



Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2022, 59 (3):529-539
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1092623>

Fatma Gül GÖZE ÖZDEMİR^{1*}

Bekir TOSUN²

Arif ŞANLI²

Tahsin KARADOĞAN²

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü,
32200, Merkez, Isparta, Türkiye

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü,
32200, Merkez, Isparta, Türkiye

* Corresponding author (Sorumlu yazar):

fatmagoze@isparta.edu.tr

Anahtar sözcükler: Apiaceae, biyolojik mücadele, Kök ur nematodu, uçucu yağ

Keywords: Apiaceae, biological control, Root knot nematode, essential oil

Bazı Apiaceae uçucu yağlarının *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 (Nematoda: Meloidogynidae)'ya karşı nematoksik etkisi

Nematotoxic activity of some Apiaceae essential oils against *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 (Nematoda: Meloidogynidae)

Received (Alınış): 24.03.2022

Accepted (Kabul Tarihi): 23.05.2022

ÖZ

Amaç: Çalışmada Apiaceae familyasına ait kültürü yapılan ve doğal florada yayılış gösteren bazı türlerin meyve uçucu yağlarının *in vitro* ve *in vivo* koşullarda *Meloidogyne incognita*'ya karşı nematoksik etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem: *in vitro* çalışmalarda 125, 250, 500 ve 1000 ppm uçucu yağ konsantrasyonlarının ikinci dönem larva (L2) üzerine etkisi araştırılmıştır. *In vivo* çalışmalar bitki büyütme kabinlerinde domates bitkisinde uçucu yağların 1000 ppm konsantrasyonları ile yürütülmüştür. Çalışma 9 hafta sonra sonlandırılmış ve köklerde gal ve yumurta paketi sayısı belirlenmiştir.

Araştırma Bulguları: En yüksek nematoksik etki *in vitro* koşullarda % 83.3 ölüm oranı ile *Ferulago pauciradiata* uçucu yağının 1000 ppm dozunda belirlenmiştir. *Ferulago pauciradiata* ve *Foeniculum vulgare* uçucu yağı uygulanan bitkilerin köklerinde gal ve yumurta paketi sayısı daha düşük olmuştur.

Sonuç: *Meloidogyne incognita*'ya karşı *in vitro* ve *in vivo* koşullarda *F. pauciradiata* ve *F. vulgare* uçucu yağlarının yüksek nematoksik etki gösterdiği saptanmıştır.

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to determine *in vitro* and *in vivo* nematotoxic effects of cultivated and naturally distributed fruit essential oils (EO's) of Apiaceae species against *Meloidogyne incognita*.

Material and Methods: The effects of 125, 250, 500 and 1000 ppm EO's concentrations on the second juvenile larvae (J2) were investigated *in vitro*. *In vivo* studies were carried out in climate room using tomato seedlings at 1000 ppm concentrations of EO's. The number of galls and egg masses in the roots was determined after 9 weeks.

Results: A 1000 ppm concentration of *Ferulago pauciradiata* EO showed the highest nematotoxic effect with a mortality rate of 83.3% *in vitro*. The number of gall and egg masses in the roots treated with *F. pauciradiata* and *Foeniculum vulgare* EO's was lower.

Conclusion: *Ferulago pauciradiata* and *F. vulgare* EO's have strong nematotoxic effects against *M. incognita* *in vitro* and *in vivo*.

GİRİŞ

Kök ur nematodları (*Meloidogyne* spp.) endoparazit olarak vaskular dokularda zarar meydana getirmeleri, yılda verilen döl sayısının fazla olması ve dişi başına bırakılan yumurta sayısının yüksek olması nedeniyle ekonomik olarak önemli bitki paraziti nematod türleri arasında yer almaktadır (Bartlem et al., 2014; Eder et al., 2021). Kök ur nematodlarının sıcak bölgelerde yaşam döngülerini daha hızlı tamamlamaları ve hızlı çoğalmaları nedeniyle popülasyonlarının kontrol altında tutulması zorlaşmaktadır (Udo et al., 2008). Dünya'da en yaygın bulunan kök-ur nematodu türleri *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949, *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949, *Meloidogyne arenaria* (Neal, 1889), *Meloidogyne chitwoodi* Golden, O'Bannon, Santo & Finley, 1980, *Meloidogyne fallax* Karssen, 1996 ve *Meloidogyne hapla* (Chitwood, 1949)'dur (Adam et al., 2007; Menjivar et al., 2012; Siddiqui & Zaki, 2017; Tapia-Vázquez et al., 2022). Türkiye de ise kök ur nematodu türlerinden *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria*, *M. hapla*, *M. chitwoodi*, *Meloidogyne ethiopica* Whitehead, 1968, *Meloidogyne artiellia* Franklin, 1961, *Meloidogyne acrita* (Chitwood, 1949), *Meloidogyne luci* Carneiro et al., 2014, *Meloidogyne exigua* Goeldi, 1887 ve *Meloidogyne thamesi* Chitwood in Chitwood, Specht & Havis, 1952 bildirilmiştir (Devran & Söğüt, 2009; Özarslandan & Elekçioğlu, 2010; Evlice & Bayram, 2016; Uysal et al., 2017; Göze Özdemir & Uysal, 2018; Gürkan et al., 2019; Aslan & Elekçioğlu, 2022). *Meloidogyne incognita*, kök ur nematodlarının en yaygın türü olup, hemen hemen tüm bitkileri enfekte edebilmekte ve ekonomik anlamda önemli zararlar meydana getirmektedir (Hallmann & Kiewnick, 2018; Eder et al., 2021). Kök-ur nematodları bitkilerin su ve besin alımını zorlaştırarak verimde önemli kayıplara sebep olmaktadır. Kök ur nematod türlerinin geniş konukçu aralığına sahip olmaları, toprakta daha uzun süre hayatta kalmalarını kolaylaştırmakta, bu durum ise kök-ur nematodlarının münavebe ile kontrol altına alınmasını zorlaştırmaktadır (Brodie et al., 1993). Dünyada Kök-ur nematodları ile mücadelede en yaygın kullanılan yöntem kimyasal mücadeledir (Wang et al., 2006). Ancak insan, hayvan ve çevreye verdikleri zararlı etkilerinden dolayı kök-ur nematodları mücadelesinde kullanılan çok amaçlı fumigant ve nematisitlerin birçoğu yasaklanmıştır (Youssef et al., 2017; Pardavella et al., 2021). Bu durum, bitki paraziti nematodların kontrolünde alternatif mücadele yöntemlerinin araştırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu alanda belki de üzerinde en yoğun araştırma yapılan konuların başında bitkisel kökenli metabolitler gelmektedir (Javed et al., 2007; Turatto et al., 2018; Pardavella et al., 2021). Bitkilerde bulunan izotiyosiyanatlar, glukozitler, alkaloidler, ketonlar, aldehitler, fenolikler ve sabit yağ asitlerinin nematisidal aktivite gösterdiği bazı araştırmalarla ortaya konmuştur (Chitwood, 2002; Kabera et al., 2014; Stavropoulou et al., 2021).

Sekonder metabolitlerin terpenoidler grubunda yer alan uçucu yağlar, kök-ur nematodları kontrolünde en çok üzerinde durulan alternatif mücadele yöntemleri arasında yer almaktadır. Uçucu yağ bileşenleri nematod sinir sistemine etki ettiği gibi nematodun hücre zarını bozabilmekte ve geçirgenliğini değiştirebilmektedir (Oka et al., 2000). Apiaceae familyasının önemli bir kısmı uçucu yağ, fenolik bileşikler ve kumarinler bakımından zengin olup tıbbi ve aromatik kullanımlarının dışında antimikrobiyal, antiviral, antifungal, nematisidal, insektisidal ve antioksidan gibi özellikler gösterebilmektedirler (Dorman & Deans, 2000; Cavanagh, 2007; Ntalli et al., 2010; Lang & Buchbauer, 2012; Siddiqui & Zaki, 2017). Apiaceae familyasına ait *Carum capticum* L., *Carum carvi* L., *Foeniculum vulgare* Miller. ve *Pimpinella anisum* L. bitkilerinin uçucu yağlarının *M. incognita* ve *M. javanica* üzerinde nematisidal etkisi çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir (Oka et al., 2000; Gupta et al., 2011; Ntalli et al., 2011). Dias et al. (1988), tıbbi aromatik bitkilerden *Achillea millefolium* L., *Arctium lappa* L. ve *Bryophyllum calycinum* Salisb. köklerinde *M. incognita*'nın gelişemediğini tespit etmiştir. Sellami et al. (2013), *F. vulgare* (Apiaceae) uçucu yağının 800 µL/L dozunda *M. incognita* ikinci dönem larvalarında (L2) ölüm oranını 72 saat sonra % 90.87 olarak bulurken, yumurtadan çıkışı %68.18 oranında engellediğini belirlemişlerdir.

Çalışmada Apiaceae familyasına ait ülkemizde kültürü yapılan (*Anethum graveolens* L. ve *Coriandrum sativum* L.) ve doğal florada bulunan (*Ferulago pauciradiata* Boiss&Held (Endemik), *Foeniculum vulgare* Miller., *Heracleum platytaenium* Boiss. (Endemik), *Smyrniun connatum* Boiss&Kotschy ve *Kundmannia anatolica* Boiss. (endemik) türlerinin meyve uçucu yağlarının *Meloidogyne incognita* türüne karşı nematoksik etkilerinin *in vitro* ve *invivo* koşullarında etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışma 2019-2020 yılında Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Nematoloji Laboratuvarı ve Tarla Bitkileri Laboratuvarında yürütülmüştür. Çalışmada kullanılan *Meloidogyne incognita* kök-ur nematodu popülasyonu sera üretim alanlarında yetiştirilen domates bitkilerinin kökünden elde edilmiş ve saf kültürü yapıldıktan sonra perineal kesitten morfolojik olarak tanımlanmıştır (Şekil 1). Apiaceae familyasına ait bitki materyalleri ise Çizelge 1 de yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan *Meloidogyne incognita* popülasyonunun perineal kesiti.

Figure 1. Perineal pattern of the *Meloidogyne incognita* population used in the study.

Araştırmada kullanılan uçucu yağların üretimi

Taksonlara ait meyvelerin uçucu yağları Clevenger tipi hidro-distilasyon cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Bu amaçla her türün meyvelerinden 100'er g örnek öğütüldükten sonra distilasyon cihazının kaynatma balonunda 1/3 oranında su eklenerek 100 °C'de 3 saat süreyle (Marotti & Piccaglia, 1992) damıtılmıştır.

Her türe ait uçucu yağ örneklerinin bileşenleri Stein (1990)'inin belirttiği şekilde GC - MS (Perkin Elmer marka) cihazında (QP-5050 GC/MS, Quadrapole detektörlü) belirlenmiştir. Bu amaçla; n-hekzan seyreltilecek 1 µl kadar uçucu yağ silika kapiler kolona enjekte edilerek ve belirli bir çalışma programında (enjektör sıcaklığı 250°C'de ve detektör sıcaklığı 240°C'de tutularak, kolon/ fırın sıcaklığı ise (120°C/3 dak.// 3°C/dak./200°C/6 dak.// 3°C/dak.//120°C/3 dak.) bileşenlerine ayrılarak ve her bir bileşen daha önce tanımlanmış olan uçucu yağ standart piklerinden oluşan kromatogramlar aracılığı tanımlanmıştır. Uçucu yağların ana bileşenleri Çizelge 1 de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan Apiaceae familyasına ait bitki türleri ve türlere ait meyve uçucu yağlarını oluşturan önemli bileşenler

Table 1. The plant species belonging to the Apiaceae family used in the study and the main components in the fruit essential oils of the species

Apiaceae Türleri	Ana Bileşenler (%)		
<i>Anethum graveolens</i> L.	d-Carvone (% 51.7)	L-Limonene (% 24.8)	Dihydrocarvone (% 6.3)
<i>Coriandrum sativum</i> L.	Linalool (% 56.3)	α-Pinene (% 10.0)	Geranyl acetate (% 9.6)
<i>Ferulago pauciradiata</i> Boiss ve Heldr	Sabinene (% 27.8)	α-Pinene (% 20.6)	p-Cimene (% 7.8)
<i>Foeniculum vulgare</i> Miller	Trans anethole (% 75.4)	L-Limonene (% 9.06)	p-Allylanisole (% 7.78)
<i>Heracleum platytaenium</i> Boiss.	Octyl Butyrate (% 83.5)	Ethylhexyl Acetate (% 6.6)	Hexyl Butanoate (% 1.5)
<i>Kundmannia anatolica</i> Boiss.	β- Pinene (% 33.1)	α-Pinene (% 27.9)	α-Thujene (% 8.0)
<i>Smyrniun connatum</i> Boiss&Kotschy	Curzerene (% 24.7)	Germacrene D (% 17.8)	Germacrene B (% 13.0)

Kök-ur nematodu popülasyonunun saf kültürünün oluşturulması ve kitle üretimi

Saf kültür ve kitle üretimleri Kök-ur nematoduna duyarlı "Tueza F1" domates çeşidi ile yürütülmüştür. Tueza F1 domates tohumları iklim odası koşullarında viyollerde yetiştirilmiş ve 3 haftalık fideler kullanılmıştır. Saf kültür $24\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de, $\%60\pm 5$ neme sahip iklim odası koşullarında, 250 ml hacime sahip plastik saksılarda ve $\% 68$ kum, $\% 21$ Silt ve $\%11$ kil içeren toprak karışımı kullanılarak yapılmıştır. Her saksıya 1 domates fidesi şaşırtılarak 5 tekrür hazırlanmıştır. Binoküler mikroskop altında pens ve bistüri yardımıyla çıkarılan 1 adet yumurta paketi ependorf tüplerine alınmış ve bitki kök boğazı yakınına yaklaşık 2 cm kök derinliğine pastör pipeti yardımıyla inokule edilmiştir. İnokulasyondan sonra saksılara biraz toprak eklenmiş ve hafif nemlendirilmiştir. Kök-ur nematodu saf kültür oluşturma işlemleri inokulasyondan 8 hafta sonra sökülmüştür ve domates kökleri dikkatli bir şekilde çeşme suyu altında yıkanmıştır. Kitle üretimi için bu domates köklerinden en iyi yumurta paketi oluşturan seçilmiş ve binoküler mikroskop altında yumurta paketleri çıkarılarak saf su bulunan ependorf tüplere konulmuştur. Kitle üretimi 15 tekrürde yürütülmüştür. Saf inokulumunun çoğaltılmasında izlenen inokulasyon yöntemi kitle üretimde kullanılmıştır. Saf kültüründen tek farkı her saksıya 5 adet yumurta paketinin inokule edilmesidir (Uysal et al., 2017).

***Meloidogyne incognita* ikinci dönem larva eldesi**

Kitle üretimi yapılan urlu domates köklerinden binoküler mikroskop altında yumurta paketleri çıkarılarak distile su içeren petri içerisinde elekler içerisine alınarak 28°C 'de üç gün inkübe edilmiştir. Bu şekilde yumurta paketlerinden L2 çıkışları sağlanmıştır. Işık mikroskobu altında L2 sayımları yapılarak ependorf tüpleri içerisine alınmış ve inokulasyona hazır hale getirilmiştir (Geç vd., 2018).

***in vitro* koşullar altında uçucu yağların *Meloidogyne incognita* ikinci dönem larvalarına karşı etkinliğinin belirlenmesi**

Çalışma *in vitro* koşullarda birinci faktör olarak değişik uçucu yağlar ve ikinci faktör olarak farklı uçucu yağ konsantrasyonları kullanılarak (kontrol, negatif kontrol, 125, 250, 500 ve 1000 ppm) 3 tekrürlü olarak yürütülmüştür (Çizelge 1). Uçucu yağ konsantrasyonları Tween-80 ($\%0.1$) ve saf su kullanılarak hazırlanmıştır. Her bir mikrotüp (1.5 ml) içine otomatik pipet yardımıyla 50 μl saf su ile birlikte 100 L2 konulduktan sonra uçucu yağ konsantrasyonu uygulamaları yapılmıştır (Oka et al., 2000). Her mikrotüp içerisine konsantrasyondan 1 ml konulmuştur. Çalışmada sadece saf su ve Tween-80 uygulanan mikrotüpler negatif kontrol olarak değerlendirilmiştir. Mikrotüpler parafilm ile kapatıldıktan sonra $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de tutularak 3 gün sonra mikroskop altında canlı-ölü birey sayımı yapılmış ve yüzde ölüm değerleri hesaplanmıştır (Siddiqui & Zaki, 2017). İnce bir iğne ile dokunulduğunda hareket etmeyen nematodlar ölü olarak kabul edilmiştir (Cayrol et al., 1989).

Uçucu yağların domates kökünde gal ve yumurta paketi sayısına karşı etkinliğinin belirlenmesi

Çalışma $24\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de, $\%60\pm 5$ neme sahip iklim odası koşullarında steril toprak karışımı ($\% 68$ kum, $\% 21$ silt ve $\%11$ kil) içeren 250 ml hacime sahip saksılarda yürütülmüştür. Çalışma, *in vitro* da uçucu yağların en yüksek etki gösterdiği 1000 ppm konsantrasyonunda 10 tekrürlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. Her saksıya 1 adet Tueza F1 domates fidesi şaşırtılmıştır. Şaşırtmadan 1 hafta sonra her saksıya *M. incognita* 1000 L2 gelecek şekilde bitki kök boğazı yakınına yaklaşık 2 cm kök derinliğine pastör pipeti yardımıyla inokule edilmiştir (Özdemir & Gözel, 2017). Uçucu yağ uygulamaları bitki kök boğazından 3-4 cm mesafede, 4-5 cm derinlik ve 1 cm çapında açılan oyuklara 30 ml'lik sulama suyu ile birlikte uygulanmıştır. Uçucu yağ uygulaması ve nematod inokulasyonu aynı zamanda yapılmıştır (Kepenekçi et al., 2016). Kontrole ise nematod inokulasyonu yapıldıktan sonra herhangi bir uygulama yapılmamıştır. Bitkilerin su gereksinimleri 2 güne bir çeşme suyu ile karşılanmıştır. Bitkiler 9 hafta sonra saksılardan sökülmüş ve kökleri iyice su ile yıkanarak topraktan arındırılmıştır. Daha sonra stereo mikroskop altında kökler incelenmiş, gal ve yumurta paketi sayısı belirlenmiştir (Göze Özdemir et al., 2022).

İstatistiksel analiz

Ölçüm ve analizler sonucu elde edilen verilerden *in vitro* da ölüm oranları tesadüf parselleri deneme planında faktöriyel düzenlemeye göre, domates köklerinde gal ve yumurta paketi sayısı ise tesadüf parsellerine göre SAS (2009) istatistik paket programında GLM prosedürü kullanılarak standart varyans analizi tekniğinde (ANOVA) analiz edilmiş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD çoklu karşılaştırma testine göre belirlenmiştir.

ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

In vitro da yürütülen çalışmada uçucu yağların kök ur nematoduna karşı etkileri dozlara bağlı olarak çok önemli seviyede farklılık göstermiştir (Çizelge 2). Bu *Meloidogyne incognita* L2 ölüm yüzdelerinin uygulanan uçucu yağlara ve uygulama konsantrasyonuna göre anlamlı farklılıklar gösterdiğini, uygulama dozlarının artışının neredeyse bütün uçucu yağ uygulamalarında nematod ölümlerini artırdığını göstermiştir. Uçucu yağların domates köklerindeki gal ve yumurta paketi sayısına etkilerinin de istatistikî açıdan önemli ($p < 0.01$) olduğu saptanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Uçucu yağ uygulamalarının *Meloidogyne incognita*'ya karşı etkisine ait varyans analiz sonuçları

Table 2. Variance analysis of the effect of essential oil applications against *Meloidogyne incognita*

Varyasyon kaynakları	<i>Meloidogyne incognita</i> 2. Dönem larva ölüm oranı		Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kökteki gal sayısı	Kökteki yumurta paketi sayısı
	Serbestlik derecesi	F Değeri			F Değeri	F Değeri
Uçucu yağ (U)	6	265**	Uçucu yağ	7	244.88**	167.54**
Konsantrasyon (K)	5	5675**	Hata	72		
U X K	30	44.59**	Genel	79		
Hata	84					
Genel	125					
CV	4.58		CV		7.63	9.00

** İstatistiksel olarak $P < 0.01$ düzeyinde önemlidir.

Çalışmada ele alınan türlerin uçucu yağlarının konsantrasyon artışına bağlı olarak kök-ur nematodunun ölüm oranlarında da önemli derecede artış belirlenmiştir. *Ferulago pauciradiata* bitkisinin 1000 ppm uçucu yağ dozu *M. incognita* L2 popülasyonunu % 83.3 oranında baskılayarak en yüksek ölüm oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. *Heracleum platytaenium* (% 72.7) ve *Foeniculum vulgare* (% 70.3) türlerinin 1000 ppm dozlarının ölüm oranları da yüksek bulunmuştur. En düşük ölüm oranı negatif kontrol gruplarında belirlenmiştir. Kontrol gruplarında ölümlerin doğal sebeplerden gerçekleştiği düşünülmektedir. *In vitro* çalışmada 1000 ppm dozu değerlendirildiğinde ele alınan bitkilerin uçucu yağlarının *M. incognita* L2 popülasyonu üzerinde ölüm oranının % 50'den fazla (% 68.8) olduğu saptanmıştır (Çizelge 3).

Domates köklerinde Apiaceae familyasına ait bitkilerin uçucu yağlarının *M. incognita*'nın oluşturduğu gal ve yumurta paketi sayısına etkisinin değerlendirildiği çalışmada *in vitro* da uçucu yağların en yüksek etki gösterdiği 1000 ppm dozu kullanılmış ve *A. groveolens*, *C. sativum*, *F. pauciradiata*, *F. vulgare*, *H. platytaenium*, *K. anatolica* ve *S. connatum* uçucu yağ uygulamaları domates kökünde meydana gelen gal ve yumurta paketi sayısını kontrole göre önemli derecede azaltmıştır. Domates kökünde en yüksek gal sayısı (109.6 adet/kök) ve yumurta paketi sayısı (125.7 adet/kök) uçucu yağ uygulaması yapılmayan kontrolde tespit edilmiştir. Çalışmada en düşük gal sayısı *F. pauciradiata* (36.9 adet/kök) ve *F. vulgare* (40.2 adet/kök) uçucu yağı uygulamalarının yapıldığı domates köklerinde belirlenmiştir. Domates kökünde yumurta paketi sayısının gal sayısından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bazı galler üzerinde birden fazla yumurta paketi bulunmasıdır. Kontrolde sonra en yüksek yumurta paketi sayısı *S. connatum* (100.8 adet/kök) uçucu yağ uygulaması yapılan

domates köklerinde saptanmıştır. Gal sayısına benzer olarak, en düşük yumurta paketi sayısı *F. pauciradiata* ve *F. vulgare* uçucu yağı uygulamalarından elde edilmiştir (Çizelge 4). *Heracleum platytaenium* uçucu yağının 1000 ppm dozunun *in vitro* da L2 üzerinde nematoksik etkileri *F. vulgare* uçucu yağından daha yüksek bulunurken, domates kökünde gal ve yumurta paketi sayısına etkisi *F. vulgare*'den daha düşük bulunmuştur (Çizelge 3;4). *In vitro* yürütülen çalışmada *A. graveolans*, *C. sativum* ve *K. anatolica* uçucu yağlarının 1000 ppm dozunun nematoksik etkisi birbirine yakın bulunurken, domates köklerinde *K. anatolica*'nın nematoksik etkisi *C. sativum* ve *A. graveolans*'den yüksek tespit edilmiştir (Çizelge 3;4).

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan Apiaceae bitkilerinin uçucu yağlarının *Meloidogyne incognita* ikinci dönem larvalarında yüzde ölüm oranları

Table 3. Percent mortality rates of the essential oils of Apiaceae plants used in the study in the second juvenile of *Meloidogyne incognita*.

Doz (ppm)	<i>Anethum graveolens</i>	<i>Coriandrum sativum</i>	<i>Ferulago pauciradiata</i>	<i>Foeniculum vulgare</i>	<i>Heracleum platytaenium</i>	<i>Kundmannia anatolica</i>	<i>Smyrniium connatum</i>	Ort.
Saf su				8.0				8.0
Tween (80)				9.3				9.3
125	22.0	16.3	38.0	23.7	20.7	19.0	15.3	22.2
250	33.7	25.7	46.7	33.0	26.0	31.3	25.3	31.7
500	41.7	36.7	68.3	39.7	53.0	53.0	36.0	46.9
1000	64.7	69.7	83.3	70.3	72.7	66.7	54.0	68.8
Ort.	29.9	27.6	42.3	30.7	31.6	31.2	24.7	

* Lsd_{uçucu yağ x doz}: 2.34

Çizelge 4. Çalışmada kullanılan Apiaceae bitkilerinin uçucu yağlarının 1000 ppm konsantrasyon uygulamalarının domates köklerinde *M. incognita*'nın oluşturduğu gal ve yumurta paketi sayısına etkisi

Table 4. The effect of 1000 ppm concentration applications of essential oils of Apiaceae plants used in the study on the number of gall and egg masses formed by *M. incognita* in tomato roots.

Uygulama	Gal Sayısı (adet/kök)	Yumurta Paketi Sayısı (adet/kök)
<i>Anethum graveolens</i>	75.7 d*	82.6 d
<i>Coriandrum sativum</i>	64.9 c	72.4 c
<i>Smyrniium connatum</i>	89.0 e	100.8 e
<i>Ferulago pauciradiata</i>	36.9 a	42.9 a
<i>Foeniculum vulgare</i>	40.2 a	48.3 a
<i>Heracleum platytaenium</i>	52.8 b	61.6 b
<i>Kundmannia anatolica</i>	56.2 b	64.7 bc
Kontrol	109.6 f	125.7 f

*Aynı sütunda gösterilen küçük harfler uçucu yağ uygulamaları arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (P≤0.01).

Çalışmada *F. pauciradiata* ve *F. vulgare* uçucu yağlarının *in vitro* da *M. incognita* L2 dönemi önemli oranda baskıladığı ve domates köklerinde 1000 ppm konsantrasyonlarının gal ve yumurta paketi sayısını azalttığı, dolayısıyla domates köklerinde üremesini baskıladığı belirlenmiştir. Bu durumun, bu uçucu yağların önemli bileşenlerinin tek başına etkilerinden ya da ana bileşenlerin uçucu yağı oluşturan diğer bileşenlerle olan sinerjistik etkilerinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Genellikle uçucu yağın ana bileşenleri yağın biyofiziksel ve biyolojik özelliklerini yansıtırken (İpek et al., 2005), bazı

durumlarda uçucu yağın içerisinde yer alan diğer moleküller ana bileşenlerle beraber sinerjik etki yaratarak biyolojik özelliklerin artırılmasının mümkün olabileceği çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Santana-Rios et al., 2001; Ultee et al., 2002; Hoet et al., 2006; Hemaiswarya et al., 2008; Langevel et al., 2014; Miladi et al., 2017). *Ferulago pauciradiata* uçucu yağ içeriğine bakıldığında α -pinene ve sabinene'nin ana bileşenler olduğu görülmektedir (Çizelge 1). Sabinene ve α -pinene monoterpene grubunda yer almaktadır. Monoterpene grubunda yer alan α -pinene, α -terpinene ve eugenol bileşiklerinin asetilkolinesteraz aktivitesinin önemli ölçüde inhibe edilmesine neden olduğu dolayısıyla sinir sistemine etki ettiği bildirilmiştir (Saad et al., 2018). İkiyüz elli mg/ml konsantrasyonunda monoterpene grubundaki çoğu bileşiğin *P. penetrans* üzerinde ticari nematosisit 'Oxamyl' den daha fazla toksik etki gösterdiği bildirilmiştir (Tsao & Yu, 2000). Çalışmamızda α -pinene ve β -pinene içeren diğer uçucu yağ olan *K. anatolica*'nın da 1000 ppm dozunda *M. incognita*'nın gal ve yumurta paketi sayısını kontrole kıyasla önemli ölçüde azalttığı saptanmıştır. Echeverrigaray et al. (2010) monoterpene grubunda yer alan α -pinene, α -terpinene, citronellal, menthone ve terpinen-4-ol bileşiklerinin *M. incognita* üzerinde yüksek nematosisidal etkisini rapor etmişlerdir. *Ferulago angulata* (Schlecht.) Boiss'nın çiçek (0.4%) ve yaprak özütü (0.2% and 0.4%) *M. javanica* L2 üzerinde %90'dan fazla ölüme neden olmuştur (Ghezelbash & Abdolahi, 2013). El-Habashy et al. (2020) sera koşullarında patlıcanda yürüttükleri çalışmada α -pinene, α -terpinene, eugenol ve nerolidol bileşiklerinin 500 mg/L konsantrasyonunun kontrole karşılaştırıldığında *M. javanica*'nın gal, yumurta paketi, bitki başına düşen yumurta ve topraktaki 2. dönem larva sayısını önemli oranda azalttığını bulmuşlardır.

Foeniculum vulgare uçucu yağının ana bileşeni ise anethole görülmekte ve fenilpropanoid grubunda yer almaktadır. Birçok basit fenol uçucudur ve nematosisidal aktiviteye sahip bitki esansiyel yağlarında bulunmaktadır (Zhou et al., 2012). *Foeniculum vulgare*'nin *M. incognita* ile mücadelede başarıyla kullanılabilmesi bildirilmektedir (Ntalli et al., 2010). Carvacrol, t-anethole, thymol ve (+)-carvone bileşikleri *in vitro* da 125 μ l/litre uygulamasında *M. javanica* 2. Dönem larvalarını hareketsiz hale getirmiş ve yumurtadan çıkmayı engellemiş, 75 ve 150 mg/kg konsantrasyonlarında kumlu toprakta karıştırılan bu bileşenlerin çoğu, salatalık fidelerinde kök gallenmesini azaltmıştır (Oka et al., 2000). Sellami et al. (2013) *in vitro*da *F. vulgare* uçucu yağının 800 μ L/L doz uygulamasında 72 saat sonra *M. incognita* L2' nin ölüm oranını %90.87 bulmuşlardır. Rezene kaynaklı estragol bakımından zengin ve trans-anetol bakımından zengin 2 uçucu yağın, *M. chitwoodi* yumurtaları üzerinde 2 μ L/mL⁻¹ uygulamasında yumurtadan çıkışın sırasıyla %90 ve %92 oranında engellendiği saptanmıştır (Faria et al., 2016). Göze Özdemir et al. (2021) *in vitro* koşullarda Apiaceae familyasına ait 12 farklı bitki türünün uçucu yağının Kök lezyon nematodlarına (*Pratylenchus* spp.) karşı nematosisidal etkilerinin nematod türüne bağlı olarak değişiklik gösterdiğini bulmuş ve *Pratylenchus penetrans*(Cobb, 1917) Filipjev&Schuurmans Stekhoven üzerinde *F. vulgare* ve *A. graveolens* uçucu yağlarının daha yüksek etkinlik gösterdiğini bildirmişlerdir.

Diğer taraftan, çalışmada seskiterpenoid bakımdan zengin olan *S. conatum*'un *M. incognita* üzerinde nematoksik etkisinin monoterpeneoidler bakımdan zengin olan uçucu yağlardan (*A. graveolens*, *C. sativum*, *K. anatolica* ve *F. pauciradiata*) ve esterler bakımından zengin olan *H. platytaenium* uçucu yağından daha düşük olarak saptanmıştır. Seskiterpenoid grubunda yer alan β -caryophyllene, nerolidol, artemisinin ve artesunate bileşiklerinin *M. incognita* üzerinde nematosisidal etkisinin olmadığı bulunmuştur (Bai et al., 2013; D'Addabbo et al., 2013). Ayrıca monoterpene ve fenilpropenler, seskiterpen ve alkollere kısımlandığında asetilkolinesteraz aktivitesi üzerindeki inhibitör etkisi ile güçlü bir nematosisidal aktivite gösterdiği belirtilmektedir (El-Habashy et al., 2020). Çalışmada domates köklerinde *S. conatum*'dan sonra en çok gal ve yumurta paketi oluşumu *A. graveolens* uçucu yağ uygulaması yapılan köklerde belirlenmiştir. Kepenekçi & Dura (2017) Yalova ilinde serada yetiştirilen *A. graveolens* köklerinde *M. incognita* tespit etmişler ve Türkiye için yeni konukçu olarak bildirilmiştir. Göze Özdemir et al. (2021) ise *in vitro* koşullarda *A. graveolens* uçucu yağının *P. penetrans* ve *Pratylenchus thornei* (Sher et Allen) 1953 üzerinde %45'den daha yüksek etkinlik gösterdiğini bildirmişlerdir.

Bu çalışmada Apiaceae familyası bitkileri *F. pauciradiata*, *F. vulgare*, *H. platytaeniium* ve *K. anatolica* meyvelerinin uçucu yağlarının *M. incognita* ile mücadelede doğal nematisit olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir. Ancak bu 4 uçucu yağın ana bileşenleri karşılaştırıldığında aralarında benzerlik tespit edilememiştir. Sadece *F. pauciradiata* (%20.6) ve *K. anatolica* (%27.9) uçucu yağ bileşenlerinde α -pinene'nin ortak olduğu görülmektedir (Çizelge 1). *Coriandrum sativum* uçucu yağ bileşeninde de %10.0 oranında α -pinene belirlenmiş olmasına rağmen (Çizelge 1) çalışmamızda *C. sativum*'un *M. incognita* üzerinde nematoksik etkisi düşük saptanmıştır. Oysaki *in vitro* çalışmada *C. sativum*'un Kök lezyon nematodlarında % 50'nin üzerinde nematisidal etki gösterdiği belirlenmiştir (Göze Özdemir et al., 2021). Bu durum, nematisidal aktivitenin uçucu yağları oluşturan bileşenlerin tek başına etkilerinden ziyade bileşenler arasındaki sinerjik etkiden olabileceği ihtimalini güçlendirmektedir. Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde uçucu yağların gösterdiği nematoksik etkinin uçucu yağ bileşenlerinin girdiği terpenoid grubuna, ana bileşenlere ve bileşenlerin sinerjistik yada antagonistik etkisine göre değiştiği ve monoterpenlerin *M. incognita*'ya karşı potansiyel doğal nematisit kaynağı olduğu anlaşılmıştır (Kong et al., 2006; Siddiqui & Zaki, 2017; El-Habashy et al., 2020).

Araştırmada *Meloidogyne incognita* mücadelesinde *F. pauciradiata* ve *F. vulgare* uçucu yağlarının ümitvar olduğu tespit edilmiştir. Bu uçucu yağlar ile daha ayrıntılı çalışmalar yürütülerek arazi performanslarının belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca bu uçucu yağların bileşenlerinin tek ya da birbiriyle kombinasyonlarının *M. incognita* üzerinde etkisinin araştırılmasıyla daha kuvvetli nematisidal aktivitelerin ortaya çıkartılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Adam, M. A. M., M. S. Phillips & V. C. Blok, 2007. Molecular diagnostic key for identification of single juveniles of seven common and economically important species of root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.). *Plant Pathology*, 56: 190-197. Doi: 10.1111/j.1365-3059.2006.01455.x
- Aslan, A., & İ. H. Elekcioglu, 2022. Biochemical and molecular identification of root-knot nematodes in greenhouse vegetable areas of Eastern Mediterranean Region (Turkey). *Turkish Journal of Entomology*, 46 (1): 115-127.
- Bai, P.H., C.Q. Bai, Q.Z. Liu, S.S. Du & Z.L. Liu, 2013. Nematicidal activity of the essential oil of *Rhododendron anthopogonoides* aerial parts and its constituent compounds against *Meloidogyne incognita*. *Zeitschrift für Naturforschung*, 68 (c): 307-312.
- Bartlem, D. G., M.G. Jones & U.Z. Hammes, 2014. Vascularization and nutrient delivery at root-knot nematode feeding sites in host roots. *Journal of Experimental Botany*, 65 (7): 1789-1798. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert415>
- Brodie, B.B., K. Evans & J. Franco, 1993. "Nematode Parasites of Potato, 87-132". In: *Plant Parasitic Nematodes in Temperate Agriculture* (Eds. K. Evans, D. L. Trudgill & J.M. Webster). CAB International, Wallingford, UK, 656 pp.
- Cavanagh, H. & M.A. Cavanagh, 2007. Antifungal activity of the volatile phase of essential oils: A brief review, *Natural Product Communications*, 2: 1297-1302.
- Cayrol, J.C., C. Djian & L. Pijarowski, 1989. Study of the nematicidal properties of the culture filtrate of the nematophagous fungus *Paecilomyces lilacinus*. *Revue de Nematologie*, 12 (4): 331-336.
- Chitwood, D.J., 2002. Phytochemical based strategies for nematode control. *Annual Review Of Phytopathology*, 40 (1): 221-249.
- D'Addabbo, T., T. Carbonara, M.P. Argentieri, V. Radicci, P. Leonetti, L. Villanova & P. Avato, 2013. Nematicidal potential of *Artemisia annua* and its main metabolites. *European Journal of Plant Pathology*, 137 (2): 295-304.
- Devran, Z. & M.A. Söğüt, 2009. Distribution and identification of root-knot nematodes from Turkey. *Journal of Nematology*, 41 (2): 128-133.
- Dias, C.R., S.L. Maciel, J.B. Vida & C.A. Scapim, 1988. Efeito de quatro espécies de plantas medicinais sobre *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 em protegido. *Nematologia Brasileira*, 22 (2): 58-65.

- Dorman, H.J.D. & S.G. Deans, 2000. Antimicrobial agents from plants: Antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal Applied Microbiology*, 88 (2): 308-316.
- Echeverrigaray, S., J. Zacaria & R. Beltrão, 2010. Nematicidal activity of monoterpenoids against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Phytopathology*, 100 (2): 199-203.
- Eder, R., E. Consoli, J. Krauss & P. Dahlin, 2021. Polysulfides Applied as Formulated Garlic Extract to Protect Tomato Plants against the Root-Knot Nematode *Meloidogyne incognita*. *Plants*, 10 (2): 394-494.
- EI-Habashy, D.E., M.A.A. Rasoul & S.A. Abdelgaleil, 2020. Nematicidal activity of phytochemicals and their potential use for the control of *Meloidogyne javanica* infected eggplant in the greenhouse. *European Journal of Plant Pathology*, 158 (2): 381-390. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02079-6>
- Evlice, E. & Ş .Bayram, 2016. Identification of root-knot nematode species (*Meloidogyne* spp.) (Nemata: Meloidogynidae) in the potato fields of Central Anatolia (Turkey) using molecular and morphological methods. *Türkiye Entomoloji Bülteni*, 6 (4):339-347.
- Faria, J. M. S., I. Sena, B. Ribeiro, A. M. Rodrigues, C. M. N. Maleita, I. Abrantes & A. C.da Silva Figueiredo, 2016. First report on *Meloidogyne chitwoodi* hatching inhibition activity of essential oils and essential oils fractions. *Journal of Pest Science*, 89 (1): 207-217. <https://doi.org/10.1007/s10340-015-0664-0>
- Geç, S., F.G. Göze Özdemir & B. Yaşar, 2018. "İn vitro koşullarda bazı bitkisel yağların *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) ırk 2'ye karşı nematisidal etkilerinin belirlenmesi, 78-87". *Proceeding Book of 6th International Congress of Agriculture and Environment*, 11-13 October, Antalya, Turkey, 469 pp.
- Ghezelbash, N. & M. Abdolahi, 2013. In vitro inhibition of Root-knot nematode, *Meloidogyne javanica* by aqueous extract of *Zataria multiflora* and *Ferulago angulata* and some of their compounds. *Journal of Research in Plant Pathology*, 2 (1): 51-60.
- Göze Özdemir, F. G., B. Tosun, A. Şanlı & T. Karadoğan, 2021. Türkiye'de yetişen bazı Apiaceae türlerinin uçucu yağlarının Kök lezyon nematodlarına karşı nematisidal aktiviteleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 31 (2): 425-433. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.796093>
- Göze Özdemir, F. G., Ş. E. Arıcı & İ. H. Elekcioğlu, 2022. Interaction of *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) (Nemata:Meloidogynidae) and *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* Jarvis & Shoemaker in tomato F1 hybrids with differing levels of resistance to these pathogens. *Turkish Journal of Entomology*, 46 (1): 63-73.
- Göze Özdemir, F.G. & G. Uysal, 2018. *Meloidogyne incognita* ırk 2'nin farklı inokulasyon yoğunluklarının bazı dayanıklı biber hatlarında reaksiyonu. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 55 (2): 161-170. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.408828>
- Gupta A., S. Sharma & S.N. Naik, 2011. Biopesticidal value of selected EOs against pathogenic fungus, termites, and nematodes. *International Biodeterioration Biodegradation*, 65 (5): 703-707.
- Gürkan, B., R. Çetintaş & T. Gürkan, 2019. Gaziantep ve Osmaniye Sebze Alanlarında Bulunan Kök-ur Nematodu Türleri (*Meloidogyne* spp.)'nin Teşhisi ile Bazı Nematod Popülasyon İrklarının Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütcü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22 (Ek sayı 1): 113-124. (in Turkish with abstract in English).
- Hallmann, J. & S. Kiewnick, 2018. Virulence of *Meloidogyne incognita* populations and *Meloidogyne enterolobii* on resistant cucurbitaceous and solanaceous plant genotypes. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 125 (4): 415-424.
- Hemaiswarya, S., A.K. Kruthiventi & M. Doble, 2008. Synergism between natural products and antibiotics against infectious diseases. *Phytochemistry*, 15 (8):639-652.
- Hoet, S., C. Ste´vigny, M.F. He´rent & J. Quetin-Leclercq, 2006. Antitrypanosomal compounds from leaf essential oil of *Strychnos spinosa*. *Planta Medica*, 72 (5): 480-482.
- Ipek, E., H. Zeytinoglu, S. Okay, B.A.Tuyulu, M. Kurkcuoğlu & K.H.C Baser, 2005. Genotoxicity and antigenotoxicity of Origanum oil and carvacrol evaluated by Ames Salmonella/microsomal test. *Food Chemistry*, 93 (3): 551-556.
- Javed, N., S.R. Gowen, M. Inam-ul-Haq & S.A. Anwar, 2007. Protective and curative effect of neem (*Azadirachta indica*) formulations on the development of root-knot nematode *Meloidogyne javanica* in roots of tomato plants. *Crop Protection*, 26 (4): 530-534.
- Kabera, J.N., E. Semana, A.R. Mussa & X. He, 2014. Plant secondary metabolites: Biosynthesis, classification, function and pharmacological properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2 (7): 377-392.

- Kepenekci, I., D. Erdoğan & P. Erdoğan, 2016. Effects of some plant extracts on root-knot nematodes in vitro and in vivo conditions. *Turkish Journal of Entomology*, 40 (1): 3-4.
- Kepenekci, İ. & O. Dura, 2017. *Anethum graveolens*, a new host of Root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in Turkey. *Pakistan Journal of Nematology*, 35 (2): 215-216. <http://dx.doi.org/10.18681/pjn.v35.i02.p215-216>
- Kong J., Lee S., Moon Y., Lee S., & Ahn Y. (2006). Nematicidal activity of plant EOs against *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: aphelenchoididae). *Journal of Asia Pacific Entomology*, 9 (2): 173-178.
- Lang, G. & G. Buchbauer, 2012. A review on recent research results (2008-2010) on essential oils as antimicrobials and antifungals. *Flavour Fragrance Journal*, 27 (1): 13-39.
- Langeveld, W.T., E.J.A. Veldhuizen & S.A. Burt, 2014. Synergy between essential oil components and antibiotics: a review. *Critical Reviews in Microbiology*, 40 (1): 76-94, DOI: 10.3109/1040841X.2013.763219
- Marotti, M. & R. Piccaglia, 1992. The influence of distillation conditions on the essential oil composition of three Varieties of *Foeniculum vulgare* Mill. *Journal of Essential Oil Research*, 4 (6): 569-576.
- Menjivar, R.D., A.A. Dababat & R.A. Sikora, 2012. Biological control of *Meloidogyne incognita* on cucurbitaceous crops by the non-pathogenic endophytic fungus *Fusarium oxysporum* strain162. *International Journal of Pest Management* 57 (3): 70-72.
- Miladi, H., T. Zmantar, B. Kouidhi, Y.M.A. Al Qurashi, A. Bakhrouf & Y. Chaabouni, 2017. Synergistic effect of eugenol, carvacrol, thymol, p-cymene and γ -terpinene on inhibition of drug resistance and biofilm formation of oral bacteria. *Microbial Pathogenesis*, 112: 156-63.
- Ntalli, N.G., F. Ferrari, I. Giannakou & U. Menkissoglu-Spiroudi, 2010. Phytochemistry and nematicidal activity of the essential oils from 8 Greek Lamiaceae aromatic plants and 13 terpene components, *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 58 (13): 7856-7863.
- Ntalli, N.G., F. Ferrari, I. Giannakou & U. Menkissoglu-Spiroudi, 2011. Synergistic and antagonistic interactions of terpenes against *Meloidogyne incognita* and the nematicidal activity of EOs from seven plants indigenous to Greece. *Pest Management Science*, 67 (3): 341-351.
- Oka, Y., S. Nacar, E. Putievsky, U. Ravid, Z. Yaniv & Y. Spiegel, 2000. Nematicidal activity of essential oils and their components against the root-knot nematode. *Phytopathology*, 90 (7): 710-715.
- Ozdemir, E. & U. Gozel, 2017. Efficiency of some plant essential oils on root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 7 (3): 178-183.
- Özarslandan, A. & İ. H. Elekcioğlu, 2010. Identification of the Root-knot nematode species (*Meloidogyne* spp.) (Nemata: Meloidogynidae) collected from different parts of Turkey by molecular and morphological methods. *Turkish Journal of Entomology*, 34 (3): 323-335.
- Pardavella, I., D. Daferera, T. Tselios, P. Skiada & I. Giannakou, 2021. The use of essential oil and hydrosol extracted from *Cuminum cyminum* seeds for the control of *Meloidogyne incognita* and *Meloidogyne javanica*. *Plants*, 10 (1): 46-60. <https://doi.org/10.3390/plants10010046>
- Saad, A.S.A., M.B., Al-Kadi, A.A.A. Deebes & A.M. El-Kholy, 2018. Nematicidal performance of certain organic and inorganic compounds against *Meloidogyne incognita* infecting okra plants. *Pakistan Journal of Nematology*, 36 (2): 177-189. <http://dx.doi.org/10.18681/pjn.v36.i02.p177-189>
- Santana-Rios, G., G.A. Orner, A. Amantana, C. Provost, S.Y. Wu & R.H. Dashwood, 2001. Potent antimutagenic activity of white tea in comparison with green tea in the Salmonella assay. *Mutation Research*, 495 (1-2): 61-74.
- Sellami, S., L. Reguieg & T. Dahmane, 2013. Effectiveness of essential oils of *Mentha spicata* (Lamiaceae) and *Foeniculum vulgare* (Apiaceae) against *Meloidogyne incognita* (Nematoda: Meloidogynidae). *Bulletin de la Société zoologique de France*, 138 (1/4): 139-149.
- Siddiqui, A. & M.J. Zaki, 2017. Efficacy of some seeds of family apiaceae against root knot Nematode, *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 14 (1): 89-94.
- Stavropoulou, E., E. Nasiou, P. Skiada & I.O. Giannakou, 2021. Effects of four terpenes on the mortality of *Ditylenchus dipsaci* (Kühn) Filipjev. *European Journal of Plant Pathology*, 160 (1): 137-146. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02229-4>
- Stein S.E., 1990. National Institute of Standards and Technology (NIST) Mass Spectral Database and Software, Version 3.02, Juen USA.

- Tapia-Vázquez, I., A. C. Montoya-Martínez, D. los Santos-Villalobos, M. J. Ek-Ramos, R. Montesinos-Matías & C. Martínez-Anaya, 2022. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) a threat to agriculture in Mexico: biology, current control strategies, and perspectives. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 38 (2): 1-18.
- Tsao, R. & Yu Q. 2000. Nematicidal activity of monoterpenoid compounds against economically important nematodes in agriculture. *Journal of Essential Oil Research*, 12 (3):350-354.
- Turatto, M.F., F.D.S. Dourado, J.E. Zilli & G.R. Botelho, 2018. Control potential of *Meloidogyne javanica* and *Ditylenchus* spp. using fluorescent *Pseudomonas* and *Bacillus* spp. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49: 54-59. doi: [10.1016/j.bjm.2017.03.015](https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.03.015)
- Udo, I.A., M.I. Uguru, R.O. Ogbuji, & D.A. Ukeh, 2008. Sources of tolerance to root-knot nematode, *Meloidogyne javanica*, in cultivated and wild tomato species. *Plant Pathology Journal*, 7 (1): 324-329.
- Ultee, A., M.H.J. Bennik & R. Moezelaar, 2002. The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied Environment Microbiology*, 68 (4): 1561-1568.
- Uysal, G., M.A. Söğüt & İ.H. Elekçioğlu, 2017. Identification and distribution of root-knot nematode species (*Meloidogyne* spp.) in vegetable growing areas of Lakes Region in Turkey. *Turkish Journal of Entomology*, 41 (1): 105-122. <https://doi.org/10.16970/ted.91225>
- Wang, K.H., R. McSorley & N. Kokalis-Burelle, 2006. Effects of cover cropping, solarization, and soil fumigation on nematode communities. *Plant and Soil*, 286 (1): 229-243.
- Youssef, M., H. Abd Abd-EI-Khair & W.M. El-Nagdi, 2017. Management of root knot nematode, *Meloidogyne incognita* infecting sugar beet as affected by certain bacterial and fungal suspensions. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Special issue*: 293-301.
- Zhou, L., J. Wang, K. Wang, J. Xu, J. Zhao, T. Shan & C. Luo, 2012. Secondary metabolites with antinematodal activity from higher plants. In *Studies in Natural Products Chemistry*, 37: 67-114.