

ID: 208

Antimicrobial Activity of Some Essential Oils Against Agricultural Phytopathogenic Fungi and Bacteria

Fatma Zehra Ok*, Arif Şanlı

Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Isparta University of Applied Science Isparta, Türkiye

Abstract

Essential oils (EOs) are gaining attention as eco-friendly alternatives to synthetic pesticides for the management of phytopathogenic fungi and bacteria. In this study the in vivo antimicrobial activities of juniper (*Juniperus communis*), rosemary (*Rosmarinus officinalis*), cumin (*Cuminum cyminum*), sage (*Salvia officinalis*), dill (*Anethum graveolens*) and oregano (*Origanum onites*) essential oils were investigated against 2 phytopathogenic fungi (*Fusarium solani* and *Rhizoctonia solani*) and 2 bacteria species (*Erwinia caratovora* and *Streptomyces scabies*) causing high economic losses in potato. Experiment was conducted in a completely randomized factorial design with three replicates at greenhouse conditions. EOs were sprayed at 0, 100, 250, 500 and 1000 µl/l concentrations to aerial parts of potato plants with a manually operated sprayer for 3 times at 15 days intervals starting from the 4-5 true leaf. The application of EOs showed low to high efficiency in suppressing fungal and bacterial diseases of potato tubers and the effectiveness of EOs applications varied depending on the application dose. *R. solani* infection severity, which was over 17% in the control, decreased to 4.5% with the application of 500 ppm and above sage essential oil, and *F. solani* infection severity, which was over 19% in the control, decreased to 8.4% and 3.6% at 1000 ppm juniper and oregano essential oil applications, respectively. Oregano, dill and cumin essential oils showed higher antibacterial activity than other essential oils. *E. caratovora* infection severity, which was above 16% in the control, decreased to 3.3%, 5.0% and 5.0% with the applications of oregano, dill and cumin essential oil at a dose of 1000 ppm, respectively. The highest antibacterial activity on *S. scabies* infection severity was again observed at 1000 ppm oregano essential oil. It has been concluded that the phytopathogens discussed in the research can be suppressed by leaf application of essential oils on the potato plant and that these applications can make a significant contribution to the sustainability of agricultural production.

Key Words: Potato, essential oil, antimicrobial activity, diseases severity

Bazı Uçucu Yağların Tarımsal Üretimde Sorun Olan Fitopatojenik Fungus ve Bakterilere Karşı Antimikrobiyal Etkileri

Özet

Uçucu yağlar, fitopatojenik fungus ve bakterilerin mücadelesinde sentetik pestisitlere çevre dostu alternatif aktif maddeler olarak dikkat çekmektedir. Bu çalışmada ardıç (*Juniperus communis*), biberiye (*Rosmarinus officinalis*), kimyon (*Cuminum cyminum*), adaçayı (*Salvia officinalis*), dereotu (*Anethum graveolens*) ve kekik (*Origanum onites*) uçucu yağlarının patatesteki yüksek ekonomik kayıplara neden olan 2 fitopatojenik fungus (*Fusarium solani* ve *Rhizoctonia solani*) ve 2 bakteri (*Erwinia caratovora* ve *Streptomyces scabies*) türüne karşı in vivo antimikrobiyal aktiviteleri araştırılmıştır. Çalışma sera koşullarında tesadüf parselleri deneme deseninde faktöriyel düzenlemeye göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Uçucu yağlar 0, 100, 250, 500 ve 1000 µl/l konsantrasyonlarda patates bitkilerinin toprak üstü kısımlarına 4-5 yapraklı dönemden başlanarak 15 gün aralıklarla 3 kez sprey şeklinde uygulanmıştır. Uçucu yağ uygulamaları fungal ve bakteriyel hastalıkların baskılanmasında düşük ile yüksek derecede etkinlik göstermiş ve uygulamaların etkinliği uçucu yağ dozlarına bağlı olarak değişmiştir. Ardıç ve kekik uçucu yağları *F. solani*, adaçayı uçucu yağı ise *R. solani* üzerine en yüksek antifungal aktiviteye sahip uygulamalar olmuştur. Kontrolde % 17'nin üzerinde olan *R. solani* enfeksiyon şiddeti, 500 ppm ve üzeri adaçayı uçucu yağı uygulamasıyla % 4.5'e, kontrolde %19'un üzerinde olan *F. solani* enfeksiyon şiddeti ise 1000 ppm ardıç ve kekik uçucu yağı uygulamaları ile sırası ile % 8.4 ve % 3.6'ya düşmüştür. Kekik, dereotu ve kimyon uçucu yağları diğer uçucu yağlardan daha yüksek antibakteriyel aktivite göstermiştir. Kontrolde ortalama %16'nın üzerinde olan *E. caratovora* enfeksiyon şiddeti 1000 ppm dozunda yapılan kekik, dereotu ve kimyon uçucu yağı uygulamaları ile sırasıyla % 3.3, % 5.0 ve % 5.0'e düşmüştür. *S. scabies* enfeksiyon şiddeti üzerine en yüksek etki yine 1000 ppm kekik uçucu yağında gözlenmiştir. Patates bitkisinde yapraktan yapılan uçucu yağ uygulamaları ile araştırmada ele alınan fitopatojenlerin baskı altına alınabileceği ve bu uygulamaların tarımsal üretimin sürdürülebilirliğine önemli katkı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Patates, uçucu yağ, antimikrobiyal aktivite, hastalık şiddeti



Giriş

Patates (*Solanum tuberosum* L.) zengin besin kompozisyonu ile dünyada giderek büyüyen açlık sorunu ve dengeli beslenme ihtiyacına cevap verebilecek en önemli bitkilerin başında gelmektedir. Ülkemizde 2022 yılı verilerine göre 138 bin ha alanda yaklaşık 5.1 milyon ton patates üretimi yapılmış, birim alan verimi ise 3.671 kg/da olarak gerçekleşmiştir (Anonim, 2022). Tarlada üretim ve sonrasında depolama sırasında patatesler mantar ve bakteri gibi çok sayıda toprak mikroorganizmasına maruz kalabilmekte ve bu da önemli derecede ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde böcek, yabancı ot ve hastalıklar nedeniyle patatesten yıllık % 32.4 oranında verim kaybı söz konusu olduğu, bu kaybın % 21.8'inin ise sadece hastalıklardan kaynaklandığı bildirilmiştir (Eken ve ark., 2000).

Dünyanın en önemli 10 bitki bakteriyel hastalık etmenleri arasında bildirilen *Pectobacterium* (*Erwinia carotovora*) ve *Dickeya* spp. (*Erwinia chrysanthemi*) türleri patates üretiminde Bakteriyel Yumuşak Çürüklük ve Karabacak Hastalığına neden olmaktadır (Czajkowski ve ark., 2011; Mansfield ve ark. 2012; Nabhan ve ark., 2012). Söz konusu patojen fide döneminde olduğu kadar bitkinin ilerleyen dönemlerinde de ortaya çıkarak yumrularda çürümelere ve önemli derecede verim kayıplarına neden olabilmektedir (Öztürk ve ark., 2018). Patatesten yaygın görülen diğer bir bakteriyel hastalık patates uyuzu (*Streptomyces scabies*) olup, yaygın olarak patates yumrusunun kabuğu yüzeyinde ten rengi ile kahverengi mantarimsı lezyonlar şeklinde ortaya çıkmakta ve yumru kalitesini düşürmektedir (Powelson ve ark., 1993). Siyah siğil (*Rhizoctonia solani*) ve kuru çürüklük (*Fusarium solani*) hastalıkları patates üretiminde ekonomik kayıplara neden olan en önemli fungal fitopatojenler arasında yer almaktadır. *R. Solani*, yumru üzerinde siyah siğiller, çatlama ve şekil bozukluklarına neden olarak pazar değerinin azalmasına, bitkinin stolon ve gövdesinde çürüklüklere yol açarak da bitkide besin maddelerinin organlara taşınmasının engellenmesine neden olmaktadır (Arora, 2008; Kulkarni ve Chavhan, 2017). *Fusarium* türleri patates yumrusunda kuru çürüklük (Bayona ve ark., 2011) ve bitkide solgunluk hastalığı oluşturmaktadır (Mahdavi-Amiri ve ark., 2009). Her iki fungal hastalık da yumru verimi ve kalitesini önemli ölçüde azaltmakta ve yumruların pazar değerini düşürmektedir. Toprakta sklerotia veya organik maddede miselyum olarak uzun yıllar hayatta kalabilen her iki patojenin kontrolü kültürel uygulamalar ve fungusit kullanımı ile sağlanabilmektedir (Cooper ve Williams, 2004). Bakteriyel hastalıklar ile en etkili mücadele yöntemleri ise yumru sterilizasyonu, sertifikalı tohumluk kullanımı ve hastalığa dayanıklı çeşit seçimi olup, günümüzde etkili bir kimyasal mücadele yöntemi bulunmamaktadır. Bakırlı prepertaların bakteriyel patojenlere karşı kısmen etkili olduğu bilinmekle birlikte bu uygulamalar bitki gelişimini de olumsuz yönde etkilemektedir.

Sentetik pestisitler tarım ürünlerindeki hastalık ve zararlıların savaşımında etkinlikleri yüksek kimyasal maddelerdir. Bununla birlikte, uzun süreli ve bilinçsiz pestisit kullanımı biyolojik olarak yavaş parçalanmaları nedeniyle çevre kirliliği başta olmak üzere hedef dışı organizmalar için toksisite, çeşitli fungusit türlerine karşı yaygın direnç gelişimi ve üründe kalıntı bırakması gibi birçok soruna neden olmaktadır. Pestisitlerin bu olumsuz etkileri ve daha güvenli maddelerden üretilen ürünlere olan talebin artması, yeni tip doğal alternatif mücadele yöntemlerinin geliştirilmesine olan ilgiyi artırmıştır. Bazı bitkilerin uçucu yağlarının in vitro ve in vivo biyolojik aktivite gösterdiği ve biyo-pestisit bileşikler olarak kullanıldığı birçok çalışma ile ortaya konmuştur (El-Mougy ve Alhabebe 2009; Mfarrej ve Rara, 2019). Uçucu yağların hastalık kontrol mekanizmaları üzerine yapılan çalışmalar, biyolojik olarak aktif bileşenlerinin ya doğrudan antimikrobiyal aktiviteye sahip olabileceğini ya da konukçu bitki savunma tepkisini tetikleyerek hastalık gelişiminin azalmasına neden olabileceğini ortaya çıkarmıştır (Schneider ve Ullrich, 1994).

Uçucu yağlarda bulunan L-carvone, citronellol, p-mentha-3,8-diol, minenon (terpenoid sınıfı) ve metil eugenol (fenilpropanoid sınıfı) biyopestisit olarak tescil edilmiş aktif maddelerden bazılarıdır. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'nda 299 kayıtlı biyopestisit aktif maddesi bulunmakta olup, toplam 1401 aktif biyopestisit ürün kayıtlıdır. Farklı uçucu yağların bazı patates patojenlerini in vitro koşullarda inhibe ettiği rapor edilmiştir (Prabuseenivasan ve ark., 2006; Seema ve Devaki, 2010; Galvão ve ark., 2012; Badar ve ark., 2012). Bununla birlikte, uçucu yağların in vivo etkinliği ve pratik kullanımları üzerine yapılan çalışma sayısı oldukça sınırlı kalmıştır (Quintaniella ve ark., 2002; El-Kot, 2008; El-Moughy, 2009). Tarımda kullanılan pestisitlere alternatif olabilecek veya yeni bileşiklerin geliştirilmesine katkıda bulunabilecek uçucu yağlar üzerine yapılan araştırmalar son derece önemli görülmektedir. Bu çalışmada, bazı uçucu yağların patatesten sorun olan fungal (*R. solani* ve *F. solani*) ve bakteriyel (*Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* ve *Streptomyces scabies*) fitopatojenlere karşı etkinliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışmada, ülkemizde yoğun olarak tarımı yapılan, orta geçici özellikteki *Agria* çeşidine ait yumrular ile kekik (*Origanum onites* L.), biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.), dereotu (*Anethum graveolens* L.), kimyon (*Cuminum cyminum* L.), adaçayı (*Salvia officinalis* L.) ve ardıç (*Juniperus communis*) bitkilerinin etken madde taşıyan kısımlarından elde edilen uçucu yağlar materyal olarak kullanılmıştır. Patates yumruları, Afyon ili Sandıklı ilçesinde fungal ve bakteriyel hastalıkların yoğun olarak görüldüğü tarlalarda üretilerek kontrolsüz koşullarda



saklanan yerel üretici depolarından temin edilmiştir. Depolanan patateslerden yumru üzerinde kuru çürüklük, siyah siğil, yaş çürüklük ve patates uyuzu belirtisi olan yumrular seçilmiştir.

Adaçayı ve biberiye bitkilerinin yaprakları, kekik bitkisinin yaprak ve çiçekleri, kimyon, dereotu ve ardiç bitkilerinin ise meyve uçucu yağları Clevenger tipi hidro-distilasyon cihazında 3 saat süre ile damıtılarak elde edilmiş ve koyu renkli cam saklama şişelerine konularak +4°C sıcaklıkta karanlık şartlarda saklanmıştır (Council of Europe, 1980). Türlerine ait uçucu yağların bileşenleri Süleyman Demirel Üniversitesi Deneysel ve Gözlemsel Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde bulunan GC/MS (Gas chromatography/Mass spectrometry) cihazında (QP-5050 GC/MS, Quadrapole detektörlü) belirlenmiştir (Stein, 1990). Cihazın çalışma koşulları: Kapiler kolon: CP-Wax 52 CB (50 m × 0,32 mm, 0,25 µm), Fırın sıcaklık programı: Dakikada 10°C artarak 60°C'den 220°C'ye ulaşmış ve 220°C'de 10 dakika kadar bekletilmiştir, Toplam koşuturma süresi: 60 dakika, Enjektör sıcaklığı: 240°C, Detektör sıcaklığı: 250°C, Taşıyıcı gaz: Helyum (20 ml/dak.).

Çalışma, 2023 yılında sera koşullarında (16-30 °C gece ve gündüz sıcaklığı) Tesadüf Parselleri Deneme Planında Faktöriyel Düzenlemeye göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Farklı enfeksiyon belirtilerini taşıyan ortalama ağırlıkları 80-90 g patates yumruları 3m uzunluğunda 4 sıradan oluşan parsellere 15 cm derinlikte 70 x 30 cm mesafe ile Mart ayının ilk haftasında dikilmiştir. Yumrulara dikimden önce herhangi bir tohum ilaçlaması yapılmamıştır. Dikim öncesinde dekara saf 10 kg azot, fosfor ve potasyum gelecek şekilde 15-15-15 kompozit gübresi, boğaz doldurma ile birlikte de 10 kg/da saf azot hesabı ile Nitro Power (%33 azot) gübresi uygulanmıştır. Bitkilerin ihtiyaç duyduğu su damla sulama sistemi ile karşılanmıştır. Her bir uçucu yağın farklı konsantrasyonları (0, 100, 250, 500 and 1000 µl/l) su kullanılarak hazırlanmış, uçucu yağların su içerisinde homojen karışımın sağlanması amacıyla emilgator olarak Tween-80 (su hacminin %0,1'i kadar) kullanılmıştır. Çalışmada hiçbir uygulama yapılmayan bitkiler kontrol olarak değerlendirilmiştir. Her bir türe ait uçucu yağlar belirtilen konsantrasyonlarda 3-4 yapraklı dönemden sonra başlanmak üzere 15 gün aralıklar ile üç kez bitki üst kısmına püskürtme şeklinde uygulanmıştır. Uygulamalar otomatik el pülverizatörü kullanılarak her parsele 40 L/da ilaçlama normunda yapılmıştır.

Bitki hasadı, dikimden yaklaşık 100 gün sonra Haziran ayının ikinci haftasında her parseldeki tüm bitkilerin sökülmesi ile yapılmıştır. *R. solani* ve *S. scabies* için enfekteli yumru oranı ve enfeksiyon şiddeti değerlendirmeleri hasat edilen yumrular üzerinden, *F. solani* ve *E. carotova* için enfeksiyon oranı ve enfeksiyon şiddeti değerleri ise hasattan yaklaşık 2 hafta önce parsellerdeki tüm bitkiler dikkate alınarak bitkideki hastalık belirtilerine göre belirlenmiştir.

Tüm fitopatojenler için de enfeksiyon oranı değerleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$EO (\%) = (A/B) \times 100$$

EO (%) = Enfeksiyon Oranı; A: Enfeksiyonlu yumru (bitki) sayısı; B: Enfeksiyonsuz yumru (bitki) sayısı

R. solani için enfeksiyon şiddeti Naz ve ark. (2008)'in belirttiği 1-5 skalasına göre değerlendirilmiştir; 0: Sağlıklı yumru 1: Enfekteli yumru alanı < % 1, 2: Enfekteli yumru alanı % 1-10, 3: Enfekteli yumru alanı % 11-20, 4: Enfekteli yumru alanı % 21-51, 5: Enfekteli yumru alanı > % 50. Elde edilen skala değerleri üzerinden hastalık şiddeti aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$HŞ (\%) = (\text{Skala değeri toplamı}) / (\text{En yüksek skala değeri} \times \text{Toplam yumru sayısı}) \times 100$$

F. solani için bitkilerde enfeksiyon şiddeti, yaprak hasarının yoğunluğuna bağlı olarak hasattan yaklaşık 2 hafta önce 0-5 skalası kullanılarak belirlenmiştir; 0: asemptomatik yapraklar (% 0), 1: Yaşlı yaprakların sararması (% 10), 2: Yaşlı yaprakların sararması ve solması (% 25), 3: İki veya birkaç dalın solması (% 50), 4: Apikal sürgün hariç tüm dalların solması (% 75) ve 5: Tüm bitkinin solması ve ölmesi (% 100) (Chandra ve ark., 1983).

$$EŞ (\%) = (\sum R \times T) / N \times 4 \times 100$$

T: Her kategorideki toplam bitki sayısı, R: Hastalık derecelendirme ölçeği (R = 0, 1, 2, 3 ve 4), N: Test edilen toplam bitki sayısı

E. carotovara için bitkilerde enfeksiyon şiddeti Hélias ve ark. (2000)'in belirttiği yöntemle göre 0-4 skalası kullanılarak hesaplanmıştır; 1: Sağlıklı bitki (R = 0), 2: Küçük klorotik semptom gösteren bitki (R = 1), 3: Klorotik ve karabacak semptomu gösteren bitki (R = 2), 4: Solmuş bitki ve bazı ölmüş sürgünler (R = 3), 5: Ölü bitki (R = 4). Bitkilerde enfeksiyon şiddeti aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$HŞ (\%): (\sum R \times T) / N \times 4 \times 100$$



S. scabies için yumrulara enfeksiyon şiddeti Loria and Kempter (1986)'in belirttiği 0-4 skalasına göre değerlendirilmiştir; 0: Sağlıklı yumru 1: Kahverengi kabuk veya lentisel, 2: Siyahlaşmış doku, 3: Çatlamış siyahlaşmış kabuk, 4: Oldukça derin çukur. Elde edilen skala değerleri üzerinden hastalık şiddeti aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$HŞ (\%) = (\text{Skala değeri toplamı}) / (\text{En yüksek skala değeri} \times \text{Toplam yumru sayısı}) \times 100$$

Çizelge 1. Araştırmada kullanılan uçucu yağların önemli bileşenleri

<i>Origanum onites</i>		<i>Juniperus communis</i>		<i>Salvia officinalis</i>		<i>R. officinalis</i>		<i>A. graveolens</i>		<i>C. cyminum</i>	
Bileşen	%	Bileşen	%	Bileşen	%	Bileşen	%	Bileşen	%	Bileşen	%
γ-terpinene	5.8	α-pinene	42.7	1.8-Cineole	15.4	β-pinene	6.9	α-pinene	2.2	α-pinene	3.8
p-cymene	5.5	Sabinene	8.4	α-thujone	19.5	1.8-Cineole	66.5	D-carvone	4.4	γ-terpinene	4.8
Linalool	6.4	β-myrcene	16.8	Camphor	47.8	Camphor	5.9	(S)-Carvone	68.4	Cuminal	24.1
Thymol	2.2	Limonene	4.9	Borneol	4.9	Borneol	5.1	D-Limonen	21.3	2-carene-10-al	51.7
Carvacrol	74.6	Germacrene D	6.6	1.8-Cineole	15.4	α-terpineol	6.1	α-Phellandren	1.2	P-mentha-1.4	8.7

Ölçüm ve analizler sonucu elde edilen veriler tesadüf parsellerinde faktöriyel düzenlemeye göre SAS (2009) istatistik paket programında General Linear Model (GLM) prosedürü kullanılarak standart varyans analizi tekniğinde (ANOVA) analiz edilmiş olup ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD testine göre belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Uçucu yağ uygulamaları *F. solani* ile enfekteli bitki oranı ve enfeksiyon şiddetini önemli derecede etkilemiş, uygulamaların etkinliği uygulama dozlarına göre önemli derecede değişim göstermiştir. Çalışmada en düşük enfeksiyon oranı ve şiddeti değerleri 500 ppm ve üzeri dozlarda yapılan ardıç ve kekik uçucu yağı uygulamalarında belirlenmiştir (Çizelge 2). *F. solani* enfeksiyon oranı ve şiddeti kontrol ile karşılaştırıldığında ardıç uçucu yağı uygulamaları ile yaklaşık sırasıyla %45.8 ve %55.8, kekik uçucu yağı uygulamalarıyla ise sırasıyla %50.7 ve %79.0 oranında azalmıştır (Çizelge 2). Adaçayı uçucu yağı uygulamaları 500 ve 1000 ppm dereotu ve kimyon uçucu yağı ise sadece 1000 ppm dozunda *F. solani* enfeksiyon oranını azaltıcı etki gösterirken, enfeksiyon şiddeti değerleri her üç uçucu yağda da 500 ppm dozunda önemli derecede azalmıştır (Çizelge 2). Biberiye uçucu yağı uygulamaları *F. solani* üzerine herhangi bir etki göstermemiştir.

Uçucu yağ uygulamaları *R. solani* enfekteli yumru oranı ve enfeksiyon şiddeti değerlerini istatistiki anlamda önemli derecede azaltmıştır. Ardıç uçucu yağında 100 ppm, kekik uçucu yağında 500 ppm, adaçayı, dereotu, biberiye ve kimyon uçucu yağlarında ise 250 ppm ve üzeri dozlarda yapılan uygulamalar *R. solani* enfekteli yumru oranını kontrole göre önemli derecede azaltmıştır. *R. solani* enfeksiyon şiddeti ardıç uçucu yağında 1000 ppm, biberiye hariç diğer uçucu yağ uygulamalarında ise 500 ve 1000 ppm dozlarda daha düşük olarak belirlenmiştir. Çalışmada *R. solani* üzerine en yüksek antifungal aktivite 500 ve 1000 ppm dozlarında adaçayı uçucu yağı uygulamalarında belirlenmiş, adaçayı uygulamaları ile kontrolde ortalama % 35.1 olan enfekteli yumru oranı % 12.8'e, % 17.5 olan enfeksiyon şiddeti ise % 4.4'e kadar düşmüştür (Çizelge 2). Adaçayı uçucu yağından sonra en yüksek antifungal etki 1000 ppm kimyon uçucu yağı uygulamalarından elde edilmiş, bu uygulama ile enfekteli yumru oranı kontrole göre % 29.4, enfeksiyon şiddeti ise % 60.7 oranında daha düşük olmuştur.

Uçucu yağ uygulamalarının *E. carotovora* enfeksiyon oranı üzerine etkileri istatistiki açıdan önemli bulunmuş, adaçayı, dereotu, biberiye ve kekik uçucu yağı uygulamalarında 250 ppm, kimyon uçucu yağında ise 100 ppm ve üzeri dozlarda enfekteli bitki oranları kontrole göre önemli derecede azalmış, ardıç uçucu yağının ise herhangi bir etkisi olmamıştır. En düşük enfekteli bitki oranları 1000 ppm dereotu (% 5.0) ile 500 ve 1000 ppm dozlarında yapılan kekik (sırasıyla % 6.0 ve % 5.5) ve kimyon (sırasıyla % 7.2 ve % 5.3) uçucu yağı uygulamalarında belirlenmiştir. Adaçayı ve kimyon uçucu yağları 500 ppm ve üzeri dozlarda, dereotu ve kekik uçucu yağları ise 250 ppm ve üzeri dozlarda *E. carotovora* enfeksiyon şiddetini önemli derecede azaltmış, ardıç ve biberiye uçucu yağlarının enfeksiyon şiddetine etkileri önemsiz bulunmuştur. Çalışmada en düşük enfeksiyon şiddeti değerleri 1000 ppm dozunda yapılan kekik (% 3.3), dereotu (% 5.0) ve kimyon (% 5.0) uçucu yağı uygulamalarından elde edilmiştir, bu uygulamalar ile enfeksiyon şiddeti kontrole göre yaklaşık % 71.1-79.6 oranında azalmıştır (Çizelge 3).

Uçucu yağ uygulamalarının *S. Scabies* üzerine antibakteriyel etkileri istatistiki açıdan önemli bulunmuş, ardıç ve kimyon uçucu yağları hariç diğer uygulamalar enfekteli yumru oranı ve enfeksiyon şiddetini kontrole göre azaltıcı etki göstermiştir. Adaçayı uçucu yağında 100 pmm ve üzeri, dereotuna 250 ppm ve üzeri, biberiyede 500 ppm ve üzeri, kekik uçucu yağında ise 1000 ppm dozunda enfekteli yumru oranları daha düşük olarak belirlenmiştir (Çizelge 3). Çalışmada en düşük enfekteli yumru oranı değerleri 1000 ppm kekik uçucu yağı (% 3.7) uygulamasından elde edilmiş, bunu 500 ve 1000 ppm dereotu (% 11.8 ve %9.6) ve biberiye (% 10.7 ve % 9.2) uygulamaları takip etmiştir. Kekik ve dereotu uçucu yağlarında 100 ppm ve üzeri dozlarda, biberiyede 250 ppm ve üzeri, adaçayı uçucu yağında ise 500 ppm ve üzeri dozlarda yapılan uygulamalar enfeksiyon şiddetini önemli derecede azaltıcı etki göstermiştir. En düşük enfeksiyon şiddeti 1000 ppm kekik uçucu yağı uygulamasından elde edilmiş, kontrolde % 18.3 olan enfeksiyon şiddeti bu uygulama ile %1.70'e kadar düşmüştür (Çizelge 3).



Çizelge 2. Uçucu yağ uygulamalarının *F. solani* ve *R. solani* üzerine antifungal etkileri

Uygulamalar	Dozlar (ppm)	<i>F. solani</i>		<i>R. solani</i>	
		Enfeksiyon Oranı (%)	Enfeksiyon şiddeti (%)	Enfekteli Yumurru Oranı (%)	Enfeksiyon şiddeti (%)
Ardıç	0	14.4	19.0	36.2	21.8
	100	11.3	18.5	31.7	20.4
	250	10.1	14.4	30.2	18.5
	500	8.7	8.9	31.4	14.4
	1000	7.8	8.4	28.2	10.6
Adaçayı	0	15.2	17.0	35.1	17.5
	100	14.1	15.9	31.0	14.4
	250	14.3	16.7	22.8	14.0
	500	12.7	14.7	16.8	4.5
	1000	12.4	11.3	12.8	4.4
Dereotu	0	13.0	17.5	35.3	23.4
	100	12.6	16.2	30.7	22.4
	250	12.3	15.6	28.8	19.0
	500	11.6	11.5	23.8	15.5
	1000	10.0	9.4	20.1	12.3
Biberiye	0	14.2	17.5	34.4	21.5
	100	14.2	16.9	31.1	20.5
	250	13.9	17.2	24.8	19.5
	500	13.9	15.6	25.8	20.2
	1000	13.7	15.6	24.2	18.8
Kekik	0	13.2	17.2	34.9	20.2
	100	13.1	15.2	33.9	18.9
	250	12.9	11.9	30.5	18.2
	500	8.6	7.8	27.0	16.6
	1000	6.5	3.6	29.2	16.8
Kimyon	0	13.1	16.8	33.7	21.4
	100	13.4	16.5	29.0	18.4
	250	13.2	15.1	26.7	13.5
	500	11.7	12.0	23.4	11.5
	1000	10.2	10.6	23.8	8.4
CV (%)		11.0	11.4	11.8	12.2
LSD _{int} :		2.18	2.64	5.47	3.36
F değeri		2.34**	4.10**	2.01*	4.73**
Uygulamalar					
Ardıç		10.5 c	13.9c	31.9 a	17.8 b
Adaçayı		13.7 a	15.1b	23.7 c	12.3 d
Dereotu		11.9b	14.0bc	27.7 b	18.5 b
Biberiye		14.0a	16.6a	28.0 b	20.1 a
Kekik		10.9c	11.1d	31.1 a	18.1 b
Kimyon		12.3b	14.2bc	27.3 b	14.6 c
F değeri					
Dozları (ppm)					
0		13.9a	17.5a	35.3 a	21.5 a
100		13.1ab	16.6a	32.2 b	19.7 b
250		12.8b	15.2b	27.3 c	17.2 c
500		11.2c	11.8c	24.7 d	13.8 d
1000		10.1d	9.8d	23.1d	12.4 d
F değeri					



Çizelge 3. Uçucu yağ uygulamalarının *E. carotovora* ve *S. Scabies* üzerine antibakteriyel etkileri

Uygulamalar	Dozlar (ppm)	<i>E. carotovora</i>		<i>S. Scabies</i>	
		Enfeksiyon oranı (%)	Enfeksiyon şiddeti (%)	Enfekteli Yumru Oranı (%)	Enfeksiyon şiddeti (%)
Ardıç	0	15.4	16.7	19.5	16.3
	100	15.4	16.7	18.1	17.3
	250	14.8	17.0	20.6	15.7
	500	14.2	15.3	18.9	16.6
	1000	15.2	15.7	20.4	16.9
Adaçayı	0	15.1	16.5	18.2	17.9
	100	13.2	16.2	15.6	16.0
	250	10.8	16.0	16.0	16.6
	500	11.0	12.7	16.4	15.0
	1000	8.0	8.7	14.4	12.7
Dereotu	0	15.7	17.2	18.6	17.0
	100	14.3	17.2	14.6	14.4
	250	11.3	14.7	12.3	11.4
	500	8.3	7.7	11.8	10.5
	1000	5.0	5.0	9.6	10.0
Biberiye	0	15.9	16.5	20.3	17.0
	100	15.7	16.3	18.9	15.5
	250	13.1	16.7	16.4	12.3
	500	14.0	15.3	10.7	10.7
	1000	12.8	15.7	9.2	9.40
Kekik	0	14.4	16.2	20.3	18.3
	100	13.0	15.3	16.5	12.6
	250	8.3	12.7	10.6	10.4
	500	6.0	6.7	8.0	5.70
	1000	5.5	3.3	3.4	1.70
Kimyon	0	14.2	17.0	18.4	17.6
	100	11.8	16.7	16.7	16.2
	250	10.0	16.2	17.6	16.5
	500	7.2	10.7	16.2	16.1
	1000	5.3	5.0	16.8	15.5
CV (%)		11.2	11.3	11.5	12.4
LSD _{int} :		2.16	2.56	2.91	2.84
F değeri		5.12**	7.65**	7.90**	5.58**
Uygulamalar					
Ardıç		15.0a	16.3a	19.5 a	16.6 a
Adaçayı		11.6b	14.0b	16.1bc	15.6 a
Dereotu		10.9b	12.3c	13.3 d	12.7 b
Biberiye		14.3a	16.1a	15.1 c	13.0 b
Kekik		9.4c	10.8d	11.7 e	9.80 c
Kimyon		9.7c	13.1bc	14.1 b	16.4 a
Dozları (ppm)					
0		15.1a	16.7a	19.2 a	17.3 a
100		13.9b	16.4ab	16.7 b	15.3 b
250		11.4c	15.5b	15.6 b	13.8 c
500		10.1d	11.4c	13.6 c	12.4 d
1000		8.6e	8.9d	12.3 d	11.0 e

Çalışmada ardıç ve kekik uçucu yağları *F. solani* üzerine kuvvetli antifungal aktivite göstermiş, bu uygulamalar ile enfeksiyon oranı % 45.8-55.8, enfeksiyon şiddeti ise % 50.7-79.0 arasında azalma göstermiştir. *R. solani*'ye karşı en etkili uygulama adaçayı uçucu yağı olmuş, adaçayı uçucu yağı uygulamaları *R. solani* enfeksiyon oranı ve şiddetini kontrole göre sırasıyla % 63.5 ve % 74.8 oranında azaltmıştır. Uçucu yağların antifungal aktiviteleri uygulama dozlarına bağlı olarak değişim göstermekle birlikte genellikle 500 ve 1000 ppm dozları daha yüksek



etkinliğe sahip olmuştur. Uçucu yağların *E. carotovora* üzerine antibakteriyel aktiviteleri düşük-yüksek arasında değişmiş, ardıç uçucu yağının herhangi bir etkisi bulunmazken, adaçayı ve biberiye yağları orta, dereotu, kekik ve kimyon uçucu yağları ise yüksek derecede antibakteriyel aktivite göstermiştir. Kontrol ile karşılaştırıldığında, kekik, dereotu ve kimyon uygulamaları patojenle enfekteli bitki oranını % 61.8 ile % 68.2, enfeksiyon şiddetini ise % 70.6 ile % 79.6 oranında azaltmıştır. *S. Scabies* üzerine en kuvvetli antibakteriyel aktivite kekik uçucu yağından elde edilmiş, 1000 ppm kekik uçucu yağı uygulanan bitkilerde enfekteli yumru oranı % 83.2, enfeksiyon şiddeti ise % 90.7 oranında daha düşük olmuştur.

Uçucu yağların antimikrobiyal aktiviteleri, yüksek lipofilik doğaları ve düşük molekül ağırlıkları nedeniyle yağların içerdiği terpen/terpenoidlerin hücre zarını parçalayabilme, hücre ölümüne neden olabilme veya fungal sporların çimlenmesini ve sporolasyonunu engelleyebilme özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Taweechaisupapong ve ark., 2012; Nazzaro ve ark., 2017). Uçucu yağ ve bileşenlerinin antifungal aktivite mekanizmaları fungal mitokondrilerinin fonksiyonunu kaybetmesi, hücre zarı bozulması, hücre duvarı oluşumunun değiştirilmesi ve engellenmesi, efflux pompasının engellenmesi ve Reaktif Oksijen Türlerinin (ROS) üretimi şeklinde açıklanmaktadır. Uçucu yağlar fungal patojenlerde biofilm gelişimini engelleme, çevreyi algılama sisteminin engellenmesi, hücre gelişimi ve morfolojisine etki, fungal misel gelişimini engelleme, hücre zarı/duvarına etki ve ergosterol ve fumonis biyosentezini engelleme gibi farklı şekillerde antifungal aktivite göstermektedir (Nazzaro ve ark., 2017). Birçok araştırmacı, uçucu yağlarda görülen antifungal aktivitenin direkt olarak fungal miselyumu etkilemesinden kaynaklandığını ileri sürmüştür. Bu bağlamda, fungal hücre zarının sitoplazmik içeriğinin boşaldığı görülmüş ve uçucu yağların lipofilik özellikleri nedeniyle, fungal hücre zarının lipid bileşiminde değişime neden olduğu bildirilmiştir (Soylu ve ark., 2006). Dolayısıyla, uçucu yağlar, membran lipid çift tabakasını oluşturan lipid zincirleri arasına nüfuz ederek, fungal membranın lipid yapısını bozmakta ve membran akışkanlığını değiştirerek hücre geçirgenliğini etkilemektedir (Taweechaisupapong ve ark., 2012). Diğer taraftan, uçucu yağların antibakteriyel aktivitelerinin bitkilerde sinyalizasyon ağında olumlu etki göstererek patojen gelişimini baskılama ve bitki dayanıklılığını artırma şeklinde ortaya çıktığı bildirilmiştir (Umarusman, 2018). Bazı araştırmacılar ise, uçucu yağların antimikrobiyal bileşenlerinin hücre zarı enzimleri ve proteinleri ile etkileşerek hücre yapısının bozulmasına yol açtığını ve hücre ölümünü artırıcı özellik gösterdiğini ortaya koymuştur (Pane ve ark., 2011). Uçucu yağlarla yapılan diğer çalışmalarda da uçucu yağ bünyesinde bulunan bileşenlerin, hücre yağ asitlerinin kimyasal bileşiminin ve ortam pH'sının değişmesine, membran bütünlüğünün bozulmasına neden olduğu ve zar fonksiyonunda değişikliğe yol açtığı bildirilmiştir (Pohl ve ark., 2011).

Yapılan çalışmalarda çok sayıda bitki uçucu yağının fungusit olarak değerlendirilme potansiyeli araştırılmış ve bazıları için etkili sonuçlar elde edilmiştir. Konu ile ilgili olarak, *Syzygium aromaticum*, *Salvia triloba*, *Thymus vulgaris*, *Laurus nobilis*, *Cuminum cyminum* L., *Juniperus communis* L. *Eucaliptus* sp., *Allium sativum* ve *Echinophora tenuifolia* L., türlerinin farklı fitopatojenlere karşı antifungal etki gösterdiği ve uygun dozlarının fungusit olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Boyraz ve Koçak, 2006; Erdoğan ve ark., 2014; Sharma ve ark. 2017; Er, 2018). Tarçın (*Cinnamomum verum*), kekik (*Thymus vulgaris*), adaçayı (*Salvia fruticosa*), nane (*Mentha piperita*), karanfil (*Syzygium aromaticum*) ve limnotu (*Cymbopogon citratus*) yağlarının *R. solani*'ye karşı kuvvetli antifungal aktivite gösterdiği bazı araştırmacılar tarafından da ortaya konmuştur (Zambonelli ve ark., 2004; Vaillant ve ark., 2009; Amini ve ark., 2012; Khaledi ve ark., 2014).

Uçucu yağların *Erwinia* spp. üzerine etkilerine yönelik yapılan çalışmalarda bazı uçucu yağların hastalık gelişimini baskıladığı, bazılarının ise engelleyici etki gösterdiği bildirilmiştir (Kokoskova ve Pavela, 2007; Kokoskova ve ark., 2011; Salem ve ark., 2014; Doukkali ve ark., 2018). Diğer taraftan, bazı uçucu yağların birçok fitopatojen üzerinde antibakteriyel etki gösterdiği, özellikle timol, karvakrol ve sinnamaldehit aktif maddelerinin güçlü antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu, karvakrol ve timol'un bakteri membranını parçaladığı, fenilpropanoid ve terpenoidlerin ise lipofilik yapısından kaynaklı bakteri duvarına zarar verdiği rapor edilmiştir (Halender ve ark., 1998). Aktepe ve ark. (2019), *Allium sativum*, *Mentha arvensis*, *Cinnamomi ceylanici*, *Thymus vulgaris*, *Lavandula officinalis*, *Syzygium aromaticum* ve *Cymbopogon citratus* uçucu yağlarının *Erwinia amylovora*'nın gelişimini in vitro koşullarda engellediğini ve *Cymbopogon citratus* hariç diğer etkili uçucu yağların streptomisin antibiyotiklerinden bile güçlü antibakteriyel aktivite gösterdiğini bildirmişlerdir. *Erwinia amylovora*'ya karşı in vitro koşullarda denenilen *Mentha arvensis*, *Thymus vulgaris* ve *Origanum vulgare* (Kokoskova ve Pavela, 2007; Kokoskova ve ark., 2011), *Thymra spicata* (Basım ve ark., 2000) uçucu yağlarının patojeni baskılama üzerine olan olumlu etkileri daha önceki çalışmalarla ortaya konmuştur.

Tarımsal üretimde yapılan yoğun kimyasal pestisit kullanımının olumsuz etkileri göz önünde alındığında, hastalıklara karşı alternatif mücadele yöntemlerinin araştırılması ve bu yöntemlerin kullanımının yaygınlaştırılması insan ve çevre sağlığını koruyarak tarımsal üretimin sürdürülebilirliğine katkı sağlayacaktır. Tıbbi ve aromatik bitkilerden elde edilen uçucu yağlardan doğal pestisitler olarak aktivite gösterenlerin bitki fungal ve bakteriyel hastalıklarının mücadelesinde entegre mücadelenin bir parçası olarak kullanılması umut verici bir alternatif olarak görülmektedir. Uçucu yağlar, içerdikleri farklı yapı ve özelliklere sahip aktif maddeler nedeniyle yeni doğal pestisitlerin geliştirilmesi açısından büyük potansiyel taşımaktadır. Çalışmadan elde edilen veriler dikkate alındığında; antifungal aktivitesi yüksek olan ardıç, kekik ve adaçayı uçucu yağları ile kuvvetli



antibakteriyel aktiviteye sahip kekik, dereotu ve kimyon uçucu yağlarının ya da bu uçucu yağlardan geliştirilecek olan formülasyonların araştırmaya konu olan fitopatogenlerin mücadelesinde pratik olarak kullanım potansiyeline sahip olabileceği sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- Aktepe BP, Mertoğlu K, Evrenosoğlu Y, Aysan Y. 2019. Farklı Bitki Uçucu Yağların *Erwinia amylovora*'ya Karşı Antibakteriyel Etkisinin Belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1): 34-41.
- Amini M, Safaie N, Salmani MJ, Shams-Bakhsh M. 2012. Antifungal activity of three medicinal plant essential oils against some phytopathogenic fungi. *Trakia J. of Sci.*, 10 (1): 1-8.
- Anonim, 2022. Türkiye İstatistik Kurumu, Tedarik Sektörü Kayıtları, www.Tuik.Gov.Tr (Erişim Tarihi: 22.08.2023).
- Arora RK. 2008. Management of black scurf of potato with the integrated use of *Trichoderma viride* and boric acid *Potato J.* 35 (3 - 4): 130-133.
- Basım H, Yegen O, and Zeller W. 2000. Antibacterial effect of essential oil of *Thymbra spicata* L. var. *spicata* on some plant pathogenic bacteria. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 107: 279-284.
- Bayona LG, Grajales A, Emiliana Cárdenas M, Sierra R, Lozano G, Garavito MF, García MCC, Bernal A, Jiménez P, Restrepo S. 2011. Isolation and characterization of two strains of *Fusarium oxysporum* causing potato dry rot in *Solanum tuberosum* in Colombia. *Revista Iberoamericana de Micología*, 28 (4): 166-172.
- Boyras N. and Özcan M. 2006. Inhibition of phytopathogenic fungi by essential oil, hydrosol, ground material and extract of summer savory *Satureja hortensis* L. growing wild in Turkey. *Int. J. Food Microbiol.*, 107: 238-242.
- Chandra S, Raizada M, Gaur AKS. 1983. Pathological variability in *Fusarium oxysporum* and *Fusarium solani*. *Indian Phytopathol.* 36: 36-40.
- Cooper RM, Williams JS. 2004. Elemental sulphur as an induced antifungal substance in plant defence. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 55, No. 404, Sulphur Metabolism in Plants Special Issue, pp. 1947-1953.
- Council of Europe. 1980. European pharmacopoeia. Sainte-Ruffine: Maisonneuve, Strasbourg 5th Edn, Vol. 2.
- Czajkowski R, Perombelon MC, van Veen JA, van der Wolf JM. 2011. Control of blackleg and tuber soft rot of potato caused by *Pectobacterium* and *Dickeya* species: a review. *Plant pathology*, 60(6): 999-1013.
- Doukkali L, Tahiri A, Tazi B, Guenoun F. 2018. Chemical Composition and Antibacterial Activity of two Essential Oils of rosemary Against *Erwinia amylovora*, the causal agent fire blight. *J. Mater. Environ. Sci.*, 9(10): 2913-2918.
- Eken C, Demirci E, Şahin F 2000. Pathogenicity of the Fungi Determined on Tubers from Potato Storages in Erzurum. *Journal of Turkish Phytopathology* 29:61-69.
- El Mougy N. and Alhabeab RS. 2009. Inhibitory Effects of Powdered Caraway and Peppermint Extracts on Pea Root Rot under Greenhouse Conditions. *Journal of Plant Protection Research* 49(1).
- Er Y. 2018. Ayçiçeği Mildiyösü (*Plasmopara halstedii*)'ne Karşı Bazı Uçucu Yağların Antifungal Etkilerinin Belirlenmesi. Doktora tezi. Ankara Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü.
- Erdoğan O, Çelik A, Yıldız Ş. ve 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).
- Galvão LC, Furletti VF, Bersan SM, da Cunha MG, Ruiz AL, de Carvalho JE, Sartoratto A, Rehder VL, Figueira GM, Teixeira Duarte MC, Ikegaki M, de Alencar SM, Rosalen PL. 2012. Antimicrobial Activity of Essential Oils against *Streptococcus mutans* and their Antiproliferative Effects. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2012:751435.
- Helander I.M, Alakomı HL, Latva-Kala, K, Mattilasandholm T, Pol I, Smid EJ, Gorris LG M, Von Wright A. 1998. Characterization of the action of selected essential oil components on gram-negative bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 3590-3595.
- Helias D, Andrivon D, Jouan B. 2000. Development of symptoms caused by *Erwinia carotovora* ssp. *atroseptica* under field conditions and their effects on the yield of individual potato plants. *Plant Pathology* , 49: 23-32
- Khaledi N, Taheri P. and Tarighi S. 2014. Antifungal activity of various essential oils against *Rhizoctonia solani* and *Macrophomina phaseolina* as major bean pathogens. *Journal of Applied Microbiology* 118: 704-717.
- Kokoskova B. and Pavela R. 2007. Effectiveness of plant essential oils on the growth of *Erwinia amylovora*, the causal agent of fire blight disease. *Pest Technology*, 1 (1): 76-80.
- Kokoskova B. Pavela R. and Pouvova D. 2011. Effectiveness of plant essential oils against *Erwinia amylovora*, *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* and associated saprophytic bacteria on/in host plants. *Journal of Plant Pathology*, 93 (1): 133-139.



- Kulkarni S, Chavhan T. 2017. Management of Black Scurf Disease Caused by *Rhizoctonia Solani* Kuhn through Research and Farmers Participatory Trials in Major Potato Growing Regions of Northern Karnataka. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*. 6 (1): 138-142.
- Loria R. and Kempter BA. 1986. Relative Resistance of Potato-Tubers Produced from Stem Cuttings and Seed-Piece-Propagated Plants to *Streptomyces-Scabies*, *Plant Disease*, 70: 1146-1148.
- Mahdavi-Amiri M, Razavi M, Sharifi K, Zare R, 2009. Investigation on genetic diversity of *Fusarium oxysporum* causing potato Fusarium wilt by pathogenicity tests and RAPD markers. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 45 (1): 10-17.
- Mansfield J, Genin S, Magori S, Citovsky V, Sriariyanum M, Ronald P, Foster GD. 2012. Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13(6): 614-629.
- Mfarrej MFB, Rara FM. 2019. Competitive, Sustainable Natural Pesticides. *Acta Ecologica Sinica*, 39: 145-151.
- Nabhan S, De Boer SH, Maiss E, Wydra K. 2012. Taxonomic relatedness between *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, *Pectobacterium carotovorum* subsp. *odoriferum* and *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliense* subsp. nov. *Journal of Applied Microbiology*, 113(4): 904-913.
- Naz F, Rauf CA, Abbasi NA, Haque I, Ahmad I. 2008. Influence of inoculum levels of *Rhizoctonia solani* and susceptibility on new potato germplasm. *Pak. J. Bot.*, 40(5): 2199-2209.
- Nazzaro, F., Fratianni, F., Coppola, R., De Feo, V. 2017. "Essential Oils and Antifungal Activity", *Pharmaceuticals*. 10, 86; doi:10.3390/ph10040086.
- Ozturk M, Aksoy HM, Potrykus M, Lojkowska E. 2018. Genotypic and phenotypic variability of *Pectobacterium* strains causing blackleg and soft rot on potato in Turkey. *European Journal of Plant Pathology*, 152(1): 143-155.
- Pane C, Spaccini R, Piccolo A, Scala F. and Bonanomi G. 2011. Compost amendments enhance peat suppressiveness to *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia minor*. *Biol. Control*, 56:115-124.
- Powelson ML, Johnson KB. and Rowe RC. 1993. Management of diseases caused by soil borne pathogens, In R.C. Rowe (Ed.), *Potato health management* (pp. 149-158), The 193 American Phytopathological Society, St. Paul, Minn.
- Prabuseenivasan S, Jayakumar M, and Ignacimuthu S. 2006. In vitro antibacterial activity of some plant essential oils. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 6:39-45.
- Salem EA, Askora A. 2012. Biological control of the Egyptian brown rot in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Isotope & Rad Res* 44(3):671-678.
- SAS Institute. 2009. Using JMP student edition for windows and macintosh: the user's guide to statistics with JMP student edition. SAS institute, NC, USA.
- Schneider S. and Ullrich WR. 1994. Differential induction of resistance and enhanced enzyme activities in cucumber and tobacco caused by treatment with various abiotic and biotic inducers. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 45: 291-304
- Seema M. and Devaki NS. 2012. In vitro evaluation of biological control agents against *Rhizoctonia solani*. *Journal of Agricultural Technology* 8(1): 233-240.
- Sharma A, Rajendran S, Srivastava A, Sharma S. and Kundu B. 2017. Antifungal activities of selected essential oils against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* 1322, with emphasis on *Syzygium aromaticum* essential oil. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 123(3): 308-313.
- Soylu EM, Soylu S, Kurt S. 2006. "Antimicrobial activity of the essential oils of various plants against tomato late blight disease agent *Phytophthora infestans*" *Mycopathologia* 161:119-128.
- Taweechaisupapong S, Ngaonee P, Patsuk P, Pitiphat W, Khunkitti W. 2012. "Antibiofilm activity and post antifungal effect of lemongrass oil on clinical *Candida dubliniensis* isolate", *South Afr. J. Bot.*, 78: 37-43.
- Umarusman MA. 2018. Farklı Bitki Ekstraktlarının Bezelye Bakteriyel Yaprak Yanıklığına (*Pseudomonas syringae* pv. *psis*) Antibakteriyel Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Bitki Koruma Anabilim Dalı.
- Vaillant F, Romeu C, Ramos RE, Gonzalez GM, Ramirez OR and Gonzalez PJ. 2009. Inhibitory effect in vitro of five monoterpenes from essential oils on a *Rhizoctonia solani* isolate in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Fitosanidad.*, 13: 197-200.
- Zambonelli A, D'aulerio AZ, Severi A, Benvenuti S, Maggi L and Bianchi, A. 2004. Chemical composition and fungicidal activity of commercial essential oils of *Thymus vulgaris* L. *J Essent Oil Res* 16: 69-74.

