The University of Tehran Press

Iranian Journal of Plant Protection Science

Online ISNN: 2008-4781

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

Pre-harvest interval and residue assessment of emamectin benzoate+lufenuron (Proclim fit® UV) and metaflumizone (Alverd®) insecticides in tomato

Vahideh Mahdavi[1]✉, Aziz Sheikhigarjan[2], Mohammad Taghi Tohidi[3], Leila Faravardeh[4], Mohammad Nateq Golestan[5], Abdoolnabi Bagheri[6]

1. Corresponding Author, Department of Pesticides Research, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: v_mahdavi@areeo.ac.ir
2. Department of Agricultural Entomology, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: asheikhi48@gmail.com
3. Department of Plant Protection, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center in Kermanshah Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail mttohidi@yahoo.com
4. Department of Pesticides Research, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: lfaravardeh@areeo.ac.ir
5. Plant Protection Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran. E-mail nateq1215@yahoo.com
6. Department of Plant Protection, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center in Hormozgan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail nabibagheri53@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 30 April 2025

Revised: 22 July 2025

Accepted: 2 August 2025

Published online: Atumn and Winter 2024

Keywords:

Pesticide Residue,

Pre-harvest Interval,

Tomato,

Tomato Fruit Worm.

ABSTRACT

Tomatoes are one of the agricultural products that are a priority for monitoring due to their high per capita consumption, fresh and raw consumption, and high pesticide use. Currently, the tomato fruit worm or cotton bollworm *Helicoverpa armigera*, with a wide host range, is one of the key pests of tomatoes, which has reduced the marketability of this product, and chemical control of this pest is one of the common methods of managing this pest. In this study, the evaluation of the pre-harvest interval (PHI) was carried out at the optimal doses of each of the studied pesticides. Alverd@ 240 SC insecticide at a dose of 1000 ml/ha and Proclaim Fit@ UV 500 WG insecticide at a dose of 100 g/ha showed the best efficiency. Therefore, the residue of these pesticides in tomato crops and the evaluation of the proposed Karnes period were carried out at these doses. Based on the results of the insecticide residues of metaflumizone, lufenuron, and emamectin benzoate in tomatoes treated with these pesticides, the 3-day pre-harvest interval of Alvord (metaflumizone) and the 7-day pre-harvest interval of Proclimfit (lufenuron and emamectin benzoate) were investigated and verified. The residue results, compared to the national MRL of these pesticides, showed that the 3-day PHI of metaflumizone and the 7-day PHI of lufenuron and emamectin benzoate in tomatoes were acceptable.

Cite this article: Mahdavi, v., Sheikhigarjan, A., Tohidi, M. T., Faravardeh, L., Nateq Golestan, M. & Bagheri, A. (2024). Pre-harvest interval and residue assessment of emamectin benzoate+lufenuron (Proclim fit® UV) and metaflumizone (Alverd®) insecticides in tomato. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 55 (2), 239-253. DOI: https://doi.org/10.22059/ijpps.2025.391394.1007075

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijpps.2025.391394.1007075

Extended Abstract

Introduction

Objective

Over the past few years, food safety has gained significant prominence. The presence of pesticide residues stemming from applying synthetic plant protection agents in fruit cultivation has become a significant apprehension for consumers, particularly children, due to their detrimental impacts. The ingestion of fruits in their natural state, or their processed derivatives containing pesticide residues that exceed the permissible limits, can pose a substantial risk to human health. Because pesticide treatment leads to its accumulation in fresh tomatoes, it is challenging to successfully bring the vegetables to the market within the restricted and safe timeframe that adheres to the residue-level regulations. Therefore, tomatoes, which are usually consumed fresh, have faced increased scrutiny in the past few years due to their potential dietary risks and have emerged as a considerable issue in terms of both food safety and compliance with trade standards.

With a per capita consumption of more than 30 kilograms per year, tomatoes constitute a major share of the household food basket, so the health of this product has a significant impact on the health of the household food basket. Currently, the tomato fruit worm or cotton bollworm *Helicoverpa armigera*, with a wide host range, is one of the key pests of tomatoes, which has reduced the marketability of this product, and chemical control of this pest is one of the common methods of managing this pest.

Materials and Methods

In this study, Certified Reference materials (CRMs), acetonitrile, and Poly Secondary Amin (PSA) were purchased from Sigma-Aldrich, Scharlau (Barcelona, Spain), and Agilent company (USA), respectively. The evaluation of the pre-harvest interval (PHI) was carried out at the optimal doses of each of the studied pesticides. Alverd$^{@}$ 240 SC insecticide at a dose of 1000 ml/ha and Proclaim Fit$^{@}$ UV 500 WG insecticide at a dose of 100 g/ha showed the best efficiency. Therefore, the residue of these pesticides in tomato crops and the evaluation of the proposed pre-harvest interval were carried out at these doses. A quick, easy, cheap, effective, rugged, and safe (QuEChERS)-based sample preparation method coupled with ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UHPLC-MS/MS) in dynamic multiple reaction monitoring (dMRM) mode was developed to determine the residues of the 3 pesticides in treated tomato samples. SB-C18, Zorbax Eclipse column for separation of pesticides and acetonitrile with formic acid in water as mobile phase was used, respectively.

Results and discussion

The process was validated, and the linear dynamic range (LDR) of the matrix-matched calibration curves was 0.005–0.5 mg/kg, with determination coefficients (R^2) greater than 0.99. The limits of detection (LOD) and quantification (LOQ) of the method were in the range of 0.001–0.004 mg/kg and 0.005–0.01 mg/kg, respectively. Furthermore, accuracy and precision were studied at two concentration levels. The recoveries were 71–110%, and relative standard deviations (RSD%) for the three replicates were lower than 17.8% for all analytes. The developed method was applied to tomato-treated samples collected from Kermanshah province, and three pesticide residues were found at concentration levels lower than maximum residue limits (MRLs). Based on the results of the insecticide residues of metaflumizone, lufenuron, and emamectin benzoate in tomatoes treated with these pesticides, the 3-day pre-harvest interval of Alvord (metaflumizone) and the 7-day pre-harvest interval of Proclaim Fit (lufenuron and emamectin benzoate) were investigated and verified.

Conclusions

The residue results, compared to the national MRL of these pesticides, showed that the 3-day PHI of metaflumizone and the 7-day PHI of lufenuron and emamectin benzoate in tomatoes were acceptable. Based on the results, the following recommendations are offered:

- Use of registered pesticides
- Use of pesticides at an appropriate time
- Use of pesticides in appropriate doses and concentrations, with recommended spraying intervals
- Use of appropriate spraying methods (appropriate to the type of pesticide, target pest, host, and production space)
- Avoid using unauthorized, counterfeit, unknown, suspicious, and poorly qualified pesticides
- Compliance with the expiration date of pesticides and paying attention to the warnings on pesticide labels
- More practical supervision for the import, production, and packaging of agricultural pesticides
- To avoid frequent use of pesticides with a high probability of developing resistant populations of pests (in this regard, to pay attention to the grouping of fungicides and insecticides with the resistance risks in FRAC and IRAC tables, respectively.)

نشریه دانش گیاهپزشکی ایران، دوره ۵۵، شماره ۲

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۷۸۶۸-۲۴۲۳

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

ارزیابی دوره کارنس و باقیمانده حشره کش‌های لوفنورون+ امامکتین بنزوات (پروکلیم فیت یو وی) و متافلومیزون (آلورد) در گوجه فرنگی

وحیده مهدوی[۱]✉ | عزیز شیخی گرجان[۲] | محمد تقی توحیدی[۳] | لیلا فرآورده [۴] | محمد ناطق گلستان [۵] | عبدالنبی باقری [۶]

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات آفت‌کش‌ها، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: v_mahdavi@areeo.ac.ir

۲. بخش تحقیقات حشره شناسی کشاورزی، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: asheikhi48@gmail.com،

۳. بخش تحقیقات گیاه پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه : mttohidi@yahoo.com

۴. بخش تحقیقات آفت‌کش‌ها، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: lfaravardeh@yahoo.com

۵. بخش تحقیقات گیاه پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. رایانامه: nateq1215@yahoo.com

۶. بخش تحقیقات گیاه پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه:nabibagheri53@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۱

تاریخ انتشار: پاییز و زمستان ۱۴۰۳

کلیدواژه‌ها:

باقیمانده آفت‌کش، دوره کارنس، کرم میوه‌خوار، گوجه‌فرنگی.

چکیده

محصولات صیفی‌جات و بخصوص گوجه فرنگی به دلیل سرانه مصرف بالا، تازه‌خوری و مصرف زیاد آفت‌کش‌ها از محصولات کشاورزی می‌باشد که از جهات مختلفی در اولویت پایش قرار دارد. در حال حاضر، کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی با دامنه میزبانی وسیع از جمله آفات کلیدی گوجه‌فرنگی است که یکی از روش¬های متداول مدیریت آن کنترل شیمیایی است. در این تحقیق، دوره کارنس (پیش برداشت) حشره‌کش متافلومیزون (آلورد SC ۲۴۰) و حشره‌کش لوفنورون و امامکتین بنزوات (پروکلیم فیت یووی UV 500 WG) به‌ترتیب در غلظت‌های توصیه شده ۱۰۰۰ میلی‌لیتر در هکتار و ۱۰۰ گرم در هکتار در مزرعه گوجه‌فرنگی مورد مطالعه قرارگرفت. نمونه‌برداری‌ها برای ارزیابی و راستی آزمایی دوره کارنس حشره‌کش‌های لوفنورون و امامکتین بنزوات در ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ روز پس از سمپاشی انجام گرفت و برای ارزیابی دوره کارنس حشره‌کش متافلومیزون از ۱ تا ۵ روز بعد از سمپاشی هر روز در یک زمان از مزرعه سمپاشی‌شده، نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها در ۳ تکرار و هر تکرار با وزن تقریبی یک کیلوگرم حاوی ۸ تا ۱۲ واحد گوجه‌فرنگی سالم، رسیده و متوسط بود. بر اساس نتایج حاصل از اندازه¬گیری باقیمانده حشره‌کش متافلومیزون، لوفنورون و امامکتین بنزوات در گوجه‌فرنگی، دوره کارنس ۳ روزه آلورد (متافلومیزون) و دوره کارنس ۷ روزه پروکلیم فیت (لوفنورون و امامکتین بنزوات) مورد بررسی و راستی آزمایی قرار گرفت. نتایج اندازه¬گیری باقیمانده آن‌ها در مقایسه با MRL ملی این آفتکش‌ها، نشان داد که دوره کارنس ۳ روز برای متافلومیزون و ۷ روز برای لوفنورون و امامکتین بنزوات در گوجه‌فرنگی قابل قبول می‌باشد.

استناد: مهدوی، وحیده؛ شیخی گرجان، عزیز؛ توحیدی، محمدتقی؛ فرآورده، لیلا؛ ناطق گلستان، محمد و باقری عبدالنبی (۱۴۰۳). ارزیابی دوره کارنس و باقیمانده حشره کش‌های لوفنورون+ امامکتین بنزوات (پروکلیم فیت یو وی) و متافلومیزون (آلورد) در گوجه فرنگی. *نشریه دانش گیاهپزشکی ایران*، ۵۵ (۲)، ۲۵۳-۲۳۹.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijpps.2025.391394.1007075

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijpps.2025.391394.1007075

مقدمه

در ایران گوجه فرنگی با سطح زیر کشت ۱۴۸۴۱۴ هکتار از مزارع آبی و تولید حدود ۶/۹ میلیون تن و سهم ۹/۲ درصد از کل مقدار تولید محصولات زراعی، رتبه سوم از نظرمیزان تولید را در میان محصولات زراعی در سال ۹۸-۱۳۹۷ کسب کرده است. استان فارس با سهم ۲۰/۳ درصدی، بوشهر و هرمزگان با سهم ۸/۱ درصدی، خراسان رضوی با سهم ۷/۷درصدی و کرمانشاه با سهم ۶/۹ درصدی در رتبه های اول تا پنجم تولیدکنندگان گوجه فرنگی کشور قرار دارند. این پنج استان جمعاً در حدود ۵۱/۱ درصد از کل تولید گوجه‌فرنگی کشور را تأمین نموده‌اند و استان کرمانشاه با عملکردی معادل ۶۴ تن در هکتار در رتبه اول از نظر عملکرد قرار گرفته است (احمدی و همکاران ۱۳۹۹). گوجه‌فرنگی ازجمله سبزی‌هایی است که مصرف آن به اشکال مختلف از جمله مصرف تازه‌خوری می باشد. در عین حال، کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی یا کرم قوزه پنبه *Helicoverpa armigera* با دامنه میزبانی وسیع از جمله آفت کلیدی گوجه‌فرنگی است و کاربرد آفت‌کش‌های شیمیایی، از روش‌های متداول کنترل این آفت است. درحال حاضر در ایران، ۸ حشره‌کش مختلف از ۶ گروه (فسفره آلی، پایرتروییید، مهارکننده سنتز کتین، آگونیست هورمون پوست‌اندازی، عوامل میکروبی حشرات، دیامیدها) روی کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی ثبت شده است (شیخی گرجان و همکاران،۱۴۰۲).از این رو، تحقیق در زمینه جایگزین کردن حشره‌کش‌های موثر و کم‌خطر به جای حشره‌کش‌های متداول مصرفی از اهمیت زیادی برخوردار است. این موضوع در مورد کرم‌میوه‌خوار گوجه‌فرنگی که موجب عدم بازار پسندی محصول می‌شود، نیز اهمیت ویژه‌ای دارد.

پایش باقیمانده آفتکش‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین آلاینده‌ها در مواد غذایی، یکی از الزامات اساسی برای آگاهی از شرایط ایمنی آنها است. این پایش‌ها هر ساله توسط کشورهای مختلف در حال انجام است. اندازه‌گیری میزان باقیمانده آفتکش‌ها در محصولاتی که به‌طور مستقیم به مصرف تغذیه انسان می‌رسد، از نظر بهداشت و سلامت جامعه از اهمیت بالایی برخوردار است. برنامه‌های پایش وجود باقیمانده سموم در مواد غذایی، در راستای اطمینان حداکثر مجاز باقیمانده سموم و میزان دریافت از طریق رژیم غذایی در بسیاری از کشورها به‌طور مستمر انجام می‌شود. وزارت جهاد کشاورزی نیز به‌عنوان متولی تولید محصولات کشاورزی، باید از کیفیت محصولات تولیدی به لحاظ آلاینده‌ها اطلاع داشته باشد. این اطلاعات می‌تواند کمک زیادی در برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت مصرف آفتکش‌ها ایفا کند. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، میوه‌ها و سبزی‌ها حدود ۳۰ درصد از منابع غذایی انسان را تشکیل می‌دهند. میزان تولید این محصولات به شدت وابسته به مصرف آفت‌کش‌ها است، با عنایت به وجود حدود ۶۰۷ عامل خسارت‌زا در سطح مزارع، باغات و گلخانه‌ها و توان خسارت‌زایی عوامل فوق تا ۱۰۰٪ محصول، اجرای عملیات مبارزه شیمیایی اجتناب‌ناپذیر است و هرگونه تعلل در کنترل عوامل خسارت‌زا، موجبات بروز خلل جدی در تولید محصول کافی، به عنوان یکی از مولفه‌های مهم امنیت غذایی می‌گردد. بنابراین، سیاست‌ها می‌بایست به‌گونه‌ای تنظیم گردد تا دستیابی به امنیت غذایی با حفظ ایمنی آن‌ها میسر شود. از طرفی، گروهی از محصولات کشاورزی هستند که از جهات مختلفی در اولویت پایش قرار دارند. این اهمیت می‌تواند ناشی از سرانه مصرف بالا، تازه‌خوری، و مصرف زیاد آفت‌کش‌ها به‌علت تنوع آفات و یا استراتژیک بودن محصول باشد. گوجه‌فرنگی، یکی از این محصولات اساسی است که با سرانه مصرف بیش از ۳۰/۸ کیلوگرم در سال سهم عمده‌ای از سبد غذایی خانوار را تشکیل می‌دهد و سلامت این محصول، تاثیر بسزایی در سلامت غذای خانوار دارد. در این پژوهش، باقیمانده آفتکش‌های متافلومیزون، لوفنورون و امامکتین بنزوات در گوجه‌فرنگی به منظور ارزیابی دوره کارنس این آفتکش‌ها در گوجه‌فرنگی در دز توصیه شده مورد بررسی قرار گرفت.

پیشینه پژوهش

تحقیقات انجام شده در زمینه شناسایی و مدیریت کرم قوزه پنبه برای اولین بار در سال ۱۳۳۳ توسط تقی‌زاده و دواچی انجام شد سپس، میرصلواتیان در سال ۱۳۳۸ مطالعاتی را در این زمینه ادامه داد (میرصلواتیان ۱۳۳۸). در سال ۱۳۶۵ وجود دو نسل از کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی با استفاده از تله‌های نوری تایید شد و زمان ظهور شب‌پره‌های نسل اول از اوایل فروردین تا اردیبهشت‌ماه و شب‌پره‌های نسل دوم را از اردیبهشت تا اوایل تیرماه گزارش کرده و گونه غالب آن را *Heliothis peltigera*

(Denis & Schiffermüller)معرفی نموده است (فرید، ۱۳۶۵). مطالعات انجام شده درمورد کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی در خوزستان نشان داد که گونه آن *Helicoverpa armigera (Hübner)* است و دو نسل دارد و باتوجه به پراکندگی ظهور حشرات کامل در بهار و تابستان، اعمال دو نوبت سمپاشی را به فاصله ۱۲ روز علیه آفت مذکور توصیه شده است و اولین سمپاشی بعد از تشکیل گل زمانی‌که لاروهای سن اول به صورت مینوز به برگ خسارت می‌زنند، توصیه شده است (جمسی، ۱۳۷۴). حشره‌کش‌های پایرتروئیدی، با نصف مقدار توصیه‌شده به همراه ویروس پلی‌هیدروز به مقدار ۲۵۰ اکی‌والانت به ازای هر لارو میوه‌خوار نتیجه مطلوبی در کاهش جمعیت لارو و میزان خسارت و عملکرد داشت که در مقایسه با نتایج حاصل از تیمار حشره‌کش‌ها با مقدار کامل توصیه‌شده قابل توجه بود (Pokharkar and Chaudhary, 2001) .

یک تیم تحقیقاتی در سال ۱۹۹۸ از میان حشره‌کش‌های مختلف، کاربرد اندوسولفان به همراه ویروس پلی‌هیدروز را برای کنترل کرم میوه‌خوار توصیه نمود. هم‌چنین، در ادامه تحقیقات مشخص گردید با دو بار سمپاشی با اندوسولفان ۰/۰۷ درصد به فاصله ۱۵ روز از همدیگر، می‌توان نتیجه قابل قبولی در مقایسه با Dipel گرفت (Ganguli and Dubey,1998). تقی‌زاده و همکاران (۱۳۸۱) اثر حشره‌کشی ایندوکساکارب را با حشره‌کش‌های تیودیکارب و اندوسولفان در کنترل لاروهای کرم قوزه پنبه مقایسه کرده و اظهار می‌دارند که این حشره‌کش در دو غلظت ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار با ۸۵ –۸۰ درصد تلفات نسبت به دو حشره‌کش دیگر، کارآیی بیشتری داشت و اثر سویی بر روی حشرات مفید و پارازیت‌ها نداشت. هم‌چنین، خانیزاد و همکاران در سال ۱۳۸۳، اثر حشره‌کشی ایندوکساکارب را با حشره‌کش‌های تیودیکارب و کاربارل در کنترل لاروهای پیله‌خوار نخود مقایسه کرده و اظهار می‌دارند که این حشره‌کش در دو غلظت ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار با ۹۳/۸ و ۹۳/۷ درصد تلفات نسبت به دو حشره‌کش دیگر، از کارآیی بالاتری در کنترل آفت برخوردار است و اثر سوء کمتری روی حشرات مفید دارد. در بررسی دیگر ، ایندوکساکارب به میزان ۲۵۰ میلی‌لیتر درهکتار برای کنترل کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی در منطقه دزفول در مقایسه با آفتکش‌هایی نظیر کاربارل، بیولپ و بی تی مورد مقایسه قرارگرفت که طبق نتایج به‌دست‌آمده، تیمار ایندوکساکارب با چهار درصد آلودگی میوه کمترین درصد آلودگی را به خود اختصاص داد (ملک‌زاده و جوادزاده، ۱۳۸۱). در تحقیق دیگری، اثر چند حشره‌کش به‌تنهایی و به‌صورت مخلوط روی بید گوجه‌فرنگی و کرم‌میوه‌خوار گوجه‌فرنگی، بررسی گردید و امامکتین بنزوات سمی‌ترین حشره‌کش از بین حشره‌کش‌های ایمیداکلوپراید، کلرفناپیر، ایندوکساکارب، پروفنوفوس، پیریدالیل، متومیل و تفلوبنزورون بود. تفلوبنزورون و کلرفناپیر کمترین تاثیر را روی بید گوجه‌فرنگی داشت در حالیکه موثرترین آن‌ها حشره‌کش پیریدالیل روی کرم‌میوه‌خوار بود و متومیل و امامکتین بنزوات در مراحل بعدی قرار گرفتند (Soliman *et al.*, 2014).

حشره‌کش پروکلیم‌فیت‌یووی حاوی ماده موثره امامکتین‌بنزوات و لوفنورون است که به‌ترتیب در گروه‌های ۶ و ۱۵ IRAC قرار دارند. امامکتین‌بنزوات فعال‌کننده کانال‌های کلر در پس‌سیناپس سیستم عصبی هستند و لوفنورون مهارکننده سنتز کتین در حشرات است. فرمولاسیون جدید مورد آزمایش، خاصیت محافظت‌کننده در برابر اشعه ماورای بنفش دارد. به همین خاطر پایداری امامکتین را در برابر نورخورشید افزایش می‌دهد. پروکلیم فیت‌یووی 500WG را می‌توان در دزهای ۷۰–۱۴۰ گرم در هکتار برای کنترل کرم میوه‌خوار نخود استفاده کرد (Prakash *et al.*,2021) . هم‌چنین، این حشره‌کش در ایران با دز ۱۰۰ گرم در هکتار برای کنترل بید کلم و گوجه‌فرنگی از کارایی قابل قبولی برخوردار بود (شیخی گرجان و همکاران۱۳۹۸، شیخی گرجان و همکاران،۱۴۰۰). در سال ۲۰۲۴ تیم تحقیقاتی از هند باقیمانده و سینتیک کاهش امامکتین بنزوات را در صیفی جات بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد سینتیک کاهش باقیمانده امامکتین بنزوات از مرتبه اول تبعیت کرده و در مدت زمان یک روز مقادیر باقیمانده به کمتر از حد کمی سازی دستگاه رسید. نتایج ارزیابی خطر نیز حاکی از ایمن بودن محصولات تیمار شده برای مصرف کنندگان کودک و بزرگسال بود(Sharma *et al.*, 2024) . همچنین در سال ۲۰۲۵ این تحقیقات با تمرکز بر محاسبه میزان ورود امامکتین بنزوات به بدن بر اساس باقیمانده آن در میوه گوجه فرنگی در دوزهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج اندازه گیری باقیمانده نشان داد، حتی در مصرف دو برابر دوز توصیه شده نیز مقدار باقیمانده قابل اغماض بوده و تهدیدی برای سلامت مصرف کنندگان نخواهد داشت (Reddy *et.al.*, 2025). در سال ۲۰۲۱ تیم تحقیقاتی از مصر

باقیمانده لوفنورون را در میوه گوجه فرنگی با استفاده از دستگاه HPLC و شناساگر آرایه دیودی بررسی کرد و نتایج نشان داد پس از ۸ روز از آخرین سمپاشی میزان باقیمانده لوفنورون در میوه گوجه فرنگی بر مبنای مقایسه MRL کدکس غذایی برابر با ۰/۴ mg/kg، ایمن و قابل قبول است(Soliman *et.al.*, 2021) .

متافلومیزون یک حشره‌کش عمومی و طیف وسیعی از خانواده سمی کاربازون است که در سال ۲۰۰۸ وارد بازار جهانی آفت کش‌ها شده است در گروه بندی ایراک درگروه 22B قرار می‌گیرد که از نظر نحوه اثر مشابه حشره کش ایندوکساکارب است و در آب کمی حل می‌شود، اما در رسوبات و خاک نسبتا پایدار است .برای پرندگان سمیت متوسطی دارد و می‌تواند در زنجیره غذایی موجودات زنده تجمع پیدا کند. امروزه، در دنیا در اغلب کشورهای اروپایی علوه بر استفاده از آن برای کنترل آفات پنبه، سیب زمینی و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای و فلفل، در دامپروری نیز استفاده می‌شود (Lewis *et al.*, 2016).در گذشته، کنترل شیمیایی کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی اغلب با حشره‌کش‌های فسفره آلی و کاربامات‌ها مانند نوواکرون،کاربارایل وتیودیکارب انجام می‌گرفت، اما در چند سال اخیر کاربرد ایندوکساکارب SC15 افزایش یافته است. آنچه مسلم است در ایران در ارتباط با کنترل شیمیایی کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی تحقیقات محدودی انجام گرفته است و اکثر حشره‌کش‌های مجاز مورد استفاده در مزارع گوجه‌فرنگی، حشره‌کش‌هایی هستند که برای کنترل کرم قوزه پنبه توصیه شده است. بنابراین، ضروری است که سایر حشره‌کش‌های جدید نیز روی این آفت در مزرعه گوجه‌فرنگی مطالعه شود. اما نکته حائز اهمیت در کنار مطالعه کارایی آفت‌کش‌های شیمیایی جهت مدیریت این آفت، توجه به موضوع باقیمانده آفت‌کش‌ها است که عموما تازه‌خوری و مصرف بالای گوجه‌فرنگی توجه به این موضوع را دو چندان می‌کند. در سال ۲۰۱۲ در مطالعه‌ای، کاربرد متافلومیزون در مزارع کلم مشکل باقیمانده این حشره‌کش را در محصولات نداشت و بررسی‌ها، دوره کارنس ۳ روز با نیمه عمر ۴ تا ۵ روز را نشان داد (Chatterjee and Gupta, 2013). کاربرد این حشره‌کش در گیاه باباآدم با دوبار سمپاشی باعث افزایش دوره کارنس تا ۷ روز می‌شود (Sardara *et al.*, 2023). مقادیر باقیمانده با استفاده از دستگاه LC-MS/MS مورد بررسی قرار گرفت و نیمه عمر ۳ روز برای این حشره کش بدست آمد. سازمان ایمنی مواد غذایی اروپا (EFSA) با در نظر گرفتن مجموع ایزومرهای E و Z این ترکیب به عنوان MRL، دوره کارنس صفر را برای این حشره‌کش در گوجه‌فرنگی پیشنهاد داده است (EFSA, 2013). در زمینه ارزیابی باقیمانده متافلومیزون به دلیل جدید بودن حشره‌کش در گوجه‌فرنگی مطالعات قابل توجهی صورت نگرفته است.

روش‌شناسی پژوهش

تیمار نمونه‌های گوجه‌فرنگی

این پروژه به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در قالب ۹ تیمار و ۴ تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مهرگان در منطقه میان_دربند کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت. اندازه هر واحد آزمایشی شامل ۱۰ ردیف کاشت و هر ردیف حداقل۱۰ متر طول داشت (کشت بر طبق روش رایج منطقه و فاصله بین پلات‌ها ۴ متر بود. این آزمایش در منطقه‌ای اجرا شد که سابقه تراکم آفت نسبتا بالا بود. سمپاشی یک هفته بعد از اوج پرواز انجام شد. زمانی که جمعیت غالب کرم میوه خوار را لاروهای سن ۱ و۲ تشکیل می‌داد در کرمانشاه آزمایش در مزرعه گوجه‌فرنگی رقم سمینیس و با تراکم۲/۲۵ لارو بر بوته روی نسل دوم کرم‌میوه خوار انجام شد. در همه آزمایش‌ها از سمپاش هیدرولیک لانس دار بعد از کالیبراسیون استفاده شد و میزان محلول مصرفی با ۵۰۰ لیتر در هکتار تنظیم گردید. لازم بذکر است آستانه زیان اقتصادی کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی در زمان سمپاشی در مزرعه گوجه‌فرنگی حداقل یک لاروسن ۱ یا ۲ و به همراه حداقل۲ تخم به ازای هر بوته بود.

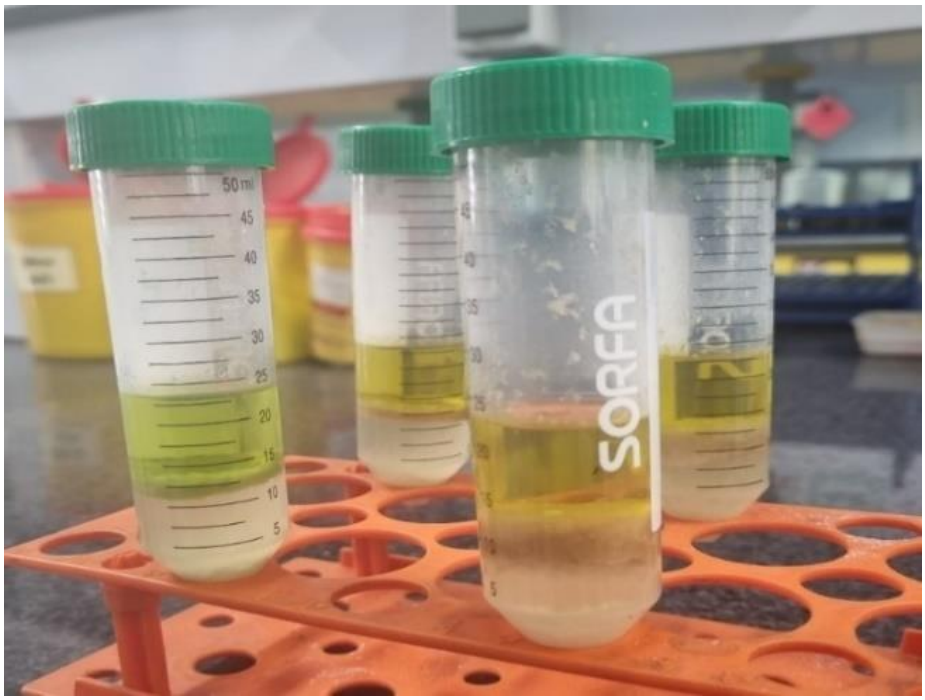
نمونه‌برداری

با توجه به دوره کارنس پیشنهادی ۷ روزه برای پروکلیم‌فیت‌یووی نمونه‌برداری‌ها بدین صورت انجام گرفت که ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ روز پس از سمپاشی نمونه‌برداری از تیمار سمپاشی شده با دز توصیه شده انجام گرفت. نمونه‌برداری در یک منطقه از

تیماری که بهترین کارایی را دارد، انجام گرفت. نمونه‌ها در ۳ تکرار و هر تکرار با وزن تقریبی یک کیلوگرم حاوی ۸ تا ۱۲ واحد گوجه‌فرنگی سالم، رسیده و متوسط بود. همراه نمونه‌ها یک نمونه گوجه‌فرنگی سم‌پاشی نشده به عنوان شاهد تحویل آزمایشگاه مرجع شد. به این ترتیب ۱۶ نمونه از میوه گوجه فرنگی تیمار شده جهت ارزیابی دوره کارنس به آزمایشگاه ارسال شد. با توجه به دوره کارنس پیشنهادی ۳ روزه برای متافلومیزون نمونه‌برداری‌ها از روز اول تا پنجم هر روز در یک زمان مشخص و ثابت، از تیمار توصیه شده که بهترین کارایی را داشته، در یک منطقه با سه بار تکرار در بسته‌های یک کیلوگرمی انجام گرفت. ۱۵ نمونه در این مرحله تحویل آزمایشگاه شد. نمونه برداری ها بصورت کاملا تصادفی از کرت های تیمار شده انجام گرفت.

روش استخراج

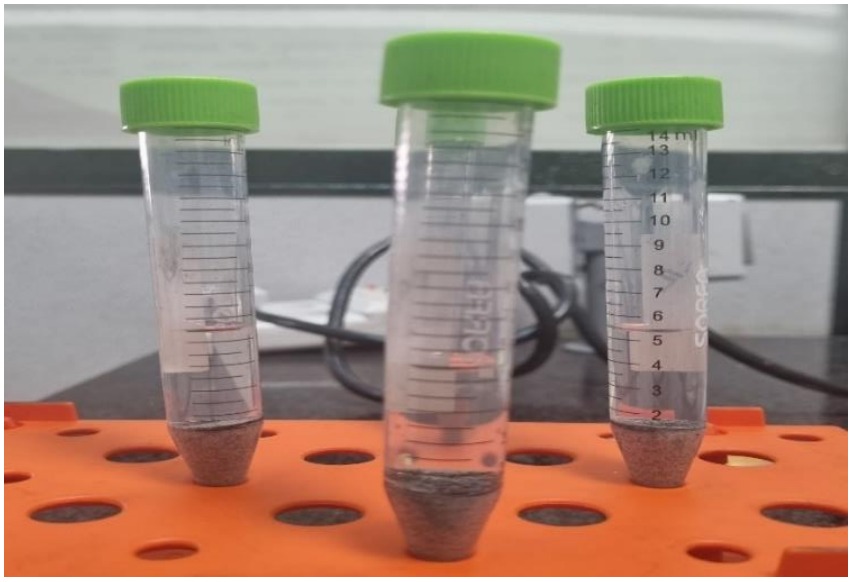
برای استخراج آفتکش‌های موردنظر از روش کچرز (QuEChERS) طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۷۰۲۶ با عنوان «مواد غذایی با منشا گیاهی- اندازه‌گیری میزان باقیمانده آفتکش‌ها به روش کروماتوگرافی گازی طیف‌سنجی جرمی و/یا کروماتوگرافی مایع طیف‌سنجی جرمی متوالی پس از استخراج/جداسازی استونیتریلی و پاکسازی با فاز جامد پخشی d-SPE- روش کِچِرز- روش آزمون» مصوب در سال ۱۳۹۲ استفاده شد. ابتدا، گوجه‌فرنگی‌های هر نمونه آزمایشگاهی، به چهار قسمت مساوی تقسیم شدند و از قطاع‌های روبروی هم نمونه‌ها انتخاب و در مخلوط کن خرد و ریز شد (آزمونه). ۱۰ گرم از نمونه همگن و آسیاب‌شده به عنوان آزمایه از آزمونه، تهیه و توزین شد. با افزودن ۱۰ میلی‌لیتر استونیتریل حاوی ۱٪ استیک اسید فرایند استخراج تام انجام شد. برای تکمیل فرایند استخراج از جاذب‌های منیزیم سولفات بدون آب، سدیم کلراید و سدیم استات به منظور ایجاد محیط بافری استفاده شد. ۴ گرم منیزیم سولفات بدون آب، ۱ گرم سدیم کلرید و ۱/۵ گرم سدیم استات جهت تکمیل فرایند استخراج کلی اضافه شد. مخلوط سریعا و به شدت به مدت یک دقیقه ورتکس و سپس، به مدت ۵ دقیقه و با دور ۳۴۵۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ گردید که نتیجه آن در شکل (۱) قابل مشاهده است. آنگاه، ۵ میلی‌لیتر از محلول رونشین بدست آمده، به فالکن ۱۵ ml برای مرحله تصفیه (clean-up) منتقل گردید.



شکل ۱. مرحله اول استخراج آفتکش‌ها از نمونه‌های گوجه‌فرنگی

روش خالص‌سازی

برای خالص سازی یا تصفیه از جاذب‌های منیزیم سولفات به منظور حذف آب اضافی در محیط به میزان ۰/۶ گرم و PSA (Poly Secondary Amin) به منظور حذف مولکول‌های درشت، اسیدهای آلی، پروتئین‌ها و سایر هم استخراج‌های (co extractive) مزاحم به مقدار ۰/۲ گرم استفاده شد. مخلوط مجددا به سرعت و به شدت به مدت یک دقیقه ورتکس و سپس، به مدت ۳ دقیقه با ۳۴۵۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. در مرحله بعد ۱ میلی‌لیتر از فاز رونشین حاصل، برداشته و با فیلتر سر سرنگی PTFE، فیلتر گردید. مطابق شکل (۲) محلول بدست آمده در این مرحله جهت تزریق به دستگاه UHPLC-MS/MS آماده شد.



شکل ۲. مرحله نهایی استخراج آفتکش‌ها از نمونه‌های گوجه‌فرنگی بعد از مرحله تصفیه

روش تجزیه دستگاهی

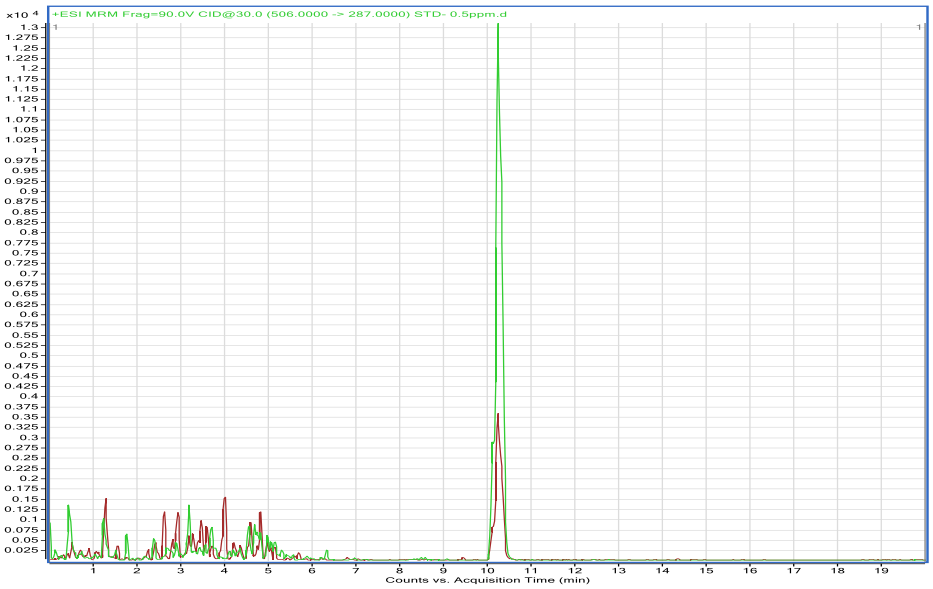
برای اندازه‌گیری باقیمانده حشره‌کش‌های مورد مطالعه در نمونه‌های تیمار شده گوجه‌فرنگی از دستگاه UHPLC-MS/MS کمپانی Agilent مدل ۶۴۱۰ مجهز به آنالایزر triple quadrupole استفاده شد. جداسازی در LC مدل ۱۲۰۰ شرکت Agilent انجام شد. از ستون SB-C18, Zorbax Eclipse با مشخصات (۵۰/۰ mm ×۳/۰ و ۱/۸ µm) که در محفظه مجهز به ترموستات، در دمای ۴۰ °C ثابت تنظیم شده بود، استفاده شد. برای جداسازی از فازهای متحرک استونیتریل و آب ۰/۱ درصد فرمیک اسید استفاده شد که درصد فازهای آلی به‌طور خطی به این صورت تغییر می‌کرد که شروع جداسازی با ۱۰٪ استونیتریل بود که تا دقیقه ۱۳ به ۱۰۰٪ رسید و از دقیقه ۱۳/۱ تا ۲۰ به شرایط اولیه ستون جهت ایجاد تعادل مجدد، بر می‌گشت. لازم به ذکر است سرعت جریان فاز متحرک ۰/۴ میلی‌لیتر در دقیقه بود. بهینه سازی شرایط آشکارساز جرمی نیز به کمک تزریق استاندارد تجزیه‌ای حشره‌کش‌های مورد بررسی، بطور جداگانه به شناساگر جرمی انجام گرفت. پس از تیون کردن دستگاه برای این یون‌های والد و یون‌های حاصل از شکست آنها جدول (۱) در مود MRM[1] دستگاه، فرایند جداسازی در HPLC و شناسایی در طیف‌سنجی جرمی انجام گرفت.

1 Multiple Reaction Monitoring (MRM)

جدول ۱. یون والد، زمان بازداری و مقادیر بهینه ولتاژ قطعه‌قطعه شدن و انرژی برخورد برای یون‌های کمی و کیفی آفتکش‌های مورد بررسی

آفتکش	یون والد (m/z)	زمان بازداری (دقیقه)	ولتاژ قطعه قطعه شدن (ولت)	انرژی برخورد (یون کمی) (الکترون ولت)	انرژی برخورد (یون کیفی) (الکترون ولت)
لوفنورون	۵۱۱	۱۰/۳	۱۰۰	۱۵۸ (۱۰)	۱۴۱ (۱۰)
امامکتین بنزوات	۸۸۷	۸/۴	۷۵	۱۵۸ (۱۰)	۸۲ (۲۰)
متافلومیزون	۵۰۶	۱۰/۲	۷۰	۲۸۷ (۲۰)	۱۷۷ (۱۵)

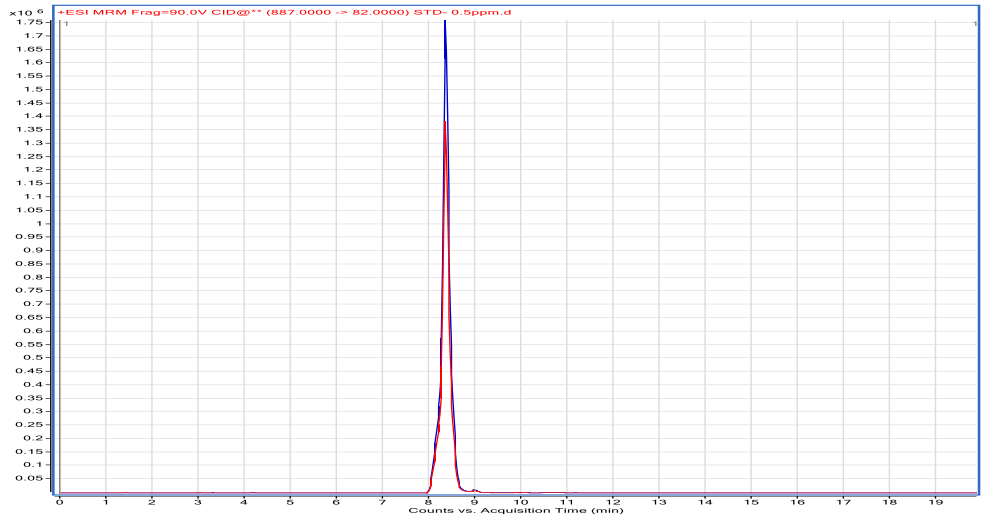
یون کروماتوگرام یون‌های کمی و کیفی استاندارد ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم از آفتکش‌های مورد بررسی در ادامه آمده است. متافلومیزون با جرم مولکولی g/mol ۵۰۵ به فرم کاتیونی با m/z ۵۰۶ در دستگاه دیده می‌شود. یون کمی‌سازی این آفتکش با m/z ۲۸۷ و یون تاییدی m/z ۱۷۷ می باشد که در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳. یون کروماتوگرام یون‌های کمی و کیفی MRM استخراج‌شده از TIC[1] استاندارد ppm ۰/۵ متافلومیزون

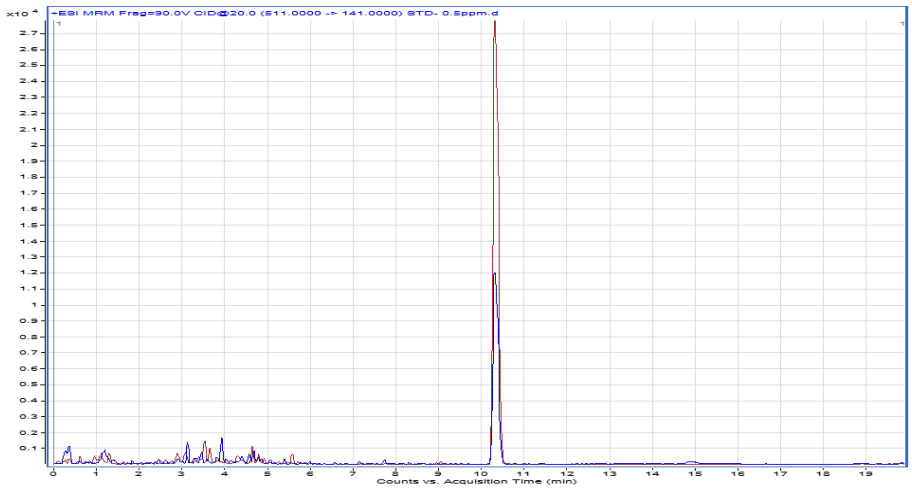
همانطور که در شکل (۴) دیده می شود، امامکتین‌بنزوات با جرم مولکولی g/mol ۸۸۶ در شرایط اسیدی یک پروتون گرفته و به فرم کاتیونی با m/z ۸۸۷ در دستگاه دیده می شود. این ترکیب دارای یون کمی‌سازی با m/z ۱۵۸و یون تاییدی m/z ۸۲ می‌باشد.

1 Total Ion Chromatogram (TIC)



شکل ٤. یون کروماتوگرام یون‌های کمی و کیفی MRM استخراج‌شده از TIC استاندارد ۰/۵ppm امامکتین‌بنزوات

لوفنورون با جرم مولکولی ۵۱۰ g/mol در شرایط اسیدی یک پروتون گرفته و به فرم کاتیونی با ۵۱۱ m/z در دستگاه دیده می‌شود. این ترکیب دارای یون کمی‌سازی با ۱۵۸ m/z و یون تاییدی با ۱۴۱ m/z می‌باشد که در شکل (۵) نشان داده شده است.



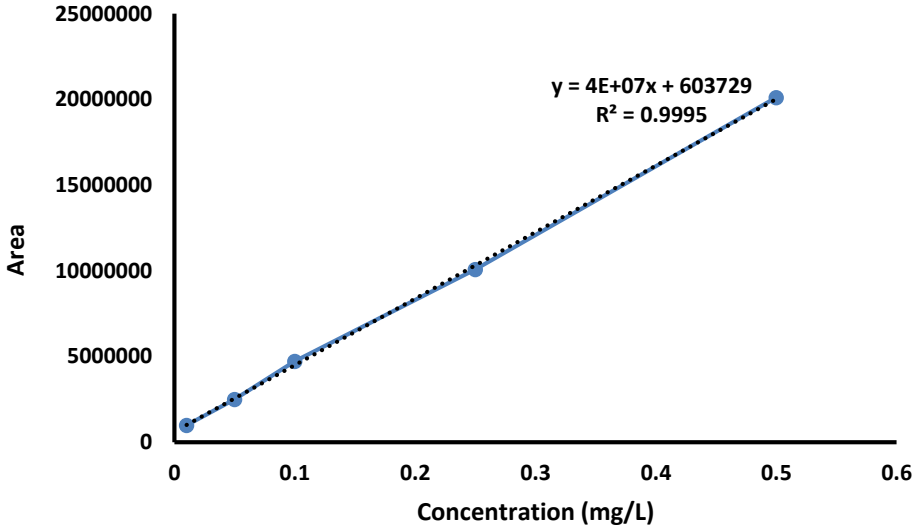
شکل ۵. یون کروماتوگرام یون‌های کمی و کیفی MRM استخراج‌شده از TIC استاندارد ۰/۵ppm لوفنورون

اعتبارسنجی روش

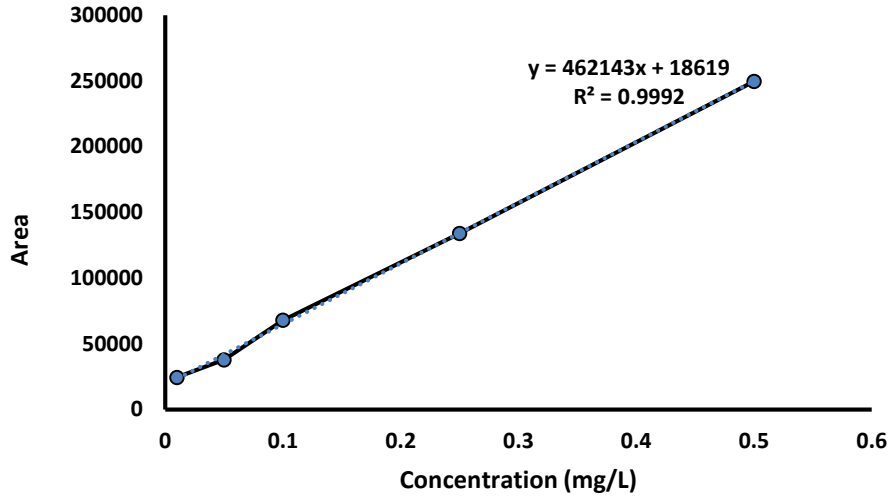
محلول‌های منحنی درجه‌بندی مبنا (کالیبراسیون)

محلول‌های کالیبراسیون، در استونیتریل و در ماتریس گوجه‌فرنگی ساخته شدند. به این منظور با رقیق‌سازی مناسب محلول مادری که در قسمت مواد و روش‌ها توضیح داده شد، محلول‌هایی در ۵ سطح غلظتی متفاوت، با غلظت‌های ۰/۰۱، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر از آفت‌کش‌های لوفنورون، امامکتین‌بنزوات و متافلومیزون در حلال و ماتریس تهیه

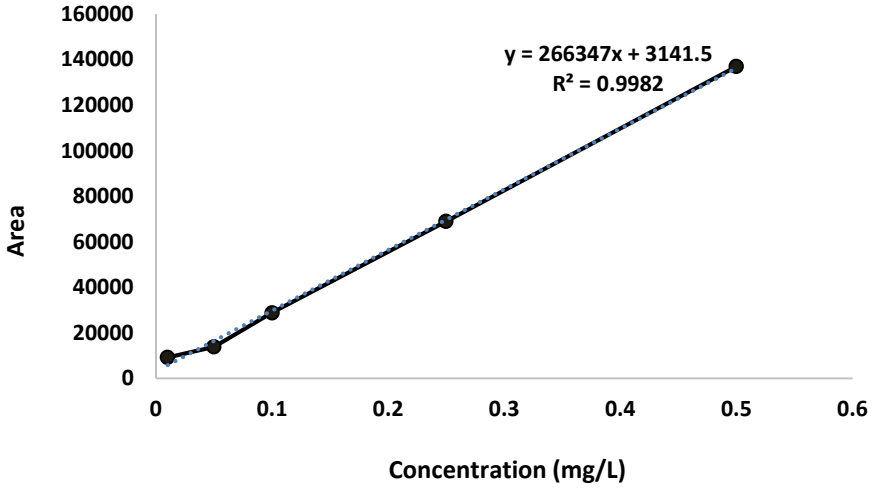
شدند. شکل (۶) خطی بودن بسیار مطلوب با حساسیت بالای این قارچ‌کش‌ها را با استفاده از دستگاه UHPLC-MS/MS نشان می‌دهد.



شکل ٦. منحنی کالیبراسیون استاندارد امامکتین‌بنزوات در محدوده‌های مختلف غلظتی از ۰/۰-۰۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر



شکل ۷. منحنی کالیبراسیون استاندارد لوفنورون در محدوده‌های مختلف غلظتی از ۰/۰-۰۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر



(a) شکل ۸. منحنی کالیبراسیون استاندارد متافلومیزون در محدوده‌های مختلف غلظتی از ۰/۰–۰۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر

در مورد محدوده دینامیک خطی، مقدار LOQ ابتدای محدوده و غلظت ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم آن می باشد. ارقام شایستگی[1] آفتکش‌های مورد مطالعه در جدول (۲) در بافت گوجه‌فرنگی نشان داده شده است. در حالت همسان‌سازی بافت، روش کچرز روی همان نمونه اعمال و عصاره بدست آمده در این مرحله به جای حلال استفاده شد. برای محاسبه اثر بافت، شیب خط منحنی کالیبراسیون در حلال از شیب خط منحنی کالیبراسیون در بافت کسر گردید و به شیب خط منحنی کالیبراسیون در حلال تقسیم شد. عدد بدست آمده اثر بافت گوجه فرنگی را نشان می دهد. برای این محاسبه از فرمول زیر استفاده شد:

(شیب منحنی کالیبراسیون در حلال)/(شیب منحنی کالیبراسیون در حلال – شیب منحنی کالیبراسیون در ماتریس)

اثر بافت صفر تا ۲۰ درصد فارغ از مثبت یا منفی بودن آن نشان دهنده اثر بافت ضعیف و قابل اغماض می باشد. مقدار ۲۰ تا ۴۰ درصد اثر بافت متوسط و در مقادیر بالاتر از ۴۰ درصد اثر بافت قوی ارزیابی می شود که در اینصورت پیشنهاد تغییر روش استخراج است. مقدار مثبت نشان دهنده تقویت سیگنال آنالیت در حضور بافت و مقدار منفی نشان دهنده تضعیف سیگنال آنالیت در بافت است.[2,3]

جدول ۲. ارزیابی فرایند اعتبارسنجی با بررسی ارقام شایستگی شامل اثرات بافت گوجه‌فرنگی، حد تشخیص LOD[4]، حد اندازه‌گیری کمی LOQ[5] و محدوده دینامیک خطی LDR[6] بر حسب میلی‌گرم بر لیتر در آفتکش‌های مورد مطالعه

آفتکش	٪ اثر بافت	حد تشخیص	حد کمی سازی	محدوده دینامیک خطی
لوفنورون	۱۴/۳	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱–۰/۵
امامکتین بنزوات	۱۱/۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵–۰/۵
متافلومیزون	۱۶/۹	۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱–۰/۵

1 Figure of merits
2 Enhancement
3 Suppression
4 Limit of Detection
5 Limit of Quantification
6 Linear Dynamic Range

تعیین درصد بازیابی

به این منظور عملیات استخراج و تصفیه بر روی نمونه شاهد گوجه‌فرنگی در دو حالت غنی‌سازی و همسان‌سازی بافت استاندارد انجام گرفت. پس از گذشت یک ساعت که آفتکش‌ها در ماتریس گوجه‌فرنگی نفوذ کردند، بقیه مراحل کچرز انجام و عصاره آن به دستگاه UHPLC-MS/MS تزریق شد. نتایج بازیابی روش در دو سطح غلظتی ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در سه تکرار به همراه درصد انحراف استاندارد نسبی[1]در جدول (۳) برای بافت گوجه‌فرنگی نشان داده شده است:

جدول ۳. بازیابی و تکرارپذیری محاسبه شده در بافت گوجه‌فرنگی برای آفتکش‌های مورد مطالعه در دو سطح غلظتی ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم

آفتکش	٪ بازیابی ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم	٪ انحراف استاندارد نسبی	٪ بازیابی ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم	٪ انحراف استاندارد نسبی
لوفنورون	۱۰۶	۱۱/۱	۱۱۰	۱۰/۳
امامکتین بنزوات	۸۷	۱۳/۳	۸۹	۱۵/۷
متافلومیزون	۷۴	۱۷/۸	۷۱	۱۴/۲

بازیابی در بازه ۷۰ تا ۱۲۰ درصد با RSD کمتر از ۲۰ درصد در کنار ارقام شایستگی قابل قبول طبق استاندارد بین‌المللی SANCO نشان‌دهنده قابل قبول بودن روش استخراج و آنالیز آفت‌کش‌های مذکور است. لذا، با استناد به اطمینان از روش استخراج و آنالیز، فرآیند استخراج و اندازه‌گیری برای نمونه‌های گوجه‌فرنگی ارسالی به آزمایشگاه انجام گرفت.

یافته‌های پژوهش و بحث

ارزیابی مقادیر باقیمانده و دوره کارنس حشره‌کش متافلومیزون

نمونه‌های گوجه‌فرنگی تیمار شده با متافلومیزون با استفاده از روش استخراج و آنالیز اعتبارسنجی شده فوق، از نظر میزان باقیمانده مورد بررسی قرار گرفت که خلاصه نتایج در جدول (۴) نشان داده شده است:

جدول ٤. نتایج باقیمانده حشره‌کش متافلومیزون در میوه گوجه‌فرنگی در روزهای مختلف پس از سمپاشی

روزهای پس از سمپاشی	باقیمانده متافلومیزون (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۱ روز پس از سمپاشی	۰/۰۳ ۰/۰۴ ۰/۰۳۸
۲ روز پس از سمپاشی	۰/۰۵۲ ۰/۰۵۲ ۰/۰۵۵
۳ روز پس از سمپاشی	<LOQ ۰/۰۱۹ ۰/۰۲۶
۴ روز پس از سمپاشی	<LOQ <LOQ ۰/۰۲۹
۵ روز پس از سمپاشی	<LOQ ۰/۰۲۰ <LOQ
شاهد (نمونه سمپاشی نشده)	تشخیص داده نشد

LOQ (متافلومیزون) = ۰/۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم

1 Relative Standard Deviation

مبنای تصمیم‌گیری برای ارزیابی مقدار باقیمانده متافلومیزون دیده‌شده در نمونه‌های گوجه‌فرنگی، مقایسه آن‌ها با شاخص MRL می‌باشد. مقادیر باقیمانده آفت‌کش‌ها با شاخصی به نام بیشینه مانده مجاز (MRL[1]) مقایسه می‌شوند. این شاخص به نحوی تعیین می‌شود که اگر این حدود رعایت شود، مصرف درازمدت محصولات کشاورزی از نظر میزان باقیمانده آفت‌کش‌ها، حتی‌الامکان تهدیدکننده سلامت مردم جامعه نخواهد بود. در این ارزیابی‌ها، عوامل مؤثری از قبیل شرایط و تنوع مصرف آفت‌کش‌ها، سرانه مصرف، نوع آفتکش و غیره در نظر گرفته شده است تا با اعمال حدود مجاز درست سلامت مصرف‌کنندگان تضمین شود. واحد این شاخص و مقادیر باقیمانده میلی‌گرم بر کیلوگرم است. چنانچه مقادیر باقیمانده در محصول آماده به مصرف کمتر از این شاخص باشند، مقدار باقیمانده‌ها قابل قبول بوده و محصول به عنوان محصول سالم تلقی می‌شود. حال حاضر در ایران، برای متافلومیزون در گوجه‌فرنگی MRL تعیین نشده است. با توجه به عدم ثبت، لذا با این فرض مقدار ppm ۰/۰۵ به عنوان MRL ملی در نظر گرفته می‌شود (استاندارد ملی ایران، ۱۴۰۲). در مقایسه با این مقدار و یا مقادیر MRL کدکس و اتحادیه اروپا که در جدول (۵) نشان داده شده است، مقدار باقیمانده بر اساس دوره کارنس پیشنهادی ارزیابی می‌شود.

جدول۵. MRLهای کدکس و اتحادیه اروپا برای متافلومیزون در گوجه‌فرنگی

آفتکش	ملی MRL میلی‌گرم در کیلوگرم	کدکس MRL میلی‌گرم در کیلوگرم	اتحادیه اروپاMRL میلی‌گرم در کیلوگرم
متافلومیزون	۰/۰۵	۰/۶	۰/۷

با توجه به مقادیر باقیمانده و نیز MRLهای کدکس و اتحادیه اروپا، مقادیر مشاهده شده از باقیمانده آفت‌کش متافلومیزون قابل اغماض بوده است، لذا دوره کارنس ۳ روزه پیشنهادی شرکت مزبور مورد تایید می‌باشد. نکته مهم‌تر این است که نمونه‌های مورد آزمایش نارس بودند و تا رسیدن کامل محصول و عرضه به بازار چند روز دیگر نیز خواهد گذشت که قطعا این مدت زمان به کاهش بیشتر مقادیر باقیمانده کمک خواهد کرد، لذا با اطمینان می توان دوره کارنس ۳ روزه را پذیرفت.

ارزیابی مقادیر باقیمانده و دوره کارنس حشره کش لوفنورون و امامکتین‌بنزوات (پروکلیم فیت یو وی)

نمونه‌های گوجه‌فرنگی تیمار شده با پروکلیم‌فیت‌یووی با استفاده از روش استخراج و آنالیز اعتبارسنجی شده فوق، از نظر میزان باقیمانده مورد بررسی قرار گرفت که خلاصه نتایج در جدول (۶) نشان داده شده است:

جدول ٦. نتایج باقیمانده آفتکش‌های لوفنورون و امامکتین‌بنزوات در میوه گوجه‌فرنگی در روزهای مختلف پس از سمپاشی

روزهای پس از سمپاشی	باقیمانده امامکتین بنزوات) میلی‌گرم در کیلوگرم(	باقیمانده لوفنورون) میلی‌گرم در کیلوگرم(
۳ روز پس از سمپاشی	<LOQ	<LOQ
۵ روز پس از سمپاشی	<LOQ	<LOQ
۷ روز پس از سمپاشی	<LOQ	۰/۰۱
		<LOQ
		۰/۰۱
۹ روز پس از سمپاشی	<LOQ	<LOQ
۱۱ روز پس از سمپاشی	<LOQ	۰/۰۱۵
		<LOQ
		<LOQ
شاهد	N.D.	N.D.

LOQ(امامکتین بنزوات): میلی‌گرم در کیلوگرم ۰/۰۰۵

LOQ(لوفنورون) : میلی‌گرم در کیلوگرم ۰/۰۰۱

1 Maximum Residue Limit (MRL)

مبنای تصمیم گیری برای ارزیابی مقادیر باقیمانده امامکتین‌بنزوات و لوفنورون دیده شده در نمونه‌های گوجه‌فرنگی، مقایسه آنها با شاخص MRL ها می‌باشد. در مقایسه با MRL های ملی که در جدول (۷) آورده شده است و یا مقادیر MRL کدکس و اتحادیه اروپا، مقدار باقیمانده بر اساس دوره کارنس پیشنهادی ارزیابی می‌شود.

جدول ۷. MRLهای ملی، کدکس و اتحادیه اروپا برای لوفنورون و امامکتین‌بنزوات در گوجه‌فرنگی

آفتکش	MRL ملی میلی‌گرم در کیلوگرم	MRL کدکس میلی‌گرم در کیلوگرم	MRL اتحادیه اروپا میلی‌گرم در کیلوگرم
امامکتین بنزوات	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۲
لوفنورون	۰/۴	۰/۴	۰/۴

با توجه به مقادیر باقیمانده و نیز MRLهای ملی، کدکس و اتحادیه اروپا، مقادیر مشاهده شده از باقیمانده آفتکش‌ها کمتر از شاخص‌های فوق بوده است، لذا دوره کارنس ۷ روزه پیشنهادی شرکت مزبور مورد تایید می‌باشد. لازم به ذکر است نمونه‌های مورد آزمایش نارس بوده که مدت زمان لازم تا رسیدن محصول و عرضه در بازار منجر به کاهش بیشتر مقادیر باقیمانده کمک خواهد کرد، لذا با اطمینان می‌توان دوره کارنس ۷ روزه را پذیرفت.

دوره کارنس به عنوان فاصله زمانی میان آخرین کاربرد آفت‌کش تا زمان برداشت محصول تعریف می‌شود. این شاخص برای اطمینان از پایین بودن باقی‌مانده آفت‌کش زیر حد مجاز (MRL) بسیار مهم است. ارزیابی دوره کارنس مناسب بر اساس نتایج تجربی و بررسی باقیمانده آفت‌کش‌ها در شرایط واقعی، برای رعایت استانداردهای بین‌المللی و بازارهای صادراتی الزامی است. با توجه به اهمیت باقیمانده آفت‌کش‌ها برای سلامت مصرف‌کنندگان و تجارت بین‌المللی، اطمینان از درست بودن دوره کارنس بر پایه مطالعات باقیمانده، یکی از ضرورت‌های تحقیقاتی به شمار می‌آید. اجرای آزمایش‌های باقی‌مانده آفت‌کش‌ها بر روی میوه گوجه فرنگی تیمار شده با آفتکش های مورد مطالعه می‌تواند اطلاعات کاربردی و مهمی را برای تدوین دستورالعمل‌های ایمن مصرف آفت‌کش‌ها فراهم کند. تسهیل تجارت بین‌المللی و انطباق با استانداردهای حدود مجاز کشورهای مختلف، امکان صادرات محصولات را فراهم می‌کند .استفاده صحیح و منطقی از حشره‌کش‌ها با رعایت دوره کارنس مناسب می‌تواند به کاهش فشار انتخابی برای ایجاد مقاومت در جمعیت آفات گوجه فرنگی نیز کمک کندهمچنین استفاده آگاهانه از حشره‌کش‌ها و رعایت دوره کارنس می‌تواند اثرات منفی آن‌ها بر محیط زیست و حشرات غیرهدف را به حداقل برساند. تولید محصول سالم و با کیفیت، اعتماد مصرف‌کنندگان به محصولات کشاورزی را افزایش می‌دهد. ثبت ترکیبات جدید در کنترل آفات گوجه فرنگی به جهت جایگاه آن در سبد غذایی خانوار ایرانی و امکان صادرات آن به کشورهای همسایه اهمیت زیادی دارد. با توجه به اهمیت این موضوع مطالعات زیادی در مورد نحوه کاهش، سینتیک کاهش و مرتبه آن، تاثیر دوز و فرمولاسیون بر دوره کارنس، نیمه عمر و باقیمانده آفتکش های مورد مطالعه در محصولات مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است از جمله در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۱ در چین انجام گرفت باقیمانده فرمولاسیون‌های مختلف امامکتین بنزوات و لوفنورون بررسی شد که نتایج نشان داد استفاده از فرمولاسیون‌های مختلف حشره‌کش امامکتین بنزوات و لوفنورون تاثیری بر میزان باقیمانده و دوره کارنس نداشته و دوره کارنس ۷ روز مورد تایید قرار گرفت(Wang *et.al.*, 2024) . مشابه نتایج حاصل شده در این مقاله، تیم تحقیقاتی از مصر نحوه کاهش، نیمه عمر و دوره کارنس حشره کش لوفنورون را در گوجه فرنگی مورد مطالعه قرار داد نتایج نشان داد کاهش این حشره کش از سینتیک مرتبه اول تبعیت کرده و با نیمه عمر ۱/۵ روز در مقایسه با MRL کدکس دارای دوره کارنس ۸ روز در میوه گوجه فرنگی است (Soliman *et.al.*, 2021).

گزارش دیگری نشان می‌دهد که دوره کارنس حشره کش متافلومیزون پس از دو بار سمپاشی از ۳ روز به ۷ روز افزایش پیدا می‌کند (Sardara *et al.*, 2023).

نتیجه‌گیری

راستی‌آزمایی دوره کارنس (مدت زمان لازم از کاربرد آفتکش تا برداشت میوه گوجه‌فرنگی) برای حشره‌کش‌های متافلومیزون (آلورد) ۳ روز و برای حشره‌کش پروکلیم‌فیت‌یووی ۷ روز بعد از سمپاشی تایید گردید. با توجه به اهمیت تعیین دوره کارنس و رعایت بازه زمانی موردنظر توصیه‌های ترویجی زیر ارائه می‌شود:

- استفاده از آفت‌کش‌های ثبت شده
- زمان مناسب کاربرد آفت‌کش‌ها
- استفاده از آفت‌کش‌ها در دوز و غلظت مناسب با رعایت فواصل سم‌پاشی توصیه شده
- استفاده از روش‌های مناسب سم‌پاشی (متناسب با نوع آفت‌کش، آفت هدف، میزبان و فضای تولید)
- استفاده از آفت‌کش‌های با کیفیت و اجتناب از مصرف آفت‌کش‌های غیرمجاز، تقلبی، ناشناخته، مشکوک و بی کیفیت
- رعایت دوره کارنس آفت‌کش‌ها و توجه به هشدارهای مندرج در برچسب آفت‌کش‌ها
- نظارت بیشتر و کاربردی جهت واردات، تولید و بسته‌بندی سموم کشاورزی
- عدم استفاده مکرر از آفت‌کش‌ها به منظور جلوگیری از ظهور پدیده مقاومت در آفات (در این خصوص به گروه‌بندی قارچ‌کش‌ها از نظر خطر بروز مقاومت در جدول FRAC[1] و گروه‌بندی حشره‌کش‌ها از نظر خطر بروز مقاومت در جدول IRAC[2] توجه شود).

سپاسگزاری

نگارندگان از موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور به جهت فراهم نمودن امکانات و تجهیزات مورد نیاز اجرای این پروژه تحقیقاتی سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

تقی‌زاده، مسعود؛ جوان‌مقدم، هوشنگ و علوی، جلیل (۱۳۸۱). مقایسه تاثیر حشره‌کش آوانت با اندوسولفان و تیودیکارب در کنترل کرم قوزه پنبه در مغان، *پانزدهمین کنگره گیاه‌پزشکی ایران*، صفحه ۶۰.

جمسی، غ (۱۳۷۴). بررسی بیولوژی کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی در خوزستان. *گزارش پژوهشی* مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

خانیزاد، ع.، م.ت؛ توحیدی، س؛ بهرامی، کمانگر و منصور قاضی، م. (۱۳۸۳). مقایسه تاثیر حشره‌کش آوانت ۱۵٪ SC با حشره‌کش‌های کاربارایل و تیودیکارب در کنترل لاروهای پیله‌خوارنخود. *خلاصه مقالات شانزدهمین کنگره گیاهپزشکی ایران*، تبریز، صفحهٔ ۱۲۶.

شیخی گرجان، عزیز؛ یوسفی م. ؛ کریم‌زاده اصفهانی ج. ؛ فرهنگی، وحید (۱۳۹۸). بررسی کارایی سه حشره‌کش جدید در کنترل بید کلم Plutella xylostella. گزارش نهایی، سازمان تحقیقات آموزش وترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور. صفحه۲۸.

شیخی گرجان، ع؛ نجفی، ح؛ عباسی، س؛ عظیمی، ح؛ مرادی، م .(۱۴۰۲). *راهنمای آفت‌کش‌های شیمیایی و ارگانیک ایران* ۱۴۰۲. انتشارات راه‌دان، تهران. ایران.

فرید،ا. (۱۳۶۵) بررسی کرم فوزه روی گوجه‌فرنگی و مبارزه با آن در جیرفت و کهنوج. نشریه *آفات و بیماری‌های گیاهی* جلد (۵۴)، شماره ۲.۱ . ص۲۲۴-۱۵.

ملک‌زاده، م و جوادزاده، م (۱۳۸۱) . بررسی تاثیر سموم شیمیائی و مواد بیولوژیک روی کرم‌میوه‌خوار کوچه فرنگی. خلاصه مقالات

1 .Fungicides Resistance Action Committee
2 .Insecticides Resistance Action Committee

پانزدهمین کنگره گیاه‌پزشکی ایران، کرمانشاه، صفحهٔ ۱۲۵-۱۲۶.
میرصلوتیان.م (۱۳۳۸) کرم قوزه پنبه و طرز مبارزه با آن. نشریه شماره ۷ *موسسه آموزش و ترویج کشاورزی*.
استاندارد ملی ایران، ۱۴۰۲، آفتکش ها-مرز بیشینه مانده آفتکش‌ها-سبزی‌های میوه‌ای، ۱۲۵۸۱.

RERERENCES

Chatterjee, N. S., & Gupta, S. (2013). Persistence of metaflumizone on cabbage (Brassica oleracea Linne) and soil, and its risk assessment. *Environmental monitoring and assessment*, 185, 6201-6208.

European Food Safety Authority (2013) Reasoned opinion on the modification of the existing MRLs for metaflumizone in various commodities1, *EFSA Journal*, 11(7), 3316-3321.

Ganguli, R.N. and Dubey, V.K. (1998). Management of tomato fruit borer, Helicoverpa armigera Hubner in Chhattisgarh region of Madhya Pradesh. *Insect Environment*, 4 (1), 25-32.

Lewis, K.A., Tzilivakis, J., Warner, D. and Green, A. (2016) An international database for pesticide risk assessments and management. Human and Ecological Risk Assessment: *An International Journal*, 22(4), 1050-1064.

Pokharkar, D.S. and Chaudhary,s.d. (2001). Combined efficacy of nuclear poly hydrosis virus and synthetic insecticides against *Helicoverpa armigera* (Hubner) on tomato. *Journal of Maharashtra Agriculture University*. 26;1, 25-28.

Prakash, H.T., Jagginavar, S.B. and Mallappa, B., (2021). Field evaluation of new molecule emamectin benzoate 5%+ lufenuron 40% WG (Proclaim fit®) against pod borer *Helicoverpa armigera* & Marcua vitrata in pigeonpea. *Journal of Entomology and Zoology Studies*: 9(1): 251-255.

Reddy, C. A., Pathak, M., Kumar, Y. B., Ningthoujam, K., Gogoi, J., Abhinay, and Majumder, S. (2025). Residue dynamics and food safety evaluation of novel insecticides on tomato fruit. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(6), 690.

Sardar, S. W., Sulieman Ahmed Ishag, A. E., Choi, J. Y., Jo, Y. J., & Ham, H. J. (2023). Dissipation pattern and safety assessment of fenazaquin and metaflumizone in butterbur (Petasites japonicus). *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, *58*(4), 357-366.

Sharma, N., Mandal, K., and Sharma, S. (2024). Validation of LCMS/MS based method for residual estimation of tolfenpyrad and emamectin benzoate in brinjal and cauliflower and their risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, *136*, 106803–106812.

Soliman, M. M. M., A. S. H. Abdel-Moniem, and M. A. Abdel-Raheem. (2014). Impact of some insecticides and their mixtures on the population of tomato borers, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) and *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in tomato crop at Upper Egypt. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 47 (14), 1764–1776.

Soliman, H. M., & Fergani, Y. A. (2021). Dissipation of chlorpyrifos-methyl and lufenuron in and on tomato fruits infested with the cotton leafworm Spodoptera littoralis (Lepidoptera: Noctuidae) under the field conditions. *Egyptian Journal of Plant Protection Research Institute*, 4 (2), 290-298.

Wang, R., Liu, B., Zheng, Q., Qin, D., Luo, P., Zhao, W., and Zhang, Z. (2021). Residue and dissipation of two formulations of emamectin benzoate in tender cowpea and old cowpea and a risk assessment of dietary intake. *Food Chemistry*, *361*, 130043–130053.