

Özgün makale (Original article)

Entomopatojen nematod *Steinernema feltiae* Filipjev, 1934 (Rhabditida: Steinernematidae)'nin çam yaprak arısına etkisi

Fatma Gül GÖZE ÖZDEMİR¹, Şükran OĞUZOĞLU^{2*}, Mustafa AVCI²

Effect of the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* Filipjev, 1934 (Rhabditida: Steinernematidae) on the pine sawfly

Öz: Bu çalışmada, entomopatojen nematod *Steinernema feltiae* Filipjev, 1934 (Rhabditida: Steinernematidae)'nin çam yaprak arısı *Neodiprion sertifer* (Geoffroy, 1785) (Hymenoptera: Diprionidae)'in larva ve pupa dönemleri üzerindeki etkileri laboratuvar ve arazi koşullarında araştırılmıştır. Çalışmada, ticari bir preparat olan Nematac (Bioglobal®)'in dört farklı konsantrasyonu [100 L suya 75, 125, 250 ve 500 milyon enfektif juvenil (IJ)] uygulanmıştır. Denemelerde kullanılan larvalar, Afyonkarahisar ili Dinar ilçesindeki kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarından toplanmıştır. Larva denemeleri laboratuvar ve arazi koşullarında, pupa denemeleri ise yalnızca laboratuvar koşullarında yürütülmüştür. İki yönlü varyans analizi sonuçlarına göre, biyolojik dönem ve doz faktörlerinin ölüm üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkileri belirlenmiştir. Yüksek doz uygulamaları (250 ve 500 milyon IJ), kontrol ve düşük dozlara kıyasla daha yüksek ölüm oranlarına neden olmuştur. Larva döneminde doğrudan ölüm meydana gelirken, pupa döneminde ergin çıkışının baskılanması yoluyla zararlının yaşam döngüsünün kesintiye uğradığı saptanmıştır. Laboratuvar koşullarında doz-etki ilişkisi belirgin biçimde ortaya konulurken, arazi koşullarında çevresel faktörlerin etkisiyle ölüm oranları daha düşük bulunmuştur. Elde edilen bulgular, *S. feltiae*'nin *N. sertifer* üzerinde çok evreli bir etki gösterdiğini ve zararlının larva ile pupa dönemlerinde popülasyon dinamiğini önemli ölçüde sınırlandırabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: biyolojik mücadele, entomopatojen nematod, *Neodiprion sertifer*, orman zararlısı

Abstract: In this study, the effects of the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* Filipjev, 1934 (Rhabditida: Steinernematidae) on the larval and pupal stages of the pine sawfly *Neodiprion sertifer* (Geoffroy, 1785) (Hymenoptera: Diprionidae) were investigated under both laboratory and field conditions. A commercial formulation, Nematac (Bioglobal®), was applied at four different concentrations [75, 125, 250, and 500 million

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma, Isparta, Türkiye

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği, Isparta, Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author): sukranoguzoglu@isparta.edu.tr

ORCID ID (Yazar sırasıyla): 0000-0003-1969-4041; 0000-0002-1816-8691; 0000-0001-6704-8947

Received (Alınış): 4 Mart 2026

Accepted (Kabul ediliş): 18 Mayıs 2026

infective juveniles (IJs) per 100 L of water]. The larvae used in the experiments were collected from *Pinus brutia* forests located in the Dinar district of Afyonkarahisar Province, Türkiye. Larval assays were conducted under both laboratory and field conditions, whereas pupal assays were performed only under laboratory conditions. According to the results of the two-way analysis of variance, both biological stage and dose had statistically significant effects on mortality. Higher doses (250 and 500 million IJs) resulted in significantly greater mortality compared to the control and lower doses. While direct mortality was observed during the larval stage, the pest's life cycle was disrupted at the pupal stage through the suppression of adult emergence. A clear dose–response relationship was observed under laboratory conditions, whereas mortality rates were lower under field conditions due to environmental factors. Overall, the findings demonstrate that *S. feltiae* exerts a multi-stage effect on *N. sertifer* and can significantly limit its population dynamics by affecting both larval and pupal stages.

Keywords: biological control, entomopathogenic nematode, *Neodiprion sertifer*, forest pest

Giriş

Ormanlarda zararlı yönetimi uzun süre kimyasal mücadele ve silvikültürel uygulamalara dayanmıştır. Bununla birlikte, pestisitlerin hedef dışı türlere olası etkileri, zararlı türlerde direnç oluşturması ve ekosistem kaynaklarına etkisine yönelik endişeler, Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) kapsamında sürdürülebilir bir alternatif olarak biyolojik mücadele etmenlerine ilgiyi artırmıştır (Lacey et al., 2015; Hajek & Shapiro-Ilan, 2018). Aynı zamanda Birleşmiş Milletler ve Avrupa Birliği'nin doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması konusunu vurgulaması da dikkatleri biyolojik mücadele etmenlerine çekmiştir (Wyckhuys et al., 2019; Skrzecz et al., 2024). Biyolojik mücadele çalışmalarında klasik yöntem olarak avcı ve parazitoitler kullanılmaktadır. Ancak zararlılar üzerindeki etkinliği, kullanım kolaylığı ve ticari preparatlarının yaygınlaşması nedeniyle entomopatojen organizmaların kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır (Lacey et al., 2015; Kenis et al., 2019).

Entomopatojen nematodlar (EPN) tarımsal sistemlerde birçok zararlıya karşı kullanılmasına rağmen, orman ekosistemlerinde kullanımları görece sınırlı kalmıştır (Williams, 2024). Orman habitatlarının karmaşık mikrokliması, düşük toprak sıcaklıkları, UV ışınlarına maruz kalma ve konukçu erişilebilirliğinin azalması, bu etmenlerin yerleşmesi ve kalıcılığı için önemli zorluklar oluşturmaktadır (Tarasco et al., 2023). Tüm bu kısıtlamalara rağmen, çeşitli çalışmalar umut verici sonuçlar bildirmiştir. *Steinernema feltiae*'nin iki ırkı ile *Heterorhabditis bacteriophora*'nın bir ırkının laboratuvar koşullarında *Dryocosmus kuriphilus* erginlerini enfekte edebildiği ve entomopatojen nematoda maruz kalan erginlerde yumurtlama sayısının azaldığı bulunmuştur (Şahin et al., 2020). *S. carpocapsae* ve *H. bacteriophora* türleri, fidanlık ve ağaçlandırma alanlarında büyük çam hortumlu böceği [*Hylobius abietis* L. (Coleoptera: Curculionidae)]'ne karşı yüksek etkinlik göstermiştir (Williams et al., 2013; Quinzo-Ortega et al., 2024). Tumialis et al. (2023), *Dendrolimus pini* (Linnaeus, 1767) (Lepidoptera: Lasiocampidae) larvalarına karşı yerel entomopatojen nematod izolatları olan *Steinernema feltiae* (Filipjev, 1934) ve

Heterorhabditis megidis (Poinar, Jackson & Klein, 1987) ile ticari preparatlar Nemamax (*Heterorhabditis downesi*), Entonem (*S. feltiae*) ve e-nema GmbH (*S. carpocapsae*)'yi sera ve arazi koşullarında denemişlerdir. Sera koşullarında *D. pini*'ye karşı enfeksiyon oranı en yüksek (> %80) olarak *S. feltiae* ZAG15 suşunda belirlenmiştir. Arazi denemelerinde ise ticari *S. feltiae* preparatı (Entonem) yüksek etkinlik göstermiş ve kışlayan *D. pini* larvalarının sayısında yaklaşık iki kat azalma sağlamıştır. Bir başka çalışmada lokal alanlarda meşe yaprakları ile beslenen *Thaumetopoea processionea* (Linnaeus, 1758)'ya (Lepidoptera: Notodontidae) karşı *S. feltiae* uygulamasının etkili olabileceği belirtilmiştir (Hein et al., 2023). Arazi koşullarında *Cephalcia falleni* (Dalman, 1832) (Hymenoptera: Pamphilidae) türü üzerinde *S. feltiae* ve *H. bacteriophora* yaklaşık %50 oranında ölüme neden olmuştur (Malinowski, 2011). Ghavamabad et al. (2026), 2023 ve 2024 yıllarında arazi denemelerinde, *Leucoma wiltshirei* Collenette, 1938 (Lepidoptera: Erebidae)'nin kışlayan larvaları için meşe ağaçlarının gövdelerine nematod süspansiyonları uygulamış ve en yüksek ölüm sırası ile *H. bacteriophora*, *Steinernema borjomiense* ve *Oscheius onirici* türlerinde olmuştur.

Çam yaprak arısı [*Neodiprion sertifer* (Geoffroy, 1785) (Hymenoptera: Diprionidae)] iğne yapraklarla beslenen önemli bir oligofag çam zararlısıdır. Avrupa, Asya ve Kuzey Amerika'da çam ormanlarında zarar yapmaktadır (Virtanen et al., 1996; Lyytikäinen-Saarenmaa, 1999; Davis et al., 2023; Selikhovkin et al., 2025). Zararlı, Türkiye'de Akdeniz, Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgelerinde *Pinus brutia* Ten. ve *P. nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe ormanlarında yayılış göstermektedir (Baş, 1973; Tosun, 1975; Çanakçıoğlu & Mol, 1998; Şimşek & Kondur, 2006; Aksu, 2010; Akıncı & Avcı, 2016). Zararlı, kışı yumurta döneminde geçirmekte ve yılda bir generasyon vermektedir. Larvalar mart sonu ile nisan ayı başından itibaren çıkış yapmaya başlamakta ve mayıs ortası-haziran başından sonbahara kadar ibreler arasında ve toprakta pupa döneminde geçirmektedir. Sonbaharda erginler çıkış yaparak yumurta bırakmaktadır (Avcı, 2007; Sarı, 2008; Akıncı & Avcı, 2016). *Neodiprion sertifer*, zaman zaman geniş alanlarda ve sıklıkla da küçük alanlarda yoğun popülasyon artışları gösterebilen önemli bir çam zararlısıdır. Özellikle genç çam plantasyonlarında, türün yaygın olarak bulunduğu ve yetişme ortamının zayıf olduğu sahalarda bazı yıllarda popülasyon yoğunluğu ciddi seviyelere ulaşmaktadır. Ağaçların ölümüne doğrudan yol açmamakta ancak önemli oranda büyüme kaybına neden olmaktadır. Zarara uğrayan ağaçlarda kabuk böceği zararlarında belirgin artış görülmektedir (Lyytikäinen-Saarenmaa, 1999; Çatal, 2011; Akıncı & Avcı, 2016; Avcı et al., 2022).

Neodiprion sertifer'e karşı ülkemizde entomopatojen organizmalardan funguslar (Tunca & Çaycı, 2024), bakteriyel preparatlar (Göktürk & Tozlu, 2019) ve virüsler (Yaman et al., 2001) üzerine çeşitli çalışmalar rapor edilmiştir. Buna karşın entomopatojen nematodların (Steinernematidae: Heterorhabditidae) bu zararlıya karşı kullanımına ilişkin bilgiler oldukça sınırlıdır. Bu nedenle entomopatojen

nematod *S. feltiae* Filipjev, 1934 (Rhabditida: Steinernematidae)'nin *N. sertifer* larva ve pupa dönemindeki etkinliği incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Böceklerin toplanması

Arazi çalışmaları Türkiye'nin iç batı kesiminde yer alan Afyonkarahisar-Dinar'da (38°02'45"K-30°04'57"D, 996 m) yürütülmüştür. Larvalar kızılçam (*Pinus brutia*) ormanından 22 Nisan 2024 tarihinde toplanmıştır. Laboratuvar denemeleri için *N. sertifer* larvaları sürgünlerde toplu beslediği için, bulunduğu sürgünler kesilerek havalandırılmalı plastik kaplara konulmuştur. Larvalar, baş kapsül büyüklükleri ve larva uzunluğu ile çizgi ve lekelerin varlığına göre dönemlerine ayrılmıştır (Akıncı, 2015). Denemelerde birinci ve üçüncü dönem larvalar kullanılmıştır. Kalan larvalar üzeri tül ile kapatılmış kaplara alınarak pupa dönemine geçinceye kadar kızılçam ibreleri ile beslenmiştir.

Laboratuvar çalışmaları

Çalışmada hem larva dönemi hem de pupa döneminde EPN uygulaması Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü Nematoloji Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Larva döneminde hem laboratuvar hem arazi, pupa döneminde ise sadece laboratuvar koşullarında denemeler gerçekleştirilmiştir.

Larvalardaki ölüm ile pupalarda çıkışa etkisi

Çalışmada ticari bir preparat olan Nematac (Bioglobal®)'in dört farklı dozu [100 L su başına 75, 125, 250 ve 500 milyon enfektif juvenil (IJs)] kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan dozlar (75–250 milyon IJs/100 L su), literatürde yaygın olarak kullanılan doz aralıkları temel alınarak belirlenmiştir (Uzun et al., 2021). En yüksek doz olarak seçilen 500 milyon IJs/100 L su, entomopatojen nematodların etkinliğinin doz artışıyla yükseldiği ve özellikle tarla koşullarında çevresel kayıpları telafi etmek amacıyla yüksek yoğunlukların gerekli olabileceği göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Bu doz aynı zamanda maksimum biyolojik etkinliğin ortaya konulması ve doz-cevap ilişkisinin üst sınırının değerlendirilmesi amacıyla çalışmaya dahil edilmiştir.

Farklı dozlara (75 milyon, 125 milyon, 250 milyon ve 500 milyon) ait süspansiyonlar 500 mL olacak şekilde ve her bir doz için 500 mL için Çizelge 1'de verilen IJs sayısına göre hazırlanmıştır. Denemeler, oda sıcaklığında, 6 cm çapındaki Petri kaplarında yürütülmüştür. Çalışma, her doz ve kontrol için beş tekerrürlü olacak şekilde tesadüf blokları deneme desenine göre gerçekleştirilmiştir. Her bir Petri kabı bir tekerrür olarak kabul edilmiş ve her tekerrür 10 larvadan oluşmuştur.

Çizelge 1. Farklı doz süspansiyonlarında bulunan enfektif juvenil (IJ) sayısı
Table 1. Number of infective juveniles (IJs) in different dose suspensions

Doz	IJs/500 mL
75 milyon	375.000
125 milyon	625.000
250 milyon	1.250.000
500 milyon	2.500.000

Larva denemeleri için Petri kaplarına yeterli miktarda kızılçam ibreleri konulduktan sonra larvalar yerleştirilmiştir. Konsantrasyonlar, tüm larvalar tamamen ıslanacak şekilde, yaklaşık 1 saniye süre ile sprey şişesi kullanılarak uygulanmıştır (Göze Özdemir et al., 2021). Her Petri kabına 0,5 mL nematod süspansiyonu uygulanmış olup, bu uygulama sırasıyla yaklaşık olarak uygulama dozlarına göre 375, 625, 1.250 ve 2.500 IJs içerecek şekilde ayarlanmıştır. Petri başına düşen IJ sayısını hesaplamak için $(500 \text{ mL de toplam IJs}/500) \times \text{uygulanan hacim (mL)}$ formülünden yararlanılmıştır. Uygulama öncesinde süspansiyonlar homojen dağılımın sağlanması amacıyla sürekli karıştırılmıştır. Yalnızca saf su ile muamele edilen larvalar kontrol grubunu oluşturmuştur. Gözlemlere uygulamadan 72 saat sonra başlanılmış ve yedinci güne kadar sürdürülmüştür. Gözlem günlerinde toplanan ölü larva bireylerinden nematodların izolasyonu için White trap yöntemi kullanılmış (Oliveira-Hofman et al., 2023) ve IJs'ler 15 gün sonra gözlemlenmiştir.

Laboratuvarında kızılçam ibreleri ile beslenen larvaların pupa dönemine geçişi kontrol edilmiştir. Yeterli sayıda pupanın elde edildiği 07 Mayıs 2024 tarihinde deneme kurulmuş ve her bir Petri kabı bir tekerrür olarak kabul edilerek bir tekerrürde 10 pupa kullanılmıştır. Ergin çıkışı oluncaya kadar Petri laboratuvar koşullarında 24°C'de inkübe edilmiştir. Ergin çıkışları 25 Ekim 2024 tarihinde başlamış, 6 Kasım 2024 tarihinde tamamlanmıştır. Açılan ve açılmayan pupa sayıları kaydedilmiştir.

Arazi çalışmaları

Çalışma *N. sertifer* zararı bildirilen Afyonkarahisar ili Dinar ilçesinde (38°02'45"K-30°04'57"D, 996 m) bulunan kızılçam ormanında kurulmuştur. Alanda inceleme yapıldıktan sonra larvaların yoğun olduğu ağaçlar belirlenmiştir. Her bir doz (75, 125, 250 ve 500 milyon IJs/100 L) ve kontrol için bir ağaç seçilmiş ve her ağaçta beş dal belirlenerek boyanmış ve deneme 26 Nisan 2024 tarihinde saat 19:00'da kurulmuştur. Deneme tarihine ait en yüksek sıcaklık 24°C, en düşük sıcaklık 6.8°C ve en düşük toprak sıcaklığı 4.6°C olarak gerçekleşmiştir (MGM, 2024). Laboratuvar denemesinde belirtildiği şekilde hazırlanan EPN doz süspansiyonları soğutucu çanta içerisinde buz kapları ile alana getirilmiştir. Dallarda larvaların yoğun olduğu yerlere sprey şişesi ile 1 saniye süre ile püskürtme yapılmış (Çizelge 1) ve larvaların kaçışının engellenmesi ve yırtıcı kuş vb. zararından da korunması amacıyla dal uygulama sonrası ince bir tülbent ile kaplanmıştır. EPN uygulamasından 72 saat sonra keseler budama makası yardımıyla dallardan kesilerek

laboratuvara getirilip ölü larvalar sayılmıştır. Toplanan larvalardan re-izolasyon için White trap yöntemi kullanılmış ve IJs'ler 15 gün sonra gözlemlenmiştir. Yaşayan bireyler ise içerisinde kızılçam iğne yaprakları bulunan kaplara konularak laboratuvarda yetiştirilmeye devam edilmiş ve pupa olma-olmama durumu ve pupadan çıkışlar takip edilmiştir. Açılan ve açılmayan pupa sayıları kaydedilmiştir.

Verilerin değerlendirilmesi

Ölü larva ve açılmayan pupa sayıları günlük olarak kaydedilmiş, ancak istatistiksel analizlerde kümülatif değerleri temsil etmesi nedeniyle yedinci gün verileri kullanılmıştır. Laboratuvar denemelerinden elde edilen veriler biyolojik dönem (birinci ve üçüncü dönem larva ile pupa) ve doz faktörleri kullanılarak iki yönlü varyans analizi (Two-way ANOVA) ile analiz edilmiştir. Arazi koşullarında yapılan denemelerde yüzde ölüm oranları, Abbott formülüne göre hesaplanmıştır (Rosenheim & Hoy, 1989). Ancak istatistiksel analizlerde ölü larva sayıları kullanılmıştır. Larva ölümü her uygulamada beş tekerrür üzerinden hesaplanmış ve grafiklerde ortalama \pm standart hata olarak verilmiştir. Ancak uygulama sonrası canlı kalan larvalar her uygulama için tek bir kapta birleştirildiğinden, pupa açılma ve ergin çıkışı verileri toplam sayılar üzerinden değerlendirilmiştir. Bu nedenle pupa açılma/ergin çıkış oranlarına ait hata çubukları binom dağılımı varsayımı altında hesaplanan standart hata değerleri (Binom SE) ile gösterilmiştir. Faktörler arası etkileşimler de modele dahil edilmiştir. Ortalamalar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır. Analizler IBM SPSS® Statistics (Version 20.0) paket programında gerçekleştirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Laboratuvar koşullarında larvalardaki ölüm ve pupadan çıkışa etkisi

Laboratuvar koşullarında elde edilen veriler biyolojik dönem (1. ve 3. dönem larva ile pupa) ve doz faktörleri kullanılarak iki yönlü varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre biyolojik dönem ($F = 28.064$, $p < 0.001$) ve doz ($F = 69.438$, $p < 0.001$) faktörlerinin ölüm üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkileri bulunmuştur. Buna karşılık biyolojik dönem x doz etkileşimi anlamlı bulunmamış, doz etkisinin biyolojik dönemlere göre değişmediği saptanmıştır ($F = 1.543$, $p = 0.162$) (Çizelge 2).

Çizelge 2. Laboratuvar koşullarında *Steinernema feltiae* dozlarının çam yaprak arısının dönemlerine etkisi

Table 2. Effects of *Steinernema feltiae* doses on the developmental stages of the pine sawfly under laboratory conditions

Varyasyon kaynakları	F değeri	P değeri
Dönem	28.064	0.000
Doz	69.438	0.000
Dönem x Doz	1.543	0.162

Steinernema feltiae'nin farklı dozlarının (375, 625, 1.250 ve 2.500 IJ/Petri; 0.5 mL süspansiyon) uygulandığı gruplarda hem birinci hem de üçüncü larva dönemlerinde ölü larva sayısının doz artışıyla birlikte yükseldiği belirlenmiştir. Birinci larva döneminde en yüksek ölüm 500 milyon IJs dozunda (9.8 ± 0.20 larva) gözlenirken, en düşük değer kontrol grubunda (2.0 ± 0.54 larva) belirlenmiştir. Benzer şekilde üçüncü larva döneminde de en yüksek ölüm 500 milyon IJs dozunda (9.8 ± 0.20 larva) kaydedilmiştir. Pupa döneminde ise kontrol grubunda açılmayan pupa gözlenmezken, tüm EPN doz uygulamalarında açılmayan pupa sayısının kontrol grubuna göre anlamlı derecede yüksek olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). Bununla birlikte, pupa döneminde uygulanan nematod dozları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Laboratuvar koşullarında *Steinernema feltiae* dozlarının larvalardaki ölüm ile pupalarda çıkışa etkisi

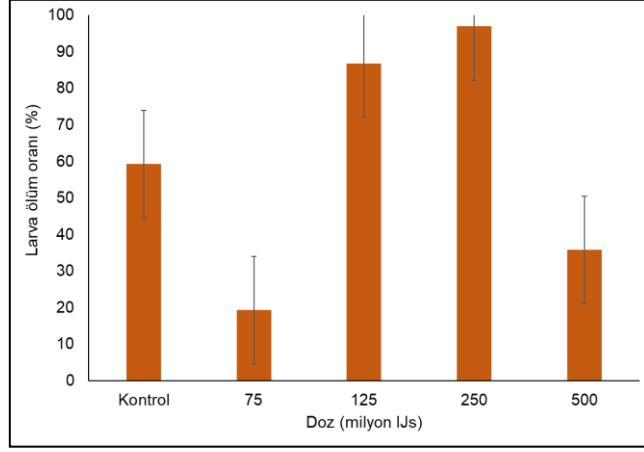
Table 3. The effect of different doses of *Steinernema feltiae* on larval mortality and emergence pupa under laboratory conditions

Doz/100 L su	Ortalama \pm SH		
	Birinci dönem ölü larva sayısı	Üçüncü dönem ölü larva sayısı	Açılmayan Pupa sayısı
Kontrol	2.0 ± 0.54 c	2.0 ± 0.31 d	0.0 ± 0.00 b
75 milyon IJs	7.8 ± 0.73 ab	6.8 ± 0.80 c	4.2 ± 1.84 a
125 milyon IJs	7.6 ± 0.50 b	7.4 ± 0.74 bc	7.0 ± 3.30 a
250 milyon IJs	9.4 ± 0.40 ab	9.2 ± 0.48 ab	5.8 ± 3.53 a
500 milyon IJs	9.8 ± 0.20 a	9.8 ± 0.20 a	6.4 ± 5.61 a

Her bir sütun içindeki farklı harfler, Tukey çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p < 0.05$).

Arazi koşullarında larvalarda ölüm etkisi

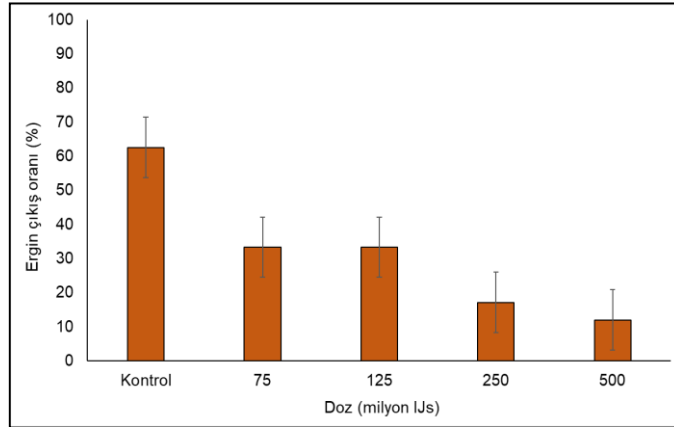
Arazi koşullarında *S. feltiae*'nin farklı dozlarının *N. sertifer*'in larva dönemindeki ölüm oranları Şekil 1'de görülmektedir. Ölüm oranları genel olarak doz artışı ile artış göstermiştir. 75 milyon IJs/100 L dozda %50, 125 milyon IJs/100 L dozda %79.3 ve 250 milyon IJs /100 L dozda ise %96,9 ölüm oranı saptanmıştır. Ancak 500 milyon IJs/100 L dozda ölüm oranı (%35.8) düşüş göstermiştir. Kontrol grubunda ise ölüm oranı %19.3'tür.



Şekil 1. Arazi koşullarında *Steinerma feltiae* uygulamasında larvalarda ölüm oranı yüzdesi
Figure 1. Percentage mortality rate of larvae in *Steinerma feltiae* application under field conditions.

Arazi koşullarında larva denemesi sonrası pupalardan çıkış oranları

Arazi uygulamasının sonrasında laboratuvar koşullarında pupa dönemine geçen bireylerin çıkışları kontrol edilmiş ve açılma oranları kaydedilmiştir. Kontrol grubundaki pupaların büyük kısmından (%62,5) ergin çıkışı olmuştur. Doz artışı ile birlikte ergin çıkış oranında azalma eğilimi gözlenmiştir. Ergin çıkış oranı 75 ve 125 milyon IJs/100 L dozlarında %33,3'e düşerken, 250 milyon IJs/100 L dozunda %17,1 ve 500 milyon IJs/100 L dozunda %12,0 olarak belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Arazi koşullarında *Steinerma feltiae* uygulamasına maruz kalan larvalardan gelişen pupalarda ergin çıkış oranı (%)
Figure 2. Adult emergence rate (%) of pupae derived from larvae exposed to *Steinerma feltiae* under field conditions

Neodiprion sertifer iğne yapraklarla beslenerek ağaçlarda önemli artım ve büyüme kayıplarına yol açan bir zararlıdır. Bu zararlının kızılçam ağaçlarında çapta %39-42 ve hacimde %71'e varan büyüme kayıplarına neden olduğu bildirilmektedir (Çatal, 2011; Avcı et al., 2022). Zararlıya karşı fungus, bakteri ve virüs gibi çeşitli entomopatojen organizmalar ile bazı çalışmalar yürütülmüş olsa da (Podgwaite et al., 1984; Yaman et al., 2001; Göktürk & Tozlu, 2019; Tunca & Çaycı, 2024), entomopatojen nematodlar üzerine yapılan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Oysa entomopatojen nematodların Diptera, Coleoptera, Blattodea, Hymenoptera, Lepidoptera ve Orthoptera takımlarına ait birçok zararlı tür üzerinde başarılı şekilde uygulanabildiği bildirilmektedir (Georgis et al., 1991; Peters, 1996; Georgis et al., 2006; Abate et al., 2017; Khan et al., 2020).

Bu çalışmada iki yönlü varyans analizi sonuçlarına göre biyolojik dönem ve doz faktörlerinin ölüm üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkileri olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık biyolojik dönem × doz etkileşimi anlamlı bulunmamıştır. Bu durum, *S. feltiae*'nin doz-etki ilişkisinin konukçu gelişim dönemleri arasında benzer bir eğilim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Doz ortalamalarının Tukey çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmesi sonucunda yüksek dozların (250 ve 500 milyon IJ/100 L) kontrol ve düşük dozlara göre anlamlı derecede daha yüksek ölüm oluşturduğu belirlenmiştir.

Entomopatojen nematodların konukçularına daha kolay giriş yapabildikleri için ergin öncesi dönemlerde daha etkin oldukları belirtilmektedir (Ramos-Rodríguez et al., 2006; Odendaal et al., 2016). Bu çalışmada hem larva hem de pupa dönemleri üzerinde denemeler yapılmış ve *S. feltiae*'nin *N. sertifer* üzerinde çok evreli bir etki gösterdiği belirlenmiştir. EPN uygulaması larva döneminde doğrudan ölüme neden olurken, aynı zamanda pupalarda ergin çıkışını baskılayarak zararlının yaşam döngüsünü kesintiye uğratmıştır.

Laboratuvar koşullarında yapılan larva denemelerinde belirgin bir doz-etki ilişkisi gözlenmiştir. Düşük dozlarda larva dönemleri arasında farklılık görülmüş ve birinci larva döneminde daha yüksek öldürücü etkinin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu durum konukçu duyarlılığı ile ilişkili olabilir. Nitekim EPN'nin böceklerde farklı larva dönemlerinde değişen etkinlik gösterebildiği belirtilmektedir (Labaude & Griffin, 2018). Bununla birlikte nematod yoğunluğu arttıkça larva dönemleri arasındaki farklılığın azaldığı ve öldürücülük etkisinin benzer düzeylere ulaştığı görülmüştür. Literatürde benzer sonuçlar bildirilmiştir. Karabörklü et al. (2015) çam kese böceğine karşı laboratuvar koşullarında *S. feltiae*'nin yerli bir izolatını kullanmış ve 100 IJs dozda %90, 500-1000 IJs dozda ise %100 ölüm oranı elde etmiştir. Gözel & Gözel (2019) tarafından yapılan bir çalışmada ise çam kese böceğine karşı *S. carpocapsae*, *S. feltiae* ve *H. bacteriophora* türleri uygulanmış ve 200 IJs dozda *S. feltiae*'nin yedinci gün sonunda %80 ölüm oranına ulaştığı bildirilmiştir. Benzer şekilde, çam ağaçlarında iğne yapraklarla beslenen *D. pini* larvalarına karşı laboratuvar koşullarında *S. feltiae* ve *Heterorhabditis megidis* uygulanmış ve *S. feltiae*'nin %86.7-100.0 arasında değişen yüksek bir etkinlik gösterdiği rapor edilmiştir (Tumialis et al., 2019).

Böceklerin gelişim dönemleri karşılaştırıldığında larva ve pupa evrelerinin erginlere göre entomopatojen nematodlara daha duyarlı olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte larvaların morfolojik ve fizyolojik özellikleri ile pupanın kutikula yapısı bu duyarlılığı etkileyebilmektedir (Labaude & Griffin, 2018). Bu çalışmada pupa denemelerinde doz ile pupaların açılmama oranı arasında doğrusal bir ilişki belirlenmemiştir. En yüksek etkinin görüldüğü 125 milyon IJs/100 L dozda açılmayan pupa oranı %70 iken, 250 milyon IJs/100 L dozda %58 ve 500 milyon IJs/100 L dozunda %64 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla yüksek dozlarda belirgin bir düşüş görülmemiştir. 250 ve 500 milyon IJs /100 L dozlarında etkinliğin nispeten azalması, pupa döneminde optimal bir nematod yoğunluğunun yeterli olabileceğini düşündürmektedir. Yüksek nematod yoğunluklarında bireyler arası rekabet veya konukçunun erken ölümü gibi faktörler nematod etkinliğini sınırlayabilmektedir. Bununla birlikte elde edilen sonuçlar, nematod uygulamasının zararlının yaşam döngüsünü kesintiye uğratarak popülasyon dinamiğini etkileyebileceğini göstermektedir. Benzer şekilde *Hylobius abietis*'in pupa döneminde *Heterorhabditis downesi* ve *S. carpocapsae* uygulanmış ve nematodların pupayı enfekte ederek erginlerde ölüme yol açabildiği gösterilmiştir (Williams et al., 2015).

Arazi koşullarında yapılan uygulamalarda ilk üç dozda yüksek ölüm oranları elde edilmiştir. En yüksek etki %96.9 ile 250 milyon IJs/100 L dozunda belirlenmiştir. Buna karşılık 500 milyon IJs/100 L dozunda ölüm oranının %35.8'e düştüğü görülmüştür. Bu durumun büyük ölçüde çevresel koşullardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Nitekim laboratuvar koşullarında aynı dozlarda %90'ın üzerinde ölüm oranı elde edilmiştir. Arazi denemelerinde elde edilen ölüm oranlarının laboratuvar sonuçlarına göre daha düşük olması sıcaklık dalgalanmaları, ultraviyole (UV) ışınımı ve diğer çevresel faktörlerin nematodların etkinliğini azaltabilmesi ile açıklanabilmektedir (Arthurs et al., 2004; Shapiro-Ilan et al., 2006; Wu et al., 2022). Ayrıca arazi denemesinde tekerrür sayısının sınırlı olmasının da sonuçları etkilemiş olabileceği düşünülmektedir.

Arazi koşullarında larvalara uygulanan *S. feltiae*'nin, larva döneminde ölüm oluşturmeyen bireylerde dahi pupa döneminde gelişimi baskılayarak ergin çıkışını engelleyebildiği belirlenmiştir. Doz arttıkça açılmayan pupa oranının artması, nematodların gecikmiş bir etki oluşturabileceğini göstermektedir. Larva döneminde enfekte olan ancak hemen ölmeyen bireylerde pupadan çıkışın gerçekleşmemesi, nematodların zararlının yaşam döngüsünün sonraki dönemlerini de etkileyebileceğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde Chen et al. (2025), *S. carpocapsae*'nin *O. furnacalis*, *Mythimna separata* ve *Spodoptera litura* pupalarına karşı subletal etkilerini incelemiş ve pupa döneminde enfekte olan bireylerde ergin yaşam süresinin azaldığını ve ovipozisyon kapasitesinin önemli ölçüde düştüğünü bildirmiştir. Ceconello et al. (2025) ise *S. cosmioides* üzerinde yaptıkları çalışmada farklı entomopatojen nematod izolatlarının pupa döneminde yüksek ölüm oluşturabildiğini ve konukçu üzerinde başarılı şekilde çoğalabildiğini göstermiştir.

Tumialis et al. (2023), sera koşullarında *D. pini* larvalarına karşı yerel entomopatojen nematod izolatı *S. feltiae* ZAG15'nin %80 üzeri etkinlik gösterdiğini

belirlerken, arazi denemelerinde ise ticari *S. feltiae* preparatı (Entonem) yüksek etkinlik göstermiş ve kışlayan *D. pini* larvalarının sayısında yaklaşık iki kat azalma sağlamıştır. Bu çalışmada ticari *S. feltiae* preparatı (Nematac) laboratuvar ve arazide gösterdiği performans ile *N. sertifer* üzerinde mücadelede ümit var olduğu düşünülmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada yerel bir izolat yerine ticari bir entomopatojen nematod preparatı tercih edilmiştir. Her ne kadar yerel izolatlar ekolojik uyum ve potansiyel etkinlik açısından bazı avantajlar sağlayabilse de bu izolatların kitle üretimi, kalite kontrol süreçleri ve ruhsatlandırılması önemli ölçüde zaman ve altyapı gerektirmektedir. Buna karşılık ticari preparatlar standartlaştırılmış içerikleri ve kolay temin edilebilir olmaları sayesinde hem laboratuvar hem de arazi koşullarında hızlı ve pratik bir uygulama imkânı sunmaktadır. Bu durum özellikle uygulamaya yönelik zararlı yönetimi programları açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Laboratuvar koşullarında ölüm oranının doza bağlı olarak arttığı, düşük dozlarda erken dönem larvaların daha duyarlı olduğu, doz arttıkça ise dönemler arası farkın ortadan kalktığı belirlenmiştir. Ayrıca, pupalarda ergin çıkışının önemli ölçüde baskılandığı saptanmıştır. Arazi koşullarında yapılan uygulamalar, nematod etkinliğinin belirli bir doza kadar arttığını, ancak bu dozun aşılması durumunda etkinliğin azaldığını göstermiştir. Bu durum, saha uygulamalarında optimal enfektif juvenil (IJ) yoğunluğunun belirlenmesinin önemini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, arazi uygulamasından sağ kurtulan larvalardan oluşan pupalarda da açılma oranlarının ciddi şekilde düştüğü belirlenmiş, nematodların gecikmiş etkisinin pupa döneminde de devam ettiği gösterilmiştir. Elde edilen bulgular, *S. feltiae*'nin yalnızca doğrudan larva döneminde ölüme yol açmayıp, aynı zamanda ergin döneme geçişini engelleyerek popülasyon dinamiğini baskılayabilecek bir biyolojik mücadele etmeni olabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, *S. feltiae*'nin bu zararlıya karşı biyolojik mücadele programlarında kullanılma potansiyelinin yüksek olabileceğini ve saha uygulamalarında daha geniş çaptaki denemeler ile uygun doz stratejilerinin belirlenmesinin önemini ortaya koymaktadır. Ayrıca yerel izolatların elde edilerek zararlıya ve hedef dışı organizmalara karşı patojenitesinin belirlenmesi gereklidir.

Teşekkür

Nematac (Bioglobal®)'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz. Bu çalışmanın bir bölümü 9. Uluslararası Entomopatojenler ve Mikrobiyal Mücadele Kongresi'nde (Ekim 2024, Trabzon) sunulmuştur.

Kaynaklar

- Abate B. A., M. J. Wingfield, B. Slippers & B. P. Hurley, 2017. Commercialisation of entomopathogenic nematodes: should import regulations be revised? *Biocontrol Science and Technology*, 27 (2): 149-168.
- Akıncı Z. & M. Avcı, 2016. *Neodiprion sertifer*'in Göller Bölgesi ormanlarında biyolojisi ve doğal düşmanları. *Turkish Journal of Forestry*, 17 (1): 30-36.
- Akıncı Z., 2015. *Neodiprion sertifer*'in Göller bölgesi ormanlarında biyolojisi, doğal düşmanları ve epidemilerin artım üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 86s.
- Aksu Y., 2010. Ağaçlandırma sahalarında *Pinus sylvestris*'lerde önemli zararlar yapan *Neodiprion sertifer* (Geoff.) (Hymenoptera; Diprionidae) üzerine yapılan araştırma. Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Orman Koruma ve Yangınla Mücadele Dairesi Başkanlığı Yayınları, Ankara.
- Arthurs S., K. M. Heinz & J. R. Prasifka, 2004. An analysis of using entomopathogenic nematodes against above-ground pests. *Bulletin of Entomological Research*, 94 (4): 297-306.
- Avcı M., 2007. Çam yaprak arıları *Diprion pini* L. ve *Neodiprion sertifer* (Geoff.) (Hymenoptera; Diprionidae)'in Göller Yöresindeki zararı, biyolojisi ve doğal düşmanları. Türkiye II. Bitki Koruma Kongresi, 27-29 Ağustos 2007, Isparta, s. 71.
- Avcı M., Z. E. Akıncı & Ş. Oğuzoğlu, 2022. *Neodiprion sertifer* (Geoffroy, 1785) (Hymenoptera: Diprionidae) salgınının kızılçamda çap artımı üzerine etkisi. *Turkish Journal of Forestry*, 23 (1): 30-37.
- Baş R., 1973. Türkiye'de orman ağaçlarına zarar yapan zar kanatlılar (Hymenoptera) üzerine araştırmalar. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara
- Çanakçıoğlu H. & T. Mol, 1998. Orman entomolojisi zararlı ve yararlı böcekler. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Çatal Y., 2011. Impacts of *Neodiprion sertifer* (Geoff., 1785) (Hymenoptera: Diprionidae) on growth and increment loss in young *Pinus brutia* (Ten.) generations. *Turkish Journal of Entomology*, 35 (3): 423-435.
- Cecconello D. M., P. S. Taguti, P. M. J. O. Neves & V. S. Alves, 2025. Efficiency of entomopathogenic nematodes applied to larvae and pupae of *Spodoptera cosmioides* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) under laboratory and greenhouse conditions. *Neotropical Entomology*, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5194747/v1>
- Chen G. M., A. Alam, C. Ge, K. A. Khan, H. A. Ghramh, J. Ali, A. Tonga, Q. Li & R. Chen, 2025. *Steinernema carpocapsae* as a promising biological control agent against *Spodoptera frugiperda* pupae. *Crop Protection*, 197: 107369.
- Davis J. S., A. N. Glover, K. M. Everson, D. R. Coyle & C. R. Linnen, 2023. Identification, biology, and management of conifer sawflies (Hymenoptera: Diprioninae) in eastern North America. *Journal of Integrated Pest Management*, 14 (1): 13.
- Georgis R., A. M., Koppenhöfer, L. A. Lacey, G. Bélair, L. W. Duncan, P. S. Grewal, M. Samish, L. Tan, P. Torr & R. W. H. M. Van Tol, 2006. Successes and failures in the use of parasitic nematodes for pest control. *Biological Control*, 38 (1): 103-123.
- Georgis R., H. K. Kaya, & R. Gaugler, 1991. Effect of steinernematid and heterorhahditid nematodes (Rahditida: Steinernematidae and Heterorhahditidae) on nontarget arthropods. *Environmental Entomology*, 20 (3): 815-822.
- Ghavamabad R. G., S. M. Zamani, Y. Ahangaran, & H. Askary, 2026. Efficacy of native entomopathogenic nematodes in the biological control of *Leucoma wiltshirei*

- (Lepidoptera: Erebidae) in oak forests of Iran. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 29 (1): 102530.
- Göktürk T., & G. Tozlu, 2019. The effect of *Pyrethrum* and *Bacillus thuringiensis* biopesticides on *Diprion pini* L. and *Neodiprion sertifer* (Geoffr.) (Hymenoptera: Diprionidae) larvae. *Pakistan Journal of Zoology*, 51 (3): 989-994.
- Göze Özdemir F. G., A. Uzun & O. Demirözer, 2021. *Steinernema feltiae* Filipjev ve *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar, 1976'nın *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824) üzerindeki etkinliğinin belirlenmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16 (2): 115-121.
- Gözel Ç. & U. Gözel, 2019. The efficacy of native entomopathogenic nematodes against the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff. (Lepidoptera: Thaumetopoeidae). *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 10 (2): 118-126.
- Hajek A. E., & D. I. Shapiro-Ilan, (Eds.) 2018. Ecology of invertebrate diseases. John Wiley & Sons.
- Hein N., A. A. Hainz, T. Wehren, & K. Fischer, 2023. Effects of an entomopathogenic nematode applied against *Thaumetopoea processionea* on non-target arthropods under field conditions. *Biological Control*, 179: 105177.
- Karabörklü S., A. Ayvaz, S. Yılmaz, U. Azizoglu, & M. Akbulut, 2015. Native entomopathogenic nematodes isolated from Turkey and their effectiveness on pine processionary moth, *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams. *International Journal of Pest Management*, 61 (1): 3-8.
- Kenis M., B.P. Hurley, F. Colombari, S. Lawson, J. Sun, C. Wilcken, R. Weeks & S. Sathyapala, 2019. Guide to the classical biological control of insect pests in planted and natural forests, FAO Forestry Paper No. 182. Rome, FAO.
- Khan M. R., I. Ahamad & M. H. Shah, 2020. Emerging important nematode problems in field crops and their management. In *Emerging trends in plant pathology* (pp. 33-62). Singapore: Springer Singapore.
- Labaude S. & C. T. Griffin, 2018. Transmission success of entomopathogenic nematodes used in pest control. *Insects*, 9 (2): 72.
- Lacey L. A., D. Grzywacz, D. I. Shapiro-Ilan, R. Frutos, M. Brownbridge, & M. S. Goettel, 2015. Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology*, 132: 1-41.
- Lyytikäinen-Saarenmaa P. 1999. Growth responses of Scots pine (Pinaceae) to artificial and sawfly (Hymenoptera: Diprionidae) defoliation. *Canadian Entomologist*, 131: 455-463.
- Malinowski H., 2011. Possibility of forest protection against insects damaging root systems with the use of biological method based on entomopathogenic nematodes and bacteria. *Sylvan*, 155: 104-111.
- MGM, 2024. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Toprak sıcaklıkları. <https://www.mgm.gov.tr/sondurum/en-dusuk-toprak-sicakliklar.aspx> (Erişim tarihi: 26 Nisan 2024).
- Odendaal D., M. F. Addison & A. P. Malan, 2016. Control of diapausing codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in wooden fruit bins, using entomopathogenic nematodes (Heterorhabditidae and Steinernematidae). *Biocontrol Science Technology*, 26 (11): 1504-1515.
- Oliveira-Hofman C., S. Steffan & D. Shapiro-Ilan, 2023. A sustainable grower-based method for entomopathogenic nematode production. *Journal of Insect Science*, 5 (4): 1-5.
- Peters A., 1996. The natural host range of *Steinernema* and *Heterorhabditis* spp. and their impact on insect populations. *Biocontrol Science and Technology*, 6 (3): 389-402.

- Podgwaite J. D., P. Rush, D. Hall & G. S. Walton, 1984. Efficacy of the *Neodiprion sertifer* (Hymenoptera: Diprionidae) nucleopolyhedrosis virus (Baculovirus) product, Neochek-S. *Journal of Economic Entomology*, 77 (2): 525-528.
- Quinzo-Ortega L. M., W. T. Swaney, R. Moore, R. Rae & C. D. Williams, 2024. Field trials of wild entomopathogenic fungi and commercial *Steinernema carpocapsae* on the large pine weevil (*Hylobius abietis* [L.]) including an assessment of non-target effects. *Insects*, 15 (12): 967.
- Ramos-Rodríguez O., J. F. Campbell & S. B. Ramaswamy, 2006. Pathogenicity of three species of entomopathogenic nematodes to some major stored-product insect pests. *Journal of Stored Products Research*, 42: 241-252.
- Rosenheim J. A. & M. A. Hoy, 1989. Confidence intervals for the Abbott's formula correction of bioassay data for control response. *Journal of Economic Entomology*, 82 (2): 331-335.
- Şahin Y. S., N. Gençer, & A. Susurluk, 2020. Control potentials of some entomopathogenic nematodes against Asian chestnut gall wasp, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, 1951 (Hymenoptera: Cynipidae). *Turkish Journal of Entomology*, 44 (4): 529-537.
- Sarı R., 2008. Isparta ormanlarında zararlı Lepidoptera ve Hymenoptera türleriyle mücadelede biyoteknik yöntemlerin kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 123s.
- Selikhovkin A. V., S. A. Merkuriev & Y. I. Gninenko, 2025. Outbreaks of pine sawflies in the northwest of the European Part of Russia and climate warming. *Biology Bulletin*, 52 (3): 100.
- Shapiro-Ilan D. I., R.J. Stuart & C. W. McCoy, 2006. A comparison of entomopathogenic nematode longevity in soil under laboratory conditions. *Journal of Nematology*, 38 (1): 119.
- Şimşek Z. & Y. Kondur, 2006. Çankırı ormanlarının zararlı böcekleri ve mücadele yöntemleri. *Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 6 (1): 105-107.
- Skrzecz I., A. Sierpińska & D. Tumialis, 2024. Entomopathogens in the integrated management of forest insects: from science to practice. *Pest Management Science*, 80 (6): 2503-2514.
- Tarasco E., E. Fanelli, C. Salvemini, Y. El-Khoury, A. Troccoli, A. Vovlas & F. De Luca, 2023. Entomopathogenic nematodes and their symbiotic bacteria: from genes to field uses. *Frontiers in Insect Science*, 3: 1195254.
- Tosun İ., 1975. Akdeniz Bölgesi iğne yapraklı ormanlarında zarar yapan böcekler ve önemli türlerin parazit ve yırtıcıları üzerinde araştırmalar. Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, İstanbul
- Tumialis D., A. Mazurkiewicz, L. Florczak & I. Skrzecz, 2023. The potential of entomopathogenic nematodes of the genera *Steinernema* and *Heterorhabditis* for biological control of the pine lappet moth *Dendrolimus pini* L. (Lepidoptera: Lasiocampidae) in Scots pine stands. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 96 (5): 733-739.
- Tumialis D., I. Skrzecz, A. Mazurkiewicz & E. Pezowicz, 2019. Sensitivity of caterpillars of the pine tree lappet moth *Dendrolimus pini* to native isolates of entomopathogenic nematodes. *International Journal of Pest Management*, 65 (4): 332-337.
- Tunca H., & D. Çayci, 2024. New approaches to the control of *Neodiprion sertifer* (Geoffroy, 1785) (Hymenoptera: Diprionidae). *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 28(2): 192-200.

- Uzun A., F. G. Göze Özdemir & O. Demirözer, 2021. Efficacy of the entomopathogenic nematode, *Steinernema feltiae* (Filipjev) (Rhabditida: Steinernematidae) on *Mecorhis ungarica* (Herbst, 1784) (Coleoptera: Rhynchitidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31: 1-4.
- Virtanen T., S. Neuvonen, A. Nikula, M. Varama & P. Niemelä, 1996. Climate change and the risks of *Neodiprion sertifer* outbreaks on scots pine. *Siva Fennica*, 30 (2-3): 169- 177.
- Williams C. D., A. B. Dillon, C. D. Harvey, R. Hennessy, L. Mc Namara & C. T. Griffin, 2013. Control of a major pest of forestry, *Hylobius abietis*, with entomopathogenic nematodes and fungi using eradicator and prophylactic strategies. *Forest Ecology and Management*, 305: 212-222.
- Williams C. D., A. B. Dillon, D. Ennis, R. Hennessy & C. T. Griffin, 2015. Differential susceptibility of pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae), larvae and pupae to entomopathogenic nematodes and death of adults infected as pupae. *Biocontrol*, 60 (4): 537-546.
- Williams C. D., 2024. Forest applications of entomopathogenic nematodes. In *Entomopathogenic Nematodes as Biological Control Agents* (pp. 436-453). GB: CABI.
- Wu S., Li Y., M. D. Toews, G. Mbata, & D. I. Shapiro-Ilan, 2023. Novel formulations improve the environmental tolerance of entomopathogenic nematodes. *Biological Control*, 186: 105329.
- Wyckhuys K. A., A. C. Hughes, C. Buamas, A. C. Johnson, L. Vasseur, L. Reymondin, J. P. Deguine & D. Sheil, 2019. Biological control of an agricultural pest protects tropical forests. *Communications Biology*, 2(1): 10.
- Yaman M., R. Nalçacıoğlu & Z. Demirbağ, 2001. Viral control of the European pine sawfly, *Neodiprion sertifer* (Geoffroy) in Turkey. *Turkish Journal of Biology*, 25 (4): 419-425.