The University of Tehran Press

Iranian Journal of Plant Protection Science

Online ISNN: 2008-4781

Homepage: http://ijpps.ut.ac.ir/

Investigating on control of tomato fruitworm *Helicoverpa armigera* (Hbn.) by integrating chemical insecticides and the parasitoid wasp *Habrobracon hebetor* (Say) in field conditions

Ardavan Mardani[1], Qodratollah Sabahi[2]✉, Aziz Sheikhi Garjan[3]

1. Department of Plant Protection, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: ardavanmardani@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Plant Protection, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: sabahi@ut.ac.ir
3. Iranian Institute of Plant Protection, Tehran, Iran. E-mail: asheikhi48@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 26 January 2024

Revised: 22 February 2024

Accepted: 29 February 2024

Published online: 19 March 2024

Keywords:

tomato fruit worm,

Habrobracon wasp,

integrated pest management,

yield rate.

ABSTRACT

In this study, the efficacy of pyridalyl and chromafenozide insecticides and the parasitoid *Habrobracon hebetor* alone and in combination with insecticides against the tomato fruitworm *Helicoverpa armigera* in tomato farms in Fars Province were investigated. Chromafenozide + parasitoid and pyridalyl + parasitoid treatments controlled the pest population better when compared to the application of each insecticide or parasitoid alone, which indicates the increasing effect of insecticide and parasitoid when used together. The highest healthy green fruit yield was observed in pyridalyl treatment, the highest healthy red fruit yield, and the highest total yield was observed in chromafenozide + parasitoid and pyridalyl + parasitoid treatments and the lowest was observed in the control. Also, the lowest amount of damaged green fruit, red damaged fruit, and red rotten tomato was observed in chromafenozide + parasitoid and pyridalyl + parasitoid treatments. The highest amount of damage was observed in the control treatment. In addition, the highest increase in total yield was observed in the treatments of chromafenozide + parasitoid and pyridalyl + parasitoid treatments, and the lowest was observed in the parasitoid alone treatment. The integrated treatments had the highest efficiency, the least damaged fruit, the highest yield, and the highest increase in yield. This study showed that pyridalyl and chromafenozide insecticides in combination with *H. hebetor* are a suitable method for controlling *H. armigera* in tomato fields.

Cite this article: Siahmansour, S., Ehtesham Nia, A. & Rezaei Nejad, A. (2024). Investigating on control of tomato fruitworm *Helicoverpa armigera* (Hbn.) by integrating chemical insecticides and the parasitoid wasp *Habrobracon hebetor* (Say) in field conditions. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 54 (2), 301-315. DOI: http://doi.org/10.22059/ijpps.2024.371559.1007052

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: http://doi.org/10.22059/ijpps.2024.371559.1007052

Extended Abstract

Introduction

Extensive application of insecticides has caused the phenomenon of insecticide resistance in tomato fruit worm, *Helicoverpa armigera* (Hbn.). To prevent the development of this process, scientists believe the frequency of insecticide application against this pest should be reduced. One of the methods to reduce the use of insecticides is to integrate them with biological control agents. In this study, the feasibility of controlling the tomato fruit worm in field conditions using an integrated pest management method with the use of two selective insecticides, pyridalyl, and chromafenozide, along with the most important and widely used biological control agent, *Habrobracon hebetor* (Say) has been studied.

Materials and Methods

To evaluate the effectiveness of the mentioned insecticides and parasitoids on the pest in field conditions, an experiment was designed in the form of a randomized complete block design in six treatments with three replications. This experiment was carried out in two tomato farms in the Kooshk area of Marvdasht City in Fars province in 2019. To conduct field experiments, two fields were selected at a distance of more than 1200 meters in the Kooshk area to minimize the possibility of movement through its flight. The tested treatments include *H. hebetor* parasitoid, pyridalyl + parasitoid, chromafenozide + parasitoid, pyridalyl, chromafenozide, and control. The first three treatments were done in the separated farm and the next three treatments were done in the other farm. The number of the released parasitoid was 2500 per hectare (2000 female insects and 500 male insects) and the application of pyridalyl and chromafenozide insecticides was done as recommended field concentration, 150 ml. and 1.5 l. per hectare respectively.

Results and Discussion

The highest efficiency percentage was observed in the treatments of chromafenozide + parasitoid and pyridalyl + parasitoid and the lowest of this parameter was observed in the treatment of parasitoid. The highest amount of damaged tomato fruit was observed in the control treatment, and among the tested treatments, chromafenozide + parasitoid and pyridalyl + parasitoid treatments caused the greatest decrease in this parameter, and parasitoid treatment caused the least decrease in this parameter. The highest healthy green fruit yield was observed in the pyridalyl treatment, the highest healthy red fruit yield and the highest total yield were observed in the chromafenozide + parasitoid and pyridalyl + parasitoid treatments, and the lowest of these parameters was observed in the control treatment. Also, the lowest yield of damaged green fruit, red damaged fruit, and red shriveled fruit was observed in the treatments of chromafenozide + parasitoid and pyridalyl + parasitoid, and the highest of these parameters was observed in the control treatment. In addition, the highest increase in total yield was observed in the treatments of chromafenozide + parasitoid and pyridalyl + parasitoid, and the lowest of this parameter was observed in the treatment of parasitoid.

Conclusion

This study showed that combined treatments (pyridalyl + parasitoid, and chromafenozide + parasitoid) compared to single treatments (insecticides or parasitoid) had more effects on tomato fruitworm larvae so that by killing most of the larvae, the population of the pest has been reduced and, in this way, the tomato fruits have been protected from the damage of the larvae so that it has increased the yield. This study proved that the combination of pyridalyl insecticide or chromafenozide with the parasitoid wasp *H. hebetor* will be more successful in controlling the tomato fruit worm than the use of the insecticide or the parasitoid alone, and as a result, the use of pyridalyl or chromafenozide insecticides along with the parasitoid *H. hebetor* in the integrated management program of *H. armigera* is feasible.

.

نشریه دانش گیاهپزشکی ایران، دوره ۵۴، شماره ۲

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۷۸۶۸-۲۴۲۳

Homepage: http://ijpps.ut.ac.ir/

بررسی مهار کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی *Helicoverpa armigera* (Hübner) با تلفیق حشره کش های شیمیایی و زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* (Say) در شرایط مزرعه‌ای

اردوان مردانی[۱] | قدرت اله صباحی[۲]✉ | عزیز شیخی گرجان[۳]

۱. گروه گیاهپزشکی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: ardavanmardani@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه گیاهپزشکی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: sabahi@ut.ac.ir

۳. موسسه تحقیقات گیاهپزشکی، تهران، ایران. رایانامه: asheikhi48@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹

کلیدواژه‌ها:

کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی، زنبور هابروبراکون، مدیریت تلفیقی آفات، میزان عملکرد.

چکیده

در این پژوهش، کارآیی حشره‌کش‌های پیریدالیل و کرومافنوزاید و زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* به تنهایی و به صورت تلفیقی با حشره کش علیه کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی *Helicoverpa armigera* در دو مزرعه گوجه‌فرنگی در استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور و پیریدالیل + زنبور در مقایسه با کاربرد حشره‌کش و یا زنبور پارازیتوئید به تنهایی، جمعیت آفت را بهتر مهار کردند که نشان‌دهنده اثر تشدیدکنندگی حشره‌کش و زنبور پارازیتوئید در هنگام استفاده با هم است. بیشترین عملکرد میوه سبز سالم در تیمار پیریدالیل، بیشترین عملکرد میوه قرمز سالم و بیشترین عملکرد کل در تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید و پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید و کمترین آن در تیمار شاهد مشاهده شد. هم‌چنین، کمترین میزان میوه سبز آسیب دیده، قرمز آسیب دیده و قرمز لهیده در تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید و پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید و بیشترین آن در تیمار شاهد مشاهده شد. علاوه بر این، بیشترین افزایش عملکرد کل در تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید و پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید و کمترین این فراسنجه در تیمار زنبور پارازیتوئید مشاهده شد. بنابراین تیمارهای تلفیقی بیشترین کارآیی، کمترین میوه آسیب‌دیده، بیشترین محصول و بیشترین افزایش عملکرد را داشتند. این مطالعه نشان داد که حشره‌کش‌های پیریدالیل و کرومافنوزاید در تلفیق با زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* به منظور مهار کرم میوه خوار در مزارع گوجه‌فرنگی مناسب هستند.

استناد: مردانی، اردوان؛ صباحی، قدرت اله و شیخی گرجان، عزیز (۱۴۰۲). بررسی مهار کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی *Helicoverpa armigera* (Hübner) با تلفیق حشره کش های شیمیایی و زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* (Say) در شرایط مزرعه‌ای. *نشریه دانش گیاهپزشکی ایران*، ۵۴ (۲)، ۳۱۵-۳۰۱. DOI: http://doi.org/10.22059/ijpps.2024.371559.1007052

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: http://doi.org/10.22059/ijpps.2024.371559.1007052

مقدمه

گیاه گوجه‌فرنگی با نام علمی *Lycoperisicon esculentum* (Mill) (Lepidoptera: Noctuidae) متعلق به خانواده بادمجانیان[1] و بومی کشور پرو است که در اواسط قرن شانزدهم وارد اروپا شده و مدت‌ها به عنوان یک گیاه زینتی در باغچه‌ها کشت می‌شده تا این که در اواخر قرن هجدهم به خواص تغذیه‌ای آن پی برده و از آن زمان به بعد به عنوان یک گیاه خوراکی در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است (Qeshm & Kafi, 2006).

کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1809) (Lepidoptera: Noctuidae) به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند دامنه میزبانی وسیع &(Zalucki Jallow, 2003) ، باروری زیاد (Reed, 1965) توانایی قابل توجه مهاجرت در مسافت‌های طولانی (Farrow & Daly, 1987) ، داشتن دیاپوز اختیاری (Fitt, 1989) و توانایی بالا در ایجاد مقاومت نسبت به حشره‌کش‌های شیمیایی (McCaffery *et al*., 1986) از جمله مهمترین آفات در گوجه فرنگی در بسیاری از کشورها از جمله ایران ارزیابی می شود. کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی بسته به شرایط آب و هوایی می‌تواند دو تا پنج نسل را در سال ایجاد کند (Fitt,1989; Darvish Mojeni *et al*., 2005; Khankani, 2012).

استفاده از دشمنان طبیعی، مانند زنبور پارازیتوئید *Habrabracon hebetor* (Say, 1836) (Hymenoptera: Braconidae) که پارازیتوئید لارو کرم میوه خوار گوجه فرنگی است (Hussain *et al*., 2015) از جمله روش‌های زیستی است که برای مهار این آفت توصیه شده اند. بسیاری از محققین این زنبور را مهم‌ترین و پرکاربردترین عامل مهار زیستی آفت می دانند (Pineda *et al*., 2009; Saber & Abedi, 2013).

زنبور *H. hebetor* یک پارازیتوئید خارجی[2]، گروهی[3]، ایدیوبایونت[4] است که با فلج کردن دائم و متوقف ساختن کامل نشو و نما میزبان آن را پارازیته می کند. بیشترین فعالیت آن روی لاروهای بال‌پولک‌داران گزارش شده است (Taylor, 1988; Eliopoulos & Stathas, 2008). زنبورهای ماده پس از خروج از پوسته شفیرگی، جفت‌گیری کرده و آماده تخم‌ریزی می‌باشند. این زنبور غالباً سنین آخر لاروی میزبان را برای تخم‌ریزی انتخاب می‌کند (Oluwafemi *et al*., 2009). پس از انتخاب میزبان، ابتدا آن را با تزریق زهر فلج کرده و سپس تخم‌های خود را به صورت انفرادی و یا در دسته‌های کوچک روی بدن آن قرار می‌دهد (Hagstrum & Smittle, 1978) . حشرات ماده به تغذیه میزبانی نیاز دارند و برای این منظور پس از فرو بردن تخمریز خود در بدن میزبان از همولنف خارج شده از محل زخم تغذیه می‌کنند (Magro *et al*., 2006).

حشره کش های شیمیایی زیادی برای مهار گرم میوه گوجه فرنگی به کار می رود که از بین آن ها دو ترکیب پیریدالیل و کرومافنوزاید از جدیدترین ترکیبات با اثر ائتخابی به شمار می روند.

پیریدالیل ترکیبی جدید از گروه دی‌هالوپروپن‌ها[7] است که اولین بار در سال ۲۰۰۴ به عنوان یک حشره‌کش در بسیاری از کشورهای آسیایی، از جمله ژاپن و کره به ثبت رسید. در سال‌های بعد، شرکت ژاپنی به نام سومی‌تومو کمیکالز[8] این ترکیب را به صورت گسترده تولید و با نام‌های تجاری پلئو®[9] یا سومی‌پلئو®[10] در کل جهان پخش کرد (Nishimura *et al*., 2007) . بر اساس رده‌بندی ایراک (IRAC, 2020)، پیریدالیل در گروه ترکیبات با روش تأثیر نامشخص[11] قرار گرفته است. این

1 Solanaceae
2 Ectoparasitoid
3 Gergarious
4 Idiobiont
5 Pyridalyl
6 Chromafenozide
7 Dihalopropenes
8 Sumitomo Chemical Company
9 Pleo®.
10 Sumipleo®
11 Compounds of unknown or uncertain mode of action

حشره‌کش بیشتر علیه لارو راسته‌های بال‌پولک‌داران، بال‌ریشک‌داران، دوبالان و کنه‌های آفت استفاده می‌شود (Sakamoto *et al*., 2005) در ایران این حشره کش روی کرم برگخوار چغندر قند، کرم پیله خوار نخود، کرم غوزه و کرم میوه خوار گوجه فرنگی ثبت شده است (Sheikhigarjan *et al*., 2021).

کرومافنوزاید حشره‌کشی جدید از گروه دی‌بنزوئیل هیدرازین‌ها[1] از ترکیبات تنظیم کننده رشد حشرات و محصول مشترک دو شرکت ژاپنی به نام‌های نیپون کایکو[2] و سانکیو[3] است. این حشره‌کش در گروه ترکیبات آگونیست گیرنده اکدیسون [4] قرار گرفته است. کرومافنوزاید به صورت دو فرمولاسیون مایع غلیظ روان‌ریز[5](SC) یا ضد بادبردگی[6](DL) (به ترتیب، حاوی ۵ یا ۰/۳ درصد کرومافنوزاید) با نام تجاری ماتریک®[7] در سال ۱۹۹۹ به بازار ارائه شده است. ماتریک علیه لاروهای راسته بال‌پولک‌داران در سبزیجات (کلم، کاهو، بادمجان، گوجه‌فرنگی، فلفل دلمه‌ای، پیاز و توت‌فرنگی) استفاده می شود. در ایران این حشره کش روی کرم میوه خوار گوجه فرنگی ثبت شده است(Sheikhigarjan *et al*., 2021).

مصرف بی‌رویه حشره‌کش‌ها باعث بروز پدیده مقاومت در کرم میوه گوجه‌فرنگی نسبت به بعضی از حشره‌کش‌ها شده است (Mosallanejad & Gholami, 2019; Hussain *et al*., 2015). برای جلوگیری از گسترش مقاومت آفات به حشره کش ها و کاهش سطح سمپاشی، عموم گیاه‌پزشکان بر این نظر هستند که باید کاربرد حشره‌کش‌ها علیه این آفت مدیریت کرد. یکی از روش های کاهش مصرف حشره کش، تلفیق آن با استفاده از عوامل مهار زیستی است. بر این اساس برای مدیریت کرم میوه گوجه‌فرنگی در شرایط مزرعه ای، از روش تلفیقی کاربرد یکی از دو حشره‌کش انتخابی پیریدالیل و کرومافنوزاید در کنار مهم‌ترین و پرکاربردترین عامل مهار زیستی آن یعنی زنبور *H. hebetor* استفاده شد . کارایی هریک از تیمارها به تنهایی و به صورت تلفیقی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پرورش بید آرد *Ephestia kuehniella* (Zeller)

بید آرد *E. kuehniella* در مرحله لارو سن پنج به عنوان میزبان حد واسط در پرورش زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* مورد استفاده قرار گرفت. جمعیت بید آرد استفاده شده در پژوهش حاضر بر پایه تخم‌های به دست آمده این حشره از اینسکتاریوم شهرستان مرودشت، استان فارس تشکیل شد. به منظور پرورش بید آرد، درون ظرف‌های دردار (به طول ۲۲ سانتی‌متر، عرض ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع هشت سانتی‌متر) مخلوطی از آرد گندم (یک کیلوگرم) و سبوس (۳۰۰ گرم) ریخته شد.

پرورش زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

جمعیت آزمایشگاهی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* بر پایه زنبورهای جمع‌آوری شده (لاروها و شفیره‌ها) از نمونه‌های پارازیت شده کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی *H. armigera* که از مزارع گوجه‌فرنگی منطقه کوشک شهرستان مرودشت در استان فارس جمع‌آوری شده بودند، تشکیل شد. به منظور پرورش آزمایشگاهی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*، بر اساس روش پیشنهادی صدارتیان استفاده شد (Sedaratian, 2012).

1 Dibenzoylhydrazines
2 Nippon Kayaku Company
3 Sankyo Company
4 Ecdysone receptor agonists, Growth regulation
5 Suspension concentrate (= flowable concentrate)
6 Driftless formulation
7 Matric®

حشره‌کش‌های مورد استفاده

حشره‌کش‌های مورد استفاده در این پژوهش، شامل: پیریدالیل (نام تجاری سومی پلئو®[1] فرمولاسیون EC ۵۰٪ و ساخت شرکت سومیتومو کمیکال[2] ژاپن) و کرومافنوزاید (نام تجاری ماتریک®، فرمولاسیون SC ۵٪ و ساخت شرکت نیپون کایاکو[3] ژاپن) بودند. بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده در شرایط آزمایشگاهی پیریدالیل و کرومافنوزاید بیشترین سمیت را روی لاروهای کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی و کمترین سمیت را روی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* نشان داده بودند (Mardani *et al*., 2021).

ارزیابی اثر پایداری حشره‌کش‌ها روی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

برای تعیین بهترین زمان برای رهاسازی زنبورهای پارازیتوئید ارزیابی پایداری آفت کش در شرایط مزرعه ای انجام شد تا حشره‌کشی که پیش از رهاسازی به کار می رفت کمترین اثرات سوء را روی زنبورهای پارازیتوئید ایجاد کند. اثر پایداری حشره‌کش‌های پیریدالیل و کرومافنوزاید روی زنبور پارازیتوئید در اواسط فصل بهار در یک مزرعه گوجه‌فرنگی واقع در منطقه کوشک شهرستان مرودشت در استان فارس انجام شد. برای این منظور، سه بوته (دو بوته برای تیمار حشره‌کش‌ها و یک بوته برای تیمار شاهد) انتخاب و به کمک سم‌پاش دستی با میزان توصیه شده حشره‌کش‌های پیریدالیل (۱/۵۰ لیتر بر هکتار) و کرومافنوزاید (۱۵۰ میلی‌لیتر بر هکتار) تا شروع جاری شدن محلول با یک سم‌پاش دستی- دو لیترئی- اپوکا-مدل E2000- ساخت شرکت ایتالیا و نازل مخروطی محلول‌پاشی شد. سپس، یک قفس توری روی هر بوته قرار داده شد. در تیمار شاهد، بوته گوجه‌فرنگی با آب مقطر محلول‌پاشی شد. برای ارزیابی میزان پایداری حشره‌کش‌های مورد آزمایش روی حشرات کامل زنبور پارازیتوئید در فواصل زمانی ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ روز پس از محلول‌پاشی، دو تا سه برگ قدیمی از بوته‌های تیمار شده چیده و درون ظرف‌های پتری (به قطر نه سانتی‌متر) قرار داده و سپس، تعداد ۱۵ زنبور ماده یک‌روزه درون هر ظرف رهاسازی شد. روی در ظرف‌ها یک روزنه جهت تهویه تعبیه شد. برای تغذیه زنبورها، از یک تکه پنبه آغشته به محلول آب عسل ۱۰ درصد استفاده گردید. این آزمایش برای هر تیمار، چهار بار تکرار شد. ظرف‌های پتری درون اتاقک رشد با دمای ۱± ۲۶ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۷۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، تعداد زنبورها مرده شمارش و ثبت شد. حشراتی که با تحریک قلم‌مو قادر به حرکت و حفظ تعادل خود نبودند، مرده محسوب می‌شدند.

با توجه به دوره پایداری برآورد شده آن برای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* بر اساس استاندارد IOBC دوره پایداری فعالیت سمی حشره‌کش‌ها مشخص شد: ناپایدار: دوره پایداری کمتر از ۵ روز، کمی پایدار: دوره پایداری بین ۵ تا ۱۵ روز، با پایداری محدود: دوره پایداری بین ۱۶ تا ۳۰ روز و پایدار: دوره پایداری بیشتر از ۳۰ روز. شایان ذکر است که دوره پایداری یک ترکیب بر اساس تعریف IOBC عبارت است از بازه زمانی که در آن، باقی‌مانده آن ترکیب موجب حداکثر ۳۰ درصد مرگ و میر در جاندار مورد آزمایش شود (Hassan, 1994).

گروه بندی ترکیبات براساس استاندارد سازمان جهانی مهار زیستی (IOBC) (سمیت حشره‌کش‌ها) انجام شد: ۱- بی‌زیان (مرگ و میر کمتر از ۳۰ درصد)، ۲- کمی زیان‌بار (مرگ و میر بین ۳۰ تا ۸۰ درصد)، ۳- تا حدودی زیان‌بار (مرگ و میر بین ۸۰ تا ۹۹ درصد) و ۴- زیان‌بار (مرگ و میر بیشتر از ۹۹ درصد) (Hassan, 1994; Biondi *et al.*, 2012)

1Sumi-pleo®
2Sumitomo Chemical
3Nippon Kayako
4Runoff

آزمایش‌های مزرعه‌ای

به منظور ارزیابی کارآیی حشره‌کش‌های یاد شده و زنبور پارازیتوئید روی آفت در شرایط مزرعه ای، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شش تیمار با سه تکرار طراحی شد. این آزمایش در دو مزرعه گوجه‌فرنگی در منطقه کوشک شهرستان مرودشت در استان فارس طی سال ۱۳۹۹ انجام شد.

برای انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای، در منطقه کوشک دو مزرعه هر کدام با سطح یک هکتار به فاصله بیش از ۱۲۰۰ متر انتخاب شد تا امکان جابجایی زنبور از طریق پرواز آن به حداقل برسد. با توجه به جهت وزش بادهای غالب منطقه که غرب به شرق است موقعیت دو مزرعه نسبت به هم به گونه‌ای انتخاب شد که در جهت وزش بادهای غالب منطقه نباشند و به این صورت زنبورها توسط باد بین مزارع منتقل نشوند.

پس از آماده‌سازی بستر کاشت، در هفته اول اردیبهشت نشاهای گوجه‌فرنگی رقم سان‌سید[1] ۶۱۸۹-F_1 (تولید شرکت نانمز[2] هلند) در دو طرف نوارهای آبیاری، در دو ردیف به صورت یک در میان کاشت شدند. فاصله میان دو ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله میان دو نشا در یک ردیف ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. چند روز پس از کاشت، برای هر تیمار، سه کرت آزمایشی (در مجموع ۱۸ کرت) مشخص شد. ابعاد هر کرت ۹/۰۰ × ۱۰/۸۰ مترمربع بود و فواصل بین کرت‌ها ۲/۵ متر در نظر گرفته شد.

تیمارهای آزمایشی

تیمارهای مورد آزمایش، شامل: ۱- زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* ، ۲- پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید ، ۳- کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید، ۴- پیریدالیل، ۵- کرومافنوزاید و شاهد (بدون استفاده از حشره‌کش و رهاسازی زنبور پارازیتوئید) بودند. تعداد زنبور پارازیتوئید رهاسازی شده ۲۵۰۰ عدد در هکتار (۲۰۰۰ حشره ماده و ۵۰۰ حشره نر) و مقدار مصرف حشره‌کش‌های پیریدالیل و کرومافنوزاید برابر با غلظت توصیه شده مزرعه‌ای، به ترتیب ۱۵۰ میلی‌لیتر در هکتار و ۱/۵ لیتر در هکتار بود.

پس از مشاهده اوج پرواز جمعیت کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی که با تله فرمونی صورت گرفت سمپاشی انجام شد. برای تعیین زمان اوج پرواز این آفت، یک هفته پس از کاشت، دو تله قیفی[3] حاوی فرمون ویژه کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی (ساخت شرکت کم‌تیکا اینترنشنال، کانادا) در حاشیه هر کدام از مزارع قرار داده و هر دو روز یک‌بار تعداد شب‌پره‌های نر به دام افتاده در آنها شمارش و ثبت شد. تعداد لاروهای کرم میوه گوجه‌فرنگی نیز به صورت تصادفی روی چند بوته در نقاط مختلف (چهار گوشه و مرکز) مزرعه شمارش می‌شد. هفت روز پس از زمان اوج پرواز که بیشترین جمعیت لاروی مشاهده می شد، کرت‌های آزمایشی با غلظت توصیه شده حشره‌کش‌ها توسط سم‌پاش هیدرولیک پشتی-موتوری لانس‌دار (۲۰ لیتری) مدل OS-850K (ساخت شرکت میتسوبیشی[4] ژاپن) با نازل مخروطی، فشار دو بار و خروجی ۴۰۰ لیتر در هکتار محلول‌پاشی شد.

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش پایداری حشره‌کش‌های پیریدالیل و کرومافنوزاید روی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* ، دو روز پس از سم‌پاشی، تعداد ۲۵۰۰ زنبور پارازیتوئید در مزرعه رهاسازی شد.

ارزیابی

نمونه‌برداری‌ها یک روز پیش از سم‌پاشی و سه، هفت، ۱۰ و ۱۴ روز پس از سم‌پاشی انجام شد. برای این منظور ۱۰ بوته به صورت تصادفی از چهار ردیف میانی هر کرت آزمایشی انتخاب و تعداد لاروهای زنده، میوه‌های سالم و آسیب دیده شمارش و ثبت شدند.

---

1 Sun 6189-F1
2 Nunhems
3 Funnel trap
4 Mitsubishi

برای برآورد درصد کارآیی تیمارهای مورد آزمایش از معادله هندرسون–تیلتون استفاده شد (Henderson & Tilton, 1955).

$$\text{Efficacy of treatment}(\%) = \left[1 - \frac{T_a \times C_b}{T_b \times T_a}\right] \times 100$$

که در آن، T: تعداد لاروهای زنده در تیمار پس (T_a) و پیش (T_b) از کاربرد و C: تعداد لاروهای زنده در شاهد پس (C_a) و پیش (C_b) از کاربرد است.

میزان عملکرد در زمان های مختلف و بر اساس رسیدگی گوجه فرنگی (سبز و قرمز) و آلوده بودن، با توزین محصول در کرت های مربوط به تیمارهای مختلف انجام شد. برای برآورد درصد میوه‌های آسیب دیده در تیمارهای مورد آزمایش از روش (Mahla *et al*., 2017) استفاده شد.

$$\text{Damaged fruits}(\%) = \frac{\text{Number of damaged fruits}}{\text{Total number of tomato fruits}} \times 100$$

داده‌های به دست آمده از این آزمایش با آزمون آماری تجزیه واریانس یک‌طرفه تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد توسط نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۲۰۱۶) انجام شد.

نتایج

ارزیابی کارآیی تیمارهای مورد آزمایش

نتایج مربوط به کارآیی تیمارهای مورد آزمایش علیه کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی در اولین مرحله مهار آفت در شرایط مزرعه‌ای، در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که نتایج آزمون آماری تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان می‌دهد، در سه (F= ۱۶/۵۷؛ df= ۴ و ۱۰؛ p< ۰/۰۰۰۱)، ده (F= ۱۵/۰۴؛ df= ۴ و ۱۰؛ p< ۰/۰۰۰۱) و چهارده (F= ۱۸/۷۶؛ df= ۴ و ۱۰؛ p< ۰/۰۰۰۱) روز پس از محلول‌پاشی، تیمار زنبور پارازیتوئید با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت، اما در هفت روز پس از محلول‌پاشی، تیمارهای پیریدالیل، کرومافنوزاید و زنبور پارازیتوئید با تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید و پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید اختلاف معنی‌داری داشتند (F= ۲۰/۲۸؛ df= ۴ و ۱۰؛ p< ۰/۰۰۰۱).

در همه روزهای پس از محلول‌پاشی، بیشترین درصد کارآیی در تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید و پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید و کمترین این فراسنجه در تیمار زنبور پارازیتوئید مشاهده شد.

جدول ۱. کارآیی (درصد) تیمارهای مورد آزمایش علیه کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی *H. armigera* در سه، هفت، ده و چهارده روز پس از محلول‌پاشی در اولین مرحله مهار آفت در شرایط مزرعه‌ای

تیمارها	کارآیی (میانگین±خطای معیار)			
	روزهای پس از محلول‌پاشی			
	سه	هفت	ده	چهارده
پیریدالیل	۴۶/۸۲ ±۷/۰۵a	۶۲/۸۰ ±۰/۶۲b	۷۱/۰۱ ±۲/۷۱a	۷۵/۴۶ ±۲/۷۹a
کرومافنوزاید	۴۵/۷۷ ±۲/۱۷a	۶۱/۲۷ ±۲/۸۲b	۷۲/۵۹ ±۳/۲۳a	۷۶/۶۶ ±۳/۳۳a
زنبور پارازیتوئید*	۷/۱۴ ±۴/۹۶b	۵۵/۶۳ ±۳/۴۵b	۵۰/۳۷ ±۵/۱۹b	۴۷/۴۱ ±۴/۵۱b
پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید	۴۶/۳۷ ±۱/۴۵a	۸۱/۰۹ ±۳/۱۱a	۹۰/۱۳ ±۴/۹۴a	۹۴/۰۷ ±۵/۹۳a
کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید	۴۷/۰۱ ±۳/۵۲a	۸۲/۶۲ ±۲/۷۵a	۹۰/۵۶ ±۴/۷۵a	۹۵/۰۰ ±۵/۱۲a

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند و توسط نرم‌افزار آماری SPSS با آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (آزمون توکی، $P > 0.05$) مقایسه شدند.

*زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor*

در جدول ۲ نتایج مربوط به کارآیی تیمارهای مورد آزمایش علیه کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی در دومین مرحله مهار آفت در شرایط مزرعه‌ای، ارائه شده است. همان‌طور که نتایج آزمون آماری تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان می‌دهد، در سه روز پس از محلول‌پاشی، تیمار زنبور پارازیتوئید با بقیه تیمارهای مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری داشت (۱۰؛ p< ۰/۰۰۰۱ و ۴ =df ؛F= ۱۳/۶۷)، در هفت روز پس از محلول‌پاشی، تیمارهای مورد آزمایش با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (۱۰؛ p= ۰/۰۶ و ۴ =df ؛F= ۳/۲۰)، در ده روز پس از محلول‌پاشی، تیمارهای پیریدالیل و زنبور پارازیتوئید با تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید و پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید اختلاف معنی‌داری داشتند (۱۰؛ p< ۰/۰۰۱ و ۴ =df ؛F= ۱۱/۴۲)، اما تیمار کرومافنوزاید با هیچ یک از تیمارهای مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری نداشت و در چهارده روز پس از محلول‌پاشی، بین تیمارهای پیریدالیل و کرومافنوزاید، تیمار زنبور پارازیتوئید و تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید و پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید اختلاف معنی‌داری وجود داشت (۱۰؛ p< ۰/۰۰۰۱ و ۴ =df ؛F= ۳۴/۹۹). در همه روزهای پس از محلول‌پاشی، بیشترین درصد کارآیی در تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید و پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید و کمترین این فراسنجه در تیمار زنبور پارازیتوئید مشاهده شد.

جدول ۲. کارآیی (درصد) تیمارهای مورد آزمایش علیه کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی *Helicoverpa armigera* در سه، هفت، ده و چهارده روز پس از محلول-پاشی در دومین مرحله مهار آفت در شرایط مزرعه‌ای

تیمارها	کارآیی (میانگین±خطای معیار)			
	روزهای پس از محلول‌پاشی			
	سه	هفت	ده	چهارده
پیریدالیل	۴۶/۶۷ ±۳/۹۰**a**	۶۴/۷۲ ±۶/۱۹**a**	۷۱/۵۴ ±۵/۱۳**b**	۷۷/۱۲ ±۲/۷۳**b**
کرومافنوزاید	۴۹/۵۱ ±۲/۰۹**a**	۶۴/۱۱ ±۳/۳۹**a**	۷۳/۶۶ ±۲/۹۵**ab**	۷۸/۳۶ ±۲/۲۱**b**
زنبور پارازیتوئید*	۱۵/۵۶ ±۶/۰۸**b**	۶۳/۱۲ ±۶/۰۵**a**	۵۸/۱۲ ±۲/۵۹**b**	۴۸/۰۱ ±۵/۶۱**c**
پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید	۵۴/۸۱ ±۴/۲۷**a**	۸۴/۰۴ ±۸/۲۳**a**	۹۴/۶۴ ±۵/۳۶**a**	۹۵/۸۳ ±۴/۱۷**a**
کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید	۵۴/۷۵ ±۳/۸۷**a**	۸۵/۷۱ ±۷/۱۷**a**	۹۳/۸۹ ±۶/۱۱**a**	۱۰۰/۰۰ ±۰/۰۰**a**

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند و توسط نرم‌افزار آماری SPSS با آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (آزمون توکی، $P > 0.05$) مقایسه شدند.

*زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor*

ارزیابی تأثیر تیمارهای مورد آزمایش روی کاهش آسیب‌دیدگی میوه‌های گوجه‌فرنگی

نتایج مربوط به تأثیر تیمارهای مورد آزمایش روی مقدار میوه آسیب دیده گوجه‌فرنگی توسط کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی *H. armigera* در اولین مرحله مهار آفت در شرایط مزرعه‌ای، در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که نتایج آزمون آماری تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان می‌دهد، به جزء اولین نوبت نمونه‌برداری، سه روز پس از محلول‌پاشی (۱۲؛ p= ۰/۱۵ و ۵ =df ؛F= ۲/۰۳)، در بقیه نوبت‌های نمونه‌برداری، هفت (۱۲؛ p< ۰/۰۰۰۱ و ۵ =df ؛F= ۲۱/۳۸)، ده (۱۲؛ p< ۰/۰۰۰۱ و ۵ =df ؛F= ۲۱۸/۴۸) و چهارده (۱۲؛ p< ۰/۰۰۰۱ و ۵ =df ؛F= ۳۱۳/۷۶) روز پس از محلول‌پاشی، میانگین میوه‌های آسیب دیده به صورت معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مورد آزمایش قرار گرفتند.

در همه روزهای پس از محلول‌پاشی، بیشترین مقدار میوه آسیب دیده گوجه‌فرنگی در تیمار شاهد مشاهده شد و در میان تیمارهای مورد آزمایش، تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید و پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید بیشترین و تیمار زنبور پارازیتوئید کمترین کاهش را در این فراسنجه ایجاد کردند.

جدول ۳. تأثیر تیمارهای مورد آزمایش روی مقدار میوه آسیب دیده گوجه‌فرنگی (درصد) توسط کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی *Helicoverpa armigera* در سه، هفت، ده و چهارده روز پس از محلول‌پاشی در اولین مرحله مهار آفت در شرایط مزرعه‌ای

تیمارها	مقدار میوه آسیب دیده گوجه‌فرنگی (میانگین±خطای معیار)			
	روزهای پس از محلول‌پاشی			
	سه	هفت	ده	چهارده
شاهد	۳/۲۴ ±۰/۲۳a	۶/۹۲ ±۰/۳۳a	۱۶/۴۱ ±۰/۳۰a	۱۹/۷۵ ±۰/۴۸a
پیریدالیل	۲/۲۶ ±۰/۳۷a	۴/۱۱ ±۰/۳۰bc	۷/۸۷ ±۰/۳۱c	۷/۵۵ ±۰/۲۶c
کرومافنوزاید	۲/۳۹ ±۰/۲۹a	۳/۸۲ ±۰/۳۵c	۷/۶۲ ±۰/۲۲c	۷/۱۹ ±۰/۲۴c
زنبور پارازیتوئید*	۲/۹۳ ±۰/۴۰a	۵/۵۲ ±۰/۳۶ab	۱۰/۶۰ ±۰/۳۷b	۱۱/۰۵ ±۰/۲۵b
پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید	۲/۱۶ ±۰/۲۱a	۳/۱۵ ±۰/۲۷c	۴/۰۲ ±۰/۳۴d	۳/۵۳ ±۰/۳۵d
کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید	۲/۳۰ ±۰/۲۸a	۲/۷۹ ±۰/۴۰c	۴/۳۱ ±۰/۳۰d	۳/۳۳ ±۰/۴۱d

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند و توسط نرم‌افزار آماری SPSS با آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (آزمون توکی، $P > 0.05$) مقایسه شدند. *زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor*

ارزیابی تأثیر تیمارهای مورد آزمایش روی عملکرد محصول، سود و نسبت سود به هزینه

نتایج مربوط به تأثیر تیمارهای مورد آزمایش روی عملکرد میوه سبز، میوه قرمز و کل میوه‌ها و افزایش عملکرد کل در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که نتایج آزمون آماری تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان می‌دهد، عملکرد میوه سبز آسیب دیده (F= ۳/۸۶؛ df= ۵ و ۱۲؛ p= ۰/۰۳)، میوه قرمز سالم (F= ۹/۷۰؛ df= ۵ و ۱۲؛ p< ۰/۰۰۱) به صورت معنی‌داری تحت تأثیر همه تیمارهای مورد آزمایش قرار گرفتند. به جزء تیمار زنبور پارازیتوئید، بقیه تیمارهای مورد آزمایش به صورت معنی‌داری عملکرد میوه قرمز آسیب دیده را تحت تأثیر قرار دادند (F= ۲۴/۰۲؛ df= ۵ و ۱۲؛ p< ۰/۰۰۰۱). عملکرد میوه سبز سالم (F= ۱/۲۲؛ df= ۵ و ۱۲؛ p= ۰/۳۶) و میوه قرمز لهیده (F= ۰/۲۱؛ df= ۵ و ۱۲؛ p= ۰/۹۵) تحت تأثیر هیچ‌یک از تیمارهای مورد آزمایش قرار نگرفتند. هم‌چنین، عملکرد کل تحت تأثیر هیچ‌یک از تیمارهای مورد آزمایش قرار نگرفت (F= ۰/۴۹؛ df= ۵ و ۱۲؛ p= ۰/۷۸)، اما افزایش عملکرد کل به صورت معنی‌داری تحت تأثیر همه تیمارهای مورد آزمایش قرار گرفت (F= ۶/۲۹؛ df= ۵ و ۱۲؛ p< ۰/۰۰۱).

بیشترین عملکرد میوه سبز سالم در تیمار پیریدالیل، بیشترین عملکرد میوه قرمز سالم و بیشترین عملکرد کل در تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید و پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید و کمترین این فراسنجه‌ها در تیمار شاهد مشاهده شد. هم‌چنین، کمترین عملکرد میوه سبز آسیب دیده، قرمز آسیب دیده و قرمز لهیده در تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید و پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید و بیشترین این فراسنجه‌ها در تیمار شاهد مشاهده شد. علاوه بر این، بیشترین افزایش عملکرد کل در تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید و پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید و کمترین این فراسنجه در تیمار زنبور پارازیتوئید مشاهده شد.

جدول ۴. تأثیر تیمارهای مورد آزمایش روی عملکرد میوه سبز، میوه قرمز، عملکرد کل و افزایش عملکرد کل (میانگین±خطای معیار) (تن بر هکتار)

تیمارها	عملکرد میوه سبز		عملکرد میوه قرمز			عملکرد کل	افزایش عملکرد کل
	سالم	آسیب دیده	سالم	آسیب دیده	لهیده		
شاهد	±۰/۳۶a ۳/۹۰	±۰/۱۲ a ۰/۴۱	۱۱۰/۵۱ ±۴/۸۸c	±۲/۹۳a ۳۳/۵۰	±۱/۶۹a ۱۰/۸۹	۱۵۹/۲۱ ±۹/۹۳a	–
پیریدالیل	±۰/۵۱ a ۴/۹۵	±۰/۰۴ab ۰/۱۷	±۵/۰۴ ab ۱۳۹/۹۱	±۲/۰۶b ۱۴/۷۲	±۱/۸۵a ۸/۹۹	۱۶۸/۷۴ ±۹/۳۷a	±۱/۵۹ab ۹/۵۳
کرومافنوزاید	±۰/۴۲ a ۴/۰۹	±۰/۰۶ab ۰/۱۴	±۶/۴۵ ab ۱۴۲/۴۵	±۲/۴۴b ۱۳/۸۵	±۲/۱۴a ۹/۴۲	±۱۱/۴۱a ۱۶۹/۹۵	±۱/۱۴ab ۱۰/۷۴
زنبور پارازیتوئید*	±۰/۳۴ a ۴/۲۹	±۰/۰۹ab ۰/۲۵	±۵/۴۲ bc ۱۲۲/۴۵	±۲/۵۷a ۲۶/۶۱	±۱/۶۲a ۹/۷۲	±۱۰/۲۲a ۱۶۳/۳۱	±۱/۰۸b ۴/۱۰
پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید	±۰/۴۷ a ۳/۶۸	±۰/۰۳b ۰/۰۶	۱۵۶/۴۱ ±۶/۷۹a	±۱/۵۴b ۷/۲۳	±۱/۵۰a ۸/۹۴	±۱۰/۱۸a ۱۷۶/۳۲	±۲/۱۶a ۱۷/۱۱
کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید	±۰/۳۹ a ۳/۹۴	±۰/۰۲b ۰/۰۷	۱۵۹/۳۳ ±۷/۶۱a	±۱/۲۵b ۶/۴۹	±۲/۲۶a ۸/۳۸	±۱۱/۵۲a ۱۷۸/۲۰	±۲/۴۹a ۱۸/۹۹

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند و توسط نرم‌افزار آماری SPSS با آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (آزمون توکی، $P > 0.05$) مقایسه شدند.

*زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor*

بحث

مصرف بی‌رویه آفت‌کش‌های شیمیایی در بوم‌سامانه‌های کشاورزی سبب پیدایش ناهنجاری‌های متعددی، از جمله تهدید سلامت انسان، آلودگی‌های زیست‌محیطی، کاهش تنوع زیستی، توسعه مقاومت نسبت به سموم و طغیان دوباره آفات به دلیل از بین رفتن دشمنان طبیعی شده است. از این رو، استفاده از روش‌های جایگزین به منظور کاهش مصرف سموم شیمیایی در بوم‌سامانه‌های کشاورزی، محافظت از دشمنان طبیعی و به حداقل رساندن میزان مقاومت نسبت به سموم مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Lawo *et al*., 2008). از جمله روش‌هایی که می‌توان به منظور کاهش اثرات مخرب حشره-کش‌های شیمیایی رایج مورد توجه قرار داد، استفاده از عوامل مهار زیستی است، اما این عوامل معمولاً به تنهایی توانایی کافی برای مهار کامل آفات را ندارند و به این خاطر، کشاورزان ملزم هستند علاوه بر دشمنان طبیعی از حشره‌کش‌ها نیز استفاده کنند تا بتوانند جمعیت آفات را به زیر سطح زیان اقتصادی (EIL)[1]کاهش دهند (Filho *et al*., 2000). بنابراین تنها راه موفق و پایدار مهار بسیاری از آفات از جمله کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی، استفاده توأم از دشمنان طبیعی و ترکیبات شیمیایی در قالب برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات (IPM)[2]است (Croft, 1990) . چنین برنامه‌هایی نه تنها در دراز مدت سبب بازگرداندن تعادل از بین رفته در بوم‌سامانه‌های کشاورزی خواهد شد، بلکه تأثیر بسزایی نیز در کاهش هزینه‌های مهار آفات، تولید محصول سالم و حرکت به سمت کشاورزی پایدار خواهد داشت(Oluwafemi *et al*., 2009) نکته قابل تأمل این است که به دلیل اثرات منفی حشره‌کش‌ها روی عوامل مهار زیستی، به طور معمول حشره‌کش‌ها با دشمنان طبیعی ناسازگار تلقی می‌شوند (Biondi *et al*., 2013). از این رو، برای برطرف کردن این مشکل، لازم است در برنامه‌های IPM از حشره-کش‌هایی با خاصیت اثر انتخابی و زیست‌سازگار[3]استفاده کرد تا اثرات منفی حشره‌کش‌ها روی دشمنان طبیعی به حداقل برسد.

1Economic Injury Level
2Integrated Pest Management
3Biocompatible

یکی از مهم‌ترین مسائلی که در برنامه‌های IPM باید به آن توجه زیادی کرد، بررسی اثرات سوئی است که حشره‌کش‌های شیمیایی روی دشمنان طبیعی ایجاد می‌کنند. اگرچه هدف استفاده از حشره‌کش‌ها مهار آفات است، اما به دلیل شباهت‌های اساسی فیزیولوژیک بین آفات و دشمنان طبیعی، حشره‌کش‌های شیمیایی معمولاً مرگ و میر شدیدی را روی هر دو گروه ایجاد می‌کنند (Croft, 1990) . حشره‌کش‌ها علاوه بر تأثیر مستقیم از طریق مرگ و میر، اثرات غیر مستقیمی از طریق تغییر در ویژگی‌های فیزیولوژیک یا رفتاری روی حشره هدف یا غیر هدف نیز ایجاد می‌کنند که لازم است در برنامه های مدیریت تلفیقی آفات مورد توجه قرار گیرد (Stark *et al*., 2004; Biondi *et al*., 2013).

زنبور پارازیتوئید*H. hebetor* از جمله دشمنان طبیعی موفقی است که به دلیل دارا بودن برخی ویژگی‌های مناسب، مانند دوره رشد و نمو کوتاه، نرخ بالای تولید مثل، دامنه قابل توجه گونه‌های میزبان و سازگاری مناسب با شرایط اقلیمی مناطق مختلف ایران، برنامه‌های پرورش انبوه و رهاسازی آن به منظور مهار آفات زراعی مختلف، از جمله شب‌پره *H. armigera*، هر ساله در قسمت‌های مختلف کشورمان اجرا می‌شود (Amir-Maafi & Chi, 2006) .

ترکیبات پیریدالیل و کرومافنوزاید از جمله حشره‌کش‌هایی هستند که سازمان حفظ نباتات کشورمان برای مهار آفت *H. armigera* توصیه کرده است. پیریدالیل، حشره‌کشی است که نحوه اثر آن هنوز به صورت دقیق مشخص نشده است، اما به نظر می‌رسد روی سلول‌های حشرات آفت تأثیر گذاشته و رشد آنها را کاهش می‌دهد (Nishimura *et al*., 2007). کرومافنوزاید، حشره‌کشی جدید از گروه تنظیم کننده‌های رشد حشرات (IGR_s)[1]است که در فرآیند پوست‌اندازی حشرات اختلال ایجاد می‌کند (Rani *et al*., 2018) .

نتایج آزمایش ما روی پایداری حشره‌کش‌های پیریدالیل و کرومافنوزاید در مزرعه گوجه‌فرنگی مشخص کرد که هردو ترکیب ناپایدار محسوب می شوند بنابراین زنبورهای پارازیتوئید تحت تأثیر باقی‌مانده حشره‌کش‌ها قرار نمی گیرند وفاصله زمانی بین سمپاشی تا رهاسازی می تواند کمتر از ۵ روز باشد. پژوهش‌های اندکی به ارزیابی اثر پایداری حشره‌کش‌ها روی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* پرداخته‌اند. دریک پژوهش، Patra & Samanta (2017) اثر پایداری پیریدالیل را روی حشرات کامل زنبورهای پارازیتوئید *Trichogramma chilonis* Ishii 1941 و *Bracon brevicornis* Wesmael, 1838 با روش دیسک برگی (جمع‌آوری شده از مزارع سم‌پاشی شده کلم برگ با غلظت توصیه شده مزرعه‌ای) مورد بررسی قرار داده‌اند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد بر اساس استاندارد IOBC، پیریدالیل در گروه ترکیبات با پایداری کم قرار گرفته است که همسو با یافته های ما می باشد.

به صورت کلی، اکثر پژوهش‌ها به منظور بررسی کارآیی روش‌های مختلف مهار آفات، مانند: روش شیمیایی یا کاربرد عوامل مهار زیستی در شرایط آزمایشگاهی انجام می‌شود و پژوهشگران به دلایل گوناگون به مطالعه در شرایط مزرعه‌ای تمایل چندانی نشان نمی‌دهند زیرا فراهم کردن مزرعه مورد نظر برای پژوهشگران و همچنین انجام دادن آزمایش‌ها در شرایط مزرعه‌ای دشوار و طاقت‌فرسا است و محدودیت های خاص خود را برای انجام آزمایش‌ها دارد. با این وجود، بیشتر پژوهش‌هایی که در شرایط نیمه‌مزرعه‌ای یا مزرعه‌ای انجام شده و به دنبال ارائه راهکاری مناسب برای مهار آفت خاصی بوده، تک‌بعدی عمل کرده و فقط کارآیی چند حشره‌کش را با یکدیگر مورد مقایسه قرار داده و از تیمارهای تلفیقی حشره‌کش‌ها و عوامل مهار زیستی استفاده نکرده است، در واقع در این پژوهش‌ها فقط به روش مهار شیمیایی توجه شده و برنامه‌های IPM نادیده گرفته شده است. این مشکل در مورد کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی نیز صادق است. از جمله کارهای معدودی که در کشور انجام شده می توان به پژوهش باقری و همکاران اشاره کرد (Bagheri *et al*., 2019). این محققین از دو زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* و *Trichogramma evanescens* Ishii, 1941 در تلفیق با حشره‌کش‌های ایندوکساکارب، پروفنوفوس، آبامکتین، فن-پروپاترین و ایمیداکلوپرید برای مطالعه خود استفاده کرده اند. یافته‌های ایشان نشان می‌دهد، بین درصد آلودگی میوه‌های گوجه‌فرنگی در تیمارهای مختلف، اختلاف معنی‌داری وجود داشته، اما عملکرد نهایی محصول در تیمارهای مختلف با هم

1Insect Growth Regulators

اختلاف معنی‌داری نداشته است. این محققین چنین نتیجه‌گیری کرده‌اند که زنبورهای پارازیتوئید *H. hebetor* و *T. evanescence* گزینه‌های جایگزین مناسبی برای حشره‌کش‌های شیمیایی هستند که می‌توان از آنها به صورت تلفیق در برنامه‌های مدیریت کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی استفاده کرد.

مطالعه ما نیز نشان داد که اختلاط هر یک از ترکیبات کرومافنوزاید یا پیریدالیل با زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* می تواند سبب افزایش تأثیر مهار کنندگی آن شود به طوری که تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید و پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید بهتر از تیمارهای جداگانه کرومافنوزاید، پیریدالیل و زنبور پارازیتوئید، کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی را مهار کردند. همچنین این مطالعه مشخص کرد که بیشترین عملکرد میوه سبز سالم در تیمار پیریدالیل، بیشترین عملکرد میوه قرمز سالم و بیشترین عملکرد کل در تیمارهای کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید و پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید و کمترین عملکرد در تیمار شاهد مشاهده شد که به روشنی تأثیر کنترل تلفیقی را در افزایش میزان محصول نشان می دهد.

نتیجه گیری

این مطالعه نشان داد که تیمارهای تلفیقی (پیریدالیل + زنبور پارازیتوئید و کرومافنوزاید + زنبور پارازیتوئید) در مقایسه با تیمارهای تنها (حشره‌کش‌ها یا زنبور پارازیتوئید) تأثیر کنترل کنندگی بیشتری روی لاروهای کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی داشته است، به صورتی که با کشتن بیشتر لاروها، جمعیت آفت را کوچک‌تر کرده و به این طریق میوه‌های گوجه‌فرنگی را از آسیب لاروها حفظ کرده و باعث افزایش عملکرد شده است. و در نهایت اینکه این مطالعه ثابت کرد که تلفیق حشره‌کش پیریدالیل یا کرومافنوزاید با زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در مهار کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی موفق‌تر از کاربرد حشره‌کش یا زنبور پارازیتوئید به تنهایی خواهد بود و در نتیجه توصیه می شود در برنامه مدیریت تلفیقی کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی *H. armigera* از حشره‌کش‌های پیریدالیل یا کرومافنوزاید به همراه زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر، مستخرج از رساله دکتری میباشد که در گروه گیاهپزشکی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی تهران انجام شده است. بدینوسیله از همکارانی که در انجام این پژوهش ما را یاری کردند کمال تشکر و قدردانی را داریم.

REFERENCES

Amir-maafi, M. and Chi, H. 2006. Demography of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) on two pyralid hosts (Lepidoptera: Pyralidae). *Annals of Entomological Society of America*. 99(1): 84–90.

Bagheri, A.N., Askari Seyahooei, M., Fathipour, Y., Famil, M., Koohpayma1, F., Mohammadi-Rad, A. and Parichehreh, Sh. 2019. Ecofriendly managing of *Helicoverpa armigera* in tomato field by releasing *Trichogramma evanescence* and *Habrobracon hebetor*. *Journal of Crop Protection*. 8 (1): 11-19.

Biondi, A., Desneux, N., Amiens-Desneux, E., Siscaro, G., and Zappala, L. 2013. Biology and developmental strategies of the palaearctic parasitoid *Bracon nigricans* (Hymenoptera: Braconidae) on the Neotropical moth *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae*). Journal of Economic Entomology*. 106: 1638–1647.

Biondi, A., Mommaerts, V., Smagghe, G., Vinuela, E., Zappala, L. and Desneux, N. 2012. The non-target impact of spinosyns on beneficial arthropods. *Pest Management Science*. 68: 1523–1536.

Croft, B. A. 1990. Factors affecting susceptibility In: Arthropod biological control agents and pesticides (Ed. Croft, B.A.). *Wiley and Sons Publication*. Pp 71–100.

Darwish Mojeni, T. Bayat Asadi, H., Noori Ganbalani, G. Shojaei, M. 2005. Study on bioregional aspects of bollworm ,*Helicoverpa armigera* (Hub.) (Lepidoptera: Noctuidae), in the cotton fields of Golestan Province. *Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University of Iran*

11 (2), 97-115. (In Persian)

Eliopoulos, P.A. and Stathas, G.J. 2008. Life tables of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing *Anagasta kuehniella* and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae): effect of host density. *Journal of Economic Entomology*. 101: 982–988.

Farrow, R.A. and Daly, J.C. 1987. Long range movements as an adaptive strategy in the genus *Heliothis* (Lepidoptera: Noctuidae): An overview of its occurrence and detection in four pest species. *Australian Journal of Zoology*. 35: 1–24.

Filho, M. M., Vilela, E. F., Attygalle, A. B., Meinwald, J., Svatoš, A., and Jham, G. N. 2000. Field trapping of tomato moth, *Tuta absoluta* with pheromone traps. *Journal of Chemical Ecology*, 26, 875-881.

Fitt, G.P. 1989. The ecology of *Heliothis* species in relation to agroecosystems. *Annual of Review Entomology*. 34: 17–52.

Hagstrum, D.W. and Smittle, B.J. 1978. Host utilization by *Bracon hebetor*. *Environmental Entomology*. 7:596–600.

Hassan, S.A. 1994. Activities of the IOBC/WPRS working group pesticides and beneficial organisms. *IOBC/WPRS Bull*. 17: 1–5.

Henderson, C.F. and Tilton, E.w. 1955. Tests with acaricides against the brown wheat mite. *Journal of Economic Entomology*. 48: 157–161.

Hussain, D., Ali, H., Qasim, M. and Khan, J. 2015. Insecticidal susceptibility and effectiveness of *Trichogramma chilonis* as parasitoids of tomato fruit borer, *Helicoverpa armigera*. *Pakistan Journal of Zoolology*. 47(5): 1427–1432.

IRAC. 2020. IRAC Mode of Action Classification Scheme. Version 9.4, IRAC International MoA Working Group, *Insecticide Resistance Action Committee*, 1–30 pp. Retrieved October 28, 2021. From http://www.irac-online.org.

Khankani, M. 2012. Field crop pests in Iran (Insects & Mites). *Bu-Ali Sina University Press*, 719 pp. (In Persian)

Lawo, N.C., Mahon, R.J., Milner, R.J., Sarmah, B.K., Higgins, T.J.V. and Romeis, J. 2008. Effectiveness of *Bacillus thuringiensis*-transgenic chickpeas and the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* in controlling *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Applied and Environmental Microbiology*.74: 4381–4389.

Magro, S.R., Dias, B.A., Terra, W. R. and Parra, J.R.P. 2006. Biological, nutritional and histochemical basis for improving an artificial diet for the parasitoid wasp *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae). Neotropical Entomology. 35:725–730.

Mahla, M.K., Lekha, Singh, V., Swami, H. and Choudhary, R.S. 2017. Efficacy of different insecticides against pest complex of tomato and effect on their natural enemies. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 5(5): 229–234.

Mardani A., Sabahi, Q. Sheikhi-Garjan A. 2021. Lethal and sub-lethal effects of insecticides chromafenozide, pyridalyl and thiodicarb on parasitoid wasp, *Habrobracon hebetor*. *Plant Pest Research* 10: 1-14.

McCaffery, A.R., Ahmad, M., Walker, C.H., Gladwell, R.T. and Lee, K.S. 1986. Studies on resistance to insecticides in the cotton bollworm, *Heliothis armigera* with special reference to the pyrethroids. *Proceeding of the British Crop Protection Conference on Pests and Diseases*, Brighton, England. Pp 591.

Mosallanejad, H. and Gholami, Z. 2019. First report of thiodicarb resistance of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hubner) in Iran. *Journal of Entomological Society of Iran* 39: 195-212. (In Persian)

Nishimura, Sh. Saito, Sh. and Isayama. Sh. 2017. Pyridalyt: A novel compound with excellent insecticidal activity, high Selectivity, and unique mode of action. *Japanese Journal of Plant Science*. 1(2): 85–94.

Oluwafemi, A.R., Rao, Q., Wang, X.Q. and Zhang, H.Y. 2009. Effect of *Bacillus thuringiensis* on *Habrobracon hebetor* during combined biological control of *Plodia interpunctella*. *Insect*

Science. 16: 409–416.

Patra, S. and Samanta, A. 2017. Toxicity of some new and conventional insecticides on *Trichogramma chilonis* Ishii and *Bracon brevicornis* Wesmael under laboratory condition. *Journal of Environmental Biology*. DOI :http://doi.org/10.22438/jeb38/5/ MRN-410.

Pineda, S., Martinez, A.M., Figueroa, J.I., Schneider, M.I., Estal, P.D. 2009. Influence of Azadirachtin and Methoxyfenozide on life parameters of *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*. 102(4):1490–1496.

Qeshm, R. A. and Kafi, M. 2006 . Industrial tomatoes from planting to harvesting. *Jihad-e-Daneshgahi Mashhad*, 86pp. (In Persian)

Rani, G., Gupta, N., Redhu, N.S. and Kumar, S. 2018. Ecdysone receptor present in insects is a novel target for insecticide. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7(5): 1548–1553.

Reed, W. 1965. *Heliothis armigera* (Hubner.) (Noctuidae) in Western Tanganyika. 1. Biology with special reference to the pupal stage. II. Ecology and natural and chemical control. *Bulletin of Entomological Research*. 56: 117–125.

Saber, M. and Abedi, Z. 2013. Effects of methoxyfenozide and pyridalyl on the larval ectoparasitoid *Habrobracon hebetor*. *Journal of Pest Science*. 86: 685–693.

Sakamoto, N., Saito, S., Hirose, T., Suzuki, M., Matsyo, S., Izumi, K., Nagatomi, T., Ikegami, H., Umeda, K., Tsushima, K. and Matsuo, N. 2004. The discovery of pyridalyl; a novel insecticidal agent for controlling lepidopterous pests. *Pest Management Science*. 60: 25–34.

Sedaratian, A. 2012 Sublethal effects of *Bacillus thuringiensis* on eco-physiological parameters of *Helicoverpa armigera* and *Habrobracon hebetor*. *PhD Thesis*, *Tarbiat Modares University*. 160pp**.** (in Persian)

Sheikhigarjan, A. Najafi, H., Abbasi,S., Azimi,H. and Moradi M. 2021. The chemical and organic pesticide guide of Iran *Rah Dan press*, Tehran,Iran,p.525.

Stark, J.D., Banks, J.E., and Acheampong, S. 2004. Estimating susceptibility of biological control agents to pesticides: influence of life history strategies and population structure. *Biological Control*. 29: 392–398.

Taylor, A.D. 1988. Host effect on functional and ovipositional response of *Bracon hebetor*. *Journal of Animal Ecology*. 57: 173–184.

Zalucki, M.P. and Jallow, M.F.A. 2003. Relationship between oviposition preference and offspring performance in Australian *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Australian Journal of Entomology*. 42: 343–348.