



DOI: 10.22092/irm.2022.357190



تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۰۹/۳۰
تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۰۸/۲۵

پتانسیل نماتدهای بیمارگر حشرات برای کنترل شب پره شمشاد *Cydalima perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae)

ریحانه غلامی قوام آباد^{۱*}، محمدابراهیم فرآشینی^۲، علی اصغر طالبی^۳، سیده معصومه زمانی^۴،
یزدانفر آهنگران^۴، محرم هوشیار^۵ و مجید پدram^۶

چکیده

نماتدهای بیمارگر حشرات (EPNs) یکی از عوامل کنترل بیولوژیک آفات، برای مبارزه اصولی و حفظ تنوع زیستی هستند. پیشرفت در تولید انبوه و فناوری فرمولاسیون این نماتدها، کشف جدایه‌های مؤثر و مطلوبیت کاهش مصرف حشره‌کش‌های شیمیایی منجر به توسعه کاربرد نماتدهای بیمارگر حشرات در دنیا شده است. در نوشتار پیش‌رو، نمونه‌های موفقیت آمیز کنترل آفات راسته بالپولکداران با استفاده از نماتدهای بیمارگر حشرات در دنیا ذکر شده است. همچنین، پتانسیل بیماری‌زایی دو گونه نماتد جداسازی شده از رویشگاه‌های جنگلی شمال کشور روی آفت شب پره شمشاد *Cydalima perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae) در شرایط آزمایشگاهی بررسی شده است. مقادیر غلظت کشنده (LC50) در آزمون زیست‌سنجی آزمایشگاهی، ۴۸ ساعت پس از تیمار برای نماتدهای *Steinernema borjomiense* و *Oscseuius myriophilus* به ترتیب ۶۰/۱۶ و ۷۴/۵۳ (IJs larva⁻¹)، برای لارو سن پنجم آفت تعیین شد. نتایج این پژوهش، پتانسیل قابل توجه نماتدهای بیمارگر حشرات را در کنترل آفت شب پره شمشاد نشان می‌دهد. در زمینه کنترل بیولوژیک آفات با استفاده از EPNs در کشور، علاوه بر لزوم پیشرفت در زمینه شناسایی و ثبت جدایه‌های با بیماری‌زایی بالا، همچنین فناوری فرمولاسیون، استفاده از عوامل کنترل میکروبی باید از طریق آموزش، تغییرات عمده در الگوی استفاده از حشره‌کش‌ها، وضع قوانین و اعمال محدودیت‌های بیشتر در خصوص آفت‌کش‌های شیمیایی توسط سازمان‌های مربوطه توسعه یابد.

واژه‌های کلیدی: شمشاد، EPNs، کنترل بیولوژیک، جنگل‌های هیرکانی.

The potential of entomopathogenic nematodes to biological control of *Cydalima perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae)

R. Gholami Ghavamabad^{1*}, M.E. Farashiani², A.A. Talebi³, S.M. Zamani², Y. Ahangaran⁴, M. Hoshyar⁵ and M. Pedram⁶

Abstract

Entomopathogenic nematodes (EPNs) as biological control agents of pests offer an environmentally safe alternative. Advances in mass-production and formulation technology of EPNs, the discovery of numerous efficacious isolates, and the desirability of reducing pesticide usage have resulted in a surge of scientific and commercial interest in these nematodes. This paper will review the successful use of EPNs for the control of insect pests above ground in the world. So, the efficacy of two native isolates of EPNs was evaluated against *Cydalima perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae) in laboratory conditions. The lethal concentration 50 (LC50) values of the *Steinernema borjomiense* and *Oscseuius myriophilus* were 60.16 and 74.53 IJs/larva-1 on fifth instar larvae of *C. perspectalis*, respectively, after 48 hours at 25 °C and 60% relative humidity. These results revealed the good potential of EPNs in the biological control of *C. perspectalis*. In the field of biological pest control using EPNs in the country, in addition to the need for breakthroughs in the identification of EPNs isolates with high pathogenicity as well as formulation technology, the use of EPNs will need to be furthered through education, major changes in insecticides use pattern, legislative and further restrictions on chemical pesticides by organizations.

Keywords: *Buxus*, EPNs, biological control, Hyrcanian forests.

- *- نویسنده مسئول، پژوهشگر، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: reihanehgholami95@gmail.com
۲- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۳- دانشیار، گروه حشره شناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۴- کارشناس گیاهپزشکی، دفتر حفاظت و حمایت، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، چالوس، ایران.
۵- کارشناس پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گیلان، ایران.
۶- دانشیار، گروه بیماری‌شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

1*-Corresponding author, Research Expert, Research Institute of Forest and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: reihanehgholami95@gmail.com

2-Assistant Professor, Research Institute of Forest and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

3-Associate Professor, Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

4- Research Expert, Deputy of Protection and Conservation, Forest, Range and Watershed Management Organization, Chalous, Iran.

5- Research Expert, Guilan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

6- Associate Professor, Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.



مقدمه

نماتدها بی مهرگان پرسلولی از سلسله جانوران هستند که شاخه مستقل نماتدا (Nematoda) را تشکیل داده‌اند. آنها دارای سیستم دفعی، عصبی، گوارش و تولیدمثل و فاقد سیستم گردش خون و تنفس هستند. گروه‌های متعددی از نماتدها با انواع حشرات رابطه زیستی شامل فورتیک، انگل اجباری، انگل اختیاری و بیمارگر اجباری دارند (Gaugler, 2002). نماتدهای بیمارگر حشرات (entomo-EPNs) (pathogenic nematodes)، متعلق به دو جنس *Steinernema* Travassos و *Heterorhabditis* Poinar عوامل کنترل بیولوژیکی شناخته‌شده‌ای هستند که در خاک پراکنش دارند (Kaya et al., 2006). مطالعات سال‌های اخیر نشان داده است، برخی از گونه‌های جنس *Osccheius* Andrassy از خانواده Rhabditidae دارای باکتری‌های همزیست هستند و به‌عنوان نماتدهای بیمارگر حشرات عمل می‌کنند (Torres-Barragan et al., 2019; Lephoto & Gray, 2011). مرحله لاروی EPNs به‌عنوان لارو بیمارگر نماتد (IJs) نامیده می‌شود (Gaugler et al., 1992). Enterobacteriaceae خانواده باکتری‌های همزیست هستند (Koppenhöfer et al., 2020). نماتدهای بیمارگر حشرات از طریق شکاف‌های طبیعی (دهان، اسپیراکل‌ها، مخرج) یا نواحی نازک کوتیکول میزبان وارد حفره بدن میزبان حشرات می‌شوند و باکتری‌های همزیست را در دستگاه گوارش آزاد می‌کنند، باکتری به سرعت در همولنف حشره تکثیر می‌شود و توسط مواد ترش‌حی خود، حشره را طی ۴۸-۲۴ ساعت از بین می‌برد (Adams & Nguyen, 2002).

استفاده از فرمولاسیون‌های EPNs در ایالات متحده آمریکا، اروپا، آسیا و استرالیا رایج شده و کاربرد آنها در کنترل تعداد زیادی از آفات راسته بالپولکداران از جمله *Diaphania hyalinata* L. (Lep.: Crambidae) (Shannag & Capinera, 1995)، *Plutella xylostella* L. (Lep.: Plutellidae) (Schroer & Ehlers, 2005)، *Herpetogramma phaeopteralis* (Guenée)

(Lep.: Crambidae) (Tofangsazi et al., 2014)

و *Mamestra brassicae* L. (Lep.: Noctuidae)

(Beck et al., 2014) موفق بوده است.

در خصوص کاربرد EPNs در کنترل آفات جنگلی،

دو گونه نماتد *Steinernema carpocapsae*

(Weiser, 1955) و *Heterorhabditis bacte-*

riophora Poinar, 1976 از خاک جنگل‌های

کشور کره جنوبی جمع‌آوری شد و تأثیر آنها علیه

شب‌پره شمشاد ارزیابی شد (Choo et al.,

1991). آزمون حساسیت لارو *Cydalima*

perspectalis (Walker, 1859) (Lep.:

Crambidae) با غلظت‌های مختلف نماتد

H. bacteriophora و *S. carpocapsae*

به ترتیب ۹۷/۸-۱۰۰ درصد و ۹۸-۹۲ درصد

مرگ‌ومیر در شرایط آزمایشگاه ایجاد کرد.

تولید انبوه و انتشار نماتد *Deladenus siri-*

cidicola Bedding, 1968 برای کنترل آفت

Sirex noctilio Fabricius, 1793 (Hym.:

Siricidae) در جنگل‌های استرالیا با موفقیت

همراه بود (Bedding & Akhurst, 1974). در

پژوهشی دیگر، نماتد *Steinernema feltiae*

(Filipjev, 1934) هم در آزمایشگاه و هم

در شرایط صحرایی در برابر لارو سن سوم

آفت *Hyphantria cunea* (Drury) (Lep.:

Erebidae) در مکزیک ارزیابی شد و باعث

۱۰۰ درصد مرگ‌ومیر لاروها در آزمایشگاه و

۸۵ درصد مرگ‌ومیر لاروها در شرایط صحرایی

شد (Yamanaka et al., 1986). همچنین

تأثیر گونه‌های بیمارگر حشرات تجاری، شامل

S. carpocapsae (Nemaster®) و ماده فعال

آزادیراختین (Neem Azal®) روی لاروهای

C. perspectalis توسط Gottig و Herz

در سال ۲۰۱۸ بررسی شد، میزان مرگ‌ومیر در

آزمون زیست‌سنجی آزمایشگاهی برای لاروهای

سنین بالاتر توسط Nemaster® بین ۴۵-۱۰۰

درصد و در آزمون صحرایی حدود ۶۵-۱۶ درصد

(غلظت ۲/۵ میلیون نماتد در مترمربع) بود.

در حال حاضر، برخی گونه‌های EPNs به دلیل

امکان تولید انبوه در در بیوراکتورهای بزرگ

با استفاده از محیط‌های کشت مایع در کنترل

بیولوژیک آفات راسته بالپولکداران در دنیا استفاده

می‌شوند (Abate et al., 2017). در جدول ۱، به

نمونه‌های موفق کنترل بیولوژیک آفات با استفاده

از EPNs که در دنیا به‌صورت تجاری در آمده‌اند،

اشاره شده است.

رایج‌ترین روش استفاده از EPNs، استفاده گسترده

از مرحله IJs برای کنترل آفات داخل خاک است

(Lacey et al., 2015). کاربرد این نماتدها روی

اندام‌های هوایی به دلیل اشعه ماوراءبنفش یا خشک

شدن نماتدها محدودتر است (Shapiro-Ilan et

al., 2016)، با این حال، پیشرفت‌های چشمگیر

در تولید انبوه (Shapiro-Ilan et al., 2006)،

کاربرد نماتد در اوایل صبح یا اواخر بعدازظهر

(De Waal et al., 2017)، افزودن مواد همراه

(مانند فرمولاسیون‌های پلیمری سوپرچاذب)

(De Waal et al., 2013) و مرطوب کردن

محیط قبل و بعد از کاربرد (Odendaal et al.,

2016) کارایی این نماتدها را در پاشش هوایی

بهبود بخشیده است. نماتدهای بیمارگر حشرات

رامی توان با استفاده از بیشتر تجهیزات کشاورزی

از جمله سمپاش‌های مختلف استفاده کرد. زل

قابل پاشش (sprayable gel) با نام تجاری

Barricade® به‌عنوان مواد همراه EPNs و

سایر مواد افزودنی برای بهبود تأثیر EPNs در

اندام‌های هوایی گیاه از جمله کیتوزان (chitosan)

و فوم (wood flour foam) مطالعه شدند (van

Niekerk & Malan, 2015; Shapiro-Ilan

et al., 2017).

بیشترین بخش مطالعات مربوط به نماتدهای بیمارگر

حشرات در ایران تا به امروز شامل تحقیقاتی در

زمینه جداسازی و شناسایی جدایه‌های EPNs

از مناطق مختلف جغرافیایی کشور شامل *S.*

glaseri (Ebrahimi et al., 2011)، *S. feltiae*

(Steiner, 1929)، *S. carpocapsae*

(Karimi & Kharazi-pakdel, 2007)،

S. bicornutum Tallosi et al., 1995

(Eivazian Kary et al., 2010; Nikdel et

al., 2008)، *S. krausseii* (Steiner, 1923)

(Nikdel et al., 2011)، *S. arasbaranense*

(Nikdel et al., 2011) (Nikdel et al.,

2011). *H. bacteriophora* (Ebrahimi

& Niknam, 2011). *O. tipulae* Lam &

Webster, 1971 (Hassani-Kakhki et al.,

2012). *Osccheius rugaoensis* (Zhang

et al., 2012) (Darsouei et al., 2014).

O. necromenus (Sudhaus & Schulte,

1989) و *O. onirici* Torrin et al., 2015 و

O. tipulae Lam & Webster, 1971 (Valiza-

منبع	گیاه	نام علمی آفت	نماتد بیماری‌گر حشرات
Koppenhöfer et al. (2020)	درختان جنگلی، درختان میوه	<i>Synanthedon</i> spp. (Lep.: Sesiidae)	Hb, Sc, Sf
Koppenhöfer et al. (2020)	درختان میوه	<i>Amylois transitella</i> (Walker) (Lep.: Pyralidae)	Sc
Shapiro-Ilan et al. (2010)	سبزیجات	Lep.: Noctuidae	Sc, Sf, Sr
Koppenhöfer et al. (2020)	میوه سیب	<i>Cydia pomonella</i> (L.) (Lep.: Tortricidae)	Sc, Sf, Hz
Shapiro-Ilan et al. (2010)	سبزیجات	<i>Helicoverpa zea</i> (Boddie) (Lep.: Noctuidae)	Sc, Sf, Sr
Koppenhöfer et al. (2020)	باغ‌های میوه	<i>Chrysoteuchia topiaria</i> (Zeller) (Lep.: Crambidae)	Hb, Sc, Sf
Koppenhöfer et al. (2020)	سبزیجات	<i>Tuta absoluta</i> (Meyrick) (Lep.: Gelechiidae)	Hb, Sc, Sf
Koppenhöfer et al. (2020)	سبزیجات	<i>Agrotis ipsilon</i> (Hufnagel) (Lep.: Noctuidae)	Sc

Hb: *Heterorhabditis bacteriophora*, Hd: *H. downsi*, Hz: *H. zealandica*, Sc: *Steinernema carpocapsae*, Sf: *S. feltiae*, Sr: *S. riobrave*

همچنین مقادیر LC50 آنها توسط Has-sani-Kakhki و همکاران (۲۰۱۳) مطالعه شد. براساس فهرست آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز مهم محصولات عمده کشاورزی، آفت‌کش‌ها و روش‌های توصیه شده برای کنترل آنها توسط سازمان حفظ نباتات در سال ۱۴۰۰، تنها نماتد *S. carpocapsae* با نام تجاری کاپسانم، برای کنترل بید سیب‌زمینی *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lep.: Gelechiidae) ثبت شده است.

جنگل‌های هیرکانی یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های طبیعی گونه‌های گیاهی انحصاری از جمله شمشاد هیرکانی است که به لحاظ علمی، یا ضرورت حفاظت، اهمیت جهانی دارد (حسینی، ۱۳۹۸). شمشاد هیرکانی *Buxus hyrcana* Pojark دارای اهمیت خاصی در بین ذخایر جنگلی جهان و ایران است و در فهرست گونه‌های در معرض خطر انقراض جنگل‌های هیرکانی قرار دارد (Akhani et al., 2010). جنگل‌های انبوه شمشاد از نظر رطوبت بالا، زیستگاه بسیار مناسبی برای حیات انواع گونه‌های دیگر گیاهی و جانوری و بانک ژن بسیار غنی برای تحقیقات گسترده شناخته شده است (رجایی و همکاران، ۱۳۹۲). شمشاد هیرکانی در سال‌های اخیر در معرض آفت *C. perspectalis* قرار گرفته است. از عوامل مؤثر در خسارت، طغیان و انتشار آفت شب‌پره شمشاد در کشور می‌توان به خصوصیات رفتاری حشره

لاروها در مطالعات آزمایشگاهی با دو گونه *S. carpocapsae* و *H. bacteriophora* در لاروهای سن پنجم پروانه دم‌قهوه‌ای بلوط به ترتیب ۵۹/۲۳ و ۶۳/۳۱ درصد محاسبه

**بر اساس
فهرست آفات، بیماری‌ها و
علف‌های هرز مهم محصولات
عمده کشاورزی، آفت‌کش‌ها
و روش‌های توصیه شده برای
کنترل آنها توسط سازمان حفظ
نباتات در سال ۱۴۰۰، تنها نماتد
S. carpocapsae با نام تجاری
کاپسانم، برای کنترل بیدسیب‌زمینی
Phthorimaea operculella (Zeller)
(Lep.: Gelechiidae) ثبت شده
است.**

شد. توانایی بیماری‌زایی و تولیدمثل دو گونه نماتد *S. carpocapsae* و *H. bacteriophora* روی لارو کرم خراط *Zeuzera pyrina* L. توسط سالاری و کریمی (۱۳۹۲) در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. حساسیت پروانه *Phthorimaea operculella* (Zeller)، به پنج جدایه EPNs از جمله *S. carpocapsae*، *S. glaseri*، *S. feltiae* و *H. bacteriophora*

S. borjomiense Gorgadze et al., 2018 (Gholami Ghavamabad et al., 2021a) و *O. myriophilus* (Poinar, 1986) (Gholami Ghavamabad et al., 2021b) است. برخی مطالعات انجام شده در ارتباط با بیماری‌زایی گونه‌های بومی و تجاری EPNs روی آفات مهم در ایران از جمله *Synanthedon myopaeiformis* (Borkhausen) (Parvizi, 2003) و *Polyphylla olivieri* (Castelnau) (پرویزی، ۱۳۸۰)، *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Eivazian Kary et al., 2012)، *Curculio glandium* Marsham (Nikdel et al., 2008)، *Zeuzera pyrina* L. (سالاری و همکاران، ۱۳۹۵)، *Tuta absoluta* Meyrick (Abootorabi, 2014)، *Phthorimaea operculella* Zeller (Hassani-Kakhki et al., 2013) و *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Eivazian Kary et al., 2010) انجام شده است. در مطالعه نیکدل و همکاران (۱۳۹۳) بررسی و شناسایی فون نمادهای خانواده‌های *Heterorhabditidae* و *Steinemematidae* در جنگل‌های ارسباران به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رویشگاه‌های جنگلی کشور و تأثیر آنها روی پروانه دم‌قهوه‌ای بلوط و سرخرطومی میوه‌خوار بلوط ارزیابی شد. در این مطالعه، میانگین مرگ‌ومیر



(تک‌خواری)، سرعت انتشار، توانایی تحمل شرایط نامساعد محیطی، کم بودن تنوع و تعداد دشمنان طبیعی مؤثر در زمان طغیان آفت و نبود امکان استفاده از حشره‌کش‌های شیمیایی در اکوسیستم جنگلی اشاره کرد (مافی و همکاران، ۱۳۹۸). مدیریت تلفیقی آفات (Integrated Pest

(Management) IPM)، با در نظر گرفتن همه گزینه‌های مدیریت آفات، استراتژی مناسب و قابل اجرا روی آفات کشاورزی و جنگلی از نظر محیط‌زیستی و اقتصادی است (Dara, 2019). با توجه به گسترش سریع آفت مهاجم شب‌پره شمشاد و در معرض خطر قرار گرفتن شمشاد هیرکانی به این آفت مخرب، آگاهی در خصوص پتانسیل کنترل میکروبی با استفاده از

نماتدهای بیمارگر حشرات به مدیریت پایدار آفت در رویشگاه‌های شمال کشور کمک خواهد کرد. این پژوهش در رویشگاه‌های جنگلی شمشاد شمال کشور، با هدف بررسی عملکرد نماتدهای بیمارگر بومی روی آفت شب‌پره شمشاد (در آزمایشگاه) انجام شد. ● **مواد و روش‌ها** در آذر ماه سال ۱۳۹۸ از رویشگاه‌های شمشاد



شکل ۱- مناطق جمع‌آوری نماتدهای بیمارگر حشرات در رویشگاه‌های شمشاد آلوده به شب‌پره شمشاد در استان مازندران (اصلی)



شکل ۲- آزمون زیست‌سنجی تأثیر نماتدهای بیمارگر حشرات روی شب‌پره شمشاد و بازگشت مجدد نماتد در بدن لارو شب‌پره موم‌خوار (اصلی)

شکل ۳- خروج لاروهای بیمارگر نماتد از لاروهای سنین مختلف شب‌پره موم‌خوار و شب‌پره شمشاد به روش تله (White trap) (اصلی)



شکل ۴- تغییر رنگ بدن لارو شب‌پره شمشاد تحت تأثیر نماتد بیمارگر حشرات و خروج نماتد از بدن لاروها (اصلی)

(۲۰۱۲) تحت شرایط آزمایشگاهی انجام شد (شکل ۲). هر لارو با تیمارهای ۰، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ (1-IJs larva)، در ۱ میلی‌لیتر آب مقطر تلقیح شد. برای شاهد، فقط ۱ میلی‌لیتر آب مقطر استفاده شد. هر تیمار در ۲۰ چاهک با پنج تکرار انجام شد، بنابراین، ۱۰۰ چاهک برای هر تیمار استفاده شد. مرگ‌ومیر لاروها و علائم آلودگی به EPNS روزانه، طی ۶ روز ثبت شد. افراد مرده از تیمارها به تله (White trap) منتقل شدند تا مرگ‌ومیر ناشی از نماتد تأیید شود (شکل‌های ۳ و ۴). داده‌های حاصل از آزمایش در قالب طرح فاکتوریل در طرح پایه کاملاً تصادفی با نرم‌افزار SAS تجزیه واریانس شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام

شد. شمالی، ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی) در خرداد ماه ۱۳۹۹ جمع‌آوری شد. لاروها در اتاقک‌های رشد در ظروف به قطر ۲۵ سانتی‌متر و مجهز به دریوش توری نگهداری شدند (دمای ۲۴ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰ درصد، دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی). تخم‌ها و لاروهای سنین پایین *C. perspectalis* از درختان جمع‌آوری شد و پس از انتقال به آزمایشگاه، با تغذیه از برگ‌های شمشاد تازه، و رسیدن به سن موردنظر آفت، برای آزمون زیست‌سنجی استفاده شدند. حساسیت لاروهای سن دوم، سوم، چهارم و پنجم آفت به دو گونه نماتد بیمارگر حشرات با آزمون زیست‌سنجی یک‌طرفه (one-on-one as-) به روش Stock & Goodrich-Blairy (say

آلوده شب‌پره شمشاد در استان مازندران (شکل ۱)، جمعیت ایرانی نماتدهای *S. borjomiense* (accession number MW346653) و *O. myriophilus* (accession number MT897257, MW667590) به روش تله‌گذاری در لارو سن آخر شب‌پره موم‌خوار *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) جداسازی (Pyralidae White, 1927;) و به روش تله‌گذاری (Kaya & Stock, 1997) بازکشت نماتدها در بدن لارو *G. mellonella* انجام و لاروهای IJs در ظروف کشت بافت نگهداری شد. مراحل مختلف لاروی *C. perspectalis* از رویشگاه‌های درختان شمشاد *B. hyrcana* از شهر تالش، استان گیلان (۳۷ درجه و ۴۸ دقیقه

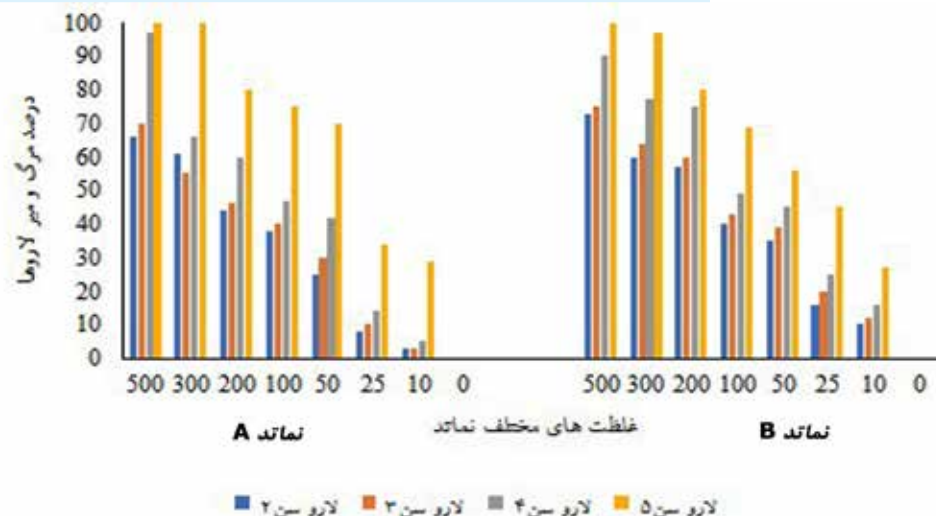


شد. مقادیر LC50 و LC90 مربوط به EPNs با استفاده از تجزیه و تحلیل پروبیت با استفاده از نرم افزار SPSS Statistics 17.0 برآورد شد.

● نتایج

زمان در معرض قرار گرفتن، غلظت نماتد و سن لارو افزایش یافته است. همچنین، نتایج این آزمایش در هر دو جدایه نماتد نشان داد، لارو سن پنجم نسبت به سایر مراحل لاروی آفت، حساسیت بیشتری دارد (شکل ۵).

آزمون زیست‌سنجی آزمایشگاهی نشان داد، هر دو جدایه EPNs در برابر لارو سن دوم، سوم، چهارم و پنجم آفت *C. perspectalis* مؤثر بوده و درصد مرگ و میر لاروها با افزایش



شکل ۵- درصد مرگ و میر لاروهای سنین مختلف *Cydalima perspectalis*، ۴۸ ساعت پس از تلقیح با نماتد *Steinernema borjomiense* A: و نماتد *Oscheius myriophilus* B: در شرایط آزمایشگاه

جدول ۲- مقادیر LC50 و LC90 نماتدهای بیمارگر حشرات در لارو *Cydalima perspectalis*

EPNs	<i>Cydalima perspectalis</i>	X ² (df=6)	P-value	Intercept±SE	Slope±SE	LC50	LC90
<i>S. borjomiense</i>	second instar larvae	58.69	0.000	-1.18±0.07	0.004±0.000	314.28 (209.12-591.37)	655.36 (454.51-1454.07)
<i>S. borjomiense</i>	third instar larvae	63.03	0.000	-1.11±0.07	0.004±0.00	288.71 (185.62-545.26)	619.63 (428.11-1392.99)
<i>S. borjomiense</i>	fourth instar larvae	67.94	0.000	-1.08±0.07	0.006±0.000	180.30 (108.40-299.31)	393.40 (281.98-743.58)
<i>S. borjomiense</i>	fifth instar larvae	83.66	0.000	-0.70±0.07	0.01±0.00	60.16 (1.52-129.90)	169.19 (109.98-481.48)
<i>O. myriophilus</i>	second instar larvae	57.38	0.000	-0.94±0.06	0.004±0.000	250.90 (153.34-457.00)	589.59 (408.80-1277.86)
<i>O. myriophilus</i>	third instar larvae	61.45	0.000	-0.86±0.06	0.004±0.00	227.90 (126.66-430.09)	566.88 (387.60-1301.76)
<i>O. myriophilus</i>	fourth instar larvae	66.70	0.000	-0.79±0.06	0.005±0.000	152.70 (68.1-267.1)	400.30 (280.2-802.7)
<i>O. myriophilus</i>	fifth instar larvae	72.18	0.000	-0.68±0.06	0.005±0.00	74.53 (20.70-133.71)	217.02 (150.92-438.99)

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف نماتد *Steinernema borjomiense* بر لاروهای سنین مختلف *Cydalima perspectalis*

منبع	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P-value
تیمار	۳۱	۱۵۵۰۶۵/۱	۵۰۰۲/۱	۳۴۷۲/۱	<۰/۰۰۰۱
خطا	۱۲۸	۱۸۴/۴	۱/۴۴		
کل	۱۵۹	۱۵۵۲۴۹/۵			
سنین لاروی	۳	۲۴۵۳۳/۴	۸۱۷۷/۸	۵۶۷۶/۵	<۰/۰۰۰۱
غلظت	۷	۱۲۴۰۹۴/۰	۱۷۷۲۷/۷	۱۲۳۰۵/۶	<۰/۰۰۰۱
سنین لاروی×غلظت	۲۱	۲۱۲/۷	۳۰۶/۵	۲۱۲/۷	<۰/۰۰۰۱

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف نماتد *Osccheius myriophilus* بر لاروهای سنین مختلف *Cydalima perspectalis*

منبع	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P-value
تیمار	۳۱	۱۳۸۳۱۱/۵	۴۴۶۱/۶	۱۷۸۲/۴	<۰/۰۰۰۱
خطا	۱۲۸	۳۲۰/۴	۲/۵		
کل	۱۵۹	۱۳۸۶۳۱/۹			
سنین لاروی	۳	۱۱۷۷۵/۷	۳۹۲۵/۲	۱۵۶۸/۱	<۰/۰۰۰۱
غلظت	۷	۱۳۳۸۶۸/۱	۱۷۶۹۵/۴	۷۰۶۹/۳	<۰/۰۰۰۱
سنین لاروی×غلظت	۲۱	۲۶۶۷/۷	۱۲۷/۰	۵۰/۷	<۰/۰۰۰۱

به دشمنان طبیعی و عدم آلودگی محیط زیست دارد. به طور کلی، مهم ترین عوامل موفقیت در این زمینه، شامل (۱) شناسایی نماتد مناسب برای آفت هدف، (۲) بهبود کاربرد EPNs (مدت ماندگاری، سازگاری با فناوری های کاربردی معمول) و (۳) اقتصاد مطلوب بوده است (Shapiro et al., 2002). سه رویکرد اساسی برای تولید تجاری EPNs شامل تولید داخل بدن حشرات مدل، استفاده از محیط آزمایشگاهی جامد و کاربرد محیط آزمایشگاهی مایع است (Shapiro et al., 2012). کاربرد محیط آزمایشگاهی مایع، کارآمدترین روش بوده و مستلزم بالاترین سطح هزینه های راه اندازی و تخصص است. با این حال، در برخی از کشورها، هزینه های کمتر نیروی کار و مواد خام باعث می شود استفاده

LC50 برای *S. borjomiense* در لارو سن پنجم آفت *C. perspectalis* (۶۰/۱۶) (IJs) $larva^{-1}$ به دست آمد، در حالی که بالاترین LC50 برای *S. borjomiense* در لارو سن دوم آفت به دست آمد (۳۱۴/۲۸) (IJs) $larva^{-1}$.

● نتیجه گیری نهایی و پیشنهادها

آثار مضر حشره کش های شیمیایی بر سلامت انسان و محیط زیست در مطالعات مختلف گزارش شده است. در طول چند دهه اخیر، تلاش های تحقیقاتی گسترده ای برای تجاری سازی EPNs در بسیاری کشورها انجام شده است. کاربرد این عوامل مزایای بسیاری نسبت به آفت کش های شیمیایی از جمله ایمنی انسان ها و موجودات غیرهدف، حداقل آسیب

آنالیز داده ها اختلاف معنی داری را بین غلظت های نماتد هر دو جدایه نماتد (P<0/0001) و سنین لاروی (P<0/0001) نشان داد. اثرهای متقابل این فاکتورها نیز معنی دار بود (P<0/0001) (جدول های ۳ و ۴). نماتد *S. borjomiense*، در غلظت ۵۰۰ IJs $larva^{-1}$ ، ۴۸ ساعت پس از تلقیح، به ترتیب باعث مرگ و میر ۱۰۰، ۹۷، ۷۰ و ۶۶ درصد لاروهای سن پنجم، چهارم، سوم و دوم آفت شب پره شمشاد و نماتد *O. myriophilus*، در همین غلظت و زمان، به ترتیب باعث مرگ و میر ۱۰۰، ۹۰، ۷۵ و ۷۳ درصد لاروهای سن پنجم، چهارم، سوم و دوم آفت شب پره شمشاد شد (شکل ۵). جدول ۲ مقادیر LC50 و LC90 را در ۴۸ ساعت پس از تیمار نشان می دهد. کمترین مقدار



از محیط کشت جامد بسیار سودآور باشد، بنابراین، این روش انتخاب شده است (Koppenhöfer et al., 2020). لاروهای مرحله بیمارگر نامتد باید بتوانند شرایط نامساعد محیطی را که معمولاً در طول کاربرد آنها در عرصه، با روش‌های معمول استفاده از تجهیزات رخ می‌دهد (مانند رطوبت، دما، قرار گرفتن در معرض اشعه ماوراء بنفش) تحمل کنند. کاربرد موفقیت‌آمیز این نامتدها روی اندام‌های هوایی گیاهان از جمله شاخه و برگ مستلزم استفاده از روش‌های مناسب برای به حداکثر رساندن ماندگاری و بیمارگری این نامتدها (از طریق کاربرد در زمان مناسب، نازل و سمپاش مناسب، استفاده از مواد همراه و یا ترکیبی از این سه روش) است (Platt et al., 2019). افزودن مواد ضدخشکی و سایر مواد همراه برای کنترل آفات روی برگ از جمله *Plutella xylostella* L. (Lep.: Plutellidae) (Schroer & Ehlers, 2005)، *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lep.: Noctuidae) و *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lep.: Noctuidae) (Navon et al., 2002) کارایی برنامه‌های کاربردی EPNs را بهبود بخشیده است. یکی از عوامل اصلی موفقیت در کاربرد EPNs، رطوبت است، زیرا بقای نامتدها در محیط‌های مرطوب (مانند جنگل‌های بارانی یا گلخانه‌ها) طولانی‌تر و در اقلیم‌های خشک‌تر کوتاه‌تر است (Arthurs et al., 2004). جنگل‌های هیرکانی در شمال ایران دارای شرایط منحصربه‌فرد از این لحاظ، بارندگی سالانه بالا، خاک حاصلخیز، آب‌وهوای معتدل مرطوب و ظرفیت رشد بالا است (Marvie Mohajer, 2004). همچنین، براساس مطالعات van der Linden و همکاران (۲۰۲۲) شاخ و برگ متراکم درختچه‌های شمشاد، به دلیل فراهم کردن رطوبت بالا و حفاظت در برابر نور مستقیم خورشید، کنترل آفات با استفاده از نامتدهای بیمارگر حشرات را تسهیل می‌کند. افزایش دانش ما در مورد تنوع گونه‌ای نامتدهای بیمارگر حشرات در جنگل‌های هیرکانی فرصت‌های گسترده‌ای را برای انجام تحقیقات بنیادی یا کاربردی فراهم می‌کند و در نهایت منجر به بینش جدیدی برای برنامه‌های کنترل

بیولوژیک آفات می‌شود. در این پژوهش، استفاده از نامتدهای بیمارگر حشرات بومی رویشگاه‌های شمشاد شمال کشور متعلق به جنس *Steinernema* و *Oscheius* در کنترل لارو آفت جنگلی شب‌پره شمشاد، در شرایط آزمایشگاه بررسی شد. نتایج پژوهش ما نشان داد، نامتد *O. myriophilus* در غلظت $500 (1 \text{ Jls larva}^{-1})$ ، در لارو سن پنجم *C. perspectalis* در ۱۴۴-۲۴ ساعت پس از تیمار، مرگ‌ومیر بالا (۱۰۰-۸۳ درصد) ایجاد کرد. همچنین، نامتد *S. borjomiense* در همین غلظت، زمان و سن لاروی مرگ‌ومیر (۱۰۰-۶۵ درصد) ایجاد کرد. این نتایج پتانسیل استفاده از هر دو گونه EPNs را در برنامه‌های کنترل آفت شب‌پره شمشاد برجسته می‌کند. توجه به جداسازی EPNs مؤثر، ارزیابی بیماری‌زایی آنها، تولید انبوه و تکنیک‌های کاربرد آنها در برابر آفات، در کشور بسیار مورد نیاز است. از آنجایی که در زمینه شناسایی و نقش باکتری‌های همزیست EPNs، قابلیت ذخیره‌سازی و فرموله کردن این نامتدها، جنبه‌های تکنیکی کاربرد آنها در شرایط صحرایی در مقیاس بزرگ هنوز در ایران بررسی‌های لازم انجام نشده است، تحقیقات بیشتری در این زمینه توصیه می‌شود. در زمینه کنترل بیولوژیک آفات با استفاده از EPNs در کشور، علاوه بر لزوم پیشرفت در زمینه شناسایی و ثبت جدایه‌های با بیماری‌زایی بالا، همچنین فناوری فرمولاسیون، استفاده از عوامل کنترل میکروبی باید از طریق آموزش، تغییرات عمده در الگوی استفاده از حشره‌کش‌ها، وضع قوانین و اعمال محدودیت‌های بیشتر در خصوص آفت‌کش‌های شیمیایی توسط سازمان‌های مربوطه توسعه یابد.

منابع

- برویزی، ر.، ۱۳۸۰. بررسی بیماری‌زایی نامتدهای *Heterorhabditis* و *Steinernema* sp. *bacteriophora* روی کرم سفید ریشه. نامه انجمن حشره‌شناسی ایران، ۲۱: ۷۲-۶۳.
- حسینی، س.م.، ۱۳۹۸. ارزش‌های منحصربه‌فرد جهانی جنگل‌های هیرکانی، جدیدترین میراث جهانی ثبت‌شده ایران در یونسکو. مجله علمی پژوهش گردشگری، ۳(۱): ۱۷-۱.
- رجایی، ا.، گرایلی، ش. و حسینی‌نصر، س.م.، ۱۳۹۲. بررسی

وضعیت اکولوژیکی، حفاظتی و اقتصادی گونه جنگلی شمشاد. سومین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست. دانشگاه تهران، ۵ آذر ۱۳۹۲، ۷ صفحه.

سالاری، ا. و کریمی، ج.، ۱۳۹۲. ارزیابی تأثیر دو گونه نامتد بیمارگر حشرات روی لارو کرم خراط *Zeuzera pyrina* (Lepidoptera: Cossidae): توانایی بیماری‌زایی، نفوذ، تولیدمثل و رفتار جستجوگری *Steinernema carpocapsae* و *Heterorhabditis bacteriophora*. سومین همایش ملی مدیریت کنترل آفات (IPMC). دانشگاه شهید باهنر کرمان، بهمن ۱۳۹۲، صفحه ۵۴۸.

سالاری، ا.، کریمی، ج.، صادقی‌نامقی، ح.، فصیحی‌هرندی، م.، ۱۳۹۵. ارزیابی بیماری‌زایی نامتدهای بیمارگر حشرات در کنترل لاروهای کرم خراط *Zeuzera pyrina* (Lepidoptera: Cossidae) از آزمایشگاه تا باغ. بیست و دومین کنگره گیاه‌پزشکی ایران. دانشگاه تهران، شهریور ۱۳۹۵.

نیکدل، م.، فضلعلی، ی. و دردایی، ا.ع.، ۱۳۹۳. شناسایی تکمیلی، تعیین پراکنش و ارزیابی تأثیر نامتدهای بیمارگر حشرات خانواده‌های *Steinernemati* Mermithidae و *Heterorhabditidae* در کنترل سه آفت مهم جنگلی در ارسباران. گزارش‌هایی طرح تحقیقاتی، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ۴۲ صفحه.

مافی، ش.، براری، م.، بریمانی‌ورندی، م.ع.، بریمانی‌ورندی، ح. و براری، ح.، ۱۳۹۸. تحلیلی بر پیامدهای خسارت شب‌پره شمشاد *Cydalima perspectalis* در جنگل‌های هیرکانی. مجله ترویجی حفاظت و بهره‌برداری جنگل‌های هیرکانی، ۲(۱): ۱۲-۳.

- Abate, B.A., Wingfield, M.J., Slippers, B. and Hurlley, B.P., 2017. Commercialisation of entomopathogenic nematodes: should import regulations be revised. *Biocontrol Science and Technology*, 27(2): 149-68.
- Abotorabi, E., 2014. Report of native isolate pathogenicity of *Steinernema feltiae* on tomato leafminer, *Tuta absoluta*. *Biocontrol in Plant Protection*, 1(2): 107-109.
- Adams, B.J. and Nguyen, K.B., 2002. Taxonomy and systematic. In: Graugler, R. (Ed) *Entomopathogenic nematology*. CAB international, pp. 1-33.
- Akhani, H., Djmal, M., Ghorbanalizadeh, A. and Ramezani, E., 2010. Plant biodiversity of Hyrcanian relict forests, Iran: An overview of the flora, vegetation, palaeoecology and conservation. *Pakistan Journal of Botany*, 42: 231-258.
- Arthurs, S., Heinz, K.M. and Prasifka, J.R., 2004. An analysis of using entomopathogenic nematodes against above-ground pests. *Bulletin of Entomological Research*, 94(4): 297-306.
- Bedding, R.A. and Akhurst, R.J., 1974.

- of Plant Diseases and Protection, 125(4): 365-375.
- Hassani-Kakhki, M., Karimi, J. and Hosseini, M., 2013. Efficacy of entomopathogenic nematodes against potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) under laboratory conditions. *Biocontrol Science and Technology*, 23(2): 146-159.
- Hassani-Kakhki, M., Karimi, J., Hosseini, M. and Heydari, Sh., 2012. Efficacy of entomopathogenic nematodes against potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* Zeller (Lep.: Gelechiidae). 20th Iranian Plant Protection Congress, Shiraz University, Shiraz, Iran, 25–28 August, 987p.
- Karimi, J. and Kharazi-pakdel, A., 2007. Incidence of natural infection of the white grub *Polyphylla olivieri* (Coleoptera: Scarabaeidae) with entomopathogenic nematodes in Iran. *OILB/srop Bulletin*, 30(1): 35-39.
- Kaya, H.K., Aguilera, M.M., Alumai, A., Choo, H.Y., de la Torre, M., Fodor, A., Ganguly, S., Hazir, S., Lakatos, T., Pye, A., Wilson, M., Yamanaka, S., Yang, H. and Ehlers, R.U., 2006. Status of entomopathogenic nematodes and their symbiotic bacteria from selected countries of regions of the world. *Biological Control*, 38(2): 134-155.
- Kaya, H.K. and Stock, S.P., 1997. Techniques in insect nematology. In: Lacey, L.A. (Ed) *Manual of techniques in insect pathology*. San Diego, CA: Academic Press. pp. 281-324.
- Koppenhöfer A.M., Shapiro-Ilan, D.I. and Hiltbold, I., 2020. Nematodes in sustainable food production, frontiers in sustainable food systems. *Entomopathogenic Nematodes*, 4: 1-14. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00125>
- Lacey, L.A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D.I., Frutos, R., Brownbridge, M. and Goettel, M.S., 2015. Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology*, 132: 1-41.
- Lephoto, T.E. and Gray, V.M., 2019. *Oscheius basothovii* n. sp. (Nematoda: Rhabditidae), a new entomopathogenic nematode isolated from an uncultivated grassland in South Africa. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 52: 125-140.
- Marvie Mohajer, M.R., 2004. Silviculture of the Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky); Experiences made in Caspian forests, north of Iran. Proceedings from the 7th International beech Symposium, IUFRO research group. 10-20 May, Tehran, Iran. pp. 13–15.
- Sustainable Agriculture and Production Science, 21(2): 77-86.
- Ebrahimi, L., Niknam, G.H. and Lewis, E.E., 2011. Lethal and sublethal effects of Iranian isolates of *Steinernema feltiae* and *Heterorhabditis bacteriophora* on the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *Bio Control*, 56: 781-788.
- Eivazian Kary, N., Rafiee, H.D., Mohammadi, D. and Afghahi, S., 2010. Efficacy of some geographical isolates of entomopathogenic nematodes against *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Col.: Chrysomelidae). *Munis Entomology and Zoology*, 5: 1066-1074.
- Eivazian Kary, N., Golizadeh, A., Rafiee, H.D., Mohammadi, D., Afghahi, S., Omrani, M., et al., 2012. A laboratory study of susceptibility of *Helicoverpa armigera* (Hübner) to three species of entomopathogenic nematodes. *Munis Entomology and Zoology*, 7(1): 372-379.
- Gaugler, R., 2002. Entomopathogenic nematology. The Centre for Agriculture and Bioscience International (CABI) Public Library. Wallingford, Oxon, UK, 388pp.
- Gaugler, R., Campbell, J.F., Selvan, S. and Lewis, E.E., 1992. Large-scale inoculative releases of the entomopathogenic nematode *Steinernema glaseri*: Assessment 50 years later. *Biological control*, 2: 181-187. [https://doi.org/10.1016/1049-9644\(92\)90057-K](https://doi.org/10.1016/1049-9644(92)90057-K).
- Gholami Ghavamabad, R., Talebi, A.A., Mehrabadi, M., Farashiani, M.E. and Pedram, M., 2021a. First report of *Steinernema borjomiense* (Rhabditida: Steinernematidae) from Iran; and its efficacy against two exotic invasive forest pests in laboratory condition. *Russian Journal of Nematology*, 29(2): 127-141.
- Gholami Ghavamabad, R., Talebi, A.A., Mehrabadi, M., Farashiani, M.E. and Pedram, M., 2021b. First record of *Oscheius myriophilus* (Poinar, 1986) (Rhabditida: Rhabditidae) from Iran; and its efficacy against two economic forest trees pests, *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera: Crambidae) and *Hyphantria cunea* (Drury, 1773) (Lepidoptera: Erebidae) in laboratory condition. *Journal of Nematology*, 53: e2021-35.
- Gottig, S. and Herz, A., 2018. Susceptibility of the Box tree pyralid *Cydalima perspectalis* Walker (Lepidoptera: Crambidae) to potential biological control agents Neem (NeemAzal®-T/S) and entomopathogenic nematodes (Nemastar®) assessed in laboratory bioassays and field trials. *Journal of the Australian Entomological Society*, 13: 129-135.
- Bedding, R.A. and Akhurst, R.J., 1975. A simple technique for the detection of insect parasitic Rhabditid nematodes in soil. *Nematologica*, 21: 109-110.
- Beck, B., Brusselman, E., Nuyttens, D., Moens, M., Temmerman, F., Pollet, S., Van Weyenberg, S. and Spanoghe, P., 2014. Improving the biocontrol potential of entomopathogenic nematodes against *Mamestra brassicae*: Effect of spray application technique, adjuvants and an attractant. *Pest Management Science*. 70: 103-112.
- Choo, H.Y., Kaya, H.K., Lee, S.M., Kim, T.O. and Kim, J.B., 1991. Laboratory evaluation of entomopathogenic nematodes, *Steinernema carpocapsae* and *Heterorhabditis bacteriophora* against some forest insect pests. *Korean Journal of Applied Entomology*, 30: 227-232.
- Dara, S.K., 2019. The new integrated pest management paradigm for the modern age. *Journal of Integrated Pest Management*, 10(1): 12. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz010>
- Darsouei, R., Karimi, J. and Shokoohi, E., 2014. *Oscheius rugoensis* and *Pristionchus maupasi*, two new records of entomophilic nematodes from Iran. *Russian Journal of Nematology*, 22(2): 141-155.
- De Waal, J.Y., Addison, M.F. and Malan, A.P., 2017. Evaluation of a South African isolate of *Heterorhabditis zealandica* (Rhabditida: Heterorhabditidae) for the control of codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in field applications. *International Journal of Pest Management*. <https://doi.org/10.1080/09670874.2017.1342149>
- De Waal, J.Y., Malan, A.P. and Addison, M.F., 2013. Effect of humidity and a superabsorbent polymer formulation on the efficacy of *Heterorhabditis zealandica* (Rhabditida: Heterorhabditidae) to control codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Biocontrol Science and Technology*, 23: 62-78.
- Ebrahimi, L. and Niknam, G.H., 2011. Detection of thermal preference range of two endemic isolates of entomopathogenic nematodes, *Steinernema feltiae* (Steinernematidae, Tylenchina) and *Heterorhabditis bacteriophora* (Heterorhabditidae, Rhabditina) for application in biological control of insect pests. *Journal of*



- 57(3): 248-255. <https://doi.org/10.1515/jppr-2017-0035>.
- van der Linden, C.F.H., Fatouros, N.E. and Kammenga, J.E., 2022. The potential of entomopathogenic nematodes to control moth pests of ornamental plantings. *Biological Control*, 165, 104815.
- van Niekerk, S. and Malan, A.P., 2015. Adjuvants to improve aerial control of the citrus mealybug *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae) using entomopathogenic nematodes. *Journal of Helminthology*, 89: 189-195.
- White, G.F., 1927. A method for obtaining infective nematode larvae from cultures. *Science Journal*, 66: 302-303.
- Yamanaka, S., Seta, K. and Yasuda, M., 1986. Evaluation of the use of entomogenous nematode, *Steinernema feltiae* (Str. Mexican) for the biological control of the fall webworm, *Hyphantria cunea*, (Lepidoptera: Arctiidae). *Japanese Journal of Nematology*, 16: 26-31.
- and Dunlap, C.A., 2010. Efficacy of *Steinernema carpocapsae* for control of the lesser peachtree borer, *Synanthedon pictipes*: Improved aboveground suppression with a novel gel application. *Biological Control*, 54: 23-28.
- Shapiro-Ilan, D.I. and Gaugler, R., 2010. Nematodes: Rhabditida: Steinernematidae & Heterorhabditidae. In: Shelton, A. (Ed) *Biological Control: A Guide to Natural Enemies in North America*. Cornell University. <http://www.biocontrol.entomology.cornell.edu/pathogens/nematodes.html>
- Shapiro, D.I., Gouge, D.H. and Koppenhöfer, A.M., 2002. Factors affecting field efficacy: analysis of case studies in cotton, turf, and citrus. In: Gaugler, R. (Ed) *Entomopathogenic Nematology*, Wallingford: CABI Publishing, pp. 333-356.
- Shapiro-Ilan, D.I., Gouge, D.H., Piggott, S.J. and Patterson Fife, J., 2006. Application technology and environmental considerations for use of entomopathogenic nematodes in biological control. *Biological Control*, 38: 124-133.
- Shapiro-Ilan, D.I., Richou, H. and Claudia, D., 2012. Entomopathogenic nematode production and application technology. *Journal of Nematology*, 44(2): 206-217.
- Schroer, S. and Ehlers, R.U., 2005. Foliar application of the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* for biological control of diamondback moth larvae (*Plutella xylostella*). *Biological Control*, 33(1): 81-86.
- Stock, S.P. and Goodrich-Blair, H., 2012. Nematode parasites, pathogens and associates of insects and invertebrates of economic importance. In: Lacey, L.A. (Ed) *Manual of techniques in invertebrate pathology*. Elsevier Press, pp. 375-425.
- Tofangsazi, N. Cherry, R.H. and Arthurs, S.P., 2014. Efficacy of commercial formulations of entomopathogenic nematodes against tropical sod webworm, *Herpetogramma phaeopteralis* (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of applied entomology*, 138(9): 656-661.
- Torres-Barragan, A., Lisnawita, L., Buhler, W. and Cardoza, Y., 2011. Studies on the entomopathogenicity and bacterial associates of the nematode *Oscheius carolinensis*. *Biological Control*, 59(2): 123-129.
- Valizadeh, A., Goldasteh, S.H., Rafti-Karahroodi, Z. and Pedram, M., 2017. The occurrence of three species of the genus *Oscheius* Andrassy, 1976 (Nematoda: Rhabditida) in Iran. *Journal of Plant Protection Research*, Navon, A., Nagalakshmi, V.K., Shlomit, L., Salame, L. and Glazer, I.E., 2002. Ectiveness of entomopathogenic nematodes in an alginate gel formulation against Lepidopterous pests. *Biocontrol Science and Technology*, 12: 737-746.
- Nikdel, M., Niknam, G.H. and Ye, W., 2011. *Steinernema arasbaranense* sp. n. (Nematoda: Steinernematidae), a new entomopathogenic nematode from Arasbaran forests, Iran. *Nematologia Mediterranea*, 39: 17-28.
- Nikdel, M., Niknam, G., Shojaee, M., Askary, H. and Mohammadi, S.A., 2008. A survey on the response of the last instar larvae of acorn weevil, *Curculio glandium* (Col.: Curculionidae), to entomopathogenic nematodes *Steinernema bicornutum* and *Heterorhabditis bacteriophora* in the laboratory. *Journal of Entomological Society of Iran*, 28: 45-60.
- Odendaal, D., Addison, M.F. and Malan, A.P., 2016. Evaluation of aboveground application of entomopathogenic nematodes for the control of diapausing codling moth (*Cydia pomonella* L.) under natural conditions. *African Entomology*, 24: 61-74.
- Parvizi, R., 2003. Efficacy of insect pathogenic nematodes *Steinernema* sp. on control of trunk borer butterfly larvae in apple trees *Synanthedon myopaeformis*. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 34(2): 303-311.
- Platt, T., Stokwe, N.F. and Malan, A.P., 2019. A review of the potential use of entomopathogenic nematodes to control above-ground insect pests in South Africa. *South African Journal of Entology and Viticulture*, 41(1): 1-16. <https://doi.org/10.21548/41-1-2424>
- Shannag, H. and Capinera, J., 1995. Evaluation of entomopathogenic nematode species for the control of melonworm (Lepidoptera: Pyralidae). *Environmental Entomology*, 24(1): 143-148.
- Shapiro-Ilan, D.I., Arthurs, S.P. and Lacey, L.A., 2017. Microbial control of arthropod pests of orchards in temperate climates. In: Lacey, L.A. (Ed) *Microbial control of insect and mite pests*. Amsterdam, Elsevier, pp. 253-267.
- Shapiro-Ilan, D.I., Cottrell, T.E., Mizell, R.F. and Horton, D.L., 2016. Efficacy of *Steinernema carpocapsae* plus fire gel applied as a single spray for control of the lesser peachtree borer, *Synanthedon pictipes*. *Biological Control*, 94: 33-36.
- Shapiro-Ilan, D.I., Cottrell, T.E., Mizell, R.F., Horton, D.L., Behle, R.W.