



Interaction of pollinator fig wasp (*Blastophaga psenes*) and caprifig syconium nematode (*Schistonchus caprifici*) in caprifig genotypes of Fars province

Hadi Karimipour Fard¹, Hamid Zare², Masoud Latifian³, Nazanin Doryanizadeh⁴

1. Corresponding Author, Plant Protection Research Department, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yasuj, Iran. E-mail: karimipourfard.h@gmail.com
2. Horticultural Science Research Institute, AREEO, Karaj, Iran. E-mail: hamidzare777@gmail.com
3. Temperate Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, AREEO, Karaj, Iran. E-mail: masoud_latifian@yahoo.com
4. Plant Protection Research Department, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yasuj, Iran. E-mail: n.doryanizadeh@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Populations of the caprifig syconium nematode (<i>Schistonchus caprifici</i>) invade the flowers of fig trees. Fig wasp <i>Blastophaga psenes</i> (L.) also plays a major role in the caprification of edible figs. To investigate the interaction between pollinator fig wasp and caprifig syconium nematode in caprifig genotypes of Fars province, a total of 175 profichi caprifig syconium samples (early, mid-early, and late-early fruits) of 43 genotypes of caprifig from Estahban, Ij, Khafr, Sarvestan, Kavar and Shiraz counties in Fars province were collected during the spring of 2022 to 2023. The samples were assessed based on regions and genotypes, separately. Disinfected profichi syconia surfaces were cut into pieces with a scalpel. Extraction, identification, and population density determination were done according to the routine procedure in nematology laboratories, and the population of nematodes in a certain volume of extracted suspension was further determined using a counting slide. The nematodes species, <i>S. caprifici</i>, was identified by its morphometric and morphological characteristics. The number of fig wasps in each syconium of the caprifig genotypes was also counted under a stereo microscope. Relation indices between the pollinator wasp and caprifig syconium nematode populations were calculated. Factor analysis was conducted based on the set of observable indices to identify unobservable combined factors affecting the correlation of these two species. Cluster analysis was employed to categorize the best genotypes based on the correlation between wasp and nematode populations. The genotypes Nok-Ghermezi, Haj Mohammad Ali, and Shah Anjiri Dane Sefid exhibited the lowest correlation rank between the wasp population and <i>S. caprifici</i> which indicates the least effect on the pollination efficiency of these three genotypes. The level of infestation index expected relative infestation, average population density, relative density, Okiai degree of overlap, and the Jaccard index of wasps and nematodes were 27, 50.17, 248.50, 18.17, 0.74, and 0.26, respectively. In any Fig genotype, where the overlap between the two species is higher, pollination efficiency decreases because the nematode uses the wasp as a phoretic and somewhat acts as a parasite on the pollinating wasp. Caprifig genotypes with a high number of <i>B. psenes</i> wasps and without or with a low population of <i>S. caprifici</i> can serve as a useful index for identifying fig genotypes with high potential for caprification. These genotypes could be considered in fig production or future breeding programs.
Article history: Received: 8 October 2024 Revised: 30 November 2024 Accepted: 21 January 2025 Published online: Spring and Summer 2024	
Keywords: <i>Phoresy, Carrier, Population Changes, Fig Pollinator Wasp, Caprifig Nematode.</i>	
Cite this article: Karimipour Fard, H., Zare, H., Latifian, M. & Boryanizadeh, N. (2024). Interaction of pollinator fig wasp (<i>Blastophaga psenes</i>) and caprifig syconium nematode (<i>Schistonchus caprifici</i>) in caprifig genotypes of Fars province. <i>Iranian Journal of Plant Protection Science</i> , 55 (1), 99-120. DOI: https://doi.org/10.22059/ijpps.2025.383001.1007068	
© The Author(s). DOI: https://doi.org/10.22059/ijpps.2025.383001.1007068	Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Populations of the caprifig syconium nematode (*Schistonchus caprifici*) invade the flowers of fig trees. Fig wasp *Blastophaga psenes* (L.) also plays a major role in the caprification of edible figs. Most fig trees (*Ficus* spp.) rely on an obligate mutualistic relationship with fig wasps (Hymenoptera: Agaonidae) for pollination and fruit production. The necessity of pollination varies according to the fig type. There are four fig types: caprifig, Smyrna, San Pedro, and Common fig. Smyrna-type figs develop only when fertile seeds are present. San Pedro-type first-crop figs develop without flower pollination, but the second-crop, which develops in the leaf axils, requires pollination. Common figs do not require pollination for either crop, and the seeds in the mature fruit are usually hollow. Various *Blastophaga* species of pollinator wasps play a crucial role in fig pollination. In addition to fig wasp pollinators, other organisms inhabit the fig's inflorescences including several species of nematodes, such as caprifig syconium nematode (*S. caprifici*). In certain caprifig-growing areas of Fars province, some caprifig trees have encountered damage caused by *S. caprifici* which invades the flowers of fig trees, reducing the food quality and pollination efficiency. Considering the significant role of fig wasps in fig pollination and the damaging effects of fig nematodes on fig flowers, this study aimed to evaluate the population fluctuations of nematodes across different genotypes of caprifigs; in addition to investigate the mutual effects of fig wasp and caprifig syconium nematode populations in 43 different caprifig genotypes in Fars province.

Materials and Methods

In this study, the population of *S. caprifici* nematode and *B. psenes* wasp in various caprifig genotypes in Fars province (Iran) were examined. A total of 175 profichi caprifig syconium samples (categorized as early, mid-early, and late-early fruits) from 43 caprifig genotypes across the counties of Estahban, Ij, Khafr, Sarvestan, Kavar, and Shiraz in Fars province were collected during the spring of 2022 to 2023. First, the surface of the syconia was disinfected and the fruits were then cut into pieces with a scalpel. Extraction, identification, and population density determination were done according to the routine procedure in nematology laboratories. The nematode species was identified through morphometric and morphological characteristics. The number of fig wasps in each syconium of the caprifig genotypes was also counted under a stereo microscope. Relation indices between pollinator wasp and caprifig syconium nematode populations were analyzed. Factor analysis was performed based on the set of observable indices to identify unobservable combined factors affecting the correlation between these two species. Cluster analysis was used to categorize the best genotypes based on the correlation between the pollinating of wasps and nematodes.

Results and Discussion

The species of all extracted nematodes was identified as *S. caprifici*. Data analysis showed that among the 43 caprifig genotypes, the Nok-Ghermezi, Haj Mohammad Ali, and Shah Anjiri Dane Sefid caprifig genotypes had the lowest correlation rank between the wasp population and the nematode population. Consequently, the relationship between nematodes and pollinating wasps had the least impact on pollination efficiency in these three genotypes. The level of infestation index, expected relative infestation, average population density, relative density, Okiai degree of overlap, and the Jaccard index of wasps and nematodes were calculated as 27, 50.17, 248.50, 18.17, 0.74, and 0.26, respectively. In any Fig genotype, where the overlap between the two species was higher, pollination efficiency decreases because the nematode uses the wasp as a phoretic and somewhat acts as a parasite on the pollinating wasp. Based on the results, it is likely that the relationship between the *S. caprifici* and the fig pollinator (*B. psenes*) in Fars province is a phoretic type, though this phoretic relationship imposes some cost on the wasp, affecting its lifespan.

Conclusion

The caprifig genotypes with a high number of *B. psenes* wasps and without or with a low population of *S. caprifici* could serve as a useful index for identifying fig genotypes with a high potential for caprification. These genotypes could be considered in fig production or breeding programs. Selecting and cultivating these genotypes in Fars province where the interaction of fig wasp and caprifig syconium nematode causes fig fruit fall, could improve pollination efficiency.



برهم کنش زنبور گرده افشان انجیر (*Blastophaga psenes*) و نماتد گل آذین انجیر (*Schistonchus caprifici*) در ژنوتیپ های برانجیر استان فارس

هادی کریمی پور فرد^۱ | حمید زارع^۲ | مسعود لطیفیان^۳ | نازنین دریانی زاده^۴

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات گیاه پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران. رایانامه: karimipourfard.h@gmail.com
۲. مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کرج، ایران. رایانامه: hamidzare777@gmail.com
۳. پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: masoud_latifian@yahoo.com
۴. بخش تحقیقات گیاه پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران. رایانامه: n.doryanizadeh@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۲ تاریخ انتشار: بهار و تابستان ۱۴۰۳ کلیدواژه ها: رویکرد میان رشته ای، آموزش عالی، برنامه درسی میان رشته ای، رشته ترویج و آموزش کشاورزی، بررسی کیفی	جمعیت هایی از نماتد <i>Schistonchus caprifici</i> به گلچه های درختان انجیر حمله می کنند. زنبور <i>Blastophaga psenes</i> (L.) نیز نقش اصلی در گرده افشانی انجیر خوراکی دارد. مجموعاً ۱۷۵ نمونه از گل آذین بهاره (زودرس، میان رس و دیررس) ژنوتیپ های مختلف برانجیر از مناطق مختلف شهرستان های استهبان، ایچ، خفر، سروستان، کوار و شیراز در استان فارس در فصل بهار طی سال های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۲ نمونه برداری شد. گل آذین های جمع آوری شده به تفکیک مناطق و ژنوتیپ های مختلف، پس از ضد عفونی سطحی با اسکا لپل باز و قطعه قطعه شدند. استخراج، شناسایی و تعیین تراکم جمعیت طبق روش های متداول نماتد شناسی انجام و جمعیت نماتدهای استخراجی در حجم معینی از سوسپانسیون حاوی نماتد با اسلاید شمارش تعیین شد. گل آذین های انجیر ژنوتیپ های مختلف برانجیر برش زده شدند و تعداد زنبورها در هر میوه زیر استرئومیکروسکپ شمارش و ثبت شد. شاخص های همبستگی بین جمعیت زنبور گرده افشان و نماتد محاسبه و تحلیل عاملی به منظور تشخیص عامل های مشاهده ناپذیر ترکیبی مؤثر بر همبستگی گونه ها بر پایه مجموعه شاخص های مشاهده پذیر انجام شد. برای تفکیک ژنوتیپ های برتر بر اساس پتانسیل همبستگی جمعیت های زنبور گرده افشان و نماتد میوه انجیر از روش تحلیل خوشه ای استفاده شد. نماتدهای استخراج شده از گل آذین های بهاره مربوط به نمونه های هر دو سال این مطالعه با استفاده از خصوصیات ریخت شناسی و ریخت سنجی، گونه <i>S. caprifici</i> تشخیص داده شد. پایین ترین رتبه همبستگی مشاهده شده بین جمعیت زنبور و نماتد در ژنوتیپ های برانجیر نوک قرمزی، حاج محمد علی و شاه انجیری دانه سفید احتمالاً حاکی از تاثیر نه چندان معنی دار رابطه زنبور و نماتد روی کارایی گرده افشانی در این ژنوتیپ ها می باشد. متوسط شاخص های میزان آلودگی و آلودگی نسبی مورد انتظار، تراکم متوسط جمعیت، تراکم نسبی، درجه هم پوشانی اوکیای و شاخص جاکارد زنبور و نماتد به ترتیب ۲۷، ۵۰/۱۷، ۲۴۸/۵۰، ۱۸/۱۷، ۰/۷۴، ۰/۲۶، ۰/۳۳، ۲۷/۳۳، ۱/۷۳، ۳/۸۵، ۰/۲۶، ۰/۴۰، ۰/۳۶ و ۰/۶۲ بود. در هر ژنوتیپ برانجیر که میزان هم پوشانی دو گونه بالاتر باشد، از کارایی گرده افشانی کاسته می شود زیرا نماتد نه تنها از زنبور به عنوان یک عامل هم سفری استفاده می کند بلکه تا حدی به عنوان پارازیت زنبور گرده افشان نیز عمل می کند. تخمین تعداد زنبور <i>B. psenes</i> و نماتد <i>S. caprifici</i> در گل آذین های برداشت شده از نژادگان مختلف به منظور شناسایی نژادگان با پتانسیل بالای کارایی فیکاسیون (بردهی) و آلودگی پایین به نماتد مفید بوده و می تواند برای تولید کنندگان انجیر یا بهره برداری در برنامه های به نژادی مورد توجه قرار گیرد.

استناد: کریمی پور فرد، هادی؛ زارع، حمید؛ لطیفیان، مسعود و دریانی زاده، نازنین (۱۴۰۳). برهم کنش زنبور گرده افشان انجیر (*Blastophaga psenes*) و نماتد گل آذین انجیر (*Schistonchus caprifici*) در ژنوتیپ های برانجیر استان فارس. نشریه دانش گیاه پزشکی ایران، ۵۵ (۱)، ۹۹-۱۲۰. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2025.383001.1007068>



© نویسندگان

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2025.383001.1007068>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

انجیر خوراکی (*Ficus carica* L.) بومی ناحیه مدیترانه است. انجیرهای خوراکی و وحشی از آناتولی به کشورهای مدیترانه، سوریه، عربستان سعودی، قفقاز شمالی، کریمه و ایران گسترش یافته اند (Condit, 1947). براساس نوع، ساختار گل و نیاز آنها به گرده افشانی و لقاح جهت تشکیل میوه، انجیر به چهار نوع برانجیر، از میمر^۱ معمولی^۲ و سان پدرو^۳ تقسیم می شود (Condit, 1932; Stover et al., 2007). برانجیر، نوعی انجیر غیر خوراکی است که به انجیر کوهی نیز معروف است و در گرده افشانی انجیر خوراکی نقش دارد. انجیر از میمر برای تشکیل میوه و رسیدن محصول اصلی به گرده افشانی نیاز دارد. در انجیر معمولی تشکیل میوه به صورت پارتنوکاری است و به گرده افشانی احتیاجی ندارد. در انجیر سان پدرو اولین محصول میوه به صورت پارتنوکاری تولید می شود، اما تولید دومین محصول احتیاج به گرده افشانی دارد (Condit, 1932; Stover et al., 2007).

انجیر یکی از اقلام صادراتی غیر نفتی ایران است که به دلیل محدودیت مناطق اصلی تولید در جهان، از نظر اقتصادی جایگاه ویژه ای برای ایران دارد (Arzani et al., 2006). ترکیه با ۳۵۰ هزار تن در سال ۲۰۲۲ مقام اول و ایران با تولید ۶۷٫۸ هزار تن پس از کشورهای ترکیه، مصر، الجزایر و مراکش مقام پنجم تولید انجیر را به خود اختصاص داده است (Anonymus, 2022). ارقام مورد کشت در این مناطق به طور عمده شامل انجیر سبز، شاه انجیر و انجیر سیاه هستند. هر سه رقم انجیر خوراکی از نوع از میمر هستند که برای تولید میوه نیاز به گرده افشانی دارند. در استهبان، که مهمترین منطقه اصلی تولید انجیر ایران است، رقم های اصلی برانجیر برای گرده افشانی، پوزدنبالی، دانه سفید و خاکستونی هستند (Zare & Jafari, 2018).

بیش تر گونه های انجیر برای تولید میوه به گرده افشانی نیاز دارند و اگر گرده افشانی صورت نگیرد، میوه های انجیر بارور نشده و شروع به ریزش می کنند. گرده افشانی در انجیر به وسیله زنبور گرده افشان بلاستوفاگا *Blastophaga* انجام می شود (Ramirez, 1974). درخت انجیر و زنبورهای گرده افشان دارای رابطه متقابل اجباری^۵ هستند و انجیر برای گرده افشانی به وجود زنبور انجیر متکی است. در عوض گل آذین انجیر برای لارو زنبور، غذا و فضای رشد فراهم می کند (Weiblen, 2002). در فرایند گرده افشانی ابتدا زنبور ماده بلاستوفاگا به داخل گل آذین کوزه مانند برانجیر که دارای گل های پنبه ای است، وارد می شود و داخل آن تخم گذاری می کند، سپس حشرات به وجود آمده از تخم درون گل آذین جفت گیری می کنند. حشرات ماده در حالی که دانه های گرده به بدن آنها چسبیده، از کوزه مربوطه خارج می شوند و برای تخم گذاری وارد گل آذین دیگر می شوند. بدین ترتیب دانه های گرده را به داخل کوزه پایه های دیگر می برند و سبب لقاح گل های ماده موجود در آنها می شوند (Ferguson et al., 1990).

روی درخت برانجیر به طور معمول هر ساله سه نوع گل آذین جهت تکرار چرخه زندگی زنبور بلاستوفاگا تشکیل می شود که به گل آذین بهاره، پاییزه و زمستانه مشهور هستند. در برخی از ارقام برانجیر، هر سه نوع گل آذین به روش بکرباری روی شاخه حفظ می شود. بنابراین، در این روش گل آذین برانجیر، بدون حضور زنبور روی شاخه حفظ شده و به رشد خود تا مراحل نهایی ادامه می دهد. اما در سایر ارقام برانجیر، بکرباری نمی تواند موجب حفظ میوه شود و ادامه رشد گل آذین نیازمند حضور زنبور درون گل آذین است. به طور معمول برخی از گل آذین های بهاره برانجیر بدون گرده افشانی پس از پنج هفته ریزش می کنند. گرده افشانی و حتی تحریک حاصل از ورود اندام تخم ریز زنبور گرده افشان به کلاله گل های خامه کوتاه میوه برانجیر از ریزش

1. Caprifig
2. Smyrna
3. Common
4. San Pedro
5. Obligate mutualism

آن‌ها جلوگیری کرده و منجر به توسعه نهایی گل‌آذین می‌شود (Flaishman et al., 2008)، لازم به ذکر است که عواملی مثل آلودگی به نماتد باعث ریزش زودهنگام گل‌آذین انجیر حتی پس از ملاقات زنبور می‌گردد (Zare et al., 2020). در میان نماتدها، برخی از اعضای خانواده‌های Rhabditidae، Diplogasteridae، Cephalobidae، Monochidae، Strongyliidae، Plectidae و Tylenchidae و جنس‌های *Aphelenchoides*، *Bursaphelenchus* و *Schistonchus* از خانواده Aphelenchoididae رابطه فورتیک با حشرات دارند (Rinker & Bloom, 1982; Grewal et al., 2006). تاکنون ۲۱ گونه از جنس *Schistonchus* از گیاهان جنس *Ficus* جدا شده است (Decraeppe & Giblin-Davis, 2001; Zeng et al., 2011; Davies et al., 2013; Bartholomaeus et al., 2012). نماتد گونه *S. caprifici* از الجزایر، ترکیه، ایتالیا، هند و در ایران از هموسل زنبور گرده‌افشان ماده *B. psenes* و میوه انجیر جدا شده است (Khairi & Goldansaz, 1998). گونه‌های نماتدهای انجیر در جنس *Schistonchus sensu lato* به‌عنوان انگل‌های گیاهی شناخته شده‌اند که منجر به کاهش رشد گلچه‌ها و تولید بذر می‌شوند (Davies et al., 2015). جمعیت‌هایی از نماتد *S. caprifici* به گلچه‌های درختان انجیر وحشی حمله می‌کنند و باعث نکروز شدن پارانشیم سطحی گلچه‌ها می‌شوند. این نماتدها در هموسل زنبورهای ماده حمل شده و گل‌آذین انجیر وحشی را پارازیت می‌کنند (Baldock et al., 2015). چرخه زندگی نماتدها با انجیر و زنبور گرده‌افشان با هم مطابقت دارد (Van Goor et al., 2018). زمانی که انجیر بالغ می‌شود، لارو نماتدها نیز در حفره انجیر جمع شده و آماده می‌شود تا توسط زنبورهای گرده‌افشان خارج شده و شفتچه‌ها را آلوده کنند (Krishnan et al., 2010). نماتدها به‌سرعت از طریق نای وارد حفره‌های سینه‌ای یا شکمی بدن زنبورها می‌شوند. سپس نماتدها توسط زنبورهای ماده گرده‌افشان به گل‌آذین‌های پذیرنده جدید انجیر منتقل و چرخه زندگی خود را از نو آغاز می‌کنند (Poinar & Herre, 1991). گونه‌های دیگری از نماتد متعلق به جنس *Parasitodiplogaster* می‌توانند بر طول عمر زنبور گرده‌افشان، کارایی گرده‌افشانی و تولید دانه در انجیر تأثیر بگذارند. تأثیر نماتدها بر روابط زنبور گرده‌افشان انجیر در حال بررسی بوده و اطلاعات کمی در این زمینه وجود دارد. همچنین بسته به گونه نماتد نیز این روابط هم زیستی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Davies et al., 2017; Susoy et al., 2016; Sun et al., 2015). با توجه به اهمیت محصول انجیر در استان فارس به ویژه در شهرستان استهبان و همچنین شیوع نماتد درون برانجیرهای این استان در سال‌های اخیر، بررسی و مطالعه جمعیت نماتدهای خسارت‌زای انجیر روی ژنوتیپ‌های مختلف برانجیر و همچنین بررسی نوسانات جمعیت زنبور گرده‌افشان انجیر و نماتد و تأثیر این نماتد بر زنبور گرده‌افشان، ضرورت داشت.

پیشینه پژوهش

یکی از مناطق اصلی تولید انجیر در کشور، شهرستان استهبان واقع در استان فارس است. در این منطقه دو نوع زنبور هم‌زیست با گل‌آذین‌های برانجیر گزارش شده است؛ یکی زنبور *Blastophaga psenes* (L.) که زنبوری سیاه رنگ و دارای تخم‌ریز کوتاه است و در گرده‌افشانی انجیر نقش دارد و دیگری زنبور (Torymidae) *Philotrypesis caricae* (L.) که زنبوری زرد رنگ با تخم‌ریز بلند است و نقشی در گرده‌افشانی انجیر ندارد، بلکه انگل تخم زنبور *B. psenes* است (Khodaparast & Monfared, 2010).

بیش‌تر گونه‌های انجیر احتیاج به گرده‌افشانی دارند و اگر گرده‌افشانی صورت نگیرد، میوه انجیر بارور نشده و شروع به ریزش می‌کند. گرده‌افشانی به وسیله زنبور بلاستوفاگا انجام می‌شود. برده‌ی یا گرده افشانی درخت انجیر فرایندی است که طی آن، انتقال دانه گرده به وسیله زنبور بلاستوفاگا از برانجیر به سطح کلاله گل‌های ماده خامه بلند در انجیرهای خوراکی انجام می‌شود. گرده‌افشانی برای میوه‌های انجیر نوع از میر و دومین محصول انجیر سان پدرو ضروری است، در صورتی که میوه‌های انجیر نوع معمولی و میوه‌های محصول اول سان پدرو به طریق پارتنوکاری تشکیل می‌شوند (Ramirez, 1974). مقاومت انجیر در برابر حشرات و نماتد، تولید گرده بیش‌تر در ارقام برانجیر، عملکرد بالا، بهبود کیفیت گل‌آذین، عدم نیاز به برده‌ی انجیر، افزایش ماندگاری گل‌آذین برانجیر از جمله اهداف جدید در به‌نژادی انجیر است (Janik & Moore, 1974).

(Zare & Jafari, 2018). نگهداری گل آذین برانجیر در دمای چهار درجه سلسیوس یکی از راه‌های افزایش ماندگاری گل آذین برای افزایش زنده‌مانی زنبور بلاستوفاگا است (Zare et al., 2018).

در میان نماتدها، برخی از اعضای خانواده‌های Rhabditidae، Diplogasteridae، Cephalobidae، Aphelenchoididae، Monochidae، Plectidae، Strongylidae و Tylenchidae، رابطه فورتیک با حشرات دارند (Rinker & Bloom, 1982). جنس‌های *Aphelenchoides*، *Bursaphelenchus* و *Schistonchus* متعلق به خانواده *Aphelenchoididae*، با حشرات رابطه فورتیک دارند (Grewal et al., 2006). تاکنون بیست و یک گونه از *Schistonchus* از گیاه جنس *Ficus* جدا شده است (Cobb et al., 1927; Kumari & Reddy, 1984; Reddy & Rao, 1986; Khairi & Goldansaz, 1998; Vovlas et al., 1998; Decraeppeo & Giblin-Davis, 2001; Anand, 2002; Zeng et al., 2012; Davies et al., 2013; Bartholomaeus et al., 2011). تاکنون *S. caprifici* از الجزایر، ترکیه، ایتالیا، هند و ایران گزارش شده است. در ایران، این نماتد از هموسل زنبور گرده‌افشان ماده، *B. psenes* و میوه انجیر جدا شده است (Kheiri & Goldansaz, 1998). پراکندگی نماتد *Schistonchus caprifici* در انجیرهای وحشی استان فارس مطالعه مطالعه شده است (Pakniyat & Taghizadeh, 2000). جمعیت‌هایی از نماتد *S. caprifici* به گلچه‌هایی از درختان انجیر وحشی حمله می‌کنند و باعث نکرز شدن پارانیشیم سطحی گلچه‌ها می‌شوند. این نماتدها در هموسل زنبورهای ماده، حمل و سپس این نماتدها گل‌های گل آذین انجیر وحشی را پارازیت می‌کنند (Vovlas et al. 1992).

بین برخی از موجودات زنده، رابطه همزیستی وجود دارد. همزیستی، تعامل یا ارتباط نزدیک بین موجودات زنده از گونه‌های مختلف است که به طور معمول مزایایی برای یک یا هر دو طرف درگیر دارد. همزیستی گاهی ممکن است اجباری باشد که در این حالت رابطه بین دو گونه به هم وابسته است، به طوری که هر یک از ارگانیسم‌ها قادر به زنده ماندن بدون دیگری نیستند، علاوه بر این، همزیستی گاهی از نوع اختیاری به شمار می‌آید که در آن دو گونه از طریق انتخاب در یک رابطه همزیستی قرار می‌گیرند و می‌توانند به صورت جداگانه زنده بمانند. نوعی از این روابط همزیستی، رابطه فورتیک است. فورزی^۱ فعل و انفعالی است که در آن یک موجود فورتیک (فورونت^۲ یا حمل شونده) به منظور پراکندگی خود را به موجود میزبان (حامل) می‌چسباند. به طور معمول، فورونت موجودی مانند نماتد یا کنه است با توانایی محدودی برای پیمودن مسافت‌های طولانی به تنهایی. بنابراین به کمک میزبانی بسیار متحرک، مانند زنبور پراکنده می‌شود. فورزی پدیده‌ای است که در آن یک موجود (حمل شونده یا فورتیک^۳) با مهاجرت، یک مزیت اکولوژیکی یا تکاملی دریافت می‌کند. بنابراین، سود ارائه شده به فورونت بر حسب پراکندگی اندازه‌گیری می‌شود، برخلاف مزایای مستقیم تغذیه‌ای یا رشدی ناشی از انگلی کردن میزبان (White et al., 2017).

چرخه زندگی نماتدها با انجیر و زنبور انجیر مطابقت دارد (Van Goor et al., 2018). زمانی که انجیر بالغ می‌شود، لارو نماتدها در حفره انجیر جمع می‌شوند و آماده هستند تا زنبورهای انجیر گرده‌افشان خارج شده از شفتچه‌ها را آلوده کنند (Martin et al., 1973; Krishnan et al., 2010). نماتدها به سرعت از طریق نای وارد حفره‌ای سینه‌ای یا شکمی بدن زنبورها می‌شوند. سپس نماتدها توسط زنبورهای ماده گرده افشان انجیر به گل آذین‌های پذیرنده جدید انجیر منتقل و در میزبان تخم‌گذاری شده و چرخه زندگی خود را از نو آغاز می‌کنند. (Poinar & Herre, 1991).

گونه‌های *Parasitodiplogaster* می‌توانند بر طول عمر زنبور گرده‌افشان و گرده‌افشانی و تولید دانه در میزبان تأثیر بگذارند. بیولوژی و تأثیر نماتدها بر روابط زنبور گرده‌افشان انجیر همچنان در حال بررسی و مطالعه است، و اطلاعات کمتری در این زمینه موجود است، زیرا اکثر مطالعات بر روی طبقه‌بندی، تنوع و فیلوژنی نماتدها متمرکز شده است (Zeng et al.,).

1 .Phoresy

2. Phoront

3 .Phoretic

است، این روابط هم‌زیستی تحت تأثیر قرار گیرد. (2011; Davies et al., 2015; Susoy et al., 2016; Sun et al., 2017). همچنین بسته به گونه نماتد یافت شده، ممکن

با انجام مطالعات اولیه روی نماتد انجیر در انجیرکاری‌های استهبان فارس، با استخراج و شناسایی گونه نماتد گل‌آذین برانجیر *S. caprifici* از چند رقم برانجیر، مشخصات مولکولی جمعیت ایرانی گونه مذکور برای نخستین بار گزارش و با سایر جمعیت‌های گزارش شده این گونه از سایر نقاط جهان از نظر تبارزایی مورد مقایسه قرار گرفته است (Karimipour Fard & Zare, 2020).

زیست‌شناسی نماتد *S. caprifici* قبلاً مورد مطالعه قرار گرفته است. طبق این مطالعات، *B. psenes* ماده وارد گل‌آذین انجیر شده و گل‌های ماده را گرده‌افشانی می‌کند. در زمان تخم‌گذاری، نماتد *S. caprifici* در نزدیکی گلچه‌ها قرار می‌گیرد، به بافت پارانشیمی گلچه نفوذ کرده و در آن‌جا به تغذیه و تولیدمثل می‌پردازد. تخم‌های نماتد در هموسل زنبور ماده تفریخ می‌شوند. لاروهای نوظهور از بافت گلچه تغذیه می‌کنند. لارو نماتد قادر است لارو زنبور را آلوده کند و بدین ترتیب چرخه زندگی نماتد و زنبور به طور هم‌زمان کامل می‌شود. زنبور نر که به نماتد آلوده نشده، با ماده جفت‌گیری می‌کند و زنبور بارور ماده که نماتد را در هموسل خود حمل می‌کند، از گل خارج می‌شود و به این ترتیب چرخه زندگی کامل می‌شود (Vovlas et al., 1992).

زنبور گرده‌افشان طی تخم‌گذاری، نماتد ماده *S. caprifici* را از گل‌آذین آلوده به گل‌آذین سالم منتقل کرده و نماتد در هموسل زنبور بلاستوفاگا تولیدمثل می‌کند (Khairi & Goldansaz, 1998). مطالعات دیگر نشان داد که نماتد *S. aureus* با زنبور *P. mexicanus* و گونه انجیر *F. aurea*، همچنین نماتد *S. laevigatus* با زنبور *Pegoscopus sp.* و انجیر *Ficus laevigata* مرتبط است (DeCrappeo & Giblin-Davis, 2001).

ارتباط نماتد *S. caprifici* با زنبور انجیر گرده‌افشان (*B. psenes*) از برانجیر (*Ficus carica* var. *sylvestris*) گزارش و توصیف شده است ولی در زمینه تأیید ارتباط بین این نماتد و زنبور *B. psenes* آزمایشی انجام نگردیده است (Kolaei et al., 2016).

مطالعات انجام شده روی نماتدهای *Parasitodiplogaster sp.* مرتبط با زنبور انجیر گرده‌افشان، *Pegoscopus assuetus* و سیکونیوم انجیر بومی فلوریدان، *Ficus laevigata*، نشان داد لارو سن سوم نماتد توسط زنبورهای ماده به داخل حفره سیکونیوم منتقل می‌شود، در حفره سیکونیوم درون هموسل زنبور ماده به لارو سن چهارم تبدیل می‌شود و اندازه آن افزایش می‌یابد. سپس زنبور ماده در گلچه‌های ماده شروع به گرده‌افشانی و تخم‌گذاری می‌کند. بنابراین مرحله تخم، لاروهای سن دوم و سوم در حفره گل‌آذین سپری می‌شوند. با ظهور و خروج نسل جدید زنبور گرده‌افشان از گال، ممکن است این زنبورها توسط لارو سن سوم آلوده شوند (Giblin-Davis et al. 1995).

این پژوهش به منظور بررسی اثرات متقابل جمعیت زنبور *B. psenes* و نماتد انجیر *S. caprifici* در ژنوتیپ‌های مختلف برانجیر در استان فارس صورت گرفت.

روش‌شناسی پژوهش

مکان و زمان نمونه‌برداری

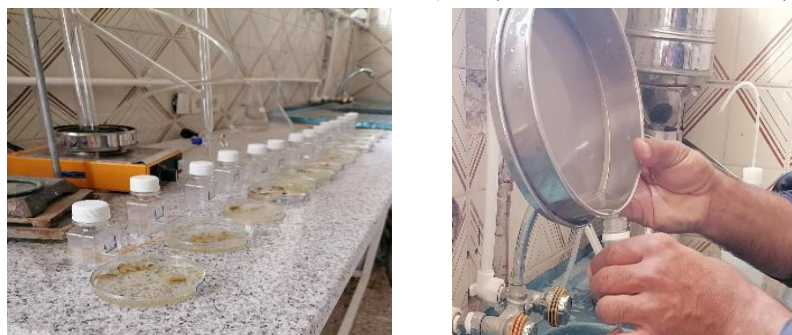
مجموعاً ۱۷۵ نمونه از گل‌آذین‌های بهاره (زودرس، میان‌رس و دیررس) شامل ۴۳ ژنوتیپ برانجیر (آبی، آسیاب، باغ‌کوچیکی، برانجیرباغی، برانجیر کوهی، برانجیر کوهی سد، برگ بنفشه‌ای، برگ‌توتی، بعثت، بند بنفشه‌ای، پوزدنبالی، پوزدنبالی آبی، جوهری، جوهری درشت، چشم‌بلبلی، چشم‌بلبلی خمی، چشم‌پاچینی قرمز، چشم‌قرمزی، حاج محمدعلی، خاکستونی، خرمایی، خودرو، دانه سفید، دانه سفید ایچ، دهانه‌گشاد خمی، سیبی، شاه‌انجیری، شاه‌انجیری دانه سفید، فریدونی، قد‌شانه‌ای، قرقی، قرمز عنابی خمی، کوهکی، کوهکی آردکی، کوهکی ریز، لیمویی، مفتخر، مقدم، مقدم ۳، مهارلویی، نرگسی، نوک قرمزی، هکلی) از مناطق مختلف شهرستان‌های استهبان، ایچ، خفر، سروستان، کوار و شیراز در استان فارس در فصل بهار طی سال‌های

۱۴۰۱ تا ۱۴۰۲ نمونه برداری شد. نمونه برداری از گل آذین های بهاره ژنوتیپ های برانجیر در مرحله بلوغ (خروج زنبور ماده و آزادسازی گرده) انجام و پس از انتقال به آزمایشگاه، تا زمان استخراج نماتدها در یخچال نگهداری شدند. استخراج و تعیین تراکم نماتد در میوه برانجیر و زنبور گرده افشان گل آذین های جمع آوری شده به تفکیک مناطق و ژنوتیپ های مختلف (شکل ۱)، پس از ضد عفونی سطحی میوه ها و قطعه قطعه کردن آنها با اسکالپل انجام شد.



شکل ۱. تعدادی از ژنوتیپ های مختلف برانجیر بهاره جهت بررسی جمعیت نماتد گل آذین انجیر *Schistonchus caprifici* و زنبور گرده افشان انجیر *Blastophaga psenes* (تصویر از نگارندگان).

برای این منظور، قطعات انجیر به پتری حاوی آب مقطر استریل منتقل و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و در تاریکی نگهداری شدند. پس از این مدت، سوسپانسیون مذکور از الک های ۶۰ و ۵۰۰ مش عبور داده شد و نماتدهای روی سطح الک ۵۰۰ مش شستشو و به درون پتری دیش منتقل گردید (شکل ۲). جمعیت نماتدهای استخراجی در یک میلی لیتر از سوسپانسیون حاوی نماتد با اسلاید شمارش تعیین شد و جمعیت نماتدهای موجود در وزن مشخصی از بافت گل آذین تخمین زده شد. نماتدهای جمع آوری شده با اضافه کردن فرمالدهید ۴۰ درصد و گرما کشته و سپس به گلیسرین منتقل شدند (Seinhorst, 1966). شناسایی نماتدهای جمع آوری شده، پس از تهیه اسلایدهای دائم از نماتدهای تثبیت شده، با استفاده از کلیدها و منابع معتبر (Vovlas & Larizza, 1996) انجام شد.



شکل ۲. استخراج نمادهای موجود در گل‌آذین‌های ژنوتیپ‌های جمع‌آوری شده طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۱ (تصویر از نگارندگان).

جداسازی، تعیین تراکم و شناسایی زنبورهای فعال در میوه برانجیر

جهت بررسی آلودگی زنبورهای گرده‌افشان به نماتد، نمونه‌برداری از درختان انجیر نر انجام شد. از هر ژنوتیپ از سه درخت نر نمونه‌برداری و از هر درخت ۵ عدد انجیر جمع‌آوری شد، برای شمارش نماتدها از هر انجیر به طور تصادفی ۱۰ زنبور انتخاب و بررسی شدند. انجیرها در یک کیسه مشبک ریخته شدند تا از خروج زنبورهای بیرون آمده جلوگیری شود. زنبورهای ماده گرده‌افشان در ظرف پتری حاوی آب مقطر تشریح و نماتدها در زیر میکروسکوپ استریوسکوپی شمارش شدند (Shi et al., 2019). سیکونیوم انجیر ژنوتیپ‌های مختلف بر انجیر برش زده شدند و تعداد زنبورها در هر میوه زیر استریومیکروسکپ شمارش و ثبت شد. سپس برای تأیید گونه زنبور جداسازی شده، نمونه زنبور جهت شناسایی و تأیید به مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور ارسال شد.

محاسبه شاخص‌های همبستگی بین جمعیت زنبور گرده‌افشان و نماتد

برای گونه‌های زنبور گرده‌افشان A و نماتد B مقادیر شاخص‌های ذیل محاسبه شد (رابطه ۱) (Martin et al., 2019).

a=تعداد واحدهای نمونه که هر دو گونه را شامل می‌شدند.

b=تعداد واحدهای نمونه که گونه زنبور را داشتند؛ ولی فاقد گونه نماتد بودند.

c=تعداد واحدهای نمونه که گونه نماتد را داشتند؛ ولی فاقد گونه زنبور بودند.

d=تعداد واحدهای نمونه که هیچ‌کدام از گونه‌های زنبور و نماتد را نداشتند.

$$N = a + b + c + d \quad \text{رابطه ۱}$$

N=تعداد کل واحدهای نمونه‌برداری

سپس میزان آلودگی گونه زنبور (PB) (رابطه ۲) و آلودگی نسبی مورد انتظار گونه زنبور (EB) (رابطه ۳) و میزان آلودگی

گونه نماتد (PN) (رابطه ۴) و آلودگی نسبی مورد انتظار گونه نماتد (EN) (رابطه ۵) به‌صورت زیر به محاسبه شد (Davis, 2020).

$$P_B = a + b \quad \text{رابطه ۲}$$

$$E_B = \frac{(a + b)(a + c)}{N} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$P_N = a + c \quad \text{رابطه ۴}$$

$$E_N = \frac{(a + b)(b + c)}{N} \quad \text{رابطه ۵}$$

مقدار آلودگی به دو شاخص پایه برای اندازه‌گیری میزان همبستگی زنبور گردهافشان B و نماد N شامل شاخص اوکیای (OI) (رابطه ۶) و شاخص جاکارد^۱ (JI) (رابطه ۷) به صورت زیر محاسبه شد (Cáceres & Legendre, 2009). مقادیر a, b و c مشابه روابط قبلی تعریف شده است:

$$OI = \frac{a}{\sqrt{a + b\sqrt{a + c}}} \quad \text{رابطه ۶}$$

$$JI = \frac{a}{a + b + c} \quad \text{رابطه ۷}$$

با در نظر گرفتن تراکم متوسط جمعیت زنبور (NB) و نماد (NN) در هر ژنوتیپ برانجیر مقدار استقرار نسبی زنبور (CB) (رابطه ۸) و نماد (CN) (رابطه ۹) در هر ژنوتیپ نسبت به کل ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با استفاده از روابط زیر محاسبه شد. در این رابطه n معادل تعداد کل ژنوتیپ‌های برانجیر مورد مطالعه بود (Frenzel & Brandl, 2001).

$$C_B = \frac{\sum N_{Bi}}{\sum N_{Bi} + \dots + \sum N_{Bn}} \quad \text{رابطه ۸}$$

$$C_N = \frac{\sum N_{Ni}}{\sum N_{Bi} + \dots + \sum N_{Bn}} \quad \text{رابطه ۹}$$

سپس درجه هم‌پوشانی زنبور گردهافشان با نماد (LB) (رابطه ۱۰) و نماد با زنبور گردهافشان (LN) (رابطه ۱۱) بر اساس شاخص لوئیز و به صورت زیر محاسبه شد (Baldock et al., 2015).

$$L_B = \frac{[N_B N_N]}{N_B} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$L_N = \frac{[N_N N_B]}{N_N} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

تحلیل داده‌ها

تمام داده‌های به دست آمده از شاخص‌های همبستگی بین دو گونه پس از اطمینان از نرمال بودن به کمک آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. تحلیل عاملی به منظور تشخیص عامل‌های مشاهده‌ناپذیر ترکیبی مؤثر بر همبستگی گونه‌ها بر پایه مجموعه شاخص‌های مشاهده‌پذیر انجام شد. عامل، متغیر جدیدی است که از طریق ترکیب خطی نمره‌های اصلی شاخص‌های ارزیابی بر پایه فرمول زیر برآورد می‌شود:

$$F_j = \sum W_{ji} X_i = W_{j1} X_1 + W_{j2} X_2 + \dots + W_{jp} X_p$$

که در آن Wها بیانگر ضرایب نمره عاملی و P معرف تعداد شاخص‌های محاسبه شده برای هر رقم تحت مطالعه است. با ترکیب‌های خطی به دست آمده نتیجه توصیف ویژگی‌های هر شاخص همبستگی و ارتباط آن با شاخص‌های محاسبه شده با آن، امکان‌پذیر شد.

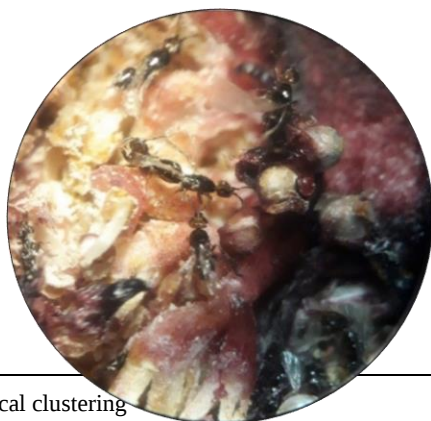
با ترکیب‌های خطی به دست آمده نتیجه توصیف ویژگی‌های هر شاخص همبستگی و ارتباط آن با شاخص‌های محاسبه شده با آن امکان‌پذیر شد. استخراج عامل‌ها از ماتریس ضریب همبستگی، چرخش عامل‌ها به منظور به حداکثر رساندن رابطه

بین شاخص‌ها و عامل‌ها و محاسبه بار عاملی (نمره عامل‌ها) برای تعیین عامل‌های موردنظر انجام شد (Hamzehzarghani et al., 2005).

برای تفکیک ژنوتیپ‌های برانجیر بر اساس پتانسیل همبستگی جمعیت‌های زنبور گرده‌افشان و نماتد میوه انجیر از روش تحلیل خوشه‌ای استفاده و نمونه‌هایی که از نظر شاخص‌های جمعیتی و همبستگی یکسان بودند بر اساس یک فاصله اقلیدسی مشخص به گروه‌های مختلفی تقسیم‌بندی شدند. داده‌های برداشت شده در این پژوهش به روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی^۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. جهت تهیه نمودار درختی^۲ معرف ساختار درونی متغیرها، نیاز به انتخاب روش مناسبی جهت اتصال خوشه‌ها بود. دو یا چند ژنوتیپ برانجیر در یک خوشه خاص، نشان‌دهنده شباهت بین آنها در شاخص‌های همبستگی جمعیت‌های زنبور گرده‌افشان و نماتد میوه بود؛ بنابراین با استفاده از این نمودار اقدام به گروه‌بندی ژنوتیپ‌های برانجیر شد. با توجه به تئوری روش آنالیز خوشه‌ای و با در نظر گرفتن معیارهای تعیین بهترین مکان برای خط فنون بر اساس فاصله اقلیدسی^۳، این موقعیت انتخاب گردید. مناسب ترین فاصله اقلیدسی بر اساس رابطه $\sqrt{\frac{n}{2}}$ برآورد شد که n معادل تعداد کل ژنوتیپ‌های برانجیر مورد آزمایش بود. بر این اساس کل ژنوتیپ‌های برانجیر مورد مطالعه در گروه‌هایی براساس شاخص‌های همبستگی جمعیت‌های زنبور گرده‌افشان و نماتد میوه قرار داده شدند (Frades & Matthiesen, 2010). به منظور ارزیابی صحت خوشه‌بندی ژنوتیپ‌های برانجیر مورد مطالعه تجزیه و تحلیل تشخیص خطی (LDA)، تجزیه و تحلیل متمایز عادی (NDA)، یا تجزیه و تحلیل تابع متمایز، تعمیم تفکیک‌کننده خطی فیشر استفاده شد. LDA ارتباط نزدیکی با تجزیه و تحلیل عاملی دارد، زیرا هر دو به دنبال ترکیب‌های خطی متغیرهایی هستند که همبستگی جمعیت‌های زنبور گرده‌افشان و نماتد میوه در ژنوتیپ‌های مورد آزمایش را به بهترین نحوی توضیح دادند. تفاوت بین گروه‌های داده، بررسی گردید و به این ترتیب از صحت خوشه‌بندی اطمینان حاصل شد. کلیه تحلیل‌های آماری به کمک نرم افزار IBM SPSS Statistics 27.0.1.0 انجام شد.

یافته‌های پژوهشی

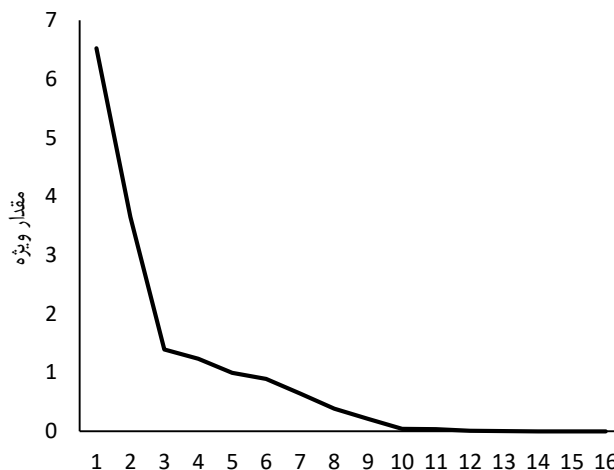
نماتدهای استخراج شده از گل‌آذین‌های بهاره مربوط به نمونه‌های هر دو سال این مطالعه با استفاده از خصوصیات ریخت-شناسی و ریخت‌سنجی و با استفاده از کلید تشخیص گونه‌های جنس *Schistonchus* (Vovlas & Larizza, 1996)، گونه *Schistonchus caprifici* تشخیص داده شد. همچنین تعداد زنبورهای ماده درون گل‌آذین ژنوتیپ‌های مختلف به تفکیک منطقه، زیر استریومیکروسکوپ شمارش گردید (شکل ۳).



1. Hierarchical clustering
2. Dendrogram
3. Euclidean distance

شکل ۳. شمارش زنبورهای *Blastophaga psenes* درون گل آذین برانجیر در مشاهده با استریو میکروسکوپ (سمت چپ) و نماتدهای بالغ نر و ماده *Schistonchus caprifici* در مشاهده میکروسکوپی (سمت راست) (تصویر از نگارندگان).

در این تحقیق، از بررسی هم زمان شاخص‌های همبستگی بین جمعیت زنبور گرده‌افشان و نماتد شامل فراوانی مورد انتظار، شاخص اوکیای و شاخص جاکارد و جایگاه آنها در بروز روابط بین دو گونه در ژنوتیپ‌های برتر برانجیر استفاده شد (شکل ۴).



شماره مؤلفه

شکل ۴. پلات مؤلفه‌های اصلی بروز روابط بین جمعیت زنبور گرده‌افشان و نماتد در ژنوتیپ‌های برانجیر در فضای چرخشی.

بر اساس رابطه بین شاخص‌ها ۴ (آلودگی نسبی مورد انتظار، تراکم متوسط جمعیت، درجه هم‌پوشانی اوکیای و شاخص جاکارد) عامل با داشتن ریشه‌های بزرگ‌تر از یک معنی‌دار، ۷۹/۹۶ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. سه عامل اول بیشترین تغییرات را نشان دادند و به ترتیب ۳۸/۷۵، ۱۶/۳۶ و ۱۵/۴۵ درصد از کل تغییرات را توجیه کردند (جدول ۱). با توجه به دوران عامل‌ها با چرخش واریماکس (جدول ۲) که واریانس بین عوامل را حداکثر و تفسیر عوامل را ساده‌تر می‌کند، عواملی که درصد بیشتری از تغییرات شاخص‌ها را در روابط بین جمعیت زنبور گرده‌افشان و نماتد در ژنوتیپ‌های برانجیر را توجیه کنند، مهم‌تر بوده و مورد بررسی قرار گرفتند. لذا شاخص‌های مؤثر در هر عامل شناسایی و عوامل بر اساس مؤثرترین صفات نام گذاری شدند.

جدول ۱. نتایج تجزیه به عامل‌ها به منظور تشخیص عامل‌های مشاهده‌ناپذیر ترکیبی مؤثر بر روابط بین جمعیت زنبور گرده‌افشان و نماتد در ژنوتیپ‌های

برانجیر.

مجموع بارهای مربعی Sums of Squared Loadings			مقادیر ویژه اولیه Initial Eigenvalues			مؤلفه‌ها Component
درصد تجمعی Cumulative %	% واریانس % Variance	کل Total	درصد تجمعی Cumulative %	% واریانس % Variance	کل Total	
۴۰/۷۵	۴۰/۷۵	۶/۵۲	۴۰/۷۵	۴۰/۷۵	۶/۵۲	۱
۶۳/۵۷	۲۲/۸۲	۳/۶۵	۶۳/۵۷	۲۲/۸۲	۳/۶۵	۲
۷۲/۲۶	۸/۶۹	۱/۳۹	۷۲/۲۶	۸/۶۹	۱/۳۹	۳
۷۹/۹۶	۷/۷۰	۱/۲۳	۷۹/۹۶	۷/۷۰	۱/۲۳	۴

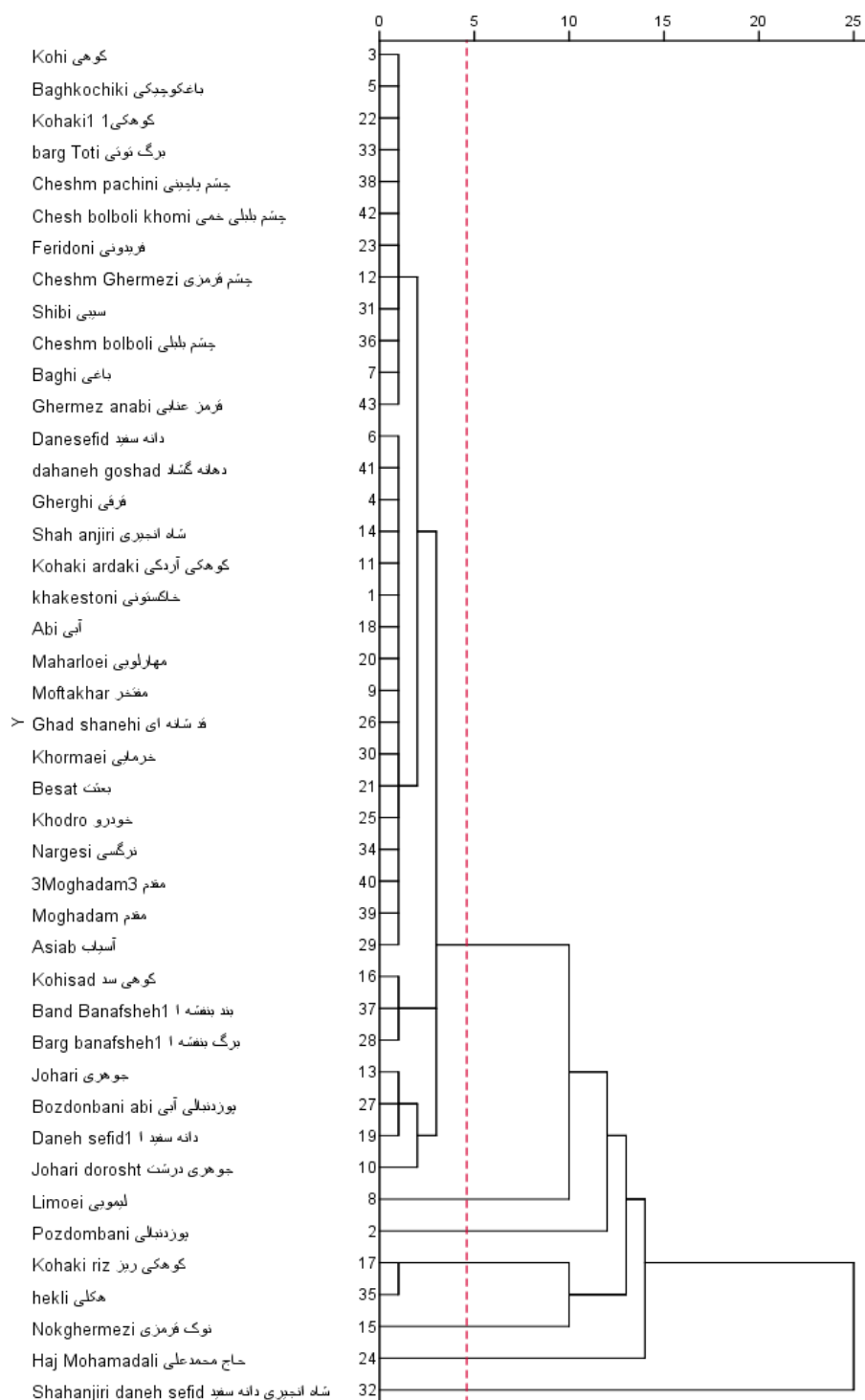
۵	۰/۹۹	۶/۲۱	۸۶/۱۷
۶	۰/۸۹	۵/۵۸	۹۱/۷۵
۷	۰/۶۴	۳/۹۹	۹۵/۷۴
۸	۰/۳۸	۲/۴۰	۹۸/۱۵
۹	۰/۲۱	۱/۳۰	۹۹/۴۵
۱۰	۰/۰۴	۰/۲۵	۹۹/۷۰
۱۱	۰/۰۳	۰/۲۱	۹۹/۹۱
۱۲	۰/۰۱	۰/۰۷	۹۹/۹۸

طبق نتایج جدول ۲ در فاکتور اول شاخص های میزان آلودگی به زنبور، میزان آلودگی به نماتد، تراکم نسبی زنبور، درجه همپوشانی زنبور گرده افشان با نماتد و نماتد با زنبور گرده افشان در بروز همبستگی میان جمعیت زنبور گرده افشان و نماتد ضرایب مثبت و بزرگ داشتند. در فاکتور دوم میزان آلودگی به زنبور و درجه همپوشانی نماتد با زنبور گرده افشان و در فاکتور سوم نیز شاخص اوکیای نماتد مقدار مثبت و بزرگ داشتند.

جدول ۲. ریشه های تجزیه به عامل ها پس از چرخش واریماکس برای تشخیص عامل های مشاهده ناپذیر ترکیبی مؤثر بر روابط بین جمعیت زنبور گرده افشان و نماتد در ژنوتیپ های برانجیر.

شاخص ها	عامل ها			
	1	2	3	4
P_N	۰/۹۶	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۶
P_B	۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۱۳	۰/۳۳
N_n	۰/۳۳	۰/۰۹	۰/۳۴	۰/۳۳
N_B	۰/۱۳	۰/۴۳	۰/۳۰	۰/۳۵
C_N	۰/۸۳	۰/۴۱	۰/۱۲	۰/۱۹
C_B	۰/۸۳	۰/۴۱	۰/۱۲	۰/۱۹
L_N	۰/۵۶	۰/۵۷	۰/۲۱	۰/۳۶
L_B	۰/۹۶	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۶
E_N	۰/۳۵	۰/۲۱	۰/۵۸	۰/۰۷
E_B	۰/۹۳	۰/۲۱	۰/۱۲	۰/۰۷
OI_N	۰/۳۷	۰/۲۹	۰/۷۲	۰/۰۴
OI_B	۰/۶۹	۰/۲۲	۰/۴۰	۰/۴۲
JI_N	۰/۱۲	۰/۷۳	۰/۱۹	۰/۴۵
JI_B	۰/۹۶	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۱۷

P_N ، N_n ، C_N ، L_N ، E_N ، OI_N ، JI_N به ترتیب نشان دهنده میزان آلودگی نماتد، تراکم متوسط جمعیت نماتد، مقدار استقرار نسبی نماتد، درجه همپوشانی نماتد با زنبور گرده افشان، آلودگی نسبی مورد انتظار نماتد، شاخص اوکیای و شاخص جاکارد نماتد و P_B ، N_B ، C_B ، L_B ، E_B ، OI_B و JI_B به ترتیب میزان آلودگی زنبور، تراکم متوسط جمعیت زنبور، مقدار استقرار نسبی زنبور، درجه همپوشانی زنبور گرده افشان با نماتد، آلودگی نسبی مورد انتظار زنبور، شاخص اوکیای و شاخص جاکارد زنبور هستند.



شکل ۵. خوشه‌بندی ژنوتیپ‌های برانجیر براساس روابط بین جمعیت زنبورگرده‌افشان و نماتد.

نمودار دندروگرام خوشه‌بندی ژنوتیپ‌های برانجیر مورد مطالعه بر اساس عامل‌های مشاهده‌ناپذیر ترکیبی مؤثر بر نوع همبستگی بین جمعیت زنبورگرده‌افشان و نماتد که بر پایه مجموعه شاخص‌های مشاهده‌پذیر محاسبه شده در شکل ۵ نشان داده شده است. در گروه‌بندی، ۴ گروه مجزا به دست آمد. میزان ضریب همبستگی کوفنیتیک بین ماتریس فاصله اقلیدسی و ماتریس خروجی حاصل از دندروگرام به دست آمده از تجزیه خوشه‌ای برابر با ۰/۷۹ بود که نشان‌دهنده گروه‌بندی قابل قبول

ژنوتیپ‌های برانجیر از نظر شاخص‌های همبستگی بین جمعیت زنبور گرده افشان و نماتد بود. ژنوتیپ‌های برانجیر مربوط به هر خوشه در جدول ۳ آورده شده است.

در خوشه ۱، تعداد سه ژنوتیپ برانجیر بنام‌های نوک قرمزی، حاج محمدعلی و شاه‌انجیری دانه سفید قرار دارد. این ژنوتیپ‌ها پایین‌ترین رتبه همبستگی بین جمعیت زنبور گرده افشان و نماتد را داشته و بنابراین ارتباط بین نماتد و زنبور گرده افشان کم‌ترین تأثیر را بر کارایی گرده افشانی آنها داشت. متوسط شاخص‌های میزان آلودگی و آلودگی نسبی مورد انتظار، تراکم متوسط جمعیت، تراکم نسبی درجه همپوشانی اوکیای و شاخص جاکارد زنبور به ترتیب معادل ۲۷/۳۳، ۱/۷۳، ۳/۸۵، ۰/۲۶، ۰/۴۰، ۰/۳۶ و ۰/۶۲ بود. ۳۳/۶۷ و برای نماتد به ترتیب معادل ۲۷/۳۳، ۱/۷۳، ۳/۸۵، ۰/۲۶، ۰/۴۰، ۰/۳۶ و ۰/۶۲ بود.

در نهایت ژنوتیپ‌های خاکستونی، برانجیر کوهی، قرقی، باغ کوچیکی، دانه سفید، برانجیر باغی، مفتخر، جوهری درشت، کوهکی آردکی، چشم قرمزی، جوهری، شاه‌انجیری، برانجیر کوهی سد، دانه سفید ایچ، مهارلویی، بعثت، کوهکی، فریدونی، خودرو، قد شانه‌ای، پوزدنبالی آبی، برگ بنفشه‌ای، آسیاب، خرمایی، سیبی، برگ توتی، نرگسی، چشم‌بلیلی، بند بنفشه‌ای، چشم پاجینی قرمز، مقدم، مقدم ۳، دهانه‌گشاد خمی، چشم‌بلیلی خمی و قرمز عنابی خمی در خوشه چهارم قرار گرفتند. متوسط شاخص‌های میزان آلودگی و آلودگی نسبی مورد انتظار، تراکم متوسط جمعیت، تراکم نسبی درجه همپوشانی اوکیای و شاخص جاکارد زنبور در این خوشه به ترتیب ۹۵/۷۳، ۹۶۸۴، ۱۷۱۶/۱۵، ۴۶/۳۲، ۰/۸۷، ۰/۱۳، ۰/۱۴ و برای نماتد به ترتیب ۹۵/۷۳، ۱۱/۹۷، ۱/۱۷، ۰/۲۵، ۰/۲۴، ۰/۱۵ و ۰/۱۴ بود. سایر اطلاعات مربوط به گروه‌های بدست آمده در جدول ۳ درج شده است.

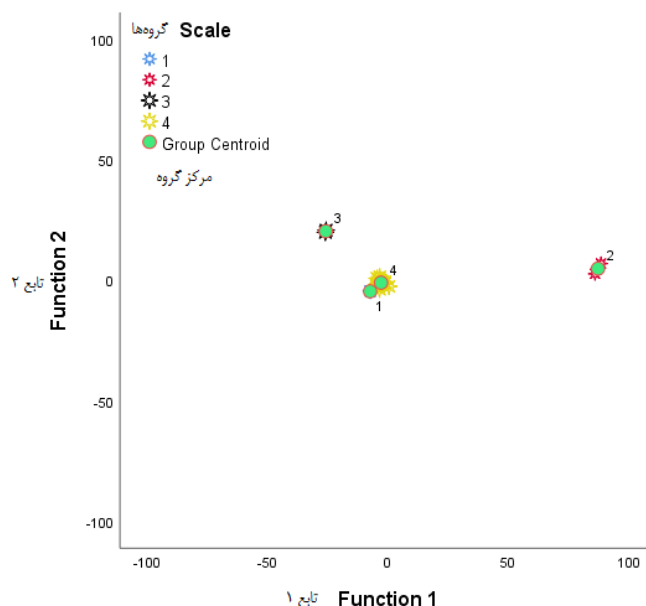
جدول ۳. گروه بندی ژنوتیپ‌های برانجیر براساس روابط بین جمعیت زنبور گرده افشان و نماتد.

رتبه Rank	ژنوتیپ‌های برانجیر caprifig genotypes	شاخص‌ها Indices	میانگین Mean	خطای استاندارد Deviation	تعداد معتبر در فهرست Valid N (listwise)	
					بدون وزن Unweighted	با وزن Weighted
۱/۰۰	حاج محمدعلی، شاه انجیری دانه سفید، نوک قرمزی	P _N	۲۷/۰۰	۴۵/۹۰	۳/۰۰	۳/۰۰
		P _B	۵۰/۱۷	۰/۲۹	۳/۰۰	۳/۰۰
		N _n	۲۴۸/۵۰	۴۲۹/۱۲	۳/۰۰	۳/۰۰
		N _B	۱۸/۱۷	۱۶/۷۵	۳/۰۰	۳/۰۰
		C _N	۰/۷۴	۰/۴۲	۳/۰۰	۳/۰۰
		C _B	۰/۲۶	۰/۴۲	۳/۰۰	۳/۰۰
		L _N	۳۳/۶۷	۲۸/۲۹	۳/۰۰	۳/۰۰
		L _B	۲۷/۳۳	۴۵/۶۱	۳/۰۰	۳/۰۰
		E _N	۱/۷۳	۲/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰
		E _B	۳/۸۵	۲/۷۷	۳/۰۰	۳/۰۰
		OI _N	۰/۲۶	۰/۲۴	۳/۰۰	۳/۰۰
		OI _B	۰/۴۰	۰/۳۵	۳/۰۰	۳/۰۰
		JI _N	۰/۳۶	۰/۳۸	۳/۰۰	۳/۰۰
		JI _B	۰/۶۲	۰/۵۳	۳/۰۰	۳/۰۰
۲/۰۰	کوهکی ریز هکلی	P _N	۱/۰۰	۰/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰
		P _B	۹۲/۸۵	۱۰/۱۱	۲/۰۰	۲/۰۰
		N _n	۱/۰۰	۰/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰
		N _B	۸۱/۰۰	۲۵/۴۶	۲/۰۰	۲/۰۰
		C _N	۰/۰۱	۰/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰
		C _B	۰/۹۹	۰/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰
		L _N	۹۲/۸۵	۱۰/۱۱	۲/۰۰	۲/۰۰
		L _B	۱/۰۰	۰/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰

تعداد معتبر در فهرست Valid N (listwise)		خطای استاندارد Std. Deviation	میانگین Mean	شاخص‌ها Indices	رتبه Rank	ژنوتیپ‌های برانجیر caprifig genotypes
با وزن Weighted	بدون وزن Unweighted					
۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۶۶	۰/۵۳	E _N		
۲/۰۰	۲/۰۰	۱/۴۵	۱۱/۱۱	E _B		
۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	OI _N		
۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۱	۰/۹۰	OI _B		
۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	JI _N		
۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۵	۱/۶۳	JI _B		
۲/۰۰	۲/۰۰	۵/۳۳	۹۶/۳۳	P _N	۳/۰۰	پوزدنیالی لیمویی
۲/۰۰	۲/۰۰	۳/۵۱	۹۷/۵۲	P _B		
۲/۰۰	۲/۰۰	۲۸۷/۵۶	۵۱۶/۶۷	N _n		
۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۵۹	۳۰/۹۲	N _B		
۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۵	۰/۹۲	C _N		
۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۸	C _B		
۲/۰۰	۲/۰۰	۳/۵۱	۹۷/۵۲	L _N		
۲/۰۰	۲/۰۰	۵/۳۳	۹۶/۳۳	L _B		
۲/۰۰	۲/۰۰	۶۲/۷۱	۵۷/۳۴	E _N		
۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۹۳	۰/۶۶	E _B		
۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۶۸	۰/۵۲	OI _N		
۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۶۷	۰/۵۳	OI _B		
۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	JI _N		
۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	JI _B		
۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	۷/۲۳	۹۵/۷۳	P _N	۴/۰۰	سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر انجیر
۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	۶/۸۶	۹۶/۱۴	P _B		
۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	۲۷۱۲/۱۴	۱۷۱۶/۱۵	N _n		
۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	۲۵/۴۱	۴۶/۳۲	N _B		
۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	۰/۱۳	۰/۸۷	C _N		
۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	۰/۱۳	۰/۱۳	C _B		
۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	۶/۸۶	۹۶/۱۴	L _N		
۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	۷/۲۳	۹۵/۷۳	L _B		
۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	۲/۹۵	۱۱/۹۷	E _N		
۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	۰/۴۴	۱/۱۷	E _B		
۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	۰/۰۷	۰/۲۵	OI _N		
۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	۰/۰۸	۰/۲۴	OI _B		
۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	۰/۰۸	۰/۱۵	JI _N		
۳۶/۰۰	۳۶/۰۰	۰/۰۶	۰/۱۴	JI _B		

PN ، N_n ، C_N ، L_N ، E_N ، OI_N ، JI_N به ترتیب نشان‌دهنده میزان آلودگی نماتد، تراکم متوسط جمعیت نماتد، مقدار استقرار نسبی نماتد، درجه همپوشانی نماتد با زنبور گرده‌افشان، آلودگی نسبی مورد انتظار نماتد، شاخص اوکیای و شاخص جاکارد نماتد و PB ، N_B ، C_B ، L_B ، E_B ، OI_B و JI_B به ترتیب میزان آلودگی زنبور، تراکم متوسط جمعیت زنبور، مقدار استقرار نسبی زنبور، درجه همپوشانی زنبور گرده‌افشان با نماتد، آلودگی نسبی مورد انتظار زنبور، شاخص اوکیای و شاخص جاکارد زنبور هستند.

مقایسه دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از تجزیه تابع تشخیص خطی فیشر حاکی از آن بود که معیار وارد توانست ژنوتیپ‌های برانجیر را با احتمال صحت ۹۸/۶ درصد گروه‌بندی نماید (شکل ۶) و تفاوت بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهد.



شکل ۶. صحت گروه بندی ژنوتیپ‌های بر انجیر براساس روابط بین جمعیت زنبور گرده‌افشان و نماتد به روش تابع تشخیص کانونی.

تابع اول ۹۳/۳ درصد از واریانس را در بر داشت. مقدار لامبدای ویلکس هرچقدر به طرف صفر میل کند نشان دهنده مناسب‌تر بودن تابع در تفکیک گروه‌ها است. تابع اول دارای پایین‌ترین لامبدای ویلکس (۰/۰۰۰۱) بوده و نسبت به تابع دوم مناسب‌تر بود. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان استنباط نمود که درجه همپوشانی و همبستگی گونه‌ای زنبور گرده‌افشان و نماتد میوه انجیر در ژنوتیپ‌های مختلف بر انجیر متفاوت بوده و این تفاوت‌ها یکی از عوامل اصلی در بروز تغییرات در میزان بهره‌وری گرده‌افشانی ژنوتیپ‌های مختلف بر انجیر است. در هر ژنوتیپ بر انجیر که میزان همپوشانی دو گونه بالاتر باشد، از کارایی گرده‌افشانی کاسته می‌شود؛ زیرا نماتد نه تنها از زنبور به عنوان یک عامل همسفر استفاده می‌کند بلکه به عنوان پارازیت زنبور گرده‌افشان نیز عمل می‌کند. همان‌طور که در این پژوهش نشان داده شد طیف گسترده‌ای از سیستم‌های زیستی ارتباط متقابل بین ژنوتیپ بر انجیر- نماتد- زنبور گرده‌افشان تشکیل گردیده است. در محیط زیست فعالیت این سیستم، عامل تعیین کننده اصلی توزیع و فراوانی هر دو گونه نماتد و زنبور گرده‌افشان است. منشاء و حفظ برهم‌کنش‌های بین این دو گونه براساس تفاوت بستر رشد پایه آنها که ژنوتیپ‌های مختلف بر انجیر است یک هدف کلیدی در انتخاب و معرفی ارقام بر انجیر مناسب و سازگار با منطقه است. با این حال، روابط بین گونه‌ای که به عنوان یک سیستم زیستی در نظر گرفته می‌شوند از میلیون‌ها تعامل بین ارگانیسم‌های منفرد تشکیل شده است و ماهیت آن به نوبه خود به شدت به برهم‌کنش‌های هزاران عنصر ژنتیکی وابسته است (Woodruff & Phillips, 2018a). بنابراین درک چگونگی و چرایی تعامل دو گونه مورد مطالعه با یکدیگر احتمالاً به اطلاعاتی در مورد پایه‌های ژنتیکی چنین برهم‌کنش‌هایی نیز بستگی دارد، که در حال حاضر اطلاعات کمی در مورد آنها موجود است. تجزیه و تحلیل کامل‌تر این فعل و انفعالات، از ژن به اکوسیستم، مستلزم توسعه مطالعات در این زمینه است. در این پژوهش ارتباط سیستم اکولوژیکی زنبور گرده‌افشان-نماتد-انجیر بررسی شد.

بحث

از آنجایی که نماتد مورد مطالعه علاوه بر میوه انجیر روی زنبور گرده‌افشان نیز فعال بود و پراکنده شده است، می‌توان انتظار داشت که آنها شباهت‌هایی در پویایی جمعیت داشته باشند. بنابراین اندازه جمعیت نماتد در ارقامی که فعالیت جمعیت زنبور بیشتر بوده، بالاتر است. این واقعیت در ۳۶ ژنوتیپ بر انجیر مورد مطالعه هم‌خوانی دارد. لذا همپوشانی جمعیت نماتد و

زنبور گرده افشان انجیر در ۸۶ درصد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه احتمالاً از عوامل کاهش کارایی گرده افشانی است. تنها در کمتر از یک درصد ژنوتیپ‌ها این همپوشانی و همبستگی بین گونه‌ای در حداقل بوده و کم‌ترین تأثیر را بر کارایی گرده افشانی داشته است. این تغییرات ممکن است در نتیجه تفاوت در میزان در دسترس بودن منابع برای نماتدها و زنبورها در ژنوتیپ‌های مختلف برانجیر باشد. نماتدهای برانجیر توسط زنبورهای گرده افشان می‌توانند در فواصل طولانی مهاجرت کنند و جمعیت‌های کوچک پایه گذار را نشان دهند. این جمعیت‌های جدید، احتمالاً به شدت تحت تأثیر میزبان زنبور گرده افشان انجیر خود قرار می‌گیرند. ساختار جمعیت فضایی گونه‌های زنبور در ژنوتیپ‌های مختلف برانجیر متفاوت است. در دهه گذشته مطالعات متعددی در رابطه با همپوشانی جمعیت گرده افشان‌ها با سایر جمعیت‌های همزیست انجام و تأثیر برهم کنش‌های بین گونه‌ای بر پویایی جمعیت آنها بررسی شده است (Woodruff & Phillips, 2018b). در پژوهش Giblin-Davis & Decrappeo (2001) دریافتند که نماتد *S. aureus* با زنبور *P. mexicanus* و گونه انجیر *F. aurea* همچنین نماتد *S. laevigatus* با زنبور *Pegoscopus* sp. و انجیر *Ficus laevigata* مرتبط است ولی جزئیاتی در زمینه نوع رابطه آن‌ها ارائه نمودند. در ایران کولایی و همکاران نماتد *S. caprifici* را که در ارتباط با زنبور انجیر گرده افشان *B. psenes* بود از برانجیر *Ficus carica* var. *sylvestris* (Giblin-Davis & Decrappeo, 2001) گزارش و توصیف نمودند ولی در زمینه تأیید ارتباط بین این نماتد و زنبور *B. psenes* آزمایشی انجام نگردیده است.

شمارش زنبورهای *Blastophaga psenes* در ژنوتیپ‌های مختلف (شکل ۳) نشان‌دهنده تعداد زنبورهای گرده افشان در گل‌آذین ژنوتیپ‌های مختلف برانجیر است. این شکل نشان می‌دهد که تعداد زنبورهای گرده افشان، نشان‌دهنده سلامت اکولوژیکی و عملکرد گرده افشانی در ژنوتیپ‌های مختلف است. ژنوتیپ‌هایی که بیشترین تراکم زنبور را دارند، معمولاً بازده گرده افشانی بالاتری دارند، اما ممکن است بیشتر تحت تأثیر آلودگی به نماتدها قرار گیرند. این تفاوت می‌تواند ناشی از ویژگی‌های خاص گل‌آذین (مثل دسترسی به منابع تغذیه‌ای و ساختار) باشد. شکل ۴ پلات مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان می‌دهد چگونه شاخص‌های مرتبط با زنبور و نماتد در یک فضای چندبعدی توزیع شده‌اند. ۷۹٫۹۶٪ از تغییرات داده‌ها توسط چهار مؤلفه اصلی توضیح داده می‌شود. این مقدار نشان‌دهنده ارتباط قوی میان شاخص‌های انتخاب‌شده است. مؤلفه‌های اول و دوم بیشترین واریانس را توضیح داده‌اند که نشان‌دهنده تأثیر زیاد شاخص‌هایی نظیر تراکم نسبی زنبور و نماتد و درجه همپوشانی بر رابطه بین این دو گونه است. این تحلیل کمک می‌کند تا تأثیرات ترکیبی شاخص‌ها شناسایی و به عنوان معیاری برای انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم‌تر استفاده شود.

گروه‌بندی انجام‌شده با استفاده از تابع تشخیص خطی، صحت بالایی (۹۸٫۶٪) دارد (شکل ۶). به عبارت دیگر، دندروگرام به طور موثر توانسته است ژنوتیپ‌های مختلف را بر اساس ویژگی‌های مرتبط با گرده افشانی و آلودگی نماتدی دسته‌بندی کند. این مطالعه نشان می‌دهد که همپوشانی جمعیتی زنبور و نماتد در ۸۶٪ از ژنوتیپ‌ها مشاهده شده است. این رابطه، که از نوع فورتیک (phoresy) است، معمولاً نوعی همزیستی محسوب می‌شود؛ اما در اینجا به دلیل تأثیرات منفی بر طول عمر زنبور، بیشتر حالت انگلی به خود گرفته است. همپوشانی بالا میان زنبور و نماتد باعث کاهش کارایی گرده افشانی، ریزش میوه، و کاهش بهره‌وری انجیرستان‌ها می‌شود. ژنوتیپ‌های خوشه ۱، به دلیل کاهش همبستگی و تأثیرات منفی، بهترین انتخاب برای تولید و کشت در مناطقی با ریزش میوه هستند. بنابراین استفاده از ژنوتیپ‌های مقاوم برای کاهش خسارات ناشی از نماتد و افزایش تولید انجیر توصیه می‌گردد.

شاخص‌هایی نظیر شاخص جاکارد و اوکیای نقش کلیدی در تشخیص ارتباط زنبور و نماتد دارند. استفاده از این شاخص‌ها می‌تواند به بهبود برنامه‌های مدیریت زیستی و کاهش خسارت کمک کند. رابطه میان زنبور گرده افشان و نماتد در اغلب ژنوتیپ‌ها تأثیر منفی بر کارایی گرده افشانی داشته است. ژنوتیپ‌هایی با کمترین همبستگی، نظیر نوک قرمزی، حاج محمدعلی، و شاه‌انجیری دانه سفید، برای به‌نژادی و توسعه کشت پیشنهاد می‌شوند. نتایج این مطالعه می‌تواند به بهبود بهره‌وری و کنترل زیستی در انجیرستان‌ها کمک کند.

در رابطه فوری، موجود فورونت (حمل‌شونده) از مزایای مستقیم تغذیه‌ای یا رشدی ناشی از انگلی کردن میزبان بهره نمی‌برند، بلکه فورونت از میزبان به عنوان وسیله‌ای برای جابه‌جایی و گسترش، استفاده می‌کند. همچنین این نکته مهم است که فوری شامل تعاملات موقتی است. فوری معمولاً نوعی رابطه همسفرگی در نظر گرفته می‌شود. علی‌رغم تعریف دقیق فوری، گاهی حمل فورونت ممکن است عواقب و هزینه‌های خفیف مانند کاهش اندک طول عمر را برای میزبان به همراه داشته باشد (Dunn et al., 2008). بسته به تعداد فورون میزبان و مسافتی که میزبان‌ها با فورون‌های خود طی می‌کنند، فورونت ممکن است هزینه‌هایی را برای میزبان داشته باشد (White et al., 2017).

در سال‌های اخیر ریزش ژنوتیپ‌های مختلف برانجیر، (انجیر غیرخوراکی جهت استفاده در گرده‌افشانی) و انجیر خوراکی در انجیرستان‌های استان فارس و بالاخص انجیرستان‌های شهرستان استهبان رایج بوده و خسارت ناشی از ریزش برانجیر در برخی از سال‌ها قابل ملاحظه است. همچنین مطالعات به نقش عواملی مانند آلودگی به نماتد گل‌آذین انجیر در ریزش زود هنگام گل‌آذین انجیر خوراکی، حتی پس از ملاقات زنبور اشاره شده است (Zare et al., 2020). ونگور و همکاران (Van Goor et al., 2018)، نیز نشان دادند چرخه زندگی نماتدها با انجیر و زنبور انجیر مطابقت دارد و جمعیت‌هایی از نماتد *S. caprifici* به گلچه‌هایی از درختان انجیر وحشی حمله می‌کنند و باعث نکرور پارانشیم سطحی گلچه‌ها می‌شوند. این نماتدها در هموسل زنبورهای ماده، حمل و سپس این نماتدها، گل‌های گل‌آذین انجیر وحشی را پارازیت می‌کنند. طبق نتایج این پژوهش نیز درجه همپوشانی زنبور گرده‌افشان با نماتد گل‌آذین انجیر و بالعکس نشان‌دهنده همبستگی میان جمعیت زنبور گرده‌افشان و نماتد بود و جمعیت نماتد و زنبور گرده‌افشان انجیر در ۸۶ درصد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه همپوشانی داشت که می‌تواند کارایی پایین گرده‌افشانی و ریزش میوه برانجیر و همچنین انجیر خوراکی در انجیرستان‌های مورد مطالعه را توجیه نماید؛ چرا که اکثر گونه‌های انجیر احتیاج به گرده‌افشانی دارند و اگر گرده‌افشانی صورت نگیرد، هر دو نوع میوه برانجیر و میوه انجیر خوراکی بارور نشده و شروع به ریزش می‌کنند. از طرفی نتایج اولیه حاصل از تعیین ارتباط بین مرگ و میر زنبور ماده بلاستوفاگا و آلودگی به نماتد در تحقیق حاضر نشان داد، در نمونه‌های فورتیک، طول عمر زنبور نسبت به نمونه‌هایی که حامل نماتد نبوده‌اند، کاهش داشته است. بنابراین با توجه به نقش اصلی زنبور بلاستوفاگا در گرده‌افشانی و کاهش طول عمر این زنبورها پس از آلودگی به نماتد گل‌آذین انجیر، می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که آلودگی زنبور گرده‌افشان به نماتد مذکور باعث کاهش گرده‌افشانی و در نتیجه ریزش میوه‌های برانجیر و انجیر خوراکی می‌گردد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام شده، احتمالاً رابطه بین نماتد *Schistonchus caprifici* و زنبور گرده‌افشان انجیر (*Blastophaga psenes*) در استان فارس از نوع فورتیک و زنبور نقش حامل نماتد را بازی می‌کند؛ ولی این رابطه فورتیک تا حدی برای زنبور هزینه‌بر و بر طول عمر آن اثرگذار بوده است. به طور کلی بر اساس تحلیل داده‌های حاصل از این پژوهش، می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که بین جمعیت زنبور گرده‌افشان و جمعیت نماتد گل‌آذین انجیر همبستگی وجود دارد. همپوشانی جمعیت زنبور گرده‌افشان انجیر و نماتد گل‌آذین برانجیر در اکثر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مشهود بود که مبین کارایی پایین گرده‌افشانی و ریزش میوه برانجیر و انجیر خوراکی در انجیرستان‌های مورد مطالعه در استان فارس به علت آلودگی زنبور گرده‌افشان به نماتد برانجیر است. با توجه به اینکه ارتباط بین نماتد و زنبور گرده‌افشان، در ژنوتیپ‌های نوک‌قرمزی، حاج محمدعلی و شاه‌انجیری دانه سفید کمترین تاثیر را بر کارایی گرده‌افشانی داشت، جهت کاهش تأثیرات ناشی از همپوشانی نماتد گل‌آذین برانجیر و زنبور گرده‌افشان، انتخاب و توسعه کشت این ژنوتیپ‌ها در مناطقی از انجیرستان‌های استان فارس که ریزش میوه برانجیر به دلیل کاهش کارایی گرده‌افشانی ناشی از آلودگی زنبور گرده‌افشان به نماتد گل‌آذین انجیر است، می‌تواند به بهبود کارایی گرده‌افشانی و جلوگیری از ریزش میوه برانجیر و انجیر خوراکی و افزایش محصول کمک نماید.

سپاسگزاری

بدین وسیله نویسندگان از مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور و مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان های فارس و کهگیلویه و بویراحمد و ایستگاه تحقیقات کشاورزی استهبان جهت همکاری بی‌شائبه جهت اجرای این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

REFERENCES

- Anand, R. L. (2002). *Schistonchus osmani* n. sp. ex *Ficus racemosa*. Uttar Pradesh Journal of Zoology 22: 281-283.
- Anonymus. (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT: Crops and livestock products. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Arzani, K., Kashefi, B. & Nejatian, M. A. (2006). Seasonal changes in fruit growth and development of some Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.) genotypes under Tehran environmental conditions. In XXVII International Horticultural Congress-IHC2006: *International Symposium on Asian Plants with Unique Horticultural* 769 (pp. 231-236). DOI: 10.17660/ActaHortic.2008.769.32
- Baldock, K. C., Goddard, M. A., Hicks, D. M., Kunin, W. E., Mitschunas, N., Osgathorpe, L. M., Potts, S. G., Robertson, K. M., Scott, A. V., Stone, G. N. & Vaughan, I. P. (2015). Where is the UK's pollinator biodiversity? The importance of urban areas for flower-visiting insects. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1803), p.20142849. DOI: 10.1098/rspb.2014.2849
- Bartholomaeus, F., Davies, K. A., Ye, W. & Giblin-Davis, R. M. (2012). *Schistonchus* (Aphelenchoididae) from *Ficus benjamina* in Australia, with description of *S. benjamina* sp. n. *Nematology*, 14(8), 1005-1013. DOI:10.1163/156854112x639892
- Cáceres, M. D., & Legendre, P. (2009). Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*, 90(12), 3566-3574. DOI: 10.1890/08-1823.1
- Cobb, N. A. (1927). Note on a new nema, *Aphelenchus retusus*, with a proposed division of *Aphelenchus* into three subgenera (Notes in Helminthological Society of Washington, Oct. 16, 1926). *Journal of Parasitology* 14: 57-58.
- Condit, I.J. (1932). The structure and development of flowers in *Ficus carica* L. *Hilgardia*, 6:443–481.
- Condit, I.J. (1947). The fig. Chronica Botanica Co. Walthm, Mass USA, 240 pp.
- Davies, K. A., Bartholomaeus, F., Kanzaki, N. & Giblin-Davis, R. M. (2013). *Schistonchus molochi* sp. n. and *S. athertonensis* sp. n. (Nematoda: Aphelenchoididae) from *Ficus watkinsiana* (Moraceae) in Australia. *Nematology*, 15(4), 389-400.
- Davies, K. A., Ye, W., Kanzaki, N., Bartholomaeus, F., Zeng, Y. & Giblin-Davis, R. M. (2015). A review of the taxonomy, phylogeny, distribution and co-evolution of *Schistonchus* Cobb, 1927 with proposal of *Ficophagus* n. gen. and *Martininema* n. gen. (Nematoda: Aphelenchoididae). *Nematology*, 17(7), 761-829.
- Davis, P. M. (2020). Statistics for describing populations. In *Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture* (pp. 33-54). CRC Press. DOI: 10.1201/9781003067900
- DeCrapeo, N. & Giblin-Davis, R. M. (2001). *Schistonchus aureus* n. sp. and *S. laevigatus* n. sp. (Aphelenchoididae): associates of native Floridian *Ficus* spp. and their *Pegoscopus* pollinators (Agaonidae). *Journal of Nematology*, 33(2-3), 91. PMID: 19266003
- Dunn, D. W., Yu, D. W., Ridley, J. & Cook, J. M. (2008). Longevity, early emergence and body size in a pollinating fig wasp – implications for stability in a fig-pollinator mutualism. *Journal of Animal Ecology* 77, 927–935.
- Ferguson, L., Micaildest, T.J. & Shorey. H.H. (1990). The California Fig Industry. *Horticultural Review*, 12:409-490.
- Flaishman, M. A., Rodov, V., & Stover, E. (2008). The fig: botany, horticulture, and breeding. *Horticultural Review*, 34, 113–196.

- Frades, I. & Matthiesen, R. (2010). Overview on techniques in cluster analysis. *Bioinformatics Methods in Clinical Research*, 81-107. DOI: 10.1007/978-1-60327-194-3_5
- Frenzel, M. & Brandl, R. (2001). Hosts as habitats: faunal similarity of phytophagous insects between host plants. *Ecological Entomology*, 26(6), 594-601. DOI: 10.1046/j.1365-2311.2001.00355.x
- Giblin-Davis R. M., Center, B.J., Nadel, H., Frank, J. H. & Ramirez, W.B. (1995). Nematodes associated with fig wasps, *Pegoscapus* spp. (Agaonidae), and syconia of native Floridian figs (*Ficus* spp.). *Journal of Nematology* 27: 1-14.
- Grewal, P. S., Ehlers R. U. & Shapiro-Ilan, D. (2006). *Nematodes as biocontrol agents*. CAB publishing, CAB International, Oxon. 505pp.
- Hamzehzarghani, H., Kushalappa, A. C., Dion, Y., Rioux, S., Comeau, A., Yaylayan, V., Marshall, W. D. & Mather, D. E. (2005). Metabolic profiling and factor analysis to discriminate quantitative resistance in wheat cultivars against fusarium head blight. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 66(4), 119-133. DOI: 10.1016/j.pmpp.2005.05.005
- Khairi, A. & Goldansaz, H. (1998). Report of fig parasite nematode and wasp in Karaj. Iranian Thirteenth Plant Protection Congress (Vol. 2). Tehran, Karaj. (p.258).
- Karimipour Fard, H. & Zare, H. (2020). First molecular characterization of an Iranian population of *Schistonchus caprifici* (Gasparrini, 1864) Cobb, 1927. (Rhabditida; Aphelenchoidea). *Journal of Nematology* 52: 1-3.
- Khodaparast, R. & Monfared, A. (2010). Study of caprification of *Blastophaga psenes* and report of *Philotrypesis caricae* wasp in fig fruits in Estahban region. The seventh research seminar of honeybee. Tehran, Iran. p106.
- Kolaei, M., Abdollahi, M. & Monfared, A. (2016). Description and population change of *Schistonchus caprifici*, the nematode associated with the pollinator fig wasp, *Blastophaga psenes*. Estahban, Iran. *Zeitschrift für Entomologie*, 37, 469-480. DOI: ENT_0037_0469-0480
- Krishnan, A., Muralidharan, S., Sharma, L. & Borges, R.M. (2010). A hitchhiker's guide to a crowded syconium: how do fig nematodes find the right ride? *Functional Ecology*, 24(4), 741-749. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2010.01696.x
- Kumari, R.V. & Reddy, Y. N. (1984). Studies on the association of a new nematode species *Schistonchus hispida* sp. n. (Aphelenchoidea, NICKLE 1971) and wasp. *Proceedings of the Indian academy of parasitology* 5: 21-25.
- Martin, G. C., Owen, A. M. & Way, J. I. (1973). Nematodes, figs and wasps. *Journal of Nematology*. 5: 77-78.
- Martin, G., Fontaine, C., Accatino, F. & Porcher, E. (2019). New indices for rapid assessment of pollination services based on crop yield data: France as a case study. *Ecological Indicators*, 101, pp.355-363. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.01.022
- Pakniyat, M. & Taghizadeh, (2000) M. Distribution of *Schistonchus caprifici* (Nemata: Aphelenchoididae) in Caprifigs (*Ficus carica sylvestris*) of Fars province. *The 14th Iranian Plant Protection Congress*. September 2000 , Karaj- Iran. (In Persian).
- Poinar Jr, G.O. and Herre, E.A. (1991). Speciation and adaptive radiation in the fig wasp nematode *Parasitodiplogaster* (Diplogasteridae: Rhabditida) in Panama. *Revue de Nématologie*, 14(3), 361-374.
- Ramirez, W., 1974. Coevolution of *Ficus* and Agaonidae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 770-780. DOI: 10.2307/2395028
- Reddy Y .N. & Rao, P. N. (1986). *Schistonchus racemosa* n sp. a nematode parasite of wasp (*Ceratosolen* sp.) associated with the fig, *Ficus racemosa* L. *Indian Journal of Nematology* 16: 135-137.
- Rinker, D. L. & Bloom, J. R. (1982). Phoresy between a mushroom-infesting fly and two free-living nematodes associated with mushroom culture. *Journal of nematology*, 14(4), 599. PMID: PMC2618213
- Seinhorst, J. W. (1966). Killing nematodes for taxonomic study with hot fa 4: 1. *Nematologica*, 12(1), 178-178a. DOI: 10.1163/187529266X00239

- Shi, R. R., Miao, B. G., Segar, S. T., Zeng, Y., Wang, B. and Peng, Y. Q., 2019. Are nematodes costly to fig tree-fig wasp mutualists? *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 167(12), 1000-1011. DOI: 10.1111/eea.12860
- Stover, E., Aradhya, M., Ferguson, L., & Crisosto, C. H. (2007). The fig: overview of an ancient fruit. *HortScience*, 42(5), 1083-1087.
- Sun, F., Henry, N. & Yu, Q. (2017). First report of the fig cyst nematode, *Heterodera fici* Kirjanova, on fig tree, *Ficus carica*, in Ontario, Canada. *Journal of Nematology*, 49, 131-132. DOI: 10.5555/20173292004
- Susoy, V., Herrmann, M., Kanzaki, N., Kruger, M., Nguyen, C. N., Rödelberger, C., Röseler, W., Weiler, C., Giblin-Davis, R. M., Ragsdale, E. J. & Sommer, R. J. (2016). Large-scale diversification without genetic isolation in nematode symbionts of figs. *Science Advances*, 2(1), p.e1501031. DOI: 10.1126/sciadv.1501031
- Van Goor, J., Piatscheck, F., Houston, D. D. & Nason, J. D. (2018). Figs, pollinators, and parasites: a longitudinal study of the effects of nematode infection on fig wasp fitness. *Acta Oecologica*, 90, 140-150. DOI: 10.1016/j.actao.2018.03.007
- Vovlas, N., Insera, R. N. & Greco, N., 1992. *Schistonchus caprifici* parasitizing caprifig (*Ficus carica sylvestris*) florets and the relationship with its fig wasp (*Blastophaga psenes*) vector. *Nematologica*, 38, 215-226.
- Vovlas, N. & Larizza, A. (1996). Relationship of *Schistonchus caprifici* with fig inflorescences, the fig pollinator *Blastophaga psenes* and its cleptoparasite *Philotrypesis caricae*. *Fundamental and Applied Nematology* 19: 443-448.
- Vovlas, N., Troccoli, A., Van Nort, S. & Van Den Berg, E. (1998). *Schistonchus africanus* n. sp. (Aphelenchida: Aphelenchoididae) associated with *Ficus thonningii* (Moraceae) and its pollinator wasp *Elisabethiella stuckenberg* (Chalcidoidea: Agaonidae). *Journal of Nematology* 30: 404-410.
- Weiblen, G. D. (2002). How to be a fig wasp. *Annual Review of Entomology*, 47, 299-330.
- White, P. S., Morran, L., & de Roode, J. (2017). Phoresy. *Current Biology*, 27(12), 578-580.
- Woodruff, G. C. & Phillips, P. C. (2018a). Field studies reveal a close relative of *Caenorhabditis elegans* thrives in the fresh figs of *Ficus septica* and disperses on its *Ceratosolen* pollinating wasps. *BMC ecology*, 18, 1-16. DOI: 10.1186/s12898-018-0182-z
- Woodruff, G. C. & Phillips, P. C., (2018b). Two levels of host-specificity in a fig-associated *Caenorhabditis*. *BioRxiv*, p.261958. DOI: 10.1101/261958
- Zare, H. & Jafari, M. 2018. *Morphological characteristics of some Iranian fig cultivars*. Marje Elm Publications. Iran: Shiraz. 112 p. (In Persian).
- Zare, H., Darvishzadeh, H. & Rastegari, N. (2018). Effect of cold storage on *Blastophaga psenes* (Hymenoptera: Agaonidae) wasp inside different caprifig cultivars syconium. *Plant Protection Journal*, 9(1), 17-33. (In Persian).
- Zare, H., Jafari, M. & Sharifzadeh, H. 2010. Immature fig fruit abscission. Horticultural Sciences Institute Publications. Iran: Tehran. 26p. (In Persian).
- Zeng, Y., Ye, W., Giblin-Davis, R., Li, C., Zhang, S. & Du, Z. (2011). Description of *Schistonchus microcarpus* n. sp. (Nematoda: Aphelenchoididae), an associate of *Ficus microcarpa* in China. *Nematology*, 13(2), 221-233. DOI: 10.11646/zootaxa.3700.4.4