokalize oldukları bölgedeki abiyotik ve biyotik stres koşullarından etkilenmekte, söz konusu faktörler de fungusun kolonizasyonunu, spor yoğunluğunu ve bağımlılık gibi gelişim kriterlerini de olumlu veya olumsuz etkileyebilmektedir (Akköprü ve Demir, 2005). Bu nedenle KUY ve FORL'nin AMF'yi olumsuz etkileyerek kök kolonizasyonunu düşürdüğü; rizosfer bölgesinde AMF spor yoğunluğuna etki

etmediği ve bitki ile tam simbiyosis oluşturamadığı için de mikorizal bağımlık genel olarak oluşmadığı ya da düşük mikorhizal bağımlılık oluştuğu söylenebilir. Bu çerçevede yapılan araştırmalarda da, AMF kolonizasyon yoğunluğu bazı uçucu yağlar (Burni ve ark., 2013; Stamou ve ark., 2017) ve patojenler (Aslanpay ve Demir, 2015, Demir ve ark., 2015) tarafından olumsuz etkilendiği ifade edilmiştir.

SONUÇ

Mevcut çalışmada ortaya konduğu üzere uçucu yağların çeşitli fitopatojen funguslara karşı oldukça güçlü antifungal etkileri vardır. Bununla beraber uçucu yağların stabilitelelerinin kısıtlı olması ve yüksek uçuculuk özelliği göstermesi gibi dezavantajları da mevcuttur. Ayrıca uçucu yağların çok yüksek buharlaşma özelliğinden dolayı arazi şartlarında pratikte uygulanması mümkün olmamaktadır. Ancak son zamanlarda özellikle depo ve seralarda uygulamaya yönelik çalışmaların arttığı görülmektedir. Mevcut çalışmamızda da hem *in vitro* hem *in vivo* koşullar altında en yüksek antifungal etkiyi gösteren kekik uçucu yağının, FORL'ye karşı AMF ile birlikte kullanıldığında etkin bir mücadele aracı olabileceği görülmüştür. Söz konusu bu sonuç fungusitlerin azaltılması yönünde ümit vericidir. Çalışma kapsamında yer alan FORL gibi mücadelesi oldukça güç bir toprak patojenine karşı AMF ve UY gibi farklı alternatif uygulamalar denenerek hastalığa ilgili mücadele çalışmalarına yeni bir ivmenin kazandırılabilmesi düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından "FLY-2017-5881" proje ile desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

- Akköprü A, Demir S, 2005. Biological Control of Fusarium Wilt in Tomato Caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* by AMF *Glomus intraradices* and Some Rhizobacteria. *Journal of Phytopathology* 153 (9): 544-550.
- Arminante F, De Falco E, De Feo V, De Martino L, Mancini E, Quaranta E, 2006. Allelopathic activity of essential oils from Mediterranean Labiatae. *Proceedings of the I International Symposium on the Labiatae: Advances in Production, Biotechnology and Utilisation* 723, February, pp. 347-356.
- Aslanpay B, Demir S, 2015. Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF) ve Hüyük Asitin Biber (*Capsicum annuum* L.) Bitkisinin Gelişimi ve *Phytophthora capsici* Leonian'ın Neden Olduğu Kök Boğazı Çürüklüğü Hastalığına Etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi* 25 (1): 48-57.
- Attitalla IH, Fatehi J, Levenfors J, Brishammar S, 2004. A Rapid Molecular Method for Differentiating Two Special Forms (*lycopersici* and *radicis-lycopersici*) of *Fusarium oxysporum*. *Mycological research* 108 (7): 787-94.
- Aydın MH, 2015. Bitki Fungal Hastalıklarıyla Biyolojik Savaşta Trichoderma'lar. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi* 2 (2): 135-148.
- Aydın MH. 2019. Nohut (*Cicer arietinum* L.)'ta Solgunluğa Neden Olan *Fusarium oxysporum*'un Biyolojik Mücadelesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi* 6 (1): 65-72.
- Azcón-Aguilar C, Barea J, 1997. Arbuscular Mycorrhizas and Biological Control of Soil-Borne Plant Pathogens—An Overview of The Mechanisms Involved. *Mycorrhiza* 6 (6): 457-64.
- Baytop T, 1999. Türkiye'de Bitkilerle Tedavi. Nobel Tıp Kitapevleri Yayını, 2. Baskı, 480s, İstanbul-Türkiye.

- Benítez T, Rincón AM, Limón MC, Codon AC, 2004. Biocontrol Mechanisms of *Trichoderma* Strains. *International Microbiology* 7 (4): 249-60.
- Bogale M, Wingfield BD, Wingfield MJ, Steenkamp ET, 2007. Species-Specific Primers for *Fusarium redolens* And A PCR-RFLP Technique To Distinguish Among Three Clades of *Fusarium oxysporum*. *FEMS Microbiology Letters* 271 (1): 27-32.
- Boyras N, Koçak R, 2006. Bazı Bitki Ekstraktlarının *In Vitro* Antifungal Etkileri. *Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences* 20 (38): 82-87.
- Bozhüyük AU, Kordali Ş, Bölük G, 2015. *Satureja hortensis* L. Uçucu Yağının Antifungal Etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 46 (2): 107-112.
- Burni T, Hussain F, Sharif M, 2013. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Essential Oils of Two Pharmaceutically Important *Mentha* Species in Marginal Soils. *Pakistan J Bot* 45: 293-6.
- Can C, Elekcioglu H, Yücel S, Özasan M, 2003. Seralarda Domates *Fusarium* Solgunluğuna Neden Olan Türlerin Tanısı, Hastalık Oluşumunda Nematodlar ile İlişkileri ve Mücadele Olanaklarının Belirlenmesi. *Tubitak Sonuç Raporu*, Proje No: TARP-2371.
- Can C, Yucel S, Korolev N, Katan T, 2004. First Report of *Fusarium* Crown and Root Rot of Tomato Caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* In Turkey. *Plant Pathology* 53 (6).
- Castano R, Borrero C, Trillas M, Avilés M, 2013. Selection of Biological Control Agents Against Tomato *Fusarium* Wilt and Evaluation in Greenhouse Conditions of Two Selected Agents in Three Growing Media. *Biocontrol* 58 (1): 105-116.
- Chaudhary V, Kapoor R, Bhatnagar A, 2008. Effectiveness of Two Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Concentrations of Essential Oil and Artemisinin in Three Accessions of *Artemisia annua* L. *Applied Soil Ecology* 40 (1): 174-181.
- Çolak A, Biçici M, 2011. Doğu Akdeniz Bölgesi Örtü Altı Domates Yetiştiriciliğinde *Fusarium oxysporum* Spesiyal Formlarının Simptomatolojik Ayrımı İle Solgunluk ve Kök-Kök Boğazı Çürüklüğü Hastalıklarının Çıkış, Şiddet ve Yaygınlıklarının Belirlenmesi. *Bitki Koruma Bülteni* 51 (4): 331-45.
- Declerck S, Planchette C, Strullu D, 1995. Mycorrhizal Dependency of Banana (*Musa acuminata*, AAA group) Cultivar. *Plant and Soil* 176 (1): 183-187.
- Demir S, 2005. Using of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for biocontrol of soil-borne fungal pathogens. *Biological control of plant diseases: current concepts*, 124-38.
- Demir S, Şensoy S, Ocak E, et al., 2015. Effects Of Arbuscular Mycorrhizal Fungus, Humic Acid, and Whey on Wilt Diseasecaused by *Verticillium dahliae* Kleb. in Three Solanaceous Crops. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 39 (2): 300-309.
- Erdoğan O, Çelik A, Yıldız Ş, Kökten K, 2014. Pamukta fide kök çürüklüğü etmenlerine karşı bazı bitki ekstrakt ve uçucu yağlarının antifungal etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(3): 390-397.
- Erdoğan O, Çelik A, Zeybek A, 2016. *In Vitro* Antifungal Activity of Mint Thyme Lavender Extracts and Essential Oils on *Verticillium dahliae* Kleb. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25 (11): 4856-4862.
- FAO, 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Faostat, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. (Erişim Tarihi: 06.07.2020).
- Gerdemann L.W., Nicholson T.H., 1963. Spores of Mycorrhizal Endogene Extracted from Soil by Wet Sieving and Decanting, *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235-244.
- Giovannetti M, Mosse B, 1980. An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Infection in Roots. *New phytologist*, 489-500.
- Hajlaoui M, Hamza N, Gargouri S, Guermech A, 2001. Apparition En Tunisie De *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*, Agent De La Pourriture Des Racines Et Du Collet De La Tomate. *EPPO Bulletin* 31 (4): 505-507.
- Hibar K, 2002. La fusariose du collet et des racines de la tomate: Pathogénicité et moyens de lutte. *Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies en Protection des Plantes et Environnement. Ecole Supérieure d'Horticulture et d'Elevage de Chott Mariam*, pp. 54, Mariem-Tunisia.

- Jiménez-Díaz RM, Castillo P, Del Mar Jiménez-Gasco M, Landa BB, Navas-Cortés JA, 2015. Fusarium Wilt of Chickpeas: Biology, Ecology and Management. *Crop Protection* 73: 16-27.
- Karagiannidis N, Thomidis T, Panou-Filotheou E, Karagiannidou C, 2012. Response of Three Mint and Two Oregano Species to '*Glomus etunicatum*' Inoculation. *Australian Journal of Crop Science* 6 (1): 164.
- Kırbağ S, Turan N, 2006. Malatya'da Yetiştirilen Bazı Sebzelerde Kök ve Kökboğazı Çürüklüğüne Neden Olan Fungal Etmenler. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 8 (2): 159-64.
- Kordali Ş, Çakır A, Akcin TA, Mete E, Akcin A, Aydın T, Kılıç H, 2009. Antifungal and Herbicidal Properties of Essential Oils and n-hexane Extracts of *Achillea gypsicola* Hub-Mor. and *Achillea biebersteinii* Afan (Asteraceae). *Industrial Crops and Products*, 29 (2-3): 562-570.
- Landa BB, Navas-Cortés JA, Jiménez-Díaz RM, 2004. Integrated management of Fusarium wilt of Chickpea with Sowing Date, Host Resistance, and Biological Control. *Phytopathology* 94 (9): 946-960.
- Linderman RG, Davis EA, 2004. Varied Response of Marigold (*Tagetes* spp.) Genotypes to Inoculation with Different Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Scientia Horticulturae* 99 (1): 67-78.
- McGovern R, 2015. Management of Tomato Diseases Caused by *Fusarium oxysporum*. *Crop Protection* 73: 78-92.
- Morandi D, 1996. Occurrence of Phytoalexins and Phenolic Compounds in Endomycorrhizal Interactions, and Their Potential Role In Biological Control. *Plant and Soil* 185 (2): 241-251.
- Nguefack J, Dongmo JL, Dakole C, *et al.*, 2009. Food Preservative Potential of Essential Oils and Fractions from *Cymbopogon citratus*, *Ocimum gratissimum* and *Thymus vulgaris* Against Mycotoxigenic Fungi. *International journal of food microbiology* 131 (2-3), 151-156.
- Ozbay N, Newman S, Brown W, 2002. Evaluation of *Trichoderma harzianum* Strains to Control Crown and Root Rot of Greenhouse Fresh Market Tomatoes. *Proceedings of the XXVI International Horticultural Congress: Managing Soil-Borne Pathogens: A Sound Rhizosphere to Improve Productivity in 635*, August, pp. 79-85.
- Phillips JM, Hayman D, 1970. Improved Procedures for Clearing Roots and Staining Parasitic and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi For Rapid Assessment of Infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55: 158-161.
- Romagnoli C, Bruni R, Andreotti E, Rai M, Vicentini CB, Mares D, 2005. Chemical Characterization and Antifungal Activity of Essential Oil of Capitula from Wild Indian *Tagetes patula* L. *Protoplasma* 225 (1-2): 57-65.
- Saito S, Michailides T, Xiao C, 2016. Fungicide Resistance Profiling in *Botrytis cinerea* Populations from Blueberry in California and Washington and Their Impact on Control of Gray Mold. *Plant Disease* 100 (10): 2087-2093.
- Salamci E., Kordali S., Kotan R., Cakir A and Kaya Y., 2007. Chemical Composition, Antimicrobial and Herbicidal Effects of Essential Oils Isolated from Turkish *Tanacetum aucheranum* and *Tanacetum chiliophyllum* var. *chiliophyllum*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 35 (9): 569-581.
- Scheffknecht S, St-Arnaud M, Khaosaad T, Steinkellner S, Vierheilig H, 2007. An Altered Root Exudation Pattern Through Mycorrhization Affecting Microconidia Germination of the Highly Specialized Tomato Pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol) Is Not Tomato Specific But Also Occurs in Fol Nonhost Plants. *Botany* 85 (3): 347-52.
- Şensoy S, Demir S, Turkmen O, Erdinc C, Savur OB, 2007. Responses of Some Different Pepper (*Capsicum annuum* L.) Genotypes to Inoculation With Two Different Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Scientia Horticulturae* 113 (1): 92-95.
- Smith SE, Smith FA, 2012. Fresh Perspectives on The Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Nutrition and Growth. *Mycologia* 104 (1): 1-13.
- Song W, Ma X, Tan H, Zhou J, 2011. Abscisic Acid Enhances Resistance to *Alternaria solani* in Tomato Seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry* 49 (7): 693-700.

- Stamou GP, Konstadinou S, Monokrousos N, Mastrogianni A, Orfanoudakis, M, Hassiotis C, ... Papatheodorou EM, 2017. The Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Essential Oil on Soil Microbial Community and N-related Enzymes During the Fungal Early Colonization Phase. *AIMS Microbiology*, 3(4): 938-959.
- Szczerbanik M, Jobling J, Morris S, Holford P, 2007. Essential Oil Vapours Control Some Common Postharvest Fungal Pathogens. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47 (1): 103-109.
- Tripathi A, Sharma N, Sharma V, 2008. *In vitro* Efficacy of *Hyptis suaveolens* L. (Poit.) Essential Oil on Growth and Morphogenesis of *Fusarium oxysporum* f.sp. *gladioli* (Massey) Snyder & Hansen. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(3), 503- 512.
- Uçar E, Odabaş Köse E, Özyiğit Y, Turgut K, 2015. Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitkilerde Esansiyel Yağların Antimikrobiyal Aktivitelerinin Belirlenmesi. *SDU Journal of the Faculty of Agriculture/SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 10 (2).
- Vural H, Eşiyok D, Duman I, 2000. Kültür Sebzeleri, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 139-144.
- Wang M, Cao J, Lin L, Sun J, Jiang W, 2010. Effect of 1-methylcyclopropene on Nutritional Quality and Antioxidant Activity of Tomato Fruit (*Solanum lycopersicon* L.) During Storage. *Journal of Food Quality* 33 (2): 150-164.
- Wang X, Ding T, Li Y, Guo Y, Li Y, Duan T, 2020. Dual Inoculation of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) with *Funnelliformis mosseae* and *Sinorhizobium medicae* Can Reduce Fusarium Wilt. *Journal of Applied Microbiology* 129 (3): 665-679.
- Yazlık A, 2014. Kanyaş (*Sorghum halepense* (L.) Pers.)'ın Marmara Bölgesindeki Yaygınlığı, Yoğunluğu, Biyolojisi ve Alternatif Mücadele Olanaklarının Belirlenmesi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmamış).
- Yazlık A, Üremiş İ, 2017. İstanbul Kekliği (*Origanum vulgare* L.), İngiliz Lavantası (*Lavandula angustifolia* L.) ve Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) Uçucu Yağ Bileşiklerinin Bazı Kültür Bitkilerinin Gelişimine Etkinliği. *Alatarım* 16 (1): 67-76.
- Yıldız M, Gürkan O, Turgut C, Kaya Ü, Ünal G, 2005. Tarımsal Savaşmada Kullanılan Pestisitlerin Yol Açtığı Çevre Sorunları, http://www.zmo.org.tr/resimler/ekler/dd7a04804967197_ek.pdf. (Erişim Tarihi: 02.08.2020).