



نشریه علمی



پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران

جلد ۳۹ شماره ۳

سال ۱۴۰۴

شماره پیاپی: ۶۹

عنوان مقالات

تأثیر متقابل برخی آفت‌کش‌ها روی *Diaeretilla rapae* و *Diadegma semiclausum* در مزارع کلم ۲۳۱
محمد امین سمیع

سمیت تنفسی و اثرات زیرکشدگی گیاه تلخه *Acroptilon repens* روی فراسنجه‌های جدول زندگی و
پیش‌بینی روند رشد جمعیتی *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) ۲۵۱
سیده سحر سربلند، فریبا مهرخو، محمد فتاحی، مریم فروزان

ارزیابی تأثیر کیتوزان، گاما آمینو بوتیریک اسید و سیلیکات پتاسیم بر بعضی از شاخص‌های بیوشیمیایی درخت
پسته جهت القاء مقاومت در برابر پسیل پسته (*Agonoscyta pistaciae*) ۲۷۱
هدی قاسمی نژاد رابئی، مریم پهلوان پلی، مریم بزرگ امیر کلایی

شناسایی، بررسی خصوصیات ژنومی و واکاوی تبارزایی بتانوکلنورابدو و پروس جدید آلوده‌کننده چغندر قند
(*Beta vulgaris*) در ایران ۲۸۵
جواد آبخو، محسن مهرور، محمد زکی عقل

ارزیابی پتانسیل دگرآسیبی عصاره‌های گیاهی و مقایسه آن با تیمارهای شیمیایی بر علف‌های هرزی تی‌راخ
(*Galium aparine* L.) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) در مزرعه نخود ۲۹۵
صادق جلیلیان، سید احمد قنبری، محمد رضا اصغری پور، علیرضا باقری

اثر تنش غیر زیستی میکروپلاستیک پلی اتیلن بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گندم (*Triticum aestivum* L.) ۳۱۹
جواد کریمی، سعیده اربابی

نشریه پژوهش های حفاظت گیاهان ایران

(علوم و صنایع کشاورزی)

با شماره پروانه ۶۸/۴/۱۱ و درجه علمی - پژوهشی شماره ۲۶۵۲۴ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ۷۳/۱۰/۱۹ ۲۱/۲۰۱۵

جلد ۳۹ شماره ۳ پاییز ۱۴۰۴

بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال ۱۳۹۸، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند. این نشریه به صورت فصلنامه (۴ شماره در سال) چاپ و منتشر می شود.

صاحب امتیاز:	دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر مسئول:	رضا ولی زاده
سر دبیر:	پریسا طاهری
اعضای هیئت تحریریه:	ایزدی دربندی، ابراهیم اعتصامی، حسن بقائی راوری، ساره پور جم، ابراهیم جمالی، سالار حاجی بلند، رقیه حسینی، مجتبی خداپرست، سید اکبر راستگو، مهدی راشد محصل، محمد حسن شریف نبی، بهرام صابری ریشه، روح اله صادقی نامقی، حسین صبوری، علیرضا کریم مجنی، حسن کریمی، جواد مرعشی، سید حسن مصلی نژاد، هادی معصومی، حسین مهرور، محسن تاراسکو، استاکو راشد محصل، آرش درویس، سیل لهلالی، رشید ورا کروز، کاسیانا
	استاد- تغذیه نشخوار کنندگان - دانشگاه فردوسی مشهد استاد- بیماری شناسی گیاهی - دانشگاه فردوسی مشهد استاد- علوم علف های هرز - دانشگاه فردوسی مشهد دانشیار- بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک - دانشگاه تهران دانشیار- بیماری شناسی گیاهی - دانشگاه فردوسی مشهد استاد- بیماری شناسی گیاهی - دانشگاه تربیت مدرس تهران استاد- بیماری شناسی گیاهی - دانشگاه گیلان استاد- فیزیولوژی گیاهی - دانشگاه تبریز دانشیار- حشره شناسی کشاورزی - دانشگاه فردوسی مشهد استاد- قارچ شناسی - دانشگاه گیلان استاد- علوم علف های هرز - دانشگاه فردوسی مشهد استاد- علوم علف های هرز - دانشگاه فردوسی مشهد استاد- بیماری شناسی گیاهی - دانشگاه صنعتی اصفهان استاد- بیماری شناسی گیاهی - دانشگاه ولی عصر رفسنجان استاد- حشره شناسی کشاورزی - دانشگاه فردوسی مشهد استاد- حشره شناسی کشاورزی - دانشگاه تهران دانشیار- تولید و ژنتیک گیاهی - دانشگاه صنعتی اصفهان استاد- حشره شناسی کشاورزی - دانشگاه فردوسی مشهد استاد - بیوتکنولوژی و به نژادی گیاهی - دانشگاه فردوسی مشهد دانشیار پژوهش- موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور استاد- ویروس شناسی گیاهی - دانشگاه شهید باهنر کرمان دانشیار- ویروس شناسی گیاهی - دانشگاه فردوسی مشهد دانشیار- حشره شناسی - دانشگاه باری آلدومورو- ایتالیا محقق- اکولوژی حشرات - تگزاس استاد-بیماری شناسی گیاهی -دانشگاه آرتوکلوماردین ترکیه دانشیار- آسیب شناسی گیاهی و میکروبیولوژی-مدرسه ملی کشاورزی مکنس، مراکش استاد- بیماری شناسی گیاهی- موسسه بین المللی تحقیقات برنج و آسیب شناسی گیاهی، ماکاتی، فیلیپین

نشانی: مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، دفتر نشریه بوم شناسی کشاورزی، صندوق پستی: ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۴۶۵۴
پست الکترونیکی: jpp1@um.ac.ir
نمابر: ۰۵۱-۳۸۷۸۷۴۳۰
آدرس سایت: <https://jpp.um.ac.ir>

مقالات این شماره در سایت <https://jpp.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- ۲۳۱ تأثیر متقابل برخی آفت‌کش‌ها روی *Diaeretilla rapae* و *Diadegma semiclausum* در مزارع کلم
محمد امین سمیع
- ۲۵۱ سمیت تنفسی و اثرات زیرکشنندگی گیاه تلخه *Acroptilon repens* روی فراسنجه‌های جدول زندگی و پیش‌بینی روند رشد جمعیتی
(Hemiptera: Aleyrodidae) *Trialeurodes vaporariorum*
سیده سحر سربلند، فریبا مهرخو، محمد فتاحی، مریم فروزان
- ۲۷۱ ارزیابی تأثیر کیتوزان، گاما آمینو بوتیریک اسید و سیلیکات پتاسیم بر بعضی از شاخص‌های بیوشیمیایی درخت پسته جهت القاء
مقاومت در برابر پسیل پسته (*Agonosca pistaciae*)
هدی قاسمی نژاد راینی، مریم پهلوان یلی، مریم بزرگ امیر کلایی
- ۲۸۵ شناسایی، بررسی خصوصیات ژنومی و واکاوی تبارزایی بتانوکلئورابدوویروس جدید آلوده‌کننده چغندر قند (*Beta vulgaris*) در
ایران
جواد آبخو، محسن مهرور، محمد زکی عقل
- ۲۹۵ ارزیابی پتانسیل دگرآسیبی عصاره‌های گیاهی و مقایسه آن با تیمارهای شیمیایی بر علف‌های هرز بی‌تی‌راخ (*Galium aparine* L.)
و ماشک‌گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) در مزرعه نخود
صادق جلیلیان، سید احمد قنبری، محمدرضا اصغری پور، علیرضا باقری
- ۳۱۹ اثر تنش غیر زیستی میکروپلاستیک پلی‌اتیلن بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گندم
(*Triticum aestivum* L.)
جواد کریمی، سعیده اربابی

Impact of Some Pesticides on *Diaeretiella rapae* and *Diadegma semiclausum* in Cabbage Production

M.A. Samih ^{1*}

1- Department of Plant Protection, College of Agriculture, Vali-E-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

(*- Corresponding author's Email: samih@vru.ac.ir)

Received: 05-05-2024

Revised: 05-05-2025

Accepted: 19-05-2025

Available Online: 10-11-2025

How to cite this article:

Samih, M.A. (2025). Impact of some pesticide on *Diaeretiella rapae* and *Diadegma semiclausum* in cabbage production. *Iranian Plant Protection Research*, 39(3), 229-248. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.87745.1184>

Introduction

The cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.) is a pest of cruciferous plants, especially cabbage, occurring in various parts of the world. The aphids feed on many varieties of produce, including cabbage, broccoli (especially), Brussels sprouts, cauliflower, and many other members of the genus *Brassica*, but do not feed on plants outside of the Brassicaceae family. One of the control measures, which can be used for the cabbage aphid, is biological control. The aphid is attacked by the parasitoid *Diaeretiella rapae* (M'Intosh) (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiidae) which tends to specialize on crucifer-feeding The Braconid wasp, *D. rapae* is a cosmopolitan parasitoid of many species of aphids, especially the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae*. *Diadegma semiclausum* (Hellen) (Hymenoptera: Ichneumonidae) is one of the most important parasitoids of the diamondback moth (DBM.), *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). This Ichneumonid is a potentially useful biological control agent in integrated management programs of DBM. It lays its eggs into the developing larvae of the DBM. This ichneumonid can be released in any brassica plantings where no harmful chemicals have been used.

Materials and Methods

Seeds of Chinese cabbage (*Brassica rapa*) were cultivated directly in a planting tray. After about 6 weeks, young cabbages were transferred individually from the tray to the 10×10×15 cm pots. For ease transfer of pots and better irrigation, each of the six pots was placed in a tray of the size indicated. All rearing was carried out at 23 ± 2°C and a photoperiod of 14 h L:10 h D. For the rearing of cabbage aphids, a distinct insectary space was considered under above condition. Cabbage aphid was reared on Chinese cabbage (*Brassica rapa*). The DBM reared in a controlled experimental space in cage of 60cm.*60cm.*66cm. A pot containing young plants from 4 to 6 weeks old was used to prepare the primary colony of the pest. The pot were placed within the cage containing adults of DBM in South Australian Research and Development Institute (SARDI). Therefore, under normal conditions, there are always four pots containing adults that are laying on and a future rearing process proceeds, and in another cage there were larvae of old ages and to obtain adults. Given there. In this study, for the same age population of insect tested after 24 hours, the main mass of separation of contaminated specimens was carried out. In all experiments, the third generation was obtained from the main colony. *D. rapae* rearing in a controlled conditions in a cubic shape cage in 46 cm and surrounded by a net. *Diadegma* Parasitoid rearing in a



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.87745.1184>

controlled lab was made of cages 60×60×66h cm and surrounded by a net jar. In this research, three pesticides were selected based on the following table. We used the selected pesticides as recommended dosages and schedule using power tower.

Results and Discussion

The results showed that the effect of Monto pesticide was less than Confidor and Benoya pesticides. Also, the percentage of bees leaving mummified aphids was higher than the other two pesticides. But in this experiment, the effect of Monto on the parameters of the life table was greater than Confidor pesticide. These results showed that the lasting and long-term effects of Monto poison can be considered. Two pesticides, Confidor and Monto, inhibited the growth of cabbage waxy aphid population, respectively, and their inhibitory effects on the parasitoid bee were less than Benoya. Therefore, it is considered as a safe margin for parasitoid bees. Application of Monto with parasitoid bees increased control efficiency. Compared to the control, Confidor pesticide had significant inhibitory effects on bee exit from pupation and it is considered as a non-target effect on diadigma. Benoya pesticide has also reduced the amount of bee departure compared to the control, but the advantage of this pesticide is that it controls the DBM population alone and there is no need to use the pesticide together with the parasitoid bee. The results of the research with a view to the above tests showed that Confidor pesticide has an inhibitory effect on the parasitism activity of *Diadegma* bee and it has a non-target location and this parasitoid is safe compared to Monto pesticide. Monto pesticide was not effective for DBM pest control. The efficiency of cabbage waxy aphid control methods showed that the highest efficiency was related to Confidor and Benoya pesticides and the lowest was related to the use of parasitoid bees and the use of both Confidor and parasitoid bees. Since the use of Benoya and Confidor alone and together with the parasitoid does not have a significant difference; therefore, additional use of parasitoid with these two poisons is not justified. But the use of Monto pesticide should be combined with parasitoid. So, this composition is safe for nature.

Keywords: Cabbage, Diamondback moth, Fertility table, Pesticide

تأثیر متقابل برخی آفت‌کش‌ها روی *Diaeretilla rapae* و *Diadegma semiclausum* در مزارع کلم

محمد امین سمیع*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۲۹

چکیده

کلم *Brassica oleracea* L. Brassicaceae یکی از سبزیجات مهم و اقتصادی جهان محسوب می‌شود. این گیاه در معرض هجوم آفات مختلفی قرار می‌گیرد که از مهم‌ترین آن‌ها شته مومی کلم و شب‌پره پشت الماسی است. در این پژوهش، اثر توأم غیرهدف سه آفت‌کش سیانترانلیپرول، اسپروتترامات و ایمیداکلپرید با نام‌های تجاری به ترتیب بنویا، مونتو و کونفیدور روی *Diaeretilla rapae* به‌عنوان عامل مہار بیولوژیکی شته کلم (*Brevicoryne brassicae* (L.) و *Diadegma semiclausum* (Hellen) روی بید کلم (*Plutella xyntella* (L.) در تولید کلم بررسی شد. تمام پرورش‌ها در شرایط کنترل‌شده با دمای 23 ± 2 درجه سلسیوس و شرایط نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی انجام شد. اثر محلول‌پاشی روی شته مومی کلم، میزان پارازیتسم زنبور *D. rapae* روی شته‌های سم‌پاشی‌شده، اثر محلول‌پاشی شته‌های مومیایی‌شده روی میزان خروج زنبور *D. rapae* جدول زندگی زنبور *D. rapae* به‌دست‌آمده از مومیایی‌های سم‌پاشی‌شده، اثر محلول‌پاشی روی شب‌پره پشت الماسی، اندازه‌گیری میزان پارازیتسم زنبور *D. semiclausum* روی لاروهای شب‌پره پشت الماسی در معرض آفت‌کش قرار گرفته، اثر محلول‌پاشی شفیله بید کلم روی میزان خروج زنبور *D. semiclausum* جدول زندگی حشرات کامل زنبور پارازیتوئید دیادگما خارج‌شده از شفیله‌های در معرض سم قرار گرفته و کارایی روش‌های مہار شته مومی کلم در این پژوهش ارزیابی شد. نتایج نشان داد که اثر آفت‌کش مونتو کمتر از دو آفت‌کش کونفیدور و بنویا بوده است. همچنین درصد خروج زنبورها از شته‌های مومیایی‌شده بیشتر از دو آفت‌کش دیگر است، اما در این آزمایش اثر مونتو روی مشخصه‌های جدول زندگی بیشتر از آفت‌کش کونفیدور بود. این نتایج نشان می‌دهد که اثرات ماندگار و درازمدت سم مونتو می‌تواند در خور نگرش باشد. دو آفت‌کش کونفیدور و مونتو به‌ترتیب بازدارنده رشد جمعیت شته مومی کلم بوده و اثرات بازدارندگی آن‌ها روی زنبور پارازیتوئید نیز کمتر از بنویا است. بنابراین به‌عنوان یک حاشیه امن برای زنبور پارازیتوئید محسوب می‌شود. کاربرد مونتو با زنبور پارازیتوئید سبب افزایش کارایی کنترل شد. آفت‌کش کونفیدور نسبت به شاهد اثرات بازدارنده معنی‌دار روی خروج زنبور از شفیله‌ها داشته است و به‌عنوان یک اثر غیرهدف روی دیادگما محسوب می‌شود. آفت‌کش بنویا نیز میزان خروج زنبور را نسبت به شاهد مقدار زیادی کاهش داده است، اما امتیاز این آفت‌کش این است که به‌تنهایی جمعیت بید کلم را مہار می‌کند و نیازی به کاربرد توأم آفت‌کش با زنبور پارازیتوئید نیست. نتایج پژوهش با نگرش به آزمایش‌های بالا نشان می‌دهد که آفت‌کش کونفیدور بر فعالیت پارازیتسم زنبور دیادگما اثر بازدارنده داشته است و یک جایگاه غیرهدف دارد و این پارازیتوئید نسبت به آفت‌کش مونتو دارای ایمنی بوده است. آفت‌کش مونتو برای مہار آفت بید کلم دارای کارایی مناسب نیست. کارایی روش‌های مہار شته مومی کلم نشان داد که بیشترین میزان کارایی مربوط به آفت‌کش کونفیدور و بنویا و کمترین مربوط به کاربرد زنبور پارازیتوئید و استفاده توأم کونفیدور و زنبور پارازیتوئید است. از آنجایی که استفاده از بنویا و کونفیدور به‌تنهایی و توأم با پارازیتوئید دارای اختلاف معنی‌داری نیست، بنابراین استفاده اضافی از پارازیتوئید با این دو آفت‌کش توجیه ندارد، اما استفاده از آفت‌کش مونتو باید توأم با پارازیتوئید باشد و این ترکیب ایمن برای طبیعت است.

واژه‌های کلیدی: آفت‌کش، بید کلم، جدول باروری، کلم

۱- گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

(Email: Samih@vru.ac.ir)

*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.87745.1184>

مقدمه

کلم (*Brassica oleracea* L. (Brassicaceae) از سبزیجات مهم و اقتصادی جهان است (Maynard & Hochmuth, 2007). این گیاه در معرض هجوم آفات مختلفی قرار می‌گیرد که از مهم‌ترین آن‌ها شته مومی کلم و شب‌پره پشت الماسی است.

شته مومی کلم (*Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) که به شته کلزا نیز معروف است و هر چند روی کلزا به شدت خسارت‌زا است، ولی کلم معمولی، گل کلم و کلم بروکلی را به سایر ارقام کلم ترجیح می‌دهد (Gabrys et al., 1997). شته مومی کلم باعث ایجاد خسارت مستقیم از طریق تغذیه از شیره گیاهی و خسارت غیرمستقیم به وسیله انتقال ویروس‌های بیماری زای گیاهی مختلف می‌شود (Carter & Blackman & Eastop, 1984; Hines & Sorensen, 2013; Opfer & McGrath, 2013; Hutchison, 2013).

این آفت در ایران برای اولین بار در سال ۱۳۱۷ گزارش شده و در تمام نواحی کشور روی انواع کلم، شلغم (*Brassica rapa* L.)، تربچه (*Raphanus sativus* L.) و چلیپایان وحشی انتشار دارد. با توجه به اینکه محصولات نظیر کلم به طور مستقیم مورد استفاده انسان قرار می‌گیرند، باید به باقی‌مانده سموم موجود بر روی آن‌ها، توجه خاصی مبذول گردد. با توجه به این مطلب و نیز افزایش روزافزون هزینه‌های سم‌پاشی و مخرب بودن آن‌ها از نظر محیط زیست و مقاومت آفت به سموم (Ahmad and Akhtar 2013) می‌توان از روش مهار بیولوژیک به عنوان یکی از روش‌های جایگزین مناسب استفاده نمود (Natwick, 2009). پارازیتوئید مهم شته‌های گیاهان خانواده چلیپایان، زنبور (*Diarretiella rapae* (M Intosh) (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiidae) می‌باشد. شته مومی کلم میزبان مطلوب این پارازیتوئید می‌باشد (Hafez, 1961). این زنبور زمانی که شته مومی کلم در دسترس نباشد، می‌تواند دیگر گونه‌های شته‌ها را نیز پارازیته کند (Baidoo & Adam, 2012; Kibrom et al., 2012; Mekuaninte et al., 2011).

شب‌پره پشت الماسی (بید کلم)^۱ (Lepidoptera: Plutellidae) *Plutella xylostella* مهم‌ترین آفت تیره چلیپائی‌ان^۲ در سرتاسر دنیا و مهم‌ترین آفت مزارع کلم پیچ و کلم گل در ایران می‌باشد و به چلیپائی‌ان دیگر نظیر شلغم، تربچه، ترب (*Raphanus raphanistrum* L.) و کلزا (*Carthamus tinctorius* L.) نیز خسارت می‌زند (Furlong et al., 2013; Afiunizadeh et al., 2011).

لاروهای سنین اول به صورت داخلی و به حالت مینوز از نسوج برگ

و سایر سنین لاروی به صورت خارجی از قسمت‌های مختلف تغذیه کرده و باعث ایجاد خسارت می‌شوند (Ahmad et al., 2008). از آنجایی که این آفت فاقد دیافوز اجباری می‌باشد، قادر است که در طول سال بی‌وقفه تولید نسل کند، همچنین دارای قابلیت مقاومت به حشره کش‌های شیمیایی و میکروبی می‌باشد. در سال‌های اخیر، بید کلم در ایران حالت طغیانی پیدا کرده است، به طوری که استفاده از انواع حشره کش‌های متداول حتی تا ۱۰ برابر دوزهای توصیه شده قادر به مهار این آفت نیستند (Afiunizadeh & Karimzade, 2015).

هم‌اکنون این حشره در سراسر آمریکا و اروپا، جنوب شرقی و غرب آسیا، استرالیا و نیوزلند به شکل یک آفت بسیار مهم درآمده است (Talekar & Shelton, 1993; Abro et al., 1992). این آفت به گفته هاردی (Hardy, 1983) از اروپا منشأ گرفته است، اما از نظر کفیر (Kfir, 1998) براساس وجود عوامل بیوکنترل طبیعی (۱۴ گونه پارازیتوئید) و گیاهان میزبان (۱۷۵ گونه)، این آفت از آفریقای جنوبی ناشی شده است. (Sarfaraz et al., 2005). سرفراز و همکاران به نقل از لیو و همکاران (Liu et al., 1982, 1988)، طی تحقیقات مشابه، منشأ آن را چین ذکر کرده‌اند. در هر حال، امروزه این آفت در هر نقطه‌ای که میزبان وجود داشته باشد، یافت می‌شود و پراکنش قابل توجهی نسبت به سایر بال‌پولکداران دارد (Shelton, 2004). در ایران نیز این آفت در بیشتر نقاط کشور به ویژه اطراف تهران، سواحل دریای خزر و فارس انتشار دارد (Afiunizadeh & Karimzadeh, 2015). این حشره در دنیا برای تولید سبزیجات خانواده کلم، مشکل ساز بوده است و این خسارت تا حدی است که تالکار و شلتون در سال ۱۹۹۳، خسارت یک‌ساله این آفت را در آمریکا، حدود یک بیلیون دلار تخمین زده بودند. این آفت در بسیاری از کشورها مشکل اصلی تولیدکنندگان این سبزیجات می‌باشد، زیرا جمعیت‌های مختلف آن به بیشتر گروه‌های حشره کش مقاومت پیدا کرده است (Diaz-Gomez et al., 2000).

در سراسر جهان، توجه بیشتری به توسعه برنامه‌های مدیریت یکپارچه آفات مبتنی بر مهار بیولوژیکی برای *P. xylostella* نسبت به برنامه‌های کنترل مرسوم شده است (Talekar & Shelton, 1993; Hill & Foster, 2000; Biever, 1996). با این حال، به نظر می‌رسد که مهار شیمیایی تاکتیک اصلی برای مدیریت *P. xylostella* سایر آفات چلیپایی در آینده نزدیک باقی خواهد ماند تا زمانی که جایگزین‌های قابل اعتمادی پیدا شود (Xu et al., 2001; Smith et al., 2002; Liu et al., 2003; Hill & Foster 2000). شب‌پره پشت الماسی در طبیعت پارازیتوئیدهای زیادی دارد که به عنوان یک عامل مهار بیولوژیک در مهار آن نقش مهمی ایفا می‌کنند. مارش (Marshall, 1971) اولین کسی بود که متوجه شد، جمعیت‌های بید کلم به طور طبیعی توسط پارازیتوئیدها سرکوب می‌-

1- Diamond back moth (DBM)

2- Brassicaceae

غیرهدف فراهم می‌کند بنابراین اثرات مخرب سموم روی آفات و دشمنان طبیعی غیرهدف را نباید از دیدگاه مدیریت تلفیقی آفات دور داشت. در این پژوهش، اثر توأم غیرهدف چند ماده شیمیایی روی دو آفت مهم کلم و دو دشمن طبیعی مهم این دو آفت بررسی شده و کوشش شده است که نقطه ایمن از دیدگاه دشمن طبیعی و حشره کش مورد استفاده به دست آید.

مواد و روش‌ها

۱- گیاه میزبان

بذر کلم چینی به صورت مستقیم در سینی نشاء به ابعاد ۲۸×۴۰ و ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر کشت گردید (شکل ۱). سینی‌ها با خاک گلدانی استریل شده پر شد. با استفاده از تخته نشاء دارای ۲۴ پایه سه سانتی‌متری با فاصله هفت سانتی‌متر مکان قرار گرفتن بذر در سینی نشاء مشخص شد و داخل هر حفره ایجاد شده یک بذر قرار گرفت. در صورتی که تمام بذرهای رشد می‌کردند، هر سینی نشاء حاوی ۲۴ بوته کلم کشت شده بود (شکل ۱-۱). پس از گذشت حدود شش هفته، بوته‌های جوان چند برگی کلم به صورت انفرادی از سینی کشت به گلدان‌های ۱۰×۱۰×۱۵ سانتی‌متری انتقال یافت. برای سهولت انتقال گلدان‌ها و آبیاری بهتر، هر شش گلدان در یک سینی خالی به اندازه ذکر شده قرار گرفت (شکل ۱-۲). براساس شرایط آب‌وهوایی، آبیاری گلدان‌ها هر یک تا چهار روز یک بار انجام شد. برای دسترسی بهتر ریشه‌ها به آب و مواد غذایی، همیشه آب و محلول غذایی در سینی زیر گلدان‌ها وجود داشت. از گلدان‌های حاوی بوته‌های جوان دو تا چهار هفته‌ای (پس از انتقال به گلدان) برای تخم‌گذاری DBM (شکل ۱-۳) و از بوته‌های مسن‌تر برای پرورش شته مومی کلم و تغذیه لاروهای DBM استفاده شد (شکل ۱-۴).

۲- پرورش حشرات

تمام پرورش‌ها در شرایط کنترل شده با دمای ۲۳±۲ درجه سلسیوس و شرایط نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی انجام شد.

شوند. لیم (Lim, 1986) گزارش کرد که شش گونه پارازیتوئید تخم، ۳۸ گونه پارازیتوئید لارو و ۱۳ گونه پارازیتوئید شفیره به این حشره حمله می‌کنند. مؤثرترین پارازیتوئیدهای این آفت، پارازیتوئید-های مرحله لاروی آن هستند.

Diadegma semiclausum (Hellen, (Ichneumonidae) 1949) یکی از مهم‌ترین پارازیتوئیدهای شب‌پره پشت الماسی می‌باشد که پارازیتوئید داخلی و انفرادی لاروی - پیش‌شفیرگی^۱ این آفت می‌باشد و پارازیتوئید اختصاصی آن محسوب می‌شود (Sarfraz et al., 2002; Wang & Keller, 2002; Rossbach et al., 2006a, 2005).

این پارازیتوئید در برخی از مناطق دنیا مانند فیلیپین، مالزی، ژاپن، کنیا، استرالیا و نیوزلند به عنوان مهم‌ترین عامل مه‌ار بید کلم گزارش شده است (Wang & Keller, 2005; Gols & Harvey, 2009) گفته شده است که خاستگاه این گونه اروپا می‌باشد (Furlong et al., 2013; Talekar & Shelton, 1993).

همانگی مراحل رشدونمو *D. insulare* با مراحل رشدونمو میزبان و ظرفیت جستجوی عالی آن، این حشره را برای استفاده به عنوان یک عامل بیوکنترل در مدیریت تلفیقی DBM مناسب می‌کند (Harcourt, 1969, 1960). با این حال، بیشتر حشره‌کش‌های مصنوعی که در حال حاضر برای مه‌ار *P. xylostella* استفاده می‌شوند، برای *D. semiclausum* مضر هستند.

این گونه یک پارازیتوئید همراهی^۲ به شمار می‌رود (Gols & Harvey, 2009) و به تمام سنین لاروی حمله می‌کند، اما سن دوم و سوم را ترجیح می‌دهد (Khatri et al., 2008; Shi et al., 2004). تخم‌ها داخل بدن لاروها تفریخ می‌شوند و لاروهای پارازیتوئید از بدن لارو میزبان تغذیه می‌کنند و در مرحله پیش‌شفیرگی کمی بعد از تشکیل پیل میزبان، خارج می‌شوند. لاروهای این پارازیتوئید سپس پیل خود را داخل پیل میزبان می‌تنند و باقی‌مانده‌های جسد میزبان را به پایین پیل می‌رانند (Harcourt, 1986). در دمای ۲۲ °C رشد و نمو پارازیتوئید از تخم تا حشره کامل حدود ۱۶ روز طول می‌کشد، درحالی‌که این دوره در دمای ۱۵ °C، ۳۶ روز است. این پارازیتوئید به صورت شفیره داخل بقایای محصول زمستان‌گذرانی می‌کند. لی و همکاران و یانگ و همکاران (Yang et al., Lee et al., 2004; 1993) معتقد بودند که *D. semiclausum* تنها در شرایط خنک و کم‌ارتفاع و مرطوب مستقر شده، اما با این وجود برخلاف مطالعات دیگر که دامنه فعالیت این گونه را فقط معطوف به ارتفاعات می‌دانستند، با نگرش به اینکه استفاده از سموم شیمیایی در مزارع کلم سبب نابودی دشمنان طبیعی شده و زمینه را برای طغیان آفات

1- Larval- prepupal
2- Koinobiont



شکل ۱- مراحل و روش کشت گیاه میزبان ۱- کاشت بذر در سینی نشاء ۲- بوته‌های جوان کلم و انتقال به گلدان ۳- بوته‌های جوان کلم مناسب برای تخم‌گذاری DBM ۴- بوته‌ها کلم مناسب برای تغذیه لاروهای DBM

Figure 1- Steps and methods of cultivating the host plants, 1- planting seeds in the tray, 2- shoots of young cabbage and transferring to the pot 3- young shoots of cabbage suitable for laying DBM, 4- shrubs cabbage suitable for feeding DBM larvae

آلوده قرار می‌گرفت و با گذاشتن برگ‌های آلوده به شته روی این بوته‌های جدید، جمعیت شته افزایش یافت. برای داشتن کلمی هم‌سن شته، ماده‌های بالغ بکرزا به‌صورت جداگانه روی بوته‌های کلم غیرآلوده منتقل و ۲۴ تا ۴۸ ساعت بعد حذف می‌شد، بنابراین پوره‌های باقی‌مانده هم‌سن می‌شدند.

۲-۲- شب‌پره پشت الماسی یا بید کلم Diamond Back Mouth (DBM) *Plutella xylostella*

شب‌پره پشت الماسی یا بید کلم در فضای کنترل‌شده آزمایشگاهی داخل قفسه‌های هرمی شکل به ابعاد ۶۰×۶۰ و ارتفاع ۶۶ سانتی‌متر احاطه‌شده با تور پرورش داده شد. از گلدان حاوی بوته جوان کلم (شش هفته‌ای) برای تهیه توده اولیه این آفت استفاده شد. بوته‌ها داخل قفس حاوی حشرات کامل بید کلم در توده موجود در SARDI قرار داده شد. بوته‌های کلم که در معرض تخم‌گذاری

۱-۲- شته مومی کلم *Brevicoryne brassicae*

برای پرورش شته مومی کلم، یک فضای انسکتاریومی مجزا با شرایط بالا در نظر گرفته شد. این روش از آلودگی توده پرورش‌یافته به زنبورهای پارازیتوئید و همچنین گیاهان میزبان به سایر آفات مانند کنه، تریپس، سفیدبالک و شب‌پره پشت الماسی جلوگیری می‌کرد و همچنین افزایش جمعیت شته سریع‌تر انجام می‌شد (تا زمانی‌که پرورش در قفس توری باشد). از یک گلدان حاوی بوته کلم آلوده به شته مومی کلم که از توده موجود در آزمایشگاه SARDI^۱ جدا شده بود برای تشکیل توده آزمایشگاهی جدید استفاده شد. هر چند روز یک بار گلدان‌های سالم حاوی بوته‌های جوان کلم در کنار گلدان

1- South Australian Research and Development Institute (SARDI), School of Agriculture, Food & Wine, Waite Main Building, Waite Campus, The University of Adelaide, Adelaide, South Australia 5064

آزمایش‌های لازم در این پژوهش استفاده شد. برای تغذیه حشرات کامل زنبور از مخلوط آب و عسل ۲۰ درصد استفاده شد. برای داشتن توده هم‌سن از زنبور و مومیایی‌های هم‌سن، گلدان‌های کلم آلوده به شته که ۴۸ ساعت در معرض زنبور قرار گرفته بود، به قفس جدید منتقل شده و گلدان‌های جدید به قفس پرورش اضافه می‌شد. در تمام آزمایش‌ها از نسل سوم به بعد به‌دست‌آمده از توده اصلی استفاده شد.

۲-۴- زنبور پارازیتوئید بید کلم *Diadegma semiclausum*

پرورش زنبور پارازیتوئید دیادگما در فضای کنترل‌شده آزمایشگاهی داخل قفسه‌هایی مکعبی شکل به اندازه ۶۰×۶۰ و ارتفاع ۶۶ سانتی‌متر و احاطه‌شده با تور انجام شد، از گلدان حاوی بوته کلم آلوده به شب‌پره پشت الماسی پارازیت‌شده که از توده موجود در SARDI جدا شده بود برای تهیه توده زنبور استفاده شد. این توده اولیه در قفس ذکرشده در بالا قرار گرفت. در روشی دیگر از حشرات کامل جمع‌آوری‌شده از توده اصلی پرورش زنبور در SARDI استفاده شد. در قفس دیگر چند گلدان کلم آلوده به شب‌پره پشت الماسی قرار گرفت. این توده زنبور جداشده از جمعیت موجود در SARDI و یا حشرات کامل خارج‌شده از شفیره‌های زنبور که ۲۴ ساعت از سن آن‌ها گذشته بود از توده اولیه با اسپیراتور جمع‌آوری و در قفس دوم رها شد. این رهاسازی زمانی انجام شد که آفت شب‌پره در مرحله سن دو تا سه بود که این نیاز حدود هفت روز پس از آغاز تخم‌گذاری شب‌پره روی بوته‌های کلم به دست آمد. به این ترتیب، توده جدید هم‌سن از لاروهای شب‌پره پارازیت‌شده و زنبور پارازیتوئید به دست آمد. از این توده‌ها برای آزمایش‌ها استفاده شد. برای تغذیه حشرات کامل زنبور از مخلوط آب و عسل ۲۰ درصد استفاده گردید. برای داشتن توده هم‌سن از زنبور، گلدان‌های کلم آلوده به شب‌پره که ۴۸ ساعت در معرض زنبور قرار گرفته بود به قفس جدید منتقل شده و گلدان‌های جدید به قفس پرورش اضافه گردید. در این پژوهش همیشه برای داشتن توده هم‌سن از توده حشرات مورد آزمایش، پس از ۲۴ ساعت از رهاسازی بوته‌های الوده از توده اصلی جدا می‌شد. در تمام آزمایش‌ها از نسل سوم به‌دست‌آمده از توده اصلی استفاده شد.

۳- آفت‌کش‌های به‌کاربرده‌شده

در این پژوهش سه آفت‌کش سیانترانیلیپرول^۱ (Benevia 180 ML - 10.26% w/w OD) از شرکت دوپونت و سینجنتا^۲، یک حشره‌کش بنزامید با اثرات تماسی و مسمومیت معده است، جذب سیستمیک خوبی نیز دارد و در برابر آفات دارای قطعات دهانی -زنده

شب‌پره قرار گرفته بود، پس از گذشت ۲۴ ساعت جدا و به تعداد چهار گلدان در هر قفس به ابعاد بالا در آزمایشگاه قرار گرفت (اشکال این روش این است که ممکن است لاروهای باقی‌مانده از توده قبلی، بوته‌های کلم را آلوده کند و با خوردن برگ‌ها، تفریخ تخم‌های جدید و تغذیه لاروهای جوان را دچار مشکل می‌کند). در روش دیگر، داخل یک قفس به ابعاد بالا چهار گلدان حاوی بوته جوان کلم قرار داده شده و حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ حشره کامل بید کلم در قفس رها شد و برای تغذیه حشرات کامل از مخلوط آب و عسل ۲۰ درصد استفاده شد. در مواردی که لاروهای هم‌سن نیاز بود، گلدان‌های کلم که ۲۴ تا ۴۸ ساعت در معرض تخم‌گذاری قرار گرفته بود، به قفس جدید انتقال یافت و گلدان‌های کلم جدید به قفس پرورش اضافه می‌شد یا حشرات کامل حذف شد. بدین ترتیب تخم‌ها تفریخ شده و لاروهای سن یک از پارانشیم زیر برگ و لاروهای سنین بالا از کل پهنک برگ بین رگبرگ‌ها تغذیه می‌کرد. بسته به میزان تغذیه لاروها از برگ‌های کلم، گلدان‌های جدید حاوی بوته کلم مسن‌تر هفت تا هشت هفته‌ای یا بیشتر به‌میزان نیاز تغذیه‌ای لاروها به قفس اضافه می‌شد و این روند تا تبدیل لاروها به شفیره ادامه می‌یافت. برای ادامه روند پرورش آفت حشرات کامل بیرون‌آمده از شفیرگی با ۲۴ ساعت سن به‌وسیله اسپیراتور جمع‌آوری و در قفس جدید با چهار گلدان حاوی بوته جوان کلم رها می‌شد. بنابراین در شرایط معمولی همیشه در یک قفس چهار گلدان حاوی حشرات کامل شب‌پره که در حال تخم‌گذاری است و روند پرورش آینده را طی می‌کند، وجود دارد و در قفس دیگری لاروهای سنین بالا که در حال شفیره شدن هستند و برای به دست آوردن حشرات کامل ویژگی داده شده وجود دارد. در این پژوهش همیشه برای داشتن توده هم‌سن حشرات برای آزمایش، پس از ۲۴ ساعت، از توده اصلی جداسازی نمونه‌های آلوده انجام می‌شد. در تمام آزمایش‌ها از نسل سوم به‌دست‌آمده از توده اصلی استفاده شد.

۲-۳- زنبور پارازیتوئید شته مومی کلم *Diaeretiella rapae*

پرورش زنبور پارازیتوئید شته مومی کلم در فضای کنترل‌شده آزمایشگاهی داخل قفسه‌هایی مکعبی شکل به اندازه ۴۶ سانتی‌متر و احاطه‌شده با تور انجام شد. از گلدان حاوی بوته کلم آلوده به شته مومی کلم پارازیت‌شده که از توده موجود در SARDI جدا شده بود برای تهیه توده زنبور استفاده شد. این توده اولیه در قفس ذکرشده در بالا قرار گرفت. در قفس دیگر چند گلدان کلم آلوده به شته مومی کلم قرار گرفت. حشرات کامل خارج‌شده از شته‌های مومیایی که ۲۴ ساعت از سن آن‌ها گذشته بود از توده اولیه با اسپیراتور جمع‌آوری و در قفس دوم رها شد. به این ترتیب، توده جدید هم‌سن از شته‌های پارازیت‌شده و زنبور پارازیتوئید به دست آمد. از این توده‌ها برای

1- Cyantraniliprole

2- Dupont and syngenta

همه مراحل شمارش شد. در زمان یک روز پس از محلول‌پاشی، شمارش مجدد انجام گردید. پس از آن نیز هر هفته به مدت سه هفته شمارش تعداد شته موجود روی بوته انجام شد. گلدان‌ها در قفس توری به ابعاد ۶۰ سانتی‌متر قرار گرفت. برای هر بار محلول‌پاشی از گلدان‌های حاوی بوته کلم آلوده به شته مومی کلم به‌عنوان شاهد (بدون محلول‌پاشی) در سه تکرار در نظر گرفته شد.

۴-۲- میزان پارازیت‌بسم زنبور *D. rapae* روی شته‌های سم‌پاشی‌شده

برای هر آفت‌کش سه تکرار در نظر گرفته شد. هر تکرار از یک گلدان حاوی بوته کلم آلوده به شته مومی کلم با ۱۵۰ شته (از همه مراحل) در حدود هفت روزه تشکیل شد. یک روز پیش از محلول‌پاشی، تعداد کل شته مومی کلم از همه مراحل شمارش شد. یک روز پس از محلول‌پاشی، شمارش مجدد انجام شده و گلدان‌ها در قفس توری به ابعاد ۶۰ سانتی‌متر قرار گرفت و به‌ازای هر ۱۵ شته، یک زنبور پارازیت‌بسم ماده یک‌روزه در قفس رها شد. پس از آن نیز هر هفته به مدت سه هفته شمارش تعداد شته و مومیایی‌های موجود روی بوته انجام شد. در پایان، تعداد مومیایی‌های حاوی سوراخ خروج حشرات کامل شمارش شده و میزان پارازیت‌بسم شته‌های در معرض سم قرارگرفته محاسبه شد. برای هر بار محلول‌پاشی از گلدان‌های حاوی بوته کلم آلوده به شته مومی کلم پارازیت‌بسم به‌عنوان شاهد (بدون محلول‌پاشی) در نظر گرفته شد. از داده‌های این آزمایش برای محاسبه اثر توأم سم‌پاشی و پارازیت‌بسم روی جمعیت شته و همچنین برای محاسبه اثر سم‌پاشی روی پارازیت‌بسم زنبور استفاده شد.

۴-۳- اثر محلول‌پاشی شته‌های مومیایی‌شده روی میزان خروج زنبور *D. rapae*

برای هر آفت‌کش سه گلدان حاوی بوته کلم آغشته به شته مومی کلم با میانگین هفت روز سن در نظر گرفته شد. گلدان‌های هر تیمار در قفس پرورش به ابعاد ۶۰ سانتی‌متر قرار گرفت. هر تکرار از یک گلدان حاوی بوته کلم آلوده به شته مومی کلم با حدود ۳۰۰ الی ۴۰۰ شته مومی کلم تشکیل شد. به‌ازای هر ۱۵ شته یک زنبور ماده در قفس رها شد و پس از ۲۴ تا ۴۸ ساعت، گلدان‌های در معرض زنبور قرار گرفته به قفس جدید انتقال یافت. پس از گذشت حدود ۹ تا ۱۱ روز از این رهاسازی با مشاهده شته‌های مومیایی‌شده به تعداد حداقل ۱۵۰ مومیایی روی هر بوته، تیمارها برای سم‌پاشی آماده شد. محلول‌پاشی شته‌های مومیایی‌شده با شرایط ذکرشده انجام شد. یک روز پس از محلول‌پاشی برگ‌های حاوی مومیایی در معرض سم قرار گرفته از بوته اصلی جدا و پس از شمارش تعداد مومیایی‌ها روی برگ با استفاده از استریو میکروسکوپ در سه دسته ۱۵۰ تایی به‌ازای هر

و مکنده بسیار فعال است، اسید بروم‌سیانوریک در این آفت‌کش گیرنده‌های اسید نیکوتین موجود در آفات را فعال می‌کند و یون‌های کلسیم ذخیره شده در سلول‌های ماهیچه‌ای مخطط و صاف را آزاد می‌کند و باعث اختلال در تنظیم حرکت ماهیچه‌ای آفات، فلج و در نهایت مرگ می‌شود، اسپیروتترامات^۱ (Movento 10%SC) شرکت بایر^۲ به عنوان مهار کننده بیوسنتز لیپیدها وقتی وارد گیاه می‌شود به شکل انول و متابولیت ستوهیدروکسی تبدیل می‌شود، و کنترل‌کننده مراحل پورگی آفات مکنده است. ایمیداکلوپراید^۳ (Confidor 35%SC) از شرکت بایر سیستمیک متعلق به نئونیکوتینوئیدها و روی دستگاه عصبی مرکزی حشرات اثر می‌گذارد. این ماده شیمیایی با تداخل در انتقال محرک‌ها در دستگاه عصبی حشرات عمل می‌کند و به‌طور خاص، باعث انسداد مسیر عصبی نیکوتینرژیک می‌شود. ایمیداکلوپراید با مسدود کردن گیرنده‌های استیل‌کولین نیکوتین از انتقال استیل‌کولین بین اعصاب جلوگیری کرده و در نتیجه باعث فلج شدن حشره و در نهایت مرگ آن می‌شود. این ماده به‌صورت تماسی و -گوارشی بر حشرات تأثیر می‌گذارد. پیه ترتیب با نسبت‌های ۰/۲۴، ۰/۷۵ و ۰/۶-۰/۳ لیتر در هکتار برای محلول-پاشی استفاده شد. آفت‌کش‌های مورد آزمایش در نسبت‌های ذکر شده برابر غلظت‌های توصیه شده مزرعه توسط دستگاه سم پاش روی بوته‌های کلم مورد آزمایش پاشیده شد. این دستگاه به صورت محفظه پاشش بر اساس سمپاشی استاندارد در مزرعه با فشار پمپ ۳۰۰ کیلو پاسکال برابر ۲/۹۶ اتمسفر و سرعت ۱-۲/۸۵ متر بر ثانیه شبیه سازی شده بود. در این سیستم کم مصرف مقدار ۵۰۰ لیتر آب در هکتار و مقدار محلول مصرفی ۵۰ میلی لیتر به ازای هر متر مربع بود.

۴- آزمایش‌ها

تمام آزمایش‌ها در شرایط کنترل‌شده با دمای 23 ± 2 درجه سانتی‌گراد و شرایط نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی انجام شد.

۴-۱- اثر محلول‌پاشی روی شته مومی کلم

برای هر آفت‌کش، سه تکرار شامل گلدان حاوی بوته کلم آغشته به شته مومی کلم در نظر گرفته شد. هر تکرار از یک گلدان حاوی بوته کلم آلوده به شته مومی کلم با جمعیت ۱۵۰ شته (از همه مراحل) تشکیل گردید. یک روز پیش از محلول‌پاشی، تعداد کل شته مومی از

- 1- Spirotetramat
- 2- Bayer CropScience
- 3- Imidacloprid

برای این کار برگ‌های حاوی لارو سن دو و سه شب پره در معرض سم قرار گرفت. برای بدست آوردن لاروهای هم‌سن به روش گفته شده در بند ۳ عمل شد. به این انگیزه در شرایط آزمایشی جاری استفاده از لاروهای ۷ تا ۸ روز پس از تخم‌گذاری حشرات کامل مناسب بود. دو روز پس از محلول‌پاشی، شمارش لاروهای آفت انجام شد. هر تکرار از یک گلدان حاوی بوته کلم آلوده به لاروهای سن دو و سه شب پره پشت الماسی با ۵۰ لارو در معرض سم قرار گرفته و زنده تشکیل شد. گلدان‌ها در قفس توری به ابعاد ۶۰ سانتی‌متر قرار گرفت. بر اساس میزان نیاز لاروها گلدان‌های حاوی بوته‌های کلم غیر آلوده به سم یا لارو آفت در اختیار لاروها قرار می‌گرفت. بنابراین تنها لاروها در معرض سم قرار گرفتند و تغذیه لاروها از گیاهان غیر سمی بود. پس از گذشت دوره لاروی و شفیرگی، حشرات کامل ظاهر شدند. با آغاز ظهور حشرات کامل به صورت روزانه تعداد پروانه ظاهر شده شمارش شده و با اسپیراتور جمع‌آوری و از قفس خارج شد. در کنار این آزمایش تیمار شاهد مشابه آنچه در بالا گفته شد با لاروهای سم‌پاشی نشده در نظر گرفته شد. داده‌های بدست آمده در این آزمایش اثر محلول سمی را روی میزان مرگ و میر لاروهای آفت و درصد ظهور حشرات کامل نشان می‌دهد.

۴-۶- اندازه‌گیری میزان پارازیتیسیم زنبور *D. semiclausum* روی لاروهای شب‌پره پشت الماسی در معرض آفت‌کش قرار گرفته

برای هر آفت‌کش سه گلدان حاوی بوته کلم آلوده به لاروهای سن دو و سه شب‌پره پشت الماسی نظر گرفته شد. برای این کار برگ‌های حاوی لارو سن دو و سه شب پره به روش بدست آمده در بند ۳ و ۱۰ در معرض سم قرار گرفت. دو روز پس از محلول‌پاشی تعداد ۵۰ لارو زنده در معرض سم قرار گرفته جدا و روی بوته‌های کلم سالم منتقل شد. هر تکرار از یک گلدان حاوی بوته کلم آلوده به لاروهای سن دو و سه شب پره پشت الماسی در معرض سم قرار گرفته با ۵۰ لارو تشکیل شد. گلدان‌ها در قفس توری به ابعاد ۶۰ سانتیمتر قرار گرفت. یک روز پس از این، زنبورهای دیادگما به تعداد یک زنبور ماده یک روزه به ازای هر ۱۵ لارو سن دو و سه شب‌پره در قفس رها شد. پس از گذشت ۴۸ ساعت زنبورها از قفس خارج گردید. پس از گذشت دوره لاروی و شفیرگی آفت و زنبور پارازیتوئید، حشرات کامل ظاهر شدند. با آغاز ظهور حشرات کامل به صورت روزانه تعداد پروانه ظاهر شده و حشرات کامل زنبور شمارش شده و با اسپیراتور از قفس جمع‌آوری شد. در کنار این آزمایش تیمار شاهد مشابه آنچه در بالا گفته شد با لاروهای سم‌پاشی شده بدون رها سازی زنبور در بند ۱۰ و لاروهای سم‌پاشی نشده در معرض زنبور قرار گرفته در نظر گرفته شد. داده‌های بدست آمده از این آزمایش برای

تکرار در جعبه‌های به اندازه ۱۰×۲۰ با ارتفاع هفت سانتی‌متر قرار داده شد. پس از آن، شمارش تعداد حشرات کامل زنبور خارج‌شده از مومیایی‌ها روزانه انجام شد. این شمارش تا خروج آخرین زنبور از مومیایی ادامه یافت، در پایان تعداد مومیایی‌هایی که دارای سوراخ خروج حشرات کامل زنبور بودند، شمارش شد. برای هر بار محلول‌پاشی، از گلدان‌های حاوی بوته کلم آلوده به شته مومی کلم و پارازیت‌شده با ۱۵۰ مومیایی برای هر تکرار به‌عنوان شاهد (بدون محلول‌پاشی) در نظر گرفته شد. از داده‌های به‌دست‌آمده از این آزمایش برای محاسبه اثر محلول‌پاشی روی بقاء زنبور و درصد خروج حشرات کامل زنبور از شته‌های مومیایی‌شده در معرض محلول سمی استفاده شد.

۴-۴- جدول زندگی زنبور *D. rapae* به‌دست‌آمده از مومیایی‌های سم‌پاشی‌شده

برای هر آفت‌کش و شاهد، تعداد حداقل ۱۵ جفت از زنبورهای یک‌روزه رهاشده از مومیایی‌های در معرض سم در آزمایش قبل (بند ۸) انتخاب شد. این تعداد از روزی جدا می‌شد که بیشترین خروج زنبور را داشت، تا تمام حشرات کامل مورد آزمایش هم‌سن باشند. به‌صورت روزانه، تعداد دست کم ۵۰ شته مومی کلم از همه مراحل در اختیار هر جفت زنبور قرار می‌گرفت. برای این آزمایش، برگ‌های آلوده به شته‌های مومی کلم (حداقل ۵۰ شته) از بوته اصلی جدا می‌شد و از ناحیه دم‌برگ در آب قرار گرفته و در جعبه‌های به ابعاد ۱۰×۲۰ و ارتفاع هفت سانتی‌متر قرار می‌گرفت و این کار به‌صورت روزانه تکرار و تا مرگ ماده ادامه یافت. حشرات کامل با مخلوط آب و عسل ۲۰ درصد تغذیه می‌شدند. برگ‌های حاوی شته‌های پارازیت‌شده که به‌صورت روزانه در معرض زنبور قرار گرفته بود در جعبه‌های جداگانه به‌صورت بالا تا ظهور حشرات کامل زنبور پارازیتوئید از مومیایی‌ها نگهداری می‌شد. بر این اساس، میزان زادآوری روزانه هر جفت زنبور برای محاسبات جدول زندگی محاسبه شد. به این دلیل که لاروهای زنبور درون بدن پوره آفت مخفی هستند برای اندازه‌گیری میزان زادآوری، حشرات کامل ظاهر شده و مومیایی‌ها شمارش شد. طول دوره پیش از بلوغ از میانگین طول دوره زمان رهاسازی زنبور روی شته قبل از سم‌پاشی تا ظهور حشرات کامل پس از سم‌پاشی که برای آزمایش جدول زندگی استفاده شد، به دست آمد. با شمارش تعداد مومیایی‌ها و مومیایی‌هایی که از آن‌ها زنبور خارج شده بود و دارای سوراخ بود، برآورد میزان زادآوری روزانه هر جفت زنبور تکمیل شد.

۴-۵- اثر محلول‌پاشی روی شب‌پره پشت الماسی

برای هر آفت‌کش سه گلدان حاوی بوته کلم آلوده به لاروهای سن دو و سه شب پره پشت الماسی به عنوان تکرار در نظر گرفته شد.

گرفته، برگ‌های سالم کلم برای تغذیه اضافی لاروها در هر جعبه در نظر گرفته می‌شد. برگ‌های حاوی لارو پارازیت‌شده که به‌صورت روزانه در معرض زنبور قرار گرفته بود در قفس‌های جداگانه تا ظهور حشرات کامل زنبور پارازیتوئید از شفیره‌های زنبور نگهداری می‌شد. بر این اساس، میزان زادآوری روزانه هر جفت زنبور برای محاسبات جدول زندگی محاسبه شد. به این دلیل که لاروهای زنبور درون بدن لارو آفت مخفی هستند، برای اندازه‌گیری میزان زادآوری از شمارش حشرات کامل ظاهرشده از بدن لارو پارازیت‌شده استفاده شد. طول دوره پیش از بلوغ از میانگین طول دوره زمان رهاسازی زنبور روی لاروهای سن دو و سه آفت قبل از سم‌پاشی تا ظهور حشرات کامل پس از سم‌پاشی که برای آزمایش جدول زندگی استفاده شد، به دست آمد.

۵- تجزیه داده‌ها

۵-۱- جدول زندگی

برآورد شاخص‌های رشد جمعیت (به‌عنوان بخشی از مطالعات دموگرافیک) با مطالعه زیست‌شناسی فرد آغاز می‌شود و مهم‌ترین عامل در آن سن فرد می‌باشد. داده‌های بدست آمده بر اساس روش جدول زندگی سن-مرحله دو جنسی که توسط *Chi & Liu*; (1985) ارائه شده بود و بکارگیری نرم افزار *TWOSEX-MSChart* (Chi, 2018) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پارامتر مهم نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) برآورد شد به طوری که سن حشره از روز صفر در نظر گرفته شده است (Goodman, 1982). خطای معیار (SE) پارامترهای یاد شده از طریق روش بوتسترپ^۱ با ۱۰۰۰۰ بار تکرار تخمین زده شد (Huang and Chi, 2012). برای تشکیل جدول زندگی سن-مرحله دو جنسی وقایع روزانه همه افراد از تولد تا مرگ شامل روند رشد و نمو فردی، مرگ و میر و باروری روزانه افراد، ثبت شد. (Chi, 1988).

نرخ بقا ویژه سن (l_x)، باروری ویژه سن (mx)، نرخ بقا ویژه مرحله سنی (S_{xj})، سن، z : مرحله) و پارامترهای جمعیت (r): نرخ ذاتی افزایش جمعیت، λ : نرخ متناهی افزایش جمعیت، R_0 : نرخ خالص تولیدمثل، GRR : نرخ ناخالص تولید مثل و T_0 : میانگین مدت زمان نسل، برطبق روابط مربوطه برآورد شدند (Chi, 1988).

۵-۲- محاسبه کارآیی روش‌های مهار شته مومی کلم

برای تعیین درصد کارآیی اصلاح‌شده در آزمایش آفت‌کش‌ها، با توجه به ناهمگن بودن جمعیت در تیمارهای مختلف و همچنین

محاسبه اثر لاروهای در معرض سم قرار گرفته روی میزان پارازیتسم و خروج حشرات کامل زنبور دیادگما از لاروهای آلوده آفت به سم استفاده شد. بر این اساس درصد مرگ و میر لاروهای آفت در اثر سم‌پاشی و در اثر زنبور *D. semiclausum* جداگانه بدست آمد.

۴-۷- اثر محلول‌پاشی شفیره DBM روی میزان خروج

زنبور *D. semiclausum*

برای هر آفت‌کش سه تکرار در نظر گرفته شد. گلدان‌ها در قفس توری به ابعاد ۶۰ سانتی‌متر قرار گرفت. هر تکرار از یک گلدان حاوی بوته کلم آلوده به لاروهای سن دو و سه شب‌پره پشت الماسی با ۲۰۰ لارو بود. زنبورهای دیادگما به تعداد یک زنبور ماده یک روزه به ازای هر ۱۵ لارو سن دو و سه شب‌پره در قفس رها شد. پس از گذشت ۴۸ ساعت زنبورها از قفس خارج گردید. پس از گذشت دوره لاروی و تشکیل شفیره‌های آفت و زنبور پارازیتوئید بوته‌های کلم حاوی شفیره زنبور در معرض سم قرار گرفت. یک روز پس از سم‌پاشی برگ‌ها و ساقه‌های حاوی شفیره زنبور از بوته اصلی جدا و در جعبه به ابعاد ۲۵*۲۵ و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر قرار گرفت. به ازای هر تکرار تعداد ۵۰ شفیره در معرض سم قرار گرفته، در نظر گرفته شد. به صورت روزانه حشرات کامل خارج شده از شفیرگی شمارش شده و از جعبه خارج شد. بر این اساس اثر شفیره‌های در معرض آفت‌کش قرار گرفته روی خروج زنبور از شفیرگی محاسبه شد. در کنار این آزمایش تیمار شاهد حاوی شفیره‌های زنبور در معرض سم نبوده در نظر گرفته شد. بر این اساس اثر محلول‌پاشی روی درصد خروج حشرات کامل زنبور پارازیتوئید از شفیره‌های آلوده به سم بدست آمد.

۴-۸- جدول زندگی حشرات کامل زنبور پارازیتوئید

دیادگما خارج‌شده از شفیره‌های در معرض سم قرار گرفته

برای هر آفت‌کش و شاهد، تعداد حداقل ۱۵ جفت از زنبورهای یک‌روزه رهاشده از شفیره‌های در معرض سم قرار گرفته بند ۱۲ برای این آزمایش انتخاب شد. برای اینکه تمام حشرات کامل مورد آزمایش هم‌سن باشند این تعداد از روزی جدا می‌شد که بیشترین خروج زنبور را داشت، برای اینکه تمام حشرات کامل مورد آزمایش هم‌سن باشند. به‌صورت روزانه تعداد دست کم ۲۰ لارو سن دو و سه DBM در اختیار هر جفت زنبور قرار می‌گرفت. برای این آزمایش، برگ‌های آلوده به لارو سن دو سه آفت (حداقل ۲۰ لارو) از بوته اصلی جدا می‌شد و از ناحیه دم‌برگ در آب قرار گرفته و در جعبه‌های به ابعاد ۲۰*۲۰ و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر قرار می‌گرفت و داخل هر جعبه یک جفت زنبور یک روزه رها می‌شد. تعویض و جابجایی برگ‌های آلوده به لارو و در معرض زنبور قرار گرفته به‌صورت روزانه تکرار می‌شد و تا مرگ ماده ادامه یافت. حشرات کامل با مخلوط آب و عسل ۲۰ درصد تغذیه می‌شدند. در کنار برگ‌های آلوده به لارو در معرض زنبور قرار

از آفت‌کش موونتو، جمعیت شته رو به افزایش است و نسبت به هفته اول رشد داشته است، اما زمانی که این آفت‌کش همراه با پارازیتوئید استفاده شود، رشد جمعیت شته روی هر بوته کاهش یافته است. نتایج نشان می‌دهد که با گذشت زمان اثر آفت‌کش موونتو کاهش می‌یابد.

آفت‌کش بنویا چه به‌تنهایی و چه در استفاده از پارازیتوئید توانسته است که جمعیت شته را روی هر بوته در هفته دوم پس از استفاده از آفت‌کش به زیر دو عدد برساند. و استفاده از پارازیتوئید تأثیر معنی‌داری بر اثر بنویا نداشته است. در واقع، نتایج نشان می‌دهد که اثر استفاده از آفت‌کش بنویا به‌تنهایی و توأم با پارازیتوئید مربوط به اثر آفت‌کش است و نمی‌توان به زنبور پارازیتوئید نسبت داد.

آفت‌کش کونفیدور به تنهایی اثر کاهنده روی جمعیت شته مومی کلم داشت و این اثر با افزایش زمان بیشتر شد تا اینکه در هفته دوم و سوم جمعیت به زیر ۳ در هر بوته کلم رسید و با بنویا در یک گروه قرار گرفت. اما وقتی که روی بوته‌های آلوده به این آفت‌کش زنبور پارازیتوئید رها شد کاهش جمعیت شته مومی کلم به طور معنی‌داری در مقایسه با کونفیدور به تنهایی کمتر بود و برابر با ۱۰۹/۹ در هفته دوم و ۱۴۱/۱۲ در هفته سوم را نشان داد. این نتایج نشان می‌دهد که زنبور پارازیتوئید بدون هر محدودیتی بلافاصله پارازیتسم شته را شروع کرده و توانسته است به زندگی خود درون بدن شته‌های پارازیت شده ادامه دهد و وجود جمعیت بالای مومیایی ۱۷/۷۲ روی هر بوته را نشان می‌دهد که سم کونفیدور محدود کننده فعالیت زنبور پارازیتوئید نبوده است و بخشی از جمعیت که باقی مانده توسط زنبور مهار شده است. در تیمار کونفیدور همراه با پارازیتوئید در هفته سوم کمی افزایش جمعیت شته بوده است. در کل جمعیت شته در هفته سوم هم از جمعیت اولیه تجاوز نکرده است و ثابت مانده است.

آفت‌کش موونتو به تنهایی و چه همراه پارازیتوئید در هفته نخست جمعیت شته را به شدت کاهش داده است و این کاهش در هفته دوم و سوم نیز برای زمانی که توأم با پارازیتوئید بوده ادامه یافته است. ولی در هفته دوم و سوم در تیمار استفاده از موونتو به تنهایی با افزایش جمعیت شته روبرو هستیم. اما از جمعیت اولیه بیشتر نبوده است. بنابراین قدرت مهارکنندگی آفت‌کش موونتو روی شته مومی کلم در حالت تنهایی در حد دو آفت‌کش دیگر نبود. ولی زمانی که با پارازیتوئید استفاده شده است قدرت مهارکنندگی در حد دیگر تیمار-های مهارکننده بود. و این نشان می‌دهد که آفت‌کش موونتو مهارکننده پارازیتوئید نبوده است و فعالیت زنبور را کاهش نداده است. و مومیایی تشکیل شده کمتر از کونفیدور است ولی نسبت به سم بنویا که صفر است ۲/۷ درصد را نشان داد. استفاده از پارازیتوئید با آفت‌کش کونفیدور و آفت‌کش موونتو و استفاده از پارازیتوئید به تنهایی توأم با ثابت شدن جمعیت شته نسبت به جمعیت اصلی بوده است و افزایش جمعیت در کل نداشته‌ایم اما در هفته‌های دوم و سوم کمی

بررسی و شمارش جمعیت افراد زنده از فرمول هندرسون و تیلتون (معادله ۱) استفاده شد (Talebi-Jahromi, 2011).

$$\% \text{ efficacy} = \left(1 - \frac{Cb \times Ta}{Ca \times Tb} \right) \times 100 \quad (1)$$

که در آن، Ta: جمعیت آفت در تیمارها بعد از اعمال روش کنترل، Tb: جمعیت آفت در تیمارها قبل از اعمال روش کنترل، Ca: جمعیت آفت در شاهد بعد از اعمال روش مهار و Cb: جمعیت آفت در شاهد قبل از اعمال روش کنترل است.

تمامی داده‌ها در برنامه Excel 2020 در قالب طرح‌های مربوطه تنظیم شد و وارد نرم‌افزار SPSS شدند. قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از گزاره STAT نرم‌افزار Minitab 14 انجام شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، محاسبات صورت گرفت. در صورت نرمال نبودن داده‌ها، تصحیح داده‌ها انجام شد. میانگین‌های به‌دست‌آمده از طریق آزمون چند دامنه‌ای توکی و LSD مقایسه شدند. منحنی‌ها و نمودارها به کمک نرم‌افزار Sigmaplot رسم شدند.

نتایج و بحث

اثر محلول‌پاشی روی شته مومی کلم و اثر شته‌های در معرض آفت‌کش روی میزان پارازیتسم زنبور *D. rapae*

اثر روش مهار با استفاده از سه آفت‌کش و زنبور پارازیتوئید *D. rapae* بر جمعیت شته مومی کلم در مقایسه با هم به‌صورت جدا و یا تلفیقی و شاهد در هفته نخست $F_{7,18}=16.65$ $P=0.000$ ، هفته دوم $F_{7,18}=28.47$ $P=0.000$ و هفته سوم $F_{7,18}=16.64$ $P=0.000$ سطح یک درصد معنی‌دار است. این اثر در هفته اول اعمال روش مهار تا هفته سوم که نمونه‌برداری انجام شده است، مشاهده می‌شود (جدول ۱). در هفته نخست، پس از اعمال روش مهار، بیشترین تعداد شته روی هر بوته مربوط به شاهد با ۲۷۸/۱۸ و کمترین مربوط به استفاده از آفت‌کش کونفیدور و بنویا با مقدار ۱۱/۱۹ و ۱۸/۳۵ شته روی هر بوته بود.

استفاده از آفت‌کش کونفیدور، بنویا و ترکیب آن‌ها با زنبور پارازیتوئید و آفت‌کش (جدول ۱) موئتو در گروه کمترین قرار داشت، بدین معنی که کمترین تعداد شته را روی هر بوته داشت. پس از آن، استفاده از کونفیدور همراه با پارازیتوئید بود که توانایی مهار کمتری داشته و جمعیت بیشتری از شته مومی کلم روی بوته باقی ماند (جدول ۱). در هفته دوم پس از اعمال روش کنترل، در شاهد همچنان جمعیت شته روی هر بوته بالاترین حد و رو به افزایش بود. در تیمار استفاده از آفت‌کش بنویا همراه با پارازیتوئید یا بدون آن و تیمار استفاده از آفت‌کش کونفیدور، جمعیت شته روی هر بوته کمتر از دو بود. در این هفته، علی‌رغم وجود جمعیت پایین شته در تیمار استفاده

افزایش جمعیت وجود داشته است.

جدول ۱- اثر محلول‌پاشی روی شته مومی کلم روی میانگین جمعیت شته‌های زنده و مومیایی شده و میزان پارازیتسم زنبور *D. rapae* در زمان‌های مختلف پس از محلول‌پاشی (n=150)

Table 1- Effect of spraying on cabbage aphid on the mean live and mummified aphids population and the amount of parasitism in *D. rapae* wasps at different times after application (n = 150)

Control methods	Time after the spraying (per week)			
	1 st	2 nd	3 rd	
Treatment			Aphid population	Mummy
Benevia	18.35±0.24d*	1.61±0.24c	1.93±0.24c	00.00±0.0d
Confidor	11.19±0.36d	1.53±0.36c	3.8±0.36c	00.00±0.0d
Movento	30.87±0.93dc	119.9±0.93b	140.00±5.77b	00.00±0.0d
Benevia+Parasitoid	22.69±9.76d	0.00±0.0c	00.00±0.0a	00.00±0.0d
Confidor+Parasitoid	88.37±24.11bc	109.02±45.32b	141.12±8.24b	17.72±7.05b
Movento+Parasitoid	28.86±13.87dc	5.24±1.8c	5.27±2.56c	2.72±1.36c
Parasitoid	153.36±31.88b	128.5±25.81b	139.48±10.64b	37.42±8.14a
Control	278.18±44.08a	287.99±0.63a	386.00±0.63a	00.00±0.0d

* حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد برای هر مشخصه است

*Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5%probability level for each characteristic.

مومیایی‌هایی که همراه با خروج حشرات کامل بوده است و چه از نظر حشرات کامل زنبور پارازیتوئید خارج شده، اثر بازدارندگی روی میزان پارازیتسم زنبور نداشته است. بین آفت‌کش بنویا و شاهد مربوط به خودش تفاوت معنی‌دار وجود دارد. بنابراین بنویا اثر بازدارنده داشته است. با نگرش به اینکه بنویا یک آفت‌کش مورد استفاده برای آفات جوئنده و مکند است، به‌ویژه نتایج این پژوهش در بخش‌هایی بعدی نشان می‌دهد که برای آفت‌ جوئنده مانند شب‌پره پشت‌الماسی نیز مؤثر و دارای کارایی بالایی است. در استفاده از این آفت‌کش برای DBM می‌تواند اثرات غیرهدف روی زنبور پارازیتوئید شته مومی کلم داشته باشد.

اثر محلول‌پاشی شته‌های مومیایی شده روی میزان خروج زنبور *D. rapae*

اثر آفت‌کش‌ها زمانی که روی شته‌های مومیایی شده در اثر پارازیتسم *D. rapae* محلول‌پاشی شده است روی میزان خروج حشرات کامل زنبور پارازیتوئید و پوسته‌های سوراخ‌دار باقی‌مانده از پارازیتسم شته مومی کلم نسبت به شاهد و همدیگر $F_{5,15}=5.84$ $P=0.003$ معنی‌دار است (جدول ۲).

بیشترین میزان بازدارندگی زنبور در پارازیتسم شته مومی کلم را آفت‌کش بنویا داشته و کمترین مقدار در آفت‌کش مونتو مشاهده شد. بین آفت‌کش کونفیدور و مونتو و شاهد خودشان تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. به این معنی که این دو آفت‌کش چه از نظر درصد

جدول ۲- اثر آفت‌کش‌هایی مورد استفاده روی درصد تشکیل مومیایی و درصد خروج حشرات کامل زنبور پارازیتوئید *D. rapae* از شته‌های *B. brassicae* مومیایی شده

Table 2- Effects of insecticides used on the percentage of mummification and the percentage of total emerged of *D. rapae* parasitoid from mummified *B. brassicae* aphids

Control methods	Mummy of <i>D. rapae</i> %	Adult of <i>D. rapae</i> %
Benevia + mummy	70.21±7.24c*	22.16±4.68c
Mummy (Benevia control)	95.85±1.36ab	51.04±6.06bc
Confidor + mummy	81.55±7.93bc	69.52±9.77ab
Mummy (confidor control)	93.00±2.63ab	92.35±2.33a
Movento + mummy	99.65±0.35a	86.24±6.15a
Mummy (movento control)	100.00±0.0a	51.04±16.00bc

* حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد برای هر مشخصه است.

*Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5%probability level for each characteristic.

نتایج نشان داد که اثر دو آفت‌کش مونتو و کونفیدور بر مشخصه‌های جدول زندگی دو جنسی دارای اختلاف معنی‌دار است (جدول ۳).

جدول زندگی زنبور *D. rapae* خارج شده از مومیایی محلول‌پاشی شده

بیشترین اثر مربوط به مونتو و کمترین مربوط به کونفیدور است، بین هر دو سم و مهار اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

اثر آفت‌کش مونتو در آزمایش بند ۶ و ۷ کمتر از دو آفت‌کش کونفیدور و بنویا بوده است. همچنین در آزمایش بند ۸ درصد خروج زنبورها از شته‌های مومیایی‌شده بیشتر از دو آفت‌کش دیگر است، اما در این آزمایش، اثر مونتو روی مشخصه‌های جدول زندگی بیشتر از آفت‌کش کونفیدور بود. این نتایج نشان می‌دهد که اثرات ماندگار و

درازدت سم مونتو می‌تواند در خور نگرش باشد. دو آفت‌کش کونفیدور و مونتو به‌ترتیب بازدارنده رشد جمعیت شته مومی کلم بوده و اثرات بازدارندگی آن‌ها روی زنبور پارازیتوئید نیز کمتر از بنویا است. بنابراین به‌عنوان یک حاشیه امن برای زنبور پارازیتوئید محسوب می‌شود. کاربرد مونتو با زنبور پارازیتوئید سبب افزایش کارایی مهار شد (جدول ۷).

جدول ۳- تفاوت میانگین مقدار مشخصه‌های جمعیت در اثر کاربرد دو آفت‌کش روی مومیایی شته مومی کلم پارازیت‌شده با زنبور *D. rapae*
Table 3- Difference between mean values of population parameters due to the use of two pesticides on mummies. Cabbage aphid parasitized *D. rapae*

Insecticides	Population parameters							
	r (d ⁻¹)	γ(d ⁻¹)	R ₀ (eggs.individual ⁻¹)	T (d)	GRR (eggs.individual ⁻¹)	Fecundity (eggs.individual ⁻¹)	Female %	Longevity (d)
Confido	00.14±0.2b	1.15±0.02	9.84±2.86a	15.19±0.2	13.8±2.58a	19.67±0.0a	0.50±0.0	16.58±0.3
Movento	*	5b		0a			4a	5b
Control	00.096±0.0	1.1±0.014	3.05±0.63b	12.08±0.2	4.01±0.72c	7.0±0.59c	0.50±0.0	15.71±0.1
	1c	c		b			8a	9d
	00.16±0.02	1.18±0.02	8.84±1.96a	12.87±0.3	10.71±2.07b	17.4±0.82b	0.50±0.1	16.84±0.2
	a	3a		2b			a	8a

* حروف مشابه در ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد برای هر مشخصه است.

*Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5% probability level for each characteristic.

اثر محلول‌پاشی روی شب‌پره پشت‌الماسی و اثر لاروهای در معرض آفت‌کش قرارگرفته روی میزان پارازیتیسم زنبور *D. semiclausum*

نتایج نشان می‌دهد که اثر آفت‌کش‌های این پژوهش در مهار جمعیت DBM دارای اختلاف معنی‌دار است (جدول ۴). در استفاده از آفت‌کش بنویا چه به‌تنهایی و چه توأم با زنبور دیادگما، جمعیت DBM به‌ترتیب صفر تا ۶/۹ درصد بود و مرگ‌ومیر ۹۳/۱ تا ۱۰۰ درصد ایجاد کرده است و پیش از اینکه زنبور پارازیتوئید فعالیتی انجام دهد موجب مرگ لاروهای آلوده به آفت‌کش شده است.

نتایج این پژوهش نشان داد که گیاهان در معرض آفت‌کش بنویا قرار گرفته بیش از یک ماه سالم بوده و تخم‌گذاری آفت DBM روی آن‌ها انجام نشد. بنابراین برای حفاظت گیاه کلم از آفت DBM بنویا بازدارنده مناسبی است. مرگ و میر ایجاد شده به وسیله آفت‌کش مونتو و کونفیدور روی DBM زمانی که به‌تنهایی استفاده شد به ترتیب ۰/۷۷ و ۱۰/۱۹ درصد بود (جدول ۴)؛ بنابراین آفت‌کش کونفیدور بیشتر از مونتو سبب مرگ و میر لاروهای آفت شد. مونتو یک آفت‌کش کنترل‌کننده مراحل پورگی آفات مکنده معرفی شده است که با مهار آنزیم استیل کولین کربوکسیلاز بیوستنز چربی‌ها را مختل می‌کند و با تأثیر بر سیستم عصبی باعث مرگ سریع حشره حتی در غلظت‌های پایین می‌شوند مونتو دارای قابلیت‌های قابل

توجهی جهت کنترل حشرات مکنده و به‌ویژه پسیل معمولی پسته است، لذا توصیه می‌شود تا با تنظیم روشهای کاربرد و با در نظر گرفتن زمان مناسب برای مصرف آن تا حد امکان به اثر انتخابی دست یافت (Erfani et al. 2022). به همین دلیل روی بید کلم که یک آفت چونده است تأثیر کمی داشته است و می‌تواند یکی از دلایل کم بودن اثر آن روی آفت بید کلم باشد. زمانی که لاروهای سن دو و سه DBM که در معرض این دو آفت‌کش قرار گرفته‌اند در معرض زنبور دیادگما قرار گرفتند مرگ و میر آفت DBM به ترتیب ۹۹/۰۸ و ۴۳/۴۲ درصد بود. نتایج نشان می‌دهد که مونتو روی فعالیت پارازیتیسمی زنبور دیادگما اثر منفی نداشته است و نسبت به شاهد یعنی لاروهای که در معرض سم قرار نگرفته و در معرض دیادگما قرار گرفته است اختلاف معنی‌دار ندارد. اگر چه در اثر فعالیت پارازیتیسم زنبور دیادگما روی لاروهای سن دو و سه که در معرض آفت‌کش کونفیدور قرار گرفته مرگ و میر ۴۳/۴ درصدی ایجاد شده است ولی نسبت به شاهد ۹۸/۶۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارد و نشان می‌دهد که این آفت‌کش اثر بازدارندگی روی زنبور داشته است. بیشترین میزان پارازیتیسم زنبور دیادگما روی لاروهای سن دو و سه DBM آلوده به مونتو و سپس کونفیدور بود و کمترین اثر مستقیم آفت‌کش روی DBM مربوط به مونتو بود. آفت‌کش کونفیدور برای حشرات مکنده پیشنهاد شده است. زمانی که این آفت‌کش برای مبارزه با شته مومی کلم استفاده شود می‌تواند اثرات غیر هدف داشته

و میزان پارازیتسم زنبور دیادگما را کاهش دهد (جدول ۴).

جدول ۴- اثر محلول‌پاشی روی درصد ظهور حشرات کامل شب‌پره پشت الماسی و اثر لاروهای در معرض آفت‌کش قرارگرفته روی درصد پارازیتسم زنبور *D. semiclausum*

Figure 4- Effect of spraying on the percentage of emergence of adults in the DBM and the effect of exposure larvae on pesticide residues on the percentage of parasitism of the *D. semiclausum*

Control methods	Sum adult of <i>Plutella</i> %	Total mortality of <i>Plutella</i> %	Mortality of <i>Plutella</i> sprayed %	Sum adult of <i>D. semiclausum</i>
Plutella+Benevia+Diadegma	6.9±3.9d	93.1±3.9a	91.7±3.2b	1.33±0.66d
Plutella+Benevia	0.0±0.0d	100.00±0.00a	100±0.0a	00.00±0.0e
Plutella+Confidor+Diadegma	56.57±0.93c	43.42±0.93b	3.71±0.77e	39.71±0.0c
Plutella+Confidor	89.8±0.08b	10.19±0.63c	10.19±0.63d	00.00±0.0e
Plutella+Movento+Diadegma	0.91±0.88d	99.08±0.81a	34.21±0.6c	64.77±0.14b
Plutella+Movento	99.22±0.39a	0.77±0.39c	0.77±0.39e	00.00±0.0e
Plutella+Diadegma	4.31±0.11d	95.68±0.32a	0.22±0.24e	95.45±0.05a

* حروف مشابه در ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد برای هر مشخصه است

*Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5%probability level for each characteristic

کش کونفیدور نسبت به شاهد اثرات بازدارنده معنی‌دار روی خروج زنبور از شفیرگی داشته است و به عنوان یک اثر غیر هدف روی دیادگما محسوب می‌شود. آفت‌کش بنویا نیز میزان خروج زنبور را نسبت به شاهد مقدار زیادی کاهش داده است اما امتیاز این آفت‌کش این است که به تنهایی جمعیت DBM را کنترل می‌کند و نیازی به کاربرد توام آفت‌کش با زنبور پارازیتوید نیست.

نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که اثر آفت‌کش‌ها روی درصد خروج حشرات کامل زنبور دیادگما از شفیره‌های در معرض آفت‌کش قرار گرفته $F_{5,18}=4.399$ $P=0.009$ معنی‌دار است (جدول ۵). بیشترین درصد خروج زنبور مربوط به آفت‌کش موونتو است و با شاهد اختلاف معنی‌دار ندارد. بنابراین هم‌چون آزمایش پیشین با کاربرد موونتو روی آفت DBM در زمانی که زنبور دیادگما در مرحله شفیرگی است اثرات بازدارنده روی درصد خروج زنبورها ندارد. آفت-

جدول ۵- اثر محلول‌پاشی شفیره زنبور روی میزان خروج زنبور دیادگما از شفیرگی

Figure 5- Effect of spraying on the of bee pupae on the exit rate of *Diadegma* bees from pupation

Isecticides	Adults of <i>D. semiclausum</i> %
Diadegma +benevia	32.14±11.72c*
Diadegma (benevia control)	59.36±11.05ab
Diadegma +confidor	58.04±7.27ab
Diadegma (confidor control)	81.39±7.23a
Diadegma +movento	76.24±8.92a
Diadegma (movento control)	81.39±7.23a

* حروف مشابه در ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد برای هر مشخصه است

*Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5%probability level for each characteristic.

از سه آفت‌کش مورد استفاده نسبت به شاهد نه تنها اثر بازدارندگی نداشته‌اند بلکه سبب افزایش زادآوری شده‌اند. در این میان آفت‌کش کونفیدور بیشترین اثر بازدارندگی را داشته است. بحث:

نتایج پژوهش با نگرش به آزمایش‌های بالا نشان می‌دهد که آفت‌کش کونفیدور بر فعالیت پارازیتسم زنبور دیادگما اثر بازدارندگی داشته است و یک جایگاه غیر هدف دارد و این پارازیتوید نسبت به آفت‌کش موونتو دارای ایمنی بوده است. آفت‌کش موونتو برای کنترل آفت DBM دارای کارایی مناسب نیست.

جدول زندگی زنبور *D. semiclausum* خارج‌شده از شفیره-

های در معرض سم قرارگرفته

اثر آفت‌کش‌های این پژوهش روی پارامترهای جدول زندگی زنبور پارازیتوید دیادگما در (جدول ۶) آمده است. نتایج نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌دار بین تیمارها وجود دارد. بیشترین میزان عددی پارامترهای افزایش جمعیت، مربوط به حشرات کامل خارج شده از شفیره‌هایی است که در معرض موونتو قرار گرفته‌اند و با شاهد اختلاف معنی‌دار دارد و کمترین مقدار مربوط به تیمار کونفیدور است که با شاهد اختلاف معنی‌دار ندارد. نتایج نشان می‌دهد که هیچ کدام

جدول ۶- تفاوت میانگین مقدار مشخصه‌های جمعیت زنبور *D. semiclausum* خارج‌شده از شفیره‌های آلوده به سه آفت‌کش در فعالیت پارازیتسم روی لاروهای DBM

Table 6- Difference between mean of population parameters of *D. semiclausum* from pupae infected with three pesticides in activity of parasitism on DBM larvae

Insecticides	Population parameters						
	r (d ⁻¹)	γ(d ⁻¹)	R ₀ (eggs.individual ⁻¹)	T (d)	GRR (eggs.individual ⁻¹)	Fecundity (eggs.individual ⁻¹)	Longevity (d)
Benevia	0.13±0.015 b*	1.14±0.17 b	9.19±2.03b	15.99±0.3 d	9.85±2.05b	18.48±0.0b	22.15±0.1 8c
Confido	00.11±0.01 c	1.11±0.01 c	5.13±0.97c	14.69±0.2 5e	5.51±0.97e	8.83.2±0.63d	20.42±0.2 6d
Movento	00.16±0.01 3a	1.17±0.01 6a	12.03±2.71a	15.11±0.4 2c	14.64±3.05a	21.2±3.28a	19.78±0.4 6e
Control	00.10±0.01 2c	1.11±0.01 4c	7.66±1.67b	18.34±0.2 8a	7.82±1.72c	17.07±1.55b	24.75±0.2 0a

* حروف مشابه در ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد برای هر مشخصه است

*Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5%probability level for each characteristic.

پارازیتوئید و استفاده توام کونفیدور و زنبور پارازیتوئید است. از آنجایی که استفاده از بنویا و کونفیدور به تنهایی و توام با پارازیتوئید دارای اختلاف معنی‌داری نیست؛ بنابراین استفاده اضافی از پارازیتوئید با این دو آفت‌کش توجیه ندارد. اما استفاده از آفت‌کش موونتو باید توام با پارازیتوئید باشد و این ترکیب برای طبیعت ایمن است.

کارایی روش‌های مختلف مهار شته مومی کلم

کارایی روش‌های کنترل شته مومی کلم در (جدول ۷) آمده است. نتایج نشان می‌دهد که روش‌های کنترل این آفت $F_{7,70}=64.56$ $P=0.000$ دارای اختلاف معنی‌دار است. بیشترین میزان کارایی مربوط به آفت‌کش کونفیدور و بنویا و کمترین مربوط به کاربرد زنبور

جدول ۷- درصد کارایی روش‌های مختلف مهار شته مومی کلم با استفاده از سه آفت‌کش و زنبور پارازیتوئید *D. rapae*

Table 7- Efficiency of different methods of control of cabbage aphid using three pesticides and parasitoid wasp *D. rapae*

Control method	Efficiency
Aphid +Benevia	97.34±1.09a*
Aphid +Confidor	98.18±0.61a
Aphid +Movento	70.18±4.66b
Aphid +Benevia+ Parasitoid	97.00±1.98a
Aphid +Confidor +Parasitoid	63.45±8.9bc
Aphid +Movento+ Parasitoid	95.67±1.67a
Aphid +Parasitoid	53.85±5.27c
Control	0.0±0.0d

* حروف مشابه در ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد برای هر مشخصه است

*Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5%probability level for each characteristic.

(Bishop, 1996; Martinou *et al.*, 2014; 1990; افزون بر این اثرات مثبت آفت‌کش‌ها شامل افزایش باروری (Fleshner and Rumschlag *et al.*, 2019; 1957; Desneux *et al.*, 2007)، افزایش فعالیت شکارگر و پارازیتوئید (Desneux *et al.*, 2007)، افزایش تحرک و کاهش دوره رشد (Lawrence *et al.*, Ndakidemi *et al.*, 2016; 1973) هستند. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از آفت‌کش بنویا به تنهایی و توام با پارازیتوئید توانسته است آفت‌بید کلم را کنترل کند و این اثر مربوط به آفت‌کش است و نمی‌توان به زنبور

بحث و نتیجه گیری کلی

به دلیل وجود همانندی فیزیولوژیک بین بندپایان آفت و دشمنان طبیعی آنها، آفت‌کش‌ها اغلب باعث مرگ و میر در هر دو گروه از این موجودات می‌شوند (Croft, 1990; Desneux *et al.*, 2007; Sánchez-Bayo, 2021). عوامل متعددی بر حساسیت دشمنان طبیعی نسبت به آفت‌کش‌ها تأثیر می‌گذارد که از این میان ویژگی‌های ذاتی دشمنان طبیعی، خصوصیات میزبان یا شکار، ویژگی‌های محیطی و نیز مشخصات آفت‌کش‌ها از اهمیت بیشتری برخوردارند (Croft,

پارازیتوئید نسبت داد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که آفت‌کش موونتو و کونفیدور مهارکننده پارازیتوئید شته مومی کلم نبوده است و فعالیت زنبور را کاهش نداده است. آفت‌کش موونتو با ۲۵ درصد تلفات اثر سوء بسیار کمتری روی پارامترهای زیستی کفشدوزک *Hippodamia variegata* (Goeze) به عنوان دشمن طبیعی پسیل معمولی پسته داشته است (Erfani et al 2022). حشره کش اسپروتترامات روی زنبور پارازیتوئید *Lysiphlebus fabarum* (Marshall) رو شته سیاه باقلا *Aphis fabae* تا سه برابر غلظت مزرعه ای ۵۰۰ پی پی ام حداکثر ۱۶ درصد تلفات ایجاد کرد (Aminijam and Kbiri-Dehkordi, 2018). لذا استفاده از آفت‌کش موونتو برای مهار سه آفت شته مومی کلم، پسیل معمولی پسته و شته سیاه باقلا انتخاب ایمنی برای دشمنان طبیعی مطالعه شده این آفات بوده است. این در حالی است که در بررسی تأثیر آفت‌کش کونفیدور روی شکارگر *Menochilus sexmaculatus* Fabricius که از پوره‌های پسیل معمولی پسته آلوده به آفت‌کش تغذیه می‌کرد، ۱۰۰ درصد مرگ و میر مشاهده شد (Nazari et al., 2016). در مطالعه دیگر گزارش شد که کونفیدور و آبامکتین باعث کاهش طول عمر و بقای حشرات ماده کفشدوزک *Cryptolaemus* Mulsant *montrouzieri* شدند (Ahmadi et al., 2010). تیمار تخم‌های کفشدوزک *M. sexmaculatus* با موونتو موجب کاهش معنی‌دار درصد تفریح تخم‌ها و درصد خروج حشرات کامل از شفیره و افزایش معنی‌دار طول دوره قبل از تخم‌ریزی و طول دوره لاروی شد (Azod et al., 2019). که با نتایج پژوهش جاری روی زنبور پارازیتوئید شته مومی کلم و پژوهش عرفانی و همکاران (Erfani et al 2022) روی یک شکارگر آفت پسیل معمولی پسته و امینی جم و کبیری دهکردی (Aminijam and Kbiri-Dehkordi, 2018) روی زنبور پارازیتوئید اختلاف وجود دارد. در مطالعات روگنو و همکاران (Rugno et al., 2024) نیز مشخص شد که اثرات منفی اسپروتترامات بر پارازیتیسیم زنبور *Tamarixia radiata* روی پوره های پسیل مرکبات *Diaphorina citri* کمتر از حشره کش‌های دیگر از گروه‌های فسفره آلی، پائرتروئید و نئونیکوتنوئید بوده است. این نتایج متفاوت نشان می‌دهد که آفات مختلف و دشمنان طبیعی آنها میتوانند واکنش‌های متفاوت مثبت یا منفی نسبت به یک آفت‌کش نشان دهند و در مدیریت هر آفت بایستی آن مجموعه را به عنوان یک اکوسیستم در نظر گرفته و بررسی‌های همه جانبه زیست بومی را مد نظر قرار دهیم و اینجاست که بررسی اثرات غیر هدف آفت‌کش‌ها اهمیت پیدا میکند. اثر یک آفت‌کش در تیمار امیداکلوپراید درصد ظهور حشرات کامل زنبور کمتر بود امکان دارد این امر به علت نفوذ حشره کش‌ها از منافذ پوستی پوره‌های پسیل به کوتیکول بدن زنبور باشد که منجر به مرگ پارازیتوئید داخل بدن میزبان شده است. استفاده از پارازیتوئید با آفت‌کش‌های کونفیدور و موونتو و استفاده از

پارازیتوئید به تنهایی منجر به ثابت ماندن جمعیت شته نسبت به جمعیت اصلی بوده است لذا افزایش جمعیتی صورت نگرفته است اما در هفته‌های دوم و سوم با افزایش اندک جمعیت مواجه بودیم. نتایج این پژوهش را می‌توان در سطح کاربردی چنین بیان نمود که هم‌زمان با حضور آفت دشمنان طبیعی این آفت نیز شروع به فعالیت می‌کنند. در این بازه زمانی نوع آفت‌کش مصرفی نقش بسزایی در حفاظت و حمایت از جمعیت دشمنان طبیعی به ویژه زنبورهای پارازیتوئید را دارد. این در حالی است که در پژوهش حاضر بیشترین میزان بازدارندگی زنبور در پارازیتیسیم شته مومی کلم را آفت‌کش بنویا داشته و کمترین مقدار در آفت‌کش موونتو و کونفیدور مشاهده شد. بدین مفهوم که این دو آفت‌کش چه از نظر درصد مومیایی‌هایی که همراه با خروج حشرات کامل بوده است و چه از نظر حشرات کامل زنبور پارازیتوئید خارج شده، اثر بازدارندگی روی میزان پارازیتیسیم زنبور نداشته است. بین آفت‌کش بنویا و شاهد تفاوت معنی‌دار وجود دارد. بنابراین بنویا اثر بازدارنده داشته است. با نگرش به اینکه بنویا یک آفت‌کش مورد استفاده برای آفات جونده و مکنده است. نتایج این پژوهش نشان داد که این آفت‌کش برای بید کلم نیز موثر و دارای کارایی بالایی است. استفاده از این آفت‌کش برای مبارزه با بید کلم روی گیاه کلم می‌تواند روی زنبور پارازیتوئید شته مومی کلم اثر داشته باشد. بدست آمدن این نتیجه از اهداف اصلی این پژوهش است و به عنوان اثر غیر هدف تعریف شده است. اثر آفت‌کش موونتو روی پارامترهای جدول زندگی دشمن طبیعی بیشتر از آفت‌کش کونفیدور بود. این نتایج نشان می‌دهد که آفت‌کش موونتو اثرات ماندگار و دراز مدت دارد. دو آفت‌کش کونفیدور و موونتو به ترتیب بازدارنده رشد جمعیت شته مومی کلم بوده و اثرات بازدارندگی آن‌ها روی زنبور پارازیتوئید نیز کمتر از بنویا است. بنابراین به عنوان یک حاشیه امن برای زنبور پارازیتوئید محسوب می‌شود. کاربرد موونتو با زنبور پارازیتوئید سبب افزایش کارایی کنترل شد (جدول ۷).

در پژوهشی دیگر سموم گیاهی پالیزین به تنهایی و همراه با روغن گیاهی سیترال پلاس در کنترل شته مومی کلم حدود ۶۱ درصد تلفات سه روز پس از محلول پاشی ایجاد کرده و فراورده نیم ازال کارایی چندانی در کنترل نداشته است (Seyedi-Sahebani, et al., 2021). استفاده از ترکیب موونتو و عصاره متانولی شوید ۹۱/۲۶ در صد تلفات روی جمعیت پوره‌های پسیل پسته ایجاد کرده است (Karamoozian, et al., 2021). استفاده از کونفیدور با دوز مصرف نیم لیتر در هکتار روی شته مومی کلم در کلزا ۳۵ درصد تلفات ایجاد کرده است (Karimzadeh, et al., 2025). موونتو هم‌چنین توانسته است تحمل سرمایی پوره‌های سن پنجم پسیل پسته به عنوان یک آفت مکنده را کاهش دهد (Dehshiri, et al. 2023). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که آفت‌کش کونفیدور بر فعالیت پارازیتیسیم زنبور دیادگما اثر بازدارندگی داشته است در حالی که روی زنبور

راهکاری مؤثر برای مدیریت پایدار آفات به‌ویژه بید کلم مطرح شده است

سپاسگزاری

این پژوهش با کمک دانشگاه آدلاید کشور استرالیا در طول فرصت مطالعاتی و راهنمایی و مشاورت دکتر مریم یزدانی و مرکز تحقیقات کشاورزی جنوب استرالیا^۱ حمایت مالی و آزمایشگاهی و معنوی شده است که سپاسگزاری می‌شود. از دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان به‌خاطر پشتیبانی مالی و اداری برای این فرصت مطالعاتی سپاسگزاری می‌شود.

پارازیتوئید شته مومی کلم اثر بازدارنده نداشته است و این نشان می‌دهد که کاربرد آفت کش مونو برای کنترل شته مومی کلم می‌تواند اثر بازدارنده روی زنبور پارازیتوئید بید کلم داشته باشد و به عنوان یک اثر زیانبار غیر هدف برای آن محسوب می‌شود. آفت کش مونو برای کنترل آفت DBM دارای کارایی مناسب نیست. برای ایجاد یک رویکرد جامع و پایدار در کنترل بید کلم، استفاده از مدیریت یکپارچه آفات (IPM) امری ضروری و مؤثر است. این رویکرد شامل ترکیب چندین روش مختلف کنترل آفات، از جمله کنترل زیستی، تکنیک‌های زراعی، حشره‌کش‌های گیاهی، مقاومت میزبان و استفاده هدفمند از ترکیبات شیمیایی می‌باشد. (Paudel et al., 2022)

استفاده از IPM به‌ویژه در مواجهه با چالش‌هایی نظیر مقاومت به حشره‌کش‌ها و سوءاستفاده مکرر از این ترکیبات شیمیایی، به‌عنوان

References

1. Abro, G.H., Soomro, R.A., & Sayed, T.S. (1992). Biology and behavior at *Plutella xylostella*. *Pakistan Journal of Zoology*, 24, 7-10.
2. Afiunizadeh, M., Karimzadeh, J., & Shojai, M. (2011). Naturally-occurring parasitism of diamondback moth in central Iran. The 6th International Workshop on Management of the Diamondback Moth and Other Crucifer Insect Pests, 21-25 March, Thailand, pp. 93-96.
3. Afiunizadeh, M., & Karimzadeh, J. (2015). Assessment of naturally-occurring parasitism of diamondback moth in field using recruitment method. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 48, 43-49. <https://doi.org/10.1080/03235408.2014.882113>
4. Ahmadi, F., Ghadamyari, M., and Khani¹, A. (2010). Biochemical effects of abamectin and imidacloprid on *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Col., Coccinellidae). *19th Iranian Plant Protection Congress*, 31 July-3 August 2010, 193p
5. Ahmad M., & Akhtar S. (2013). Development of insecticide resistance in field populations of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) in Pakistan. *Journal of Economic Entomology*, 106, 954-958. <https://doi.org/10.1603/EC12233>
6. Ahmad, S.K., Ali, A. & Rizvi, P.Q. (2008). Influence of varying temperature on the development and fertility of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) on cabbage, *Asian Journal of Agricultural Research*, 2, 25-31. <https://doi.org/10.3923/ajar.2008.25.31>
7. Amini Jam, N. and Kabiri Dehkordi, S. (2018). Effects of spirotetramat, acetamiprid, pirimicarb and flonicamid on parasitoid wasp, *Lysiphlebus fabarum* (Marshall) (Hym.: Braconidae) under laboratory conditions N. *Plant Pest Research*, 8(2), 67-81
8. Azod F, Shahidi-Noghabi Sh, Mahdian K. (2019). The impact of the pesticides abamectin and spirotetramat on biological parameters of the coccinellid predator *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius) via egg exposure. *Pistachio and Health Journal*. 2 (1), 62-70.
9. Baidoo P.K., & Adam J.I. (2012). The effects of extracts of *Lantana camara* (L.) and *Azadirachta indica* (A. Juss) on the population dynamics of *Plutella xylostella*, *Brevicoryne brassicae* and *Hellula undalis* on cabbage. *Sustainable Agriculture Research*, 1, 229-234. <https://doi.org/10.5539/sar.v1n2p229>
10. Biever, K.D. (1996). Development and use of a biological control-IPM system for insect pests of crucifers. In: Sivapragasam, A., Loke, W. H., Hussan, A. K. and Lim, G. S. (Eds), *The management of diamondback moth and other crucifer pests. Proceedings of the Third International Workshop*, 29 October - 1 November, Kuala Lumpur, Malaysia, Malaysian Agricultural Research and Development Institute (MARDI), 257-261.
11. Bishop, B. (1996). We should develop and release pesticide resistant natural enemies. *American Entomologist*, 3, 167-168.
12. Blackman, R.L., & Eastop, V.F. (1984). *Aphids on the World's Crops*. An identification and information guide. Published by John Wiley & Sons, Ltd .30 pages
13. Carter, C.C., & Sorensen, K.A. (2013). Insect and related pests of vegetables. Cabbage and turnip aphid. Center for Integrated Pest Management. North Carolina State University, Raleigh, N.C.
14. Chi, H. (1988). Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rate among individuals. *Environmental Entomology*, 17, 26-34. <https://doi.org/10.1093/ee/17.1.26>
15. Chi, H. (1990). Timing of Control Based on the Stage Structure of Pest Populations: A Simulation Approach.

- Journal of Economic Entomology*, 83, 1143-1150. <https://doi.org/10.1093/jee/83.4.1143>
16. Chi, H. (2018). TWSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. <http://140.120.197.173/Ecology/Download/Twosex-MSChart.zip>.
17. Chi, H., & H., Liu. (1985). Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, 24, 225-240.
18. Croft, B. A. (1990). Arthropod biological control agents and pesticides. John Wiley and Sons Inc., New York, 723 p. <https://doi.org/10.1017/s000748530005080x>
19. Dehshiri, A., Izadi, H. and Alizadeh, A. (2023). Toxicity and Physiological Effects of Spirotetramat, Flonicamid, and Lambda-cyhalothrin against Fifth Instar Nymphs of *Agonoscaena pistaciae*. *Journal of Pistachio Science and Technology*, 8, 14, 1-16
20. Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J. M. (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual review of entomology*, 52, 81–106. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>
21. Diaz-Gomez, O., Rodriguez, J., Shelton, A.M., Lagunes A., & Bujanos, R. (2000). Susceptibility of *Plutella xylostella* (Lep.: Plutellidae) population in Mexico to commercial formulations of *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Economic Entomology*, 93, 963-970. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.3.963>
22. Erfani Nategh M., Mahdian, K. and Izadi, H. (2022) Effects of acetamiprid, spirotetramat and sulfur on biological parameters of the predatory Coccinellid *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae). *Journal of Pistachio Science and Technology*, 8, 14, 51-81
23. Fleshner, C. A., & Scriven, G. T. (1957). Effect of soil-type and DDT on ovipositional responses of *Chrysopa californica* on lemon. *Journal of Economic Entomology*, 50(2), 221-222. <https://doi.org/10.1093/jee/50.2.221a>
24. Furlong, M.J., Wright, D.J. & Dosdall, L. M. (2013). Diamondback Moth Ecology and Management: Problems, Progress, and Prospects. *Annual Review of Entomology*, 58, 517-541. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153605>
25. Gabrys, B.J., Gadomski, H.J., Klukowski, Z., Pickett, J.A., Sobota, G.T., Wadhams, L.J., & Woodcock, C.M. (1997). Sex pheromone of cabbage aphid *Brevicoryne brassicae*: identification and field trapping of male aphids and parasitoids. *Journal of Chemical Ecology*, 23, 1881-1890. <https://doi.org/10.1023/b:joec.0000006457.28372.48>
26. Gols, R. & Harvey, J.A. (2009). The effect of host developmental stage at parasitism on sex-related size differentiation in a larval endoparasitoid. *Ecological Entomology*, 34, 755-762. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2009.01130.x>
27. Goodman, D. 1982. Optimal life histories, optimal notation, and the value of reproductive value. *American Naturalist*, 119, 803–823. <https://doi.org/10.1086/283956>
28. Harcourt, D. G. 1969. The development and use of life tables in the study of natural insect populations. *Annual Review of Entomology*, 14, 175–196.
29. Hafez, H. 1961. Seasonal fluctuations of population density of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.), in the Netherlands, and the role of its parasite, *Diaeretiella rapae* (M. Intosh). *Tij Plantenziekten* 67: 445-548
30. Harcourt, D.G. (1960). Biology of the diamondback moth, *Plutella maculipennis* (Curtis) (Lepidoptera: Plutellidae), in eastern Ontario. III. Natural enemies. *Canadian Entomologist* 92, 419–428.
31. Harcourt, D.G. (1963). Major mortality factors in the population dynamics of the diamondback moth, *Plutella maculipennis* (Curtis) (Lepidoptera: Plutellidae). In: Population dynamics of agricultural and forest pests. LeRoux, E. J. (eds.). *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 95(32), 55–66.
32. Harcourt, D.G. (1986). Population dynamics of the diamondback moth in southern Ontario. In: Talekar, N. S. and Griggs T. D. (eds.). *Diamondback moth management*. Proceedings of the First International Workshop, Tainan, Taiwan, 11–15 March 1985. Shanhua, Taiwan. The Asian Vegetable Research and Development Center. <https://doi.org/10.1017/s0007485300041900>
33. Hardy, J.E. (1938). *Plutella maculipennis* (Curtis), its natural and biological control in England. *Bulletin of Entomological Research*, 29, 343-372. <https://doi.org/10.1017/s0007485300026274>
34. Hill, T.A. & Foster, R.E. (2000). Effect of Insecticides on the Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae) and Its Parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Journal of Economic Entomology*, 93(3), 763-768. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.3.763>
35. Hines, R.L., & Hutchison, W.D. (2013). Cabbage aphids. VegEdge, vegetable IPM resource for the Midwest. University of Minnesota, Minneapolis, MN. (2 October 2013)
36. Huang, Y, Chi, H. 2012. Age-stage, two-sex life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) with a discussion on the problem of applying female age-specific life tables to insect populations. *Insect Science*, 19, 263–273. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2011.01424.x>
37. Karamoozian, M., Pahlavan Yali, M. and Ahmadi K. (2021) Combination effect of spirotetramate and biological and non-biological compounds on some chemical attributes of pistachio leaves and *Agonoscaena pistacia* population. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 10(3), 51-61
38. Karimzadeh, R., Tabatabaie, E., Hejazi, M and Behmaram, S. (2025) Using drone for chemical control of cabbage

- aphid, *Brevicoryne brassicae* L. (Homoptera: Aphididae) in canola fields. *Journal of Entomological Society of Iran*, 45 (1), 75–85. <https://doi.org/10.61186/jesi.45.1.6>
39. Kfir, R. (1998). Origin of the Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Annals of Entomological Society of America*, 91, 164-167. <https://doi.org/10.1093/aesa/91.2.164>
40. Khatri, D., Wang, Q. & He, X.Z. (2008). Development and reproduction of *Diadegma semiclausum* (Hymenoptera: Ichneumonidae) on diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *New Zealand Plant Protection*, 61, 322-327.
41. Kibrom, G, Kebede, K, Weldehaweria, G, Dejen, G, Mekonen, S, Gebreegziabher & E. Nagappan R. (2012). Field evaluation of aqueous extract of *Melia azedarach* Linn. seeds against cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* Linn. (Homoptera: Aphididae), and its predator *Coccinella septempunctata* Linn. (Coleoptera: Coccinellidae). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 45, 1273-1279. <https://doi.org/10.1080/03235408.2012.673260>
42. Lawrence, P. O., Kerr, S. H., & Whitcomb, W. H. (1973). *Chrysopa rufilabris*. Effect of selected pesticides on duration of third larval stadium, pupa stage and adult survival. *Environmental Entomology*, 2(3), 477-480. <https://doi.org/10.1093/ee/2.3.477>
43. Lee, J.C., Carrillo, M.A., & Hutchison, W.D. (2004). *Diadegma insulare*. Department of Entomology, University of Minnesota. <https://vegedge.umn.edu/beneficial-insect-profiles/diadegma-insulare> . <https://doi.org/10.1079/cabicompndium.18665>
44. Lee, J.C., Heimpel, G.E., & Leibe, G.L. (2004). Comparing floral nectar and aphid honeydew diets on the longevity and nutrient levels of a parasitoid wasp. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 111(3), 189–199.
45. Lim, G.S. (1986). Biological control of diamondback moth. In: *Diamondback moth management*. Talekar, N. S. and T. D. Griggs (eds.). Proceedings of the First International Workshop, Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC), Shanhua, Taiwan. pp. 159-171.
46. Lim, G.S., Sivapragasan, A., & Ruwaida, M. (1986). Impact assessment of *Apanteles plutellae* on diamondback moth using an insecticide-check method. In: Talekar, N. S. and Griggs T. D., (eds.) *Diamondback moth management*. Proceedings, First International Workshop at Asian Vegetable Research and Development Center, 11-15 March 1985, Shanhua, Taiwan. pp. 195-204. <https://doi.org/10.59852/tpe-a502v17i2>
47. Liu, M.Y., Tzeng, Y.J., & Sun, C.N. (1982). Insecticide resistance in the diamondback moth. *Journal of Economic Entomology*, 75, 153-155. <https://doi.org/10.1093/jee/75.1.153>
48. Liu, T.X., Sparks, A. N. J. R., & Chen, W. (2003). Toxicity, persistence and efficacy of indoxacarb and two other insecticides on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) immatures in cabbage. *International Journal of Pest Management*, 49, 235-241. <https://doi.org/10.1080/0967087031000101070>
49. Liu, Y.B., Tabashnik, B.E., Moar, W.J. & Smith, R.A. (1998). Synergism between *Bacillus thuringiensis* Spores & Toxins against Resistant and susceptible Diamondback moth (*Plutella xylostella*). *Applied and Environmental Microbiology*, 64(4), 1385-1389. <https://doi.org/10.1128/aem.64.4.1385-1389.1998>
50. Marsh, H.O. (1917). Life history of *Plutella maculipennis*, the diamondback moth. *Journal of Agriculture Research*, 10, 1-10.
51. Martinou A. F., Seraphides, N., & Stavrinides, M.C. (2014) Lethal and behavioral effects of pesticides on the insect predator *Macrolophus pygmaeus*. *Chemosphere*, 96, 167-173. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.024>
52. Maynard, D.N. & Hochmuth, G.J. (2007). *Knott's handbook for vegetable growers*. John Wiley & Sons, Inc, 1-53pp.
53. Mekuaninte, B., Yemataw, A., Alemseged, T., & Nagappan, R. (2011). Efficacy of *Melia azadarach* and *Mentha piperata* plant extracts against cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae). *World Applied Science Journal*, 12, 2150-2154. <https://doi.org/10.4314/sinet.v44i1.3>
54. Natwick, E.T. (2009). Cole crops: Cabbage aphid. UC Pest Management Guidelines. *University of California Agriculture & Natural Resources*. (5 September 2019)
55. Nazari, M., Shahidi Noghabi, S., & Mahdian, K. (2016). Effects of pyriproxyfen and imidacloprid on mortality and reproduction of *Menochilus sexmaculatus* (Coleoptera: Coccinellidae), predator of *Agonoscena pistaciae*. *Journal of Crop Protection*, 5(1), 89-98. <https://doi.org/10.18869/modares.jcp.5.1.89>
56. Ndakidemi, B., Mtei K., & Ndakidemi, P. A. (2016) Impacts of Synthetic and Botanical Pesticides on Beneficial Insects. *Agricultural Sciences*, 7(6), 365-372. <https://doi.org/10.4236/as.2016.76038>
57. Opfer, P., & McGrath, D. (2013). Oregon vegetables, cabbage aphid and green peach aphid. Department of Horticulture. Oregon State University, Corvallis, OR. (2 October 2013)
58. Paudel, A., Yadav, P. K., & Karna, P. (2022). Diamondback Moth *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae); A Real Menace To Crucifers And Its Integrated Management Tactics. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 10(12), 2504–2515. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i12.2504-2515.5231>
59. Rossbach, A., Löhr, B. & Vidal, S. (2006). Parasitism of *Plutella xylostella* feeding on a new host plant.

- Environmental entomology*, 35, 1350-1357. <https://doi.org/10.1093/ee/35.5.1350>
60. Rugno, G.R., and Qureshi, J. (2024). Topical and field-tested residual effects of globally used insecticides on the parasitoid *Tamarixia radiata* released against the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 172 (1), 66-74. <https://doi.org/10.1111/eea.13381>
61. Rumschlag, S. L., Halstead N. T., Hoverman J. T., Raffle T. R., Carrick H. J., Hudson P. J., & Rohra J. R., (2019). Effects of Pesticides on Exposure and Susceptibility to Parasites can be Generalized to Pesticide Class and Type in Aquatic Communities. *Ecology letters*. 22(6), 962–972. <https://doi.org/10.1111/ele.13253>
62. Sánchez-Bayo, F. (2021). Indirect Effect of Pesticides on Insects and Other Arthropods. *Toxics*. 9, 177. <https://doi.org/10.3390/toxics9080177>
63. Sarfraz, M., Keddie, A.B. & Dosdall, L.M. (2005) Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: a review. *Biocontrol Science and Technology*, 15, 763-789. <https://doi.org/10.1080/09583150500136956>
64. Talebi Jahromi, K. H., (2011). Pesticides toxicology. Tehran University press.
65. Shelton, A.M. Nault, B.A 2004. Dead-end trap cropping: a technique to improve management of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection*, 23, 497–503
66. Seyed-Sahebari F., Shirazi J., Mohajer A. and Taghizadeh M. (2021) Control of cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* on oilseed rape using none chemical products in East Azerbaijan province. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 10(2), 63-69
67. Shi, Z.H., Li, Q.B. & Li, X. (2004). Interspecific competition between *Diadegma semiclausum* Hellén (Hym., Ichneumonidae) and *Cotesia plutellae* (Kurdjumov) (Hym., Braconidae) in parasitizing *Plutella xylostella* (L.) (Lep., Plutellidae). *Journal of Applied Entomology*, 128, 437–444. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2004.00869.x>
68. Smith, D., Harris, M.K. & Liu, T.X. (2002). Adoption of pest management practices by vegetable growers: a case study. *American Entomologist*, 48, 236-242. <https://doi.org/10.1093/ae/48.4.236>
69. Talekar, N.S. & Shelton, A.M. (1993). Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annual Review of Entomology*, 38, 275-301. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.38.010193.001423>
70. Wang, X.G., & Keller, M.A. (2002). A comparison of the host-searching efficiency of two larval parasitoids of *Plutella xylostella*. *Ecological Entomology*, 27, 105-114. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2002.0374a.x>
71. Xu, J.X., Shelton, A.M. & Cheng, X.N. (2001). Variation in susceptibility of *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) to permethrin. *Journal of Economic Entomology* 94, 541-546. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-94.2.541>
72. Yang, J.C., Chu, Y.I. & Taleker, N.S. (1993). Biological studies of *Diadegma semiclausum* (Hym.: Ichneumonidae), a parasite of diamondback moth. *Entomophaga*, 38, 579-586. <https://doi.org/10.1007/bf02373092>

Fumigant Toxicity and Sublethal Effects of *Acroptilon repens* Extracts on Life Table Parameters and Population Projection of *Trialeurodes vaporariorum*, (Hemiptera: Aleyrodidae)

S.S. Sarboland¹, F. Mehrkhou^{1*}, M. Fattahi², M. Forouzan³

1- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2- Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

3- Plant Protection Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran

(*- Corresponding author's Email: f.mehrkhou@urmia.ac.ir)

How to cite this article:

Sarboland, S.S., Mehrkhou, F., Fattahi, M., & Forouzan, M. (2025). Fumigant toxicity and sublethal effects of *Acroptilon repens* extracts on life table parameters and population projection of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, (Hemiptera: Aleyrodidae). *Iranian Plant Protection Research*, 39(3), 249-267. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jpp.2025.92221.1222>

Received: 16-02-2025

Revised: 18-04-2025

Accepted: 29-04-2025

Available Online: 10-11-2025

Introduction

Greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae) is one of the most destructive pests on the greenhouse and vegetables products in the world. Both of adults and nymphs cause economic damages through sucking the phloem sap, and secretion of large amounts of honeydew which supports the growth of sooty mold. Additionally, it transmits some plant virus pathogens. Usage of synthetic insecticides is one of the most common methods in management of greenhouse whitefly which resulted in some side effects on natural enemies, pest resurgence, environmental pollution, and pest resistance, as well. Hence, in the present study, we used the biorational and plant-based with insecticidal properties, *Acroptilon repens*, Russian knapweed, (Asteraceae). It is known as a persistent weed and has insecticidal potential. It was widely reported from different parts of Iran. The aerial tissues of *A. repens* possess aromatic amines, and sterols, as well as sesquiterpene lactones. It's repellency, contact toxicity, fumigant toxicity, anti-oviposition, and antifeedant properties against insect pests refer to the existence of aforementioned constituents.

Materials and Methods

Aerial parts of *A. repens* were collected from wheat field in Vaqasluy-e Sofla (45° 1'E, 37° 39'N), West Azerbaijan, Iran during 2021-2023 which identified by Dr. Mahnaz Heydari and preserved in the herbarium at Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), West Azerbaijan, Urmia, Iran with specimen number 106606. The colony of *T. vaporariorum* was reared on tomato (variety Sun-seed 6189). Rearing of the insect was continued until they reached the desired stage for doing the bioassays. The insect colony was kept in a growth chamber at 25 ± 2° C and 60 ± 10% RH at a photoperiod of 16: 8 h (L:D). The immersion method was used to obtain the methanolic and aqueous extracts of *A. repens*, in which, 50 grams of



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.92221.1222>

the Russian knapweed were soaked in 300 ml of solvents (aqueous and 80% methanol) and placed on a shaker at room temperature for 48 h, then the obtained extracts filtered twice, next concentrated by a rotary vacuum distillation machine at 40°C with speed of 100 rpm. The obtained concentrated liquid was spread on a watch glass until the solvent was removed entirely. Finally, the obtained powder gathered and stored in dark-colored lidded jars inside the refrigerator at 4°C. The bioassay tests were performed to obtain the lethal (LC_{50}) and (LC_{25}) concentrations of Russian knapweed extracts by using the adult stage of greenhouse whitefly. Based on preliminary tests which caused the mortality in the ranges between 10-90%, five final concentrations (19.53, 78.12, 1250, 6500, and 7000) and (409.6, 1024, 2560, 6400 and 16000 $\mu\text{L/L}$) were used for aqueous and methanolic extracts, respectively. To study the sublethal effects, the filter papers (Whatman No. 1) were impregnated with LC_{25} concentration of each *A. repens* extracts, and then attached to the screw caps of the containers. Lids were screwed tightly and sealed with Para film. Then, 15 adults of the greenhouse whitefly were released into the treated containers for 24h. After 24 h, the alive adults were collected and released on tomato plants to laid eggs. The obtained eggs (60 the same aged for each treatment) were used to study the life table experiments. Their developmental time, survival, adult longevity and fecundity were checked daily. The age stage, two-sex life table method was used to analyze the collected data. We used the bootstrap technique with 100,000 iterations to estimate the variance and standard errors of the biological and population parameters. Sigma Plot software used to draw graphs. The growth of the pest population over 60 days was done with Timing-MsChart software.

Results and Discussion

The current study showed that aqueous extract of Russian knapweed was more toxic than the methanolic extract on adults of greenhouse whitefly. Moreover, the sublethal concentrations (LC_{25}) of both extracts affected the biological and life table parameters of greenhouse whitefly by prolonging the developmental period, decreasing the survival rate, adult longevity and fecundity. According to obtained results, there was no significant differences between extracts in terms of population growth parameters, but the aforementioned parameters were decreased compared to control groups. The mean generation time (T) of the greenhouse whitefly was the longest in aqueous extract, followed by methanolic and control treatments.

Conclusions

The overall results demonstrated that, both of the used extracts were effective on population parameters of greenhouse whitefly. However, the aqueous extract, due to an increase in the duration of the immature stages and the increase in the length of one generation, caused a greater decrease in the growth rate of the greenhouse whitefly population compared to the methanol extract, which, if formulated, can be used as a plant-based insecticide in management of the target plant pest.

Keywords: Chronic toxicity, Demographic parameters, Greenhouse whitefly, Population growth parameters, Russian knapweed

سمیت تنفسی و اثرات زیرکشدگی گیاه تلخه *Acroptilon repens* روی فراسنجه‌های جدولزندگی و پیش‌بینی روند رشد جمعیتی *Trialeurodes vaporariorum*

(Hemiptera: Aleyrodidae)

سیده سحر سربلند^۱، فریا مهرخو^{۱*}، محمد فتاحی^۲، مریم فروزان^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹

چکیده

سفیدبالک گلخانه (*Trialeurodes vaporariorum*)، یکی از مهم‌ترین آفات مخرب محصولات صیفی و گلخانه‌ای در ایران و دنیا می‌باشد. در این تحقیق، سمیت تنفسی و اثرات زیرکشدگی عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر فراسنجه‌های جدول زندگی و پیش‌بینی روند رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه انجام شد. روش مورد استفاده در زیست‌سنجی، آغشته کردن کاغذ صافی به غلظت‌های مورد نظر عصاره‌ها بود. جهت مطالعه جدول زندگی از ۶۰ عدد تخم هم‌سن برای هر یک از تیمارها و شاهد استفاده شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از تئوری جدول زندگی دوجنسی ویژه سن-مرحله رشدی و با استفاده از برنامه TWOSEX-MSChart انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از غلظت زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه منجر به طولانی شدن مراحل نابالغ، کاهش طول عمر حشرات کامل و میزان باروری *T. vaporariorum* نسبت به شاهد شد. اگرچه اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر فراسنجه‌های رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه وجود نداشت، ولی میزان فراسنجه‌های مذکور نسبت به شاهد کاهش یافت. به موازات تأثیر عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر بیولوژی، سرعت روند رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه نیز تحت تأثیر عصاره‌ها قرار گرفت، به‌طوری‌که با افزایش مدت زمان یک نسل حشره (T) (۲۸/۲۱ روز)، در نتایج که والدین آن‌ها با غلظت زیرکشنده عصاره آبی تیمار شده بودند، سرعت رشد جمعیتی کمتری داشتند. مجموع نتایج تحقیق حاضر نشان داد که هر دو عصاره گیاه تلخه منجر به کاهش فراسنجه‌های رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه شدند، ولی عصاره آبی به‌دلیل افزایش طول دوره مراحل نابالغ، افزایش مدت زمان طول یک نسل، باعث کاهش سرعت رشد جمعیت بیشتر سفیدبالک گلخانه نسبت به عصاره متانولی گردید، که در صورت فرموله شدن می‌تواند به‌عنوان حشره‌کش با منشأ گیاهی در مدیریت آفت مد نظر قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: سفیدبالک گلخانه، سمیت مزمن، فراسنجه‌های دموگرافی، فراسنجه‌های رشد جمعیت، گیاه تلخه

۱- گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: f.mehrkhoo@urmia.ac.ir)<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.92221.1222>

مقدمه

سفیدبالک گلخانه (*Trialeurodes vaporariorum*) یکی از گونه‌های همه‌جازی، مخرب و مهم محصولات گلخانه‌ای، مزرعه‌ای و گیاهان زینتی در بین گونه‌های مختلف سفیدبالک می‌باشد (Reshadat-Salvanagh et al., 2024) که از نظر اقتصادی و انتقال بیماری‌های ویروسی نیز حائز اهمیت است (Watanabe et al., 2018). این گونه با تغذیه از شیره گیاهی موجب ضعیف شدن میزبان، کاهش فتوسنتز، ایجاد اختلالات فیزیولوژیکی و کاهش ۵۰-۸۰ درصدی عملکرد محصول می‌شود (Gamarra et al., 2020). امروزه به دلیل سرعت نمو و تولیدمثل بالای سفیدبالک، جهت مهار جمعیت آن از انواع حشره‌کش‌ها در سطوح وسیع و دفعات زیاد استفاده می‌شود. که اعمال این روش‌ها مشکلاتی همچون بروز مقاومت در آفات، از بین رفتن دشمنان طبیعی، گیاه‌سوزی، طغیان آفات ثانویه و آلودگی‌های زیست‌محیطی را در پی دارد (Rodriguez & Vendramim, 2021; Choi et al., 2003; Erdogan et al., 2021). از سوی دیگر، به دلیل ویژگی‌های رفتاری نظیر تغذیه، جفتگیری و تخم‌گذاری افراد بالغ و همچنین رشد و نمو پوره‌ها در سطح زیرین برگ، مسئله مهار شیمیایی آفت را با مشکل مواجه کرده است (Choi et al., 2003).

مصرف تازه‌خوری اغلب محصولات گلخانه‌ای و لزوم رعایت دوره کارنس حشره‌کش‌های شیمیایی مورد استفاده در گلخانه‌ها، یکی از مهم‌ترین مواردی است که باید در مدیریت آفات گلخانه‌ای مد نظر قرار گیرد (Sharifiyan et al., 2024). برای رفع مشکلات ذکرشده، محققان درصدد استفاده از روش‌هایی با منشأ گیاهی مانند حشره‌کش‌های گیاهی به‌عنوان روشی مکمل در مدیریت آفات برآمده اند (Rodriguez, 2000; Reshadat-Salvanagh et al., 2024). شرکت‌های آمریکایی مایکوتک^۱ و اکواسمارت^۲، از جمله شرکت‌های پیش رو در زمینه تولید تجاری آفت‌کش بر پایه اسانس‌های گیاهی می‌باشند (Heydarzadeh, 2020). به‌عنوان مثال، امولیسون شته-کش-کنه‌کش-قارچ‌کش CinnamiteTM، بر پایه سینام آلدئید (ترکیب اصلی اسانس دارچین^۳) سنتز شده و روی درختان میوه، محصولات باغی و گلخانه‌ای به کار گرفته می‌شود. همچنین حشره-کش‌های گیاهی EcoPCO^R و BioganicTM بر پایه ترکیبات اصلی اسانس‌های ریحان *Ocimum basilicum* L.، آویشن باغی

Thymus vulgaris L.، میخک *Dianthus caryophyllus* L. و بادام زمینی *Arachis hypogaea* L. (تیمول، اوجنول، آلفا-ترپینول، ۲-فنتیل پروپیونات و بنزیل الکل) به‌صورت فرمولاسیون گرد و آبروسل برای مهار آفات بهداشتی توصیه شده است (Koul et al., 2008). اخیراً حشره‌کش گیاهی Bino2 که فرموله‌شده علف هرز تلخه بیان می‌باشد، با افزایش مقاومت گیاهان میزبان در برابر حشرات مکنده (کنه دو نقطه‌ای، کنه انجیر، پسیل پسته، انواع شته، سفید بالک و تریپس و ...) روی انواع محصولات گلخانه‌ای نظیر خیار *Cucumis sativus* L.، گوجه‌فرنگی *Solanum lycopersicum* L.، توت‌فرنگی *Fragaria ananassa* Duchesne و گیاهان زینتی توصیه شده است (Reshadat-Salvanagh, 2021).

گیاهان در مسیر تکاملی خود به یک سامانه دفاعی کارآمد برای مقابله با حمله گیاه‌خواران مجهز شده‌اند. وجود ترکیبات شیمیایی ثانویه مختلف در بافت یا رایحه گیاهان با دارا بودن خاصیت دورکنندگی یا ضدتغذیه‌ای برای حشرات، جزئی از این سامانه دفاعی محسوب می‌شود (Smith, 1989). استفاده از حشره‌کش‌های با منشأ گیاهی، سابقه طولانی در مدیریت آفات دارد و استفاده از آن‌ها باعث اختلالاتی در فرآیندهای فیزیولوژیکی حشرات (آنزیم‌های گوارشی، آنزیم‌های سم‌زدا و ...)، رفتاری، توقف تغذیه‌ای و تولیدمثلی می‌شود که در نهایت منجر به از بین رفتن حشرات آفت می‌شود (Heydarzade et al., 2019).

مطالعات انجام‌شده، بیانگر اثرات کشندگی و زیرکشندگی اسانس‌ها و عصاره‌های مختلف گیاهان دارویی روی سفیدبالک گلخانه‌ای می‌باشد. به‌عنوان مثال، چوی و همکاران (Choi et al., 2003) اثر تدخینی ۵۳ اسانس گیاهی را روی مراحل مختلف زیستی (تخم، پوره و حشره کامل) سفیدبالک گلخانه مورد بررسی قرار گرفته داده و نتایج آن‌ها بیانگر تأثیر بیشتر اسانس گیاهان پونه *Mentha* L.، اکالیپتوس *Eucalyptus globulus* Labill.، میخک *Syzygium aromaticum* L.، زیره سیاه *Carum carvi* L. و نعناع فلفلی *Mentha piperita* L. روی بالغین، پوره‌ها و تخم‌های این آفت نسبت به سایر اسانس‌ها بوده است. در تحقیقی دیگر، اثر عصاره‌های متانولی زیتون تلخ *Melia azedarac*، و اسپند *Peganum harmala* بر طول دوران پورگی و شفیرگی سفیدبالک گلخانه‌ای توسط دهقانی و احمدی (Ahmadie & Dehghani, 2011) مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه خاصیت حشره‌کشی و دورکنندگی عصاره استبرق *Calotropis procera* روی سفیدبالک گلخانه نشان داد که عصاره گیاهان مذکور دارای خاصیت حشره‌کشی و دورکنندگی می‌باشد (Baqeri & Noori Deh, 2023). همچنین گزارش‌هایی مبنی بر اثرات کشندگی و

1- Mycotech

2- Ecosmart

3- Cinnamomum aromaticum

زیرکشدگی فرمولاسیون‌های مختلف گیاه چریش و اثرات دورکنندگی و ضدتغذیه ای آن بر سفیدبالک گلخانه وجود دارد (Locke et al., 1994; Nikakhtar et al., 2023). مطالعه فیهیم و همکاران (Fahim et al., 2012) بیانگر تأثیر سمیت تنفسی اسانس گیاهان نعناع *Mentha spicata* و زیره سبز *Cuminum cyminum* روی تخم، پوره سن یک و حشرات کامل سفیدبالک گلخانه بود. همچنین حساسیت سفیدبالک گلخانه‌ای به اسانس‌های گیاهان آویشن *Thymus vulgaris* و نعناع فلفلی *M. piperita* توسط اروعی و همکاران (Arouiee et al., 2005) گزارش شده است. اخیراً شریفیان و همکاران (Sharifiyan et al., 2024) جهت افزایش کارایی اسانس پونه *M. pulegium*، موفق به تهیه نانوفرمولاسیون-هایی شده‌اند که منجر به افزایش خاصیت حشره‌کشی پونه علیه سفیدبالک گلخانه‌ای شده است.

گیاه تلخه با نام انگلیسی Russia knapweed و با نام علمی *Acroptilon repens* از خانواده Asteraceae است و در مزارع، باغات، مراتع و چراگاه‌ها در ایران و اکثر مناطق جهان مشاهده می‌شود (Moaven et al., 2014). این گیاه که بیشتر به‌عنوان یک علف هرز شناخته می‌شود، دارای خاصیت علف‌کشی (Razavi et al., 2012)، ضد میکروبی (Nadaf et al., 2013) و حشره‌کشی (Toolabi et al., 2018; Wang et al., 2015) است. خاصیت حشره‌کشی آن به دلیل دارا بودن ترکیبات آروماتیکی و فنلی از جمله سزکوئی‌ترینی، پلی‌فنلی، فلاونوئیدی و استروئیدی است (Samareh, 2020; Fekri, 2005; Norouzi-Arasi et al., 2020). خاصیت حشره‌کشی این گونه بر آفات بهداشتی، نظیر پشه‌های *Anopheles stephensi* و *Culex quinquefasciatus* مطالعه شده است (Toolabi et al., 2018). در خصوص اثرات حشره‌کشی گیاه تلخه روی آفات کشاورزی و گلخانه‌ای، اطلاعات بسیار کمی وجود دارد. به‌عنوان مثال، خاصیت حشره‌کشی عصاره گیاه تلخه روی لاروهای کرم پیاده نظام پروانه *Mythimna separate* Walker در چین منجر به مرگ و میر ۸۰-۸۸ درصد لاروها شده است (Wang et al., 2015).

مواد و روش‌ها

پرورش گیاه میزبان و سفیدبالک گلخانه

بذرهای گیاه گوجه‌فرنگی مورد استفاده در این تحقیق (رقم سانسید ۶۱۸۹)، در سینی‌های نشاء (با حفره‌هایی به ابعاد ۲۵×۲۵ میلی‌متر و عمق ۴۲ میلی‌متر) شامل خاک حاوی پیت ماس، پرلیت و کود دامی (به‌نسبت برابر) کاشته شدند. داخل هر حفره، یک عدد نشاء کاشته و آبیاری گلدان‌ها هفته‌ای دوبار انجام شد. برای بهبود در رشد بوته‌ها از محلول غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم NPK در زمان‌های ۱۰ و ۲۰ روز پس از نشاکاری، همراه با آب آبیاری استفاده شد. بعد اینکه نشاء به مرحله شش الی هشت برگ‌ری رسیدند، به داخل گلدان‌های پلاستیکی (با قطر ۱۵ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر) حاوی پیت ماس، پرلیت، کود دامی و خاک به نسبت برابر، منتقل شدند. به‌منظور عدم آلودگی گلدان‌ها تا زمان رهاسازی جمعیت سفیدبالک گلخانه،

بررسی اثرات آفت‌کش‌ها با روش‌های معمول زیست‌سنجی که در آن تنها مرگ و میر حشرات مورد مطالعه قرار می‌گیرد، کافی نیست. ارزیابی اثرات آفت‌کش‌ها روی آفات باید همه‌جانبه و با در نظر گرفتن میزان کشدگی و اثرات فیزیولوژیک آفت‌کش‌ها در غلظت‌های زیرکشنده باشد. روش سم‌شناسی دموگرافیک که در آن علاوه بر اثر کشدگی، اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌ها را روی فراسنجه‌های جدول زندگی حشره بررسی می‌کند، روش تحقیقی فراگیر بوده که برای ارزیابی سموم، به‌ویژه آفت‌کش‌ها پیشنهاد شده است (Rumpf et al., 1997). اثرات زیرکشدگی ممکن است به‌صورت کاهش طول دوره زندگی (Choi et al., 2003)، میزان رشد جمعیت (Bradleigh

گیاهان داخل قفس نگهداری شدند.

کلنی اولیه و مورد نیاز برای پرورش سفیدبالک گلخانه جهت انجام آزمایشات، از روی گوجه‌فرنگی‌های موجود در گلخانه گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه ارومیه که هیچ‌گونه سم‌پاشی روی آن‌ها انجام نشده بود، با استفاده از آسپیراتور مکنده جمع‌آوری شدند. بعد از شناسایی حشرات بالغ *T. vaporariorum* در مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، جهت هم‌سن‌سازی سفیدبالک گلخانه، حشرات بالغ جمع‌آوری شده روی گیاهان گوجه‌فرنگی به داخل قفس‌های توری (مش ۵۰ و ابعاد ۱۰۰ × ۸۰ × ۸۰ سانتی‌متر) به مدت ۲۴ ساعت رهاسازی و سپس از داخل قفس‌ها حذف شدند. حشرات مورد استفاده در تحقیق، پیش از انجام آزمایش‌های مربوط به زیست‌سنجی و مطالعات جدول زندگی حداقل به مدت ۲-۳ نسل در گلخانه و تحت شرایط کنترل‌شده با شرایط دمایی 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی 60 ± 10 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی مورد پرورش قرار گرفتند (Abdollahzadeh-Bovani et al., 2024).

تهیه نمونه گیاهی و عصاره‌گیری

بخش‌های هوایی گیاه تلخه *A. repens*، در اواخر تیرماه ۱۴۰۰ از حاشیه مزارع گندم روستای وقاصولوی سفلی جمع‌آوری و در مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان غربی، با کد هرباریوم NO.106606 ثبت و نام علمی آن تأیید شد. گیاهان جمع‌آوری شده با آب مقطر شستشو داده شدند و در دمای محیط دور از تابش مستقیم نور آفتاب در سایه خشک شدند. سپس، گیاهان خشک‌شده توسط آسیاب برقی کاملاً پودر شده و در ظرف شیشه‌ای تیره در بسته داخل یخچال نگهداری شدند. عصاره‌گیری به روش خیساندن انجام گرفت. در این روش، ۵۰ گرم از گیاه پودر شده در ۳۰۰ میلی‌لیتر حلال (آب و متانول) خیسانده و به مدت ۴۸ ساعت روی شیکر^۱ در دمای اتاق قرار داده شد. بعد از طی شدن زمان مذکور، عصاره‌ها دو بار از کاغذ صافی (واتمن شماره ۱) رد شد و توسط دستگاه تقطیر در خلأ دوار در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه تغلیظ شد. عصاره‌های تغلیظ‌شده در شیشه‌های درب‌دار تیره‌رنگ داخل یخچال نگهداری و مشخصات نمونه گیاهی به همراه تاریخ عصاره‌گیری روی آن درج گردید (Samareh Fekri, 2020). برای انجام این آزمایش از دو نوع عصاره گیاهی محلول در آب و محلول در متانول جهت تعیین میزان سمیت تدخینی و اثرات زیرکشنده آن‌ها بر ویژگی‌های زیستی و جمعیتی سفیدبالک گلخانه استفاده گردید.

سمیت تدخینی حشرات کامل سفیدبالک گلخانه جهت تعیین غلظت‌های کشنده (LC₅₀) و زیرکشنده (LC₂₅) عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه

بعد از انجام یکسری آزمایش‌های مقدماتی طی مراحل زیست-سنجی، غلظت‌هایی که تلفات ۱۰ تا ۹۰ درصد ایجاد کردند، مشخص و سپس غلظت‌های بین این دو غلظت با استفاده از فواصل لگاریتمی محاسبه و در آزمایش اصلی استفاده شدند. بنابراین، پنج غلظت نهایی مورد استفاده برای حلال آبی (۱۹/۵۳، ۷۸/۱۲، ۱۲۵۰، ۶۵۰۰ و ۷۰۰۰ میکرولیتر/لیتر) و حلال متانولی (۴۰۹/۶، ۱۰۲۴، ۲۵۶۰، ۶۴۰۰ و ۱۶۰۰۰ میکرولیتر بر لیتر) بود. جهت انجام زیست‌سنجی، هر کدام از غلظت‌های مربوط به عصاره آبی و متانولی گیاه تلخه با استفاده از میکروپیپت، روی کاغذ صافی (واتمن شماره ۱) آغشته شده و در بخش داخلی درب ظروف آزمایشی (با قطر پنج و ارتفاع هفت سانتی-متر) چسبانده شد، سپس ۱۵ عدد حشرات کامل هم‌سن با استفاده از آسپیراتور به داخل ظروف مربوطه رهاسازی شدند. جهت جلوگیری از خروج عصاره‌ها و حشرات، دهانه ظروف توسط پارافیل کاملاً مسدود گردید. پس از گذشت ۲۴ ساعت از شروع آزمایش، تعداد تلفات یادداشت و درصد تلفات محاسبه شد (حشرات کاملی که با نزدیک کردن قلم‌موی نازک هیچ حرکتی نشان نمی‌دادند، مرده تلقی شدند). آزمایشات زیست‌سنجی در چهار تکرار انجام شد. برای گروه شاهد از آب مقطر استفاده گردید (Heydarzadeh, 2020).

اثرات زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر ویژگی‌های زیستی و فراسنجه‌های رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه

اثرات زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه (LC₂₅) بر ویژگی‌های زیستی و فراسنجه‌های جدول زندگی *T. vaporariorum* مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور خلاصه، ابتدا کاغذهای صافی به غلظت زیرکشنده (LC₂₅) عصاره‌های آبی و متانولی آغشته شدند، سپس تعداد ۶۰ عدد حشره کامل به داخل ظروف حاوی کاغذ صافی آغشته به عصاره‌ها منتقل شدند. پس از گذشت ۲۴ ساعت، تمام حشرات کامل زنده که تحت تأثیر غلظت زیرکشنده عصاره‌ها قرار گرفته بودند، جمع‌آوری شده و به روی گلدان‌های گوجه‌فرنگی جهت تخم‌ریزی رهاسازی شدند. پس از گذشت ۲۴ ساعت، حشرات کامل رهاسازی‌شده با آسپیراتور جمع‌آوری شده و برگ‌های حاوی تخم یک روزه سفیدبالک جهت انجام مطالعات زیرکشنده مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه تخم‌های سفیدبالک گلخانه به روی برگ چسبانده می‌شود و هرگونه دستکاری موجب از بین رفتن تخم‌ها می‌گردد، لذا بدون اینکه تخم‌ها از برگ جدا شوند، برگ‌های حاوی تخم از گلدان‌ها جدا شده و

نرم‌افزار (Chi, 2024 a) TWOSEX-MSChart تجزیه شدند. میانگین و خطای استاندارد داده‌های جدول زندگی، با استفاده از روش Bootstrap محاسبه شد. به‌منظور مقایسه داده‌های به‌دست‌آمده از تکنیک بوت‌استرپ جفت‌شده (Paired bootstrap) در نرم‌افزار مذکور استفاده شد. روند رشدی جمعیت آفت نیز، در یک دوره ۶۰ روزه با نرم‌افزار آماری Timing-MsChart ارزیابی شد (Chi, 2024 b). جهت ترسیم نمودارها از نرم‌افزار سیگماپلات استفاده شد (SigmaPlot 2012, Ver. 14).

نتایج و بحث

سمیت تدخینی عصاره‌های آبی و متانولی *A. repens* روی حشرات کامل سفیدبالک گلخانه

تجزیه پروبیت حاصل از تأثیر غلظت‌های مختلف عصاره‌های آبی و متانولی *A. repens* بعد از گذشت ۲۴ ساعت روی حشرات کامل سفیدبالک گلخانه، در (جدول ۱) نشان داده شده است. با توجه به LC_{50} به‌دست‌آمده بعد از ۲۴ ساعت، نتایج نشان داد که عصاره آبی دارای سمیت بیشتری نسبت به عصاره متانولی می‌باشد (جدول ۱).

در ظروف آزمایش به‌صورت انفرادی قرار گرفتند و جهت تأمین رطوبت برگ، پنبه مرطوب به دور دم‌برگ پیچیده شد. بدین ترتیب، برای هر تیمار و شاهد از ۶۰ عدد تخم هم‌سن استفاده شد. تهویه تشک‌های پتری با ایجاد منفذ و توری حریر انجام گرفت. رشد و بقا مراحل پیش از بلوغ برای هر فرد روزانه ثبت شد. پس از ظهور حشرات کامل، با روش توصیه‌شده توسط گرلینگ و سینای (Gerling & Sinai, 1994) از نظر جنسی متمایز شدند. هر یک جفت حشره به ظروف پلاستیکی شفاف (قطر ۱۱/۵ سانتی‌متر × ۸۵/۵ سانتی‌متر ارتفاع) حاوی برگ گوجه‌فرنگی منتقل شد. میزان بقا، مرگ و میر روزانه، طول دوره پیش از بلوغ، طول عمر حشرات کامل، طول دوره‌های تخم‌ریزی (پیش از تخم‌ریزی، دوره تخم‌ریزی و پس از تخم‌ریزی) و تولیدمثل حشرات کامل تا زمان مرگ همه آنها به‌صورت روزانه ثبت شد.

تجزیه و تحلیل آماری

جهت تعیین LC_{50} ، LC_{25} و حدود بالا و پایین سمیت تدخینی عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه، از نرم‌افزار SPSS (2019) استفاده شد. داده‌های حاصل از جدول زندگی و روند رشد جمعیت، بر اساس جدول زندگی دو جنسی سن-مرحله رشدی با استفاده از

جدول ۱- آنالیز پروبیت ناشی از سمیت تدخینی عصاره‌های آبی و متانولی *Acroptilon repens* روی حشرات کامل سفیدبالک گلخانه بعد از ۲۴ ساعت

Table 1- Probit analysis of the mortality caused by the aqueous and methanolic extracts of *Acroptilon repens* on adults of *Trialeurodes vaporariorum* after 24 hours

Probit analysis						
A. repens extracts	LC ₅₀ (μl.ml ⁻¹)	LC ₂₅ (μl.ml ⁻¹)	Slope±SE	Intercept (a)+5	χ ² (df)	No
Aqueous extract	2688.602 (1851.74-3927.78)	529.053 (244.49- 856.66)	0.955±0.141	-3.276+5	0.681(3)	300
Methanolic extract	3260.742 (2335.05-4565.98)	770.697 (411.61-1169.88)	1.077±0.144	-3.783+5	1.449(3)	300

طول دوره مراحل نابالغ به‌ترتیب مربوط به تیمارهای آبی و شاهد بود (جدول ۱). نتایج این تحقیق نشان داد که طول عمر حشرات کامل مربوط به نسل اول که والدین آن‌ها به‌صورت آبی و متانولی تیمار شده بودند نیز تحت تأثیر قرار گرفتند. کل دوره زندگی ماده‌ها در هر سه تیمار شاهد، آبی و متانولی دارای طول عمر بیشتری نسبت به نرها بودند (جدول ۲).

اثرات زیرکشدگی عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر طول دوره زیستی مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه

تجزیه آماری داده‌های مربوط به بررسی اثر دو عصاره آبی و متانولی روی طول دوره زیستی سفیدبالک گلخانه در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که از مقایسه میانگین فراسنجه‌ها مشاهده می‌شود، تیمار آبی، طول دوره تخم و کل دوره مراحل نابالغ را نسبت به شاهد و عصاره متانولی افزایش داد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین

جدول ۲- اثرات زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر بقاء و طول دوره مراحل مختلف نابالغ سفیدبالک گلخانه

Table 2 – Sublethal effects of aqueous and methanolic extracts of *Acroptilon repens* on the survival and developmental time of various immature stages of *Trialeurodes vaporariorum*

Developmental stage	Control	Methanolic extract	Aqueous extract
Egg(days)	5.01±0.08 ^c	6.18±0.18 ^b	6.77±0.15 ^a
First instar nymph (days)	3.63±0.07 ^b	4.79±0.14 ^a	4.88±0.14 ^a
Second instar nymph (days)	3.74±0.09 ^b	4.3±0.14 ^a	4.08±0.14 ^a
Third instar nymph (days)	4.54±0.08 ^a	4.6±0.14 ^a	4.69±0.17 ^a
Pupa (days)	5.0±0.09 ^a	3.88±0.13 ^c	4.37±0.22 ^b
Pre-adult period (days)	21.7±0.21 ^c	23.63±0.46 ^b	24.91±0.45 ^a
Pre-adult survival rate	0.58±0.05 ^a	0.49±0.05 ^a	0.48±0.05 ^a

* حروف مختلف در هر ردیف اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را در سطح پنج درصد براساس روش بوت استرپ جفت‌شده با ۱۰۰۰۰۰ تکرار نشان می‌دهند.

* The means followed by different letters in each row are significantly different (paired-bootstrap at 5% significance level by 100000 bootstrap resampling).

جدول ۳- اثرات زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر طول عمر، تخم‌گذاری و باروری سفیدبالک گلخانه

Table 3- Sublethal effects of aqueous and methanolic extracts of *Acroptilon repens* on the adult longevity, reproductive days and fecundity of *Trialeurodes vaporariorum*

Biological stages	Treatments		
	Control	Methanolic extract	Aqueous extract
Male longevity (days)	4.36±0.40 ^{a*}	2.68±0.34 ^b	3.23±0.26 ^{ab}
Total male longevity (days)	26.18±0.45 ^a	26.25±0.66 ^a	27.69±0.62 ^a
Female longevity (days)	7.36±0.32 ^a	3.89±0.30 ^b	4.29±0.28 ^{ab}
Total female longevity (days)	28.96±0.40 ^b	30.65±0.94 ^a	29.88±0.90 ^{ab}
Adult pre-reproductive period (days)	1.00±0.10 ^a	1.19±0.25 ^a	1.24±0.26 ^a
Total pre-reproductive period (days)	22.60±0.30 ^b	24.75±0.80 ^a	26.82±0.99 ^a
Reproductive days (days)	6.28±0.32 ^a	2.44±0.32 ^b	2.35±0.34 ^b
Fecundity (eggs.female ⁻¹)	35.40±2.45 ^a	6.56±1.29 ^b	7.53±1.50 ^b

* حروف مختلف در هر ردیف اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را در سطح پنج درصد براساس روش بوت استرپ جفت‌شده با ۱۰۰۰۰۰ تکرار نشان می‌دهند.

* The means followed by different letters in each row are significantly different (paired-bootstrap at 5% significance level by 100,000 bootstrap resampling).

و متانولی بود، به‌طوری‌که میزان باروری از ۶/۵۶ از ۳۵/۴۰ تخم/ماده در طول عمر متغیر بود (جدول ۳).

فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه تحت تأثیر غلظت‌های زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه

نتایج مقایسه میانگین فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه در (جدول ۴) نشان داده شده‌اند. در این تحقیق، کمترین و بیشترین نرخ خالص تولیدمثلی (R_0) مربوط به عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه و شاهد (۱۱/۰۶) تخم به‌ازای هر ماده) بود که حاکی از تأثیر منفی این تیمارها نسبت به شاهد می‌باشد. لازم به ذکر است که بین نرخ خالص تولیدمثلی (R_0) تیمارهای متانولی و آبی (به-ترتیب ۱/۲۶ و ۱/۴۵) تخم به‌ازای هر ماده) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. نرخ خالص تولیدمثلی مهم‌ترین فراسنجه جدول زندگی بعد از نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) است. نرخ ناخالص تولیدمثلی نیز (GRR) کمترین و بیشترین میزان را به‌ترتیب در تیمارهای متانولی و آبی گیاه تلخه و شاهد (۴۰/۹۹) نتایج به‌ازای هر ماده) داشت. در این

اثرات زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر طول دوره مراحل تخم‌گذاری و باروری سفیدبالک گلخانه

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به بررسی طول دوره پیش از تخم‌گذاری، کل دوره پیش از تخم‌گذاری، تخم‌گذاری و طول دوره تخم‌گذاری سفیدبالک گلخانه تحت تأثیر عصاره‌های آبی و متانولی در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که طول عمر حشرات کامل نر و ماده مربوط به نسل اول که والدین آن‌ها تحت تأثیر غلظت زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه قرار گرفته بودند، نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۲). عصاره‌های مورد مطالعه، اگرچه تأثیری بر طول دوره پیش از تخم‌ریزی سفیدبالک گلخانه نداشتند، ولی منجر به افزایش کل دوره پیش از تخم‌گذاری (TPRP) شد. همچنین هر دو تیمار باعث کاهش طول دوره تخم‌ریزی و میزان باروری نسبت به شاهد شدند و بین تیمارها و شاهد از این لحاظ تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.05$). میزان باروری حشرات کامل F1 بیانگر تأثیر غلظت زیرکشنده تیمارهای آبی

1- TPRP: Total pre- reproductive period

معنی‌داری بین عصاره آبی و متانولی گیاه تلخه وجود نداشت. نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) بیانگر نسبت افزایش جمعیت پایدار هر روز نسبت به روز قبل می‌باشد، این مقدار نشان می‌دهد که جمعیت هر روز نسبت به روز قبل به چند نسبتی افزایش خواهد یافت. در فراسنجه مدت زمان یک نسل (T)، بیشترین مقدار این فراسنجه در تیمار آبی گیاه تلخه (۲۸/۲۱ روز) ثبت گردید و کمترین آن مربوط به شاهد بود (۲۶/۰۱ روز).

فراسنجه نیز بین تیمارهای متانولی و آبی (به‌ترتیب ۶/۷۷ و ۹/۲۲ نتاج به‌ازای هر ماده) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. مقدار فراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) که یکی از مهم‌ترین فراسنجه‌های رشد جمعیتی پایدار می‌باشد، تحت تأثیر تیمارهای متانولی و آبی سمیت تدخینی کاهش پیدا کرد. بیش‌ترین مقدار این فراسنجه در شاهد (۰/۰۹۲۴ بر روز) به دست آمد. براساس نتایج حاصل، مقدار فراسنجه نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) تحت تأثیر تیمارهای آبی و متانولی گیاه تلخه نسبت به شاهد (۰/۰۹۶ بر روز) کاهش یافت و اختلاف

جدول ۴- اثرات زیرکشندگی عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر فراسنجه‌های رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه

Table 4- Sublethal effects of aqueous and methanolic extracts of *Acroptilon repens* on the population growth parameters of greenhouse whitefly

Parameter	Treatment (mean $\pm$ standard error)		
	Control	Methanolic extract	Aqueous extract
Net reproductive rate (R_0) (offspring/individual)	11.06 $\pm$ 1.99 ^a	1.26 $\pm$ 0.37 ^b	1.45 $\pm$ 0.42 ^b
Gross Reproductive Rate (GRR) (offspring/individual)	40.99 $\pm$ 6.26 ^a	6.77 $\pm$ 1.41 ^b	9.22 $\pm$ 1.81 ^b
Intrinsic rate of population growth (r) (day ⁻¹)	0.0924 $\pm$ 0.007 ^a	0.0087 $\pm$ 0.011 ^b	0.0132 $\pm$ 0.010 ^b
Finite rate of increase (λ) (day ⁻¹)	1.096 $\pm$ 0.007 ^a	1.008 $\pm$ 0.011 ^b	1.0133 $\pm$ 0.011 ^b
Mean generation time (T) (day)	26.01 $\pm$ 0.28 ^b	26.83 $\pm$ 0.69 ^{ab}	28.21 $\pm$ 0.92 ^a

* حروف مختلف در هر ردیف اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را در سطح پنج درصد براساس روش بوت استرپ جفت‌شده با ۱۰۰۰۰۰ تکرار نشان می‌دهند.

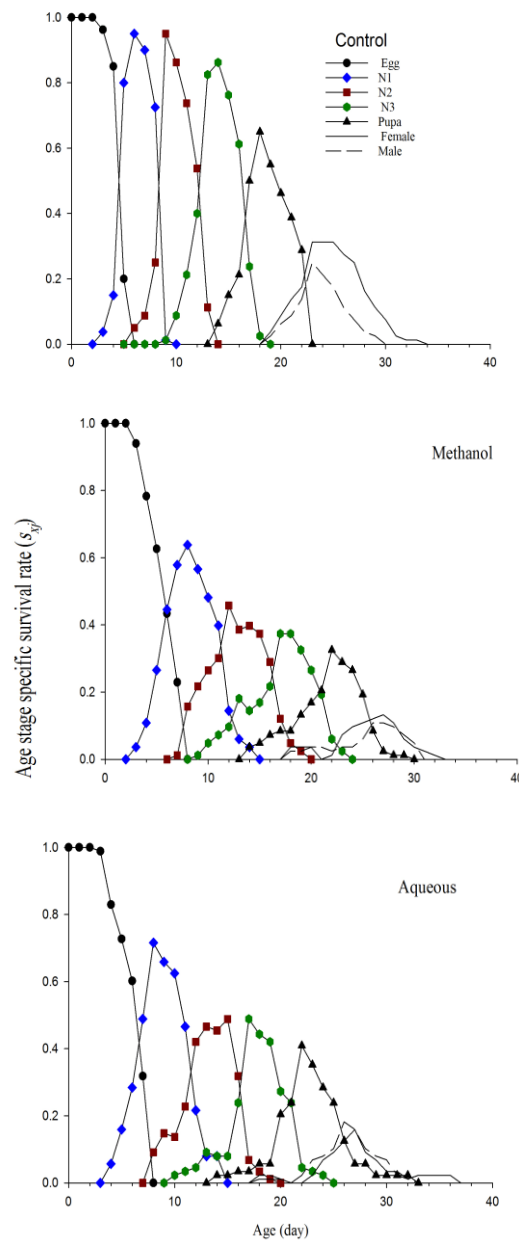
* The means followed by different letters in each row are significantly different (paired-bootstrap at 5% significance level by 100,000 bootstrap resampling).

گلخانه شدند و شروع کل دوره تخم‌ریزی را در آن‌ها را نسبت به شاهد افزایش دادند. حشرات کاملی که والدین آن‌ها تحت‌تأثیر عصاره‌های متانولی و آبی قرار گرفتند، با تأخیر وارد مرحله تولیدمثلی شدند (به‌ترتیب ۲۴/۷۵ و ۲۶/۸۲ روز عمر) و این در حالی است که در شاهد، حشرات کامل سریع‌تر از سایر تیمارها وارد این مرحله از زندگی (۲۲/۶۰ روز عمر) شدند. نرخ باروری ویژه سن-مرحله رشدی (تخم $m_x = 5/0$) و باروری ویژه سنی حشرات بالغ (نتاج $l_x m_x = 1/86$) در شاهد نسبت به عصاره‌های آبی و متانولی بیشترین میزان را داشت. کمترین باروری ویژه سنی حشرات بالغ در تیمار متانولی (نتاج $l_x m_x = 0/37$) در روز عمر بوده است (شکل ۲).

فراسنجه امید به زندگی ویژه سن-مرحله‌ای (e_{xj}) نشان‌دهنده مدت زمانی است که یک فرد در سن x و مرحله رشدی j امید است زنده بماند. امید به زندگی ویژه سن-مرحله‌ای (e_{xj}) طول عمر پیش-بینی‌شده سفیدبالک گلخانه در معرض غلظت زیرکشنده عصاره‌های متانولی و آبی گیاه تلخه در (شکل ۳) نشان داده شده است. در شاهد اولین فرد ماده ۹/۹۶ روز امید به زندگی داشت، درحالی‌که در غلظت زیرکشنده عصاره‌های متانولی و آبی روند نزولی داشته و در هر دو به ۳/۰ روز کاهش یافت.

نرخ زنده‌مانی ویژه سن-مرحله زیستی سفیدبالک گلخانه (S_{xj}) تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه در شکل ۱ ارائه شده است. این فراسنجه نشان دهنده احتمال بقاء هر یک از مراحل رشدی تا سن x ، درحالی‌که در مرحله رشدی j قرار دارد، می‌باشد. فراسنجه مذکور علاوه‌بر توصیف مشروعی از بقاء، انتقال از یک مرحله رشدی به مرحله رشدی دیگر را نیز توصیف می‌کند. به عبارت دیگر، این فراسنجه نه‌تنها بیانگر نرخ زنده‌مانی است، بلکه روند تغییرات نرخ رشد و نمو در میان افراد مختلف را نیز نشان می‌دهد و زمینه را برای تطبیق رشد و نمو مراحل مختلف زیستی فراهم می‌کند. در حقیقت، تفکیک نرخ زنده‌مانی به مراحل مختلف زیستی از جمله ویژگی‌های جدول زندگی دو جنسی ویژه سن-مرحله زیستی می‌باشد که در روش‌های سنتی تجزیه داده‌های جدول زندگی وجود ندارد. نتایج این تحقیق نشان داد که نرخ بقاء ویژه سنی سفیدبالک گلخانه در زمان ورود به مرحله حشره کامل ماده، با شاهد (۵۸ درصد) و تیمارهای عصاره متانولی (۴۹ درصد) و آبی (۴۸ درصد) بود (شکل ۱).

باروری ویژه سن-مرحله رشدی (m_x) بیانگر تعداد نتاج ماده ویژه سنی هر فرد ماده است. باروری ویژه سنی ($l_x m_x$) نیز بیانگر تعداد نتاج ماده تولیدشده توسط یک ماده با در نظر گرفتن احتمال بقاء آن‌ها می‌باشد. بررسی این فراسنجه‌ها نشان داد که عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه باعث اثرات سوء روی حشرات بالغ سفیدبالک



شکل ۱- اثرات زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه بر نرخ بقاء ویژه سن-مرحله‌ای (s_{xj}) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

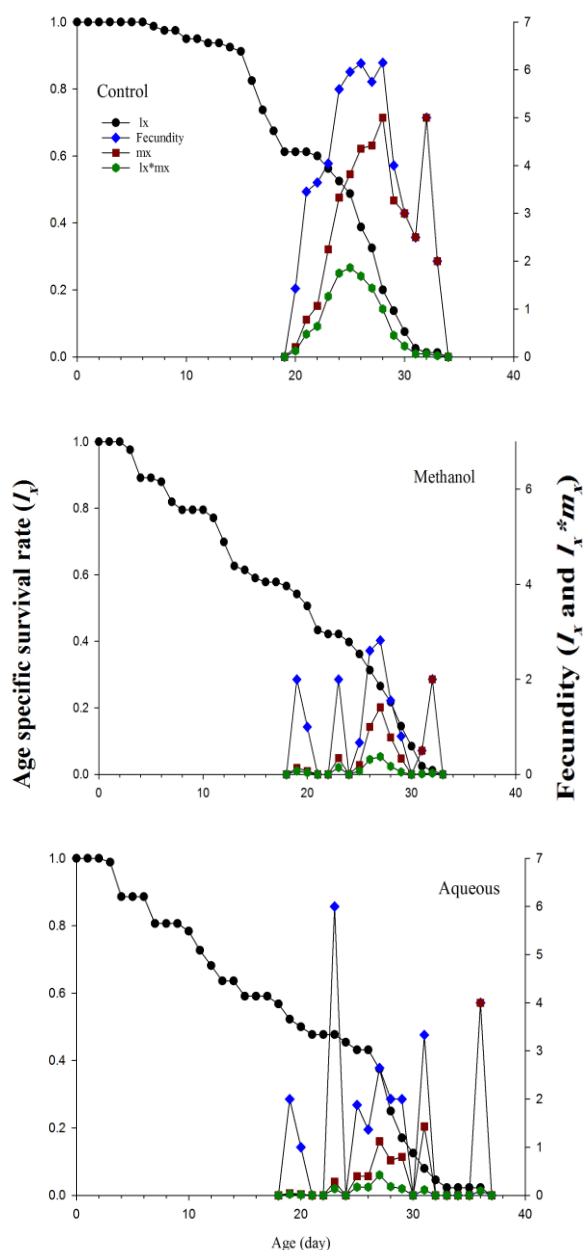
Figure 1- Sublethal effects of aqueous and methanolic extracts of *Acroptilon repens* on the age-stage specific survival rate (s_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*

ارزش تولیدمثلی در ماده‌ها در شاهد ۲۷/۳۹ تخم و در ماده‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده عصاره‌های متانولی و آبی نسبت به شاهد کاهش یافته و به ترتیب به مقادیر ۶/۴۷ و ۱۴/۱۴ تخم رسید که کاهش چشم‌گیری را نشان داد. ارزش تولیدمثلی مراحل نابالغ نیز در تیمار زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. با کاهش میزان باروری و زنده‌مانی، به تدریج از مقدار این فراسنجه نیز کاسته شده و با

شاخص ارزش تولیدمثل ویژه سن-مرحله رشدی (v_{xj})، بیانگر میزان سهم هر فرد در ایجاد نسل بعد می‌باشد (شکل ۴)، به عبارت دیگر، انتظاری که از افراد با سن X و مرحله رشدی j می‌رود تا در تولید نتاج بعدی مشارکت کنند. ارزش تولیدمثلی در ماده‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش داشته و تحت تأثیر عصاره‌های گیاه تلخه قرار گرفت. نتایج تحقیق اخیر نشان داد که

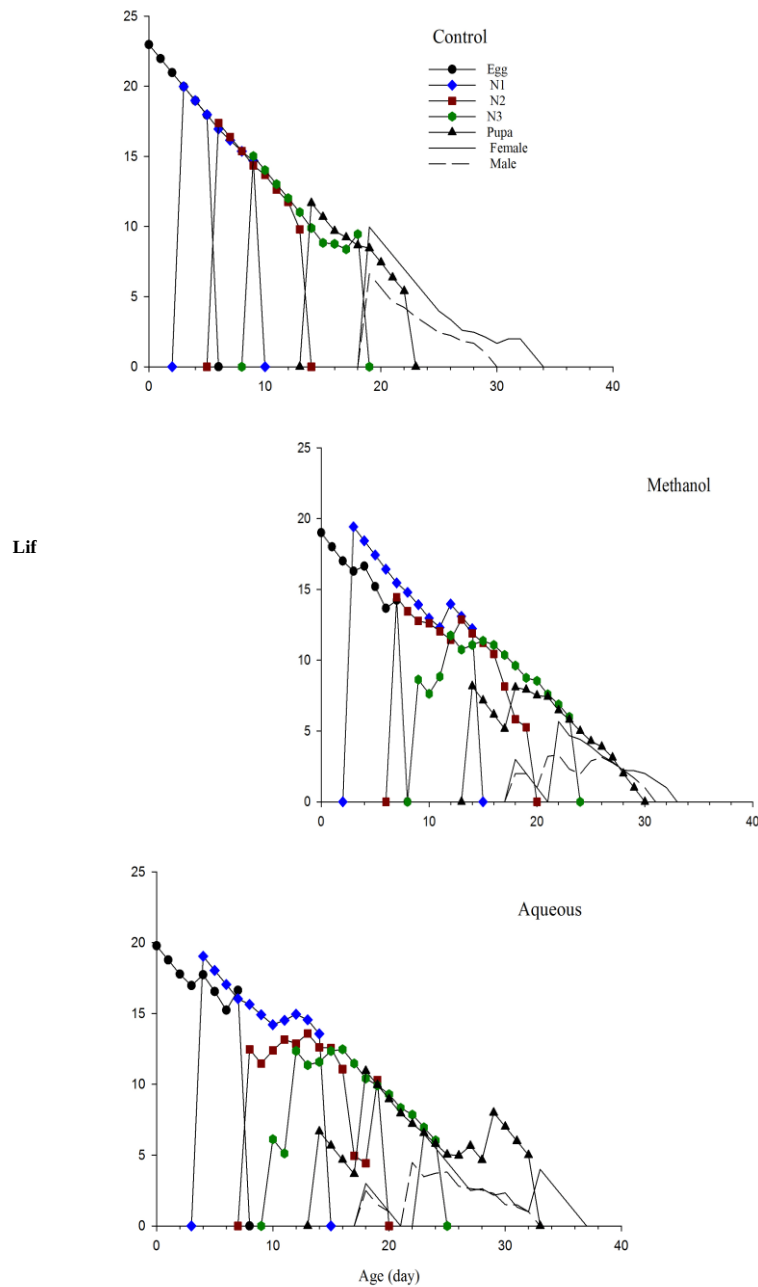
شاهد ثبت شد (شکل ۵). این مسأله بیانگر این نکته مهم هست که با کاهش غلظت حشره کش زیستی، می توان مهار مؤثری نیز بر جمعیت حشره آفت داشت و مانع از افزایش سرعت رشد جمعیت آفت مد نظر شد (شکل ۶).

رسیدن به مرحله پس از پوره زایی این مقدار به صفر رسید. پیش بینی رشد جمعیت در هر تیمار با در نظر گرفتن یک بازه زمانی ۶۰ روزه صورت گرفت. کمترین سرعت رشد و نمو مراحل مختلف رشدی حشره، در تیمار عصاره آبی به علت پایین بودن نرخ ذاتی افزایش جمعیت مشاهده شد. بالاترین سرعت رشد و نمو در



شکل ۲- اثرات زیرکشنده عصاره های متانولی و آبی گیاه تلخه بر زندهمانی ویژه سنی (l_x)، باروری ویژه سن-مرحله ای (m_x) و باروری خالص روزانه ($l_x m_x$) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

Figure 2- Sublethal effects of methanolic and aqueous extracts of *Acroptilon repens* on age-specific survival (l_x), age-stage specific fertility (m_x) and age-specific fertility ($l_x m_x$) of *Trialeurodes vaporariorum*



شکل ۳- اثرات زیرکشنده عصاره‌های متانولی و آبی گیاه تلخه بر امید به زندگی سن-مرحله‌ای (e_{xj}) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

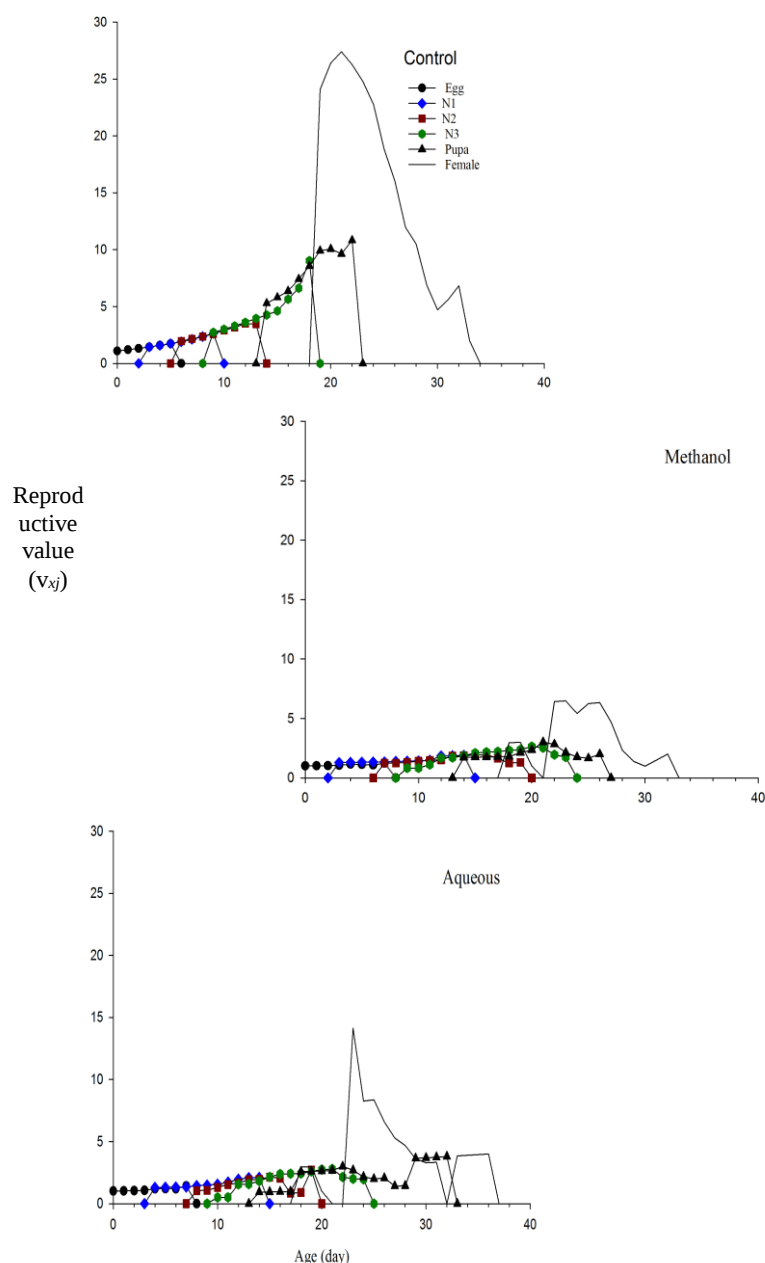
Figure 3- Sublethal effects of methanolic and aqueous extracts of *Acroptilon repens* on life expectancy (e_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*

الکل‌ها) ربط داد (Cis *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2015; Toolabi *et al.*, 2018; Samareh-Fekri, 2020). مطالعات متعددی خواص متنوع گیاه تلخه را مورد بررسی قرار داده‌اند. گیاه تلخه علاوه بر خواص علف‌کشی (Razavi *et al.*, 2012) و ضد میکروبی (Nadaf *et al.*, 2013) دارای خاصیت حشره‌کشی نیز

گیاه تلخه دارای ویژگی‌های بیولوژیک مختلف نظیر دورکنندگی، سمیت تماسی، سمیت تدخینی، ضد تخم‌ریزی و ضد تغذیه‌ای روی حشرات آفات است و علت این امر را می‌توان به فراوانی متابولیت‌های ثانویه گیاهی آن (آلکالوئیدها، گلیکوالکالوئیدها، ترپنوئیدها، اسیدهای آلی، ترکیبات فنلی، ترپن‌ها، اسانس‌ها، ساپونین‌ها، فلاونوئیدها و

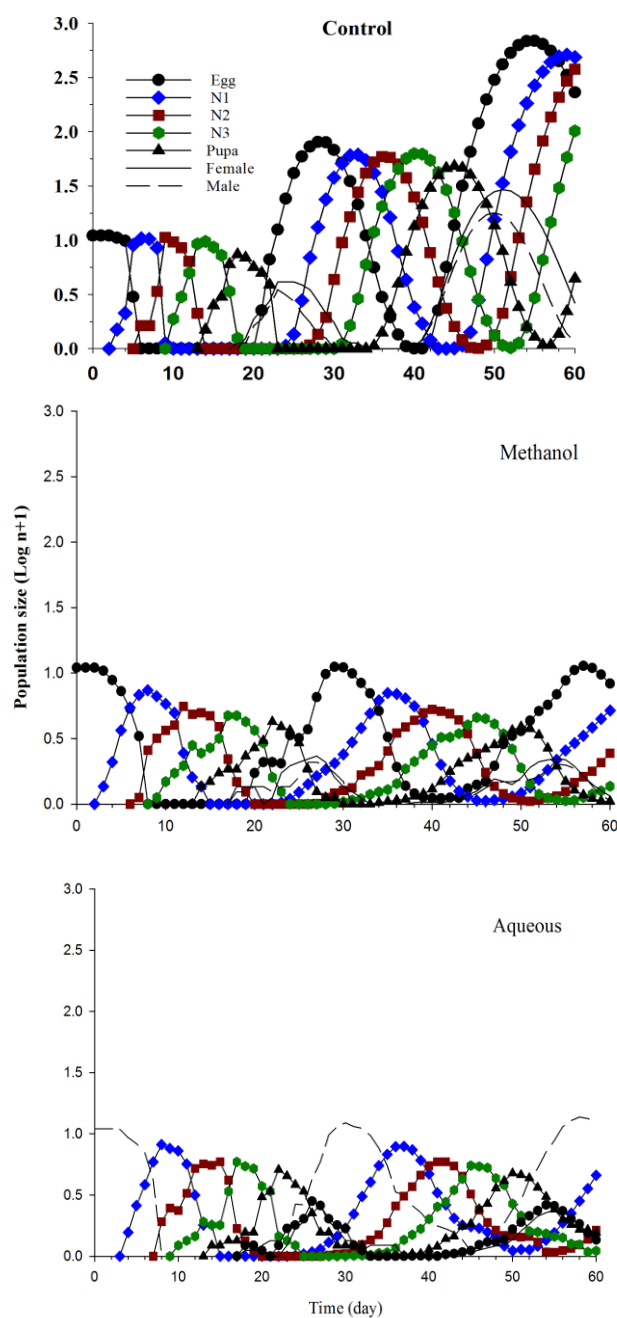
حشره کش پس از یک دوره زمانی معین، درحالی-که اثرات کشنده مربوط به اثرات حاد و سریع الاثر حشره کش می باشد. بنابراین مطالعه اثرات غلظت های زیرکشنده به منظور استفاده منطقی از آن ها از اهمیت بالایی برخوردار است (Stark & Banks, 2003; de Franca et al., 2017)

می باشد (Wang et al., 2015; Toolabi et al., 2018; Samareh-Fekri, 2020). در بسیاری از مطالعات ذکر شده، تنها اثرات کشندگی حشره کش ها روی آفات مورد بررسی قرار گرفته و این در حالی است که اثرات زیرکشدگی در پیش بینی اثر حشره کش ها روی حشره وسیع تر بوده و عبارت است از هر گونه تغییرات فیزیولوژیکی و رفتاری در افراد زنده مانده تحت تأثیر غلظت زیرکشنده



شکل ۴- اثرات زیرکشنده عصاره های متانولی و آبی گیاه تلخه بر ارزش تولیدمثلی ویژه سن-مرحله ای (v_{xj}) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

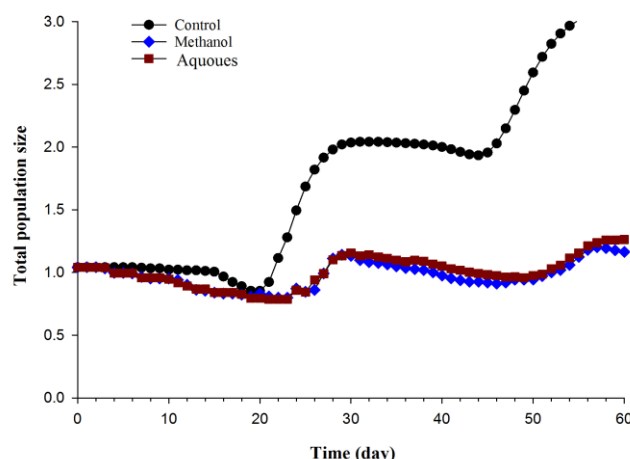
Figure 4- Sublethal effects of methanolic and aqueous extracts of *Acroptilon repens* on age-stage-specific reproductive value (v_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*



شکل ۵- اثرات زیرکشدگی عصاره‌های متانولی و آبی گیاه تلخه بر پیش‌بینی پتانسیل رشد جمعیت و ساختار مرحله سفیدبالک گلخانه،

Trialeurodes vaporarum در مقایسه با شاهد در طول ۶۰ روز

Figure 5- Sublethal effects of methanolic and aqueous extracts of *Acroptilon repens* on the projection of population growth potential and stage structure of *Trialeurodes vaporarum* in comparison with control during 60 days



شکل ۶- رشد جمعیت کل *Trialeurodes vaporariorum* تیمار شده با عصاره‌های متانولی و آبی در مقایسه با شاهد در طول ۶۰ روز
 Figure 6- Population projection of *Trialeurodes vaporariorum* (total stage) treated with methanolic and aqueous extracts of *Acroptilon repens* in comparison to control treatment during 60 days

بنابراین از مجموع نتایج گزارش شده چنین می‌توان استنباط نمود که بخش اعظم کشدگی گیاه تلخه می‌تواند مربوط به وجود کاربوفیلین اکساید باشد، اگرچه تأثیر این ماده را به‌تنهایی باید روی حشره آفت مد نظر، مورد بررسی قرار داد. اگر چه اختلافاتی از نظر میزان کاربوفیلین اکساید در بین مطالعات مختلف وجود دارد که این اختلاف را می‌توان به تفاوت زیستگاه گونه گیاهی، زمان برداشت، مرحله رشدی، منطقه جغرافیایی، جنس خاک، کیفیت مواد غذایی در دسترس گیاه، ژنتیک گیاه و روش استخراج آن ربط داد (Rajkumar et al., 2020; Isman, 2020; Sharifiyan et al., 2024).

میزان LC_{50} عصاره متانولی گیاه تلخه روی لاروهای سن سوم پشه‌های *An. stephensi*، *C. pipiens* و *A. quinquefaciatus* به ترتیب ۰/۲۹۷۰، ۲/۵۰۴۷ و ۲/۹۰۴۷ میلی گرم بر لیتر گزارش شد (Toolabi et al., 2018) (که کمتر از میزان آن روی حشرات کامل سفیدبالک گلخانه در این تحقیق بود (۳۲۶۰/۷۴۲ میکرولیتر بر میلی لیتر). مقایسه این نتایج بیانگر حساسیت بیشتر آفات بهداشتی به عصاره متانولی گیاه تلخه نسبت به سفیدبالک گلخانه بود. همچنین، در مطالعه ثمره فکری (Samareh- Fekri, 2020)، عصاره متانولی گیاه تلخه در غلظت ۴۰۰ میکرولیتر بر هوا منجر به دورکنندگی ۵۷/۵ درصد لاروهای سن آخر شپشه دنداندار گردید. شریفیان و همکاران (Sharifiyan et al., 2024) در مطالعه سمیت تدخینی، میزان LC_{50} اسانس گیاهان نناع فلفلی و پونه را روی حشرات کامل سفیدبالک گلخانه، به ترتیب (۵۵۹/۷۷۶ میکرولیتر بر لیتر) و (۳۹۱/۵۷۴ میکرولیتر بر لیتر) گزارش کردند. تفاوت در میزان LC_{50} به‌دست‌آمده و حساسیت مراحل مختلف حشرات را می‌توان به اندازه جثه، سن رشدی حشره و تفاوت در ساختار جلد حشرات، روش زیست‌سنجی

در تحقیق حاضر به‌منظور دستیابی به نتایج جامع‌تر، هر دو اثرات کشدگی و زیرکشدگی عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه روی حشرات کامل سفیدبالک گلخانه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحقیق حاضر نشان از حساسیت زیاد حشرات کامل سفیدبالک گلخانه به عصاره آبی نسبت به عصاره متانولی بود. در این تحقیق، علت حساسیت زیاد آن‌ها به عصاره آبی را می‌توان به وجود سزکوی ترپن‌های (نظیر ترپن‌ئیدها) گیاه *A. repens* ربط داد بود. طبق یافته‌های تونالیر و همکاران (Tunalier et al., 2006) سزکوی- ترپن‌ها بیشترین مقدار (۵۶ درصد) را در بین ترکیبات شناسایی شده *A. repens* داشتند. طبق نتایج به‌دست‌آمده از GC-MS در این تحقیق نیز (نتایج نشان داده نشده است) بیشترین درصد ترکیب شناسایی شده مربوط به کاربوفیلین اکساید (نوعی سزکوی ترپن) بود و گزارش‌هایی مبنی بر خاصیت کشدگی بالای این ترکیب روی آفات کشاورزی و بهداشتی در مطالعات پیشین تأیید شده است (Norouzi-Arasi et al., 2006; Razavi et al., 2012; Guo et al., 2015; Oh et al., 2024; Cárdenas-Ortega et al., 2015; Bett et al., 2016). باین حال، در مورد سمیت تدخینی گیاه تلخه روی سفیدبالک گلخانه در مطالعات قبلی یافته‌ای وجود ندارد. براساس مطالعه نوروزی ارسی و همکاران (Norouzi-Arasi et al., 2006)، در اسانس گیاه تلخه ۲۲ ترکیب شناسایی شد که مهم‌ترین آن‌ها اکسید کاربوفیلین (۳۶/۶ درصد) و آلفا کوپن (۱۵/۶ درصد) بودند. در تحقیق انجام‌شده توسط رضوی و همکاران (Razavi et al., 2012)، که به بررسی ترکیبات شیمیایی بخش‌های هوایی گیاه تلخه و اثرات سمی آن‌ها پرداختند، نتایج آنالیز ترکیبات شیمیایی گیاه تلخه به شناسایی ۹۰ ترکیب منجر شده که عمده‌ترین آن‌ها شامل کاربوفیلین اکساید، بتا کوبابین، آلفا کوپان، بتا کاربوفیلین و آلفاکوپان بوده است.

روش استخراجی (اسانس و عصاره) و ساختار شیمیایی گیاهان مذکور ربط داد (Rajkumar et al., 2020; Isman, 2020; Sharifiyan et al., 2024).

استفاده از غلظت زیرکشنده عصاره‌های آبی و متانولی علاوه بر تأثیر بر مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه، اثرات سوئی بر ویژگی‌های زیستی حشرات کامل داشت، به‌طوری‌که با تأخیر کل دوره پیش از تخم‌ریزی و کاهش طول عمر حشرات ماده، طول دوره تخم‌ریزی و میزان باروری نسبت به شاهد کاهش چشمگیری یافت. نتایج مشابهی از اثرات زیرکشنده گیاه‌های وحشی نظیر آزادیراکتین و پالیزین (گیاه نارگیل) (Rahmani Aghdam et al., 2022)، بینو ۲ (عصاره گیاه تلخه بیان) (Reshadat Salvanagh et al., 2024) و تنداکسیر (عصاره روغنی فلفل قرمز) و سالی پست (Saeedi, 2022) بر کاهش میزان باروری و طول عمر حشرات کامل ماده وجود دارد. در بررسی صورت گرفته توسط نیک‌اختر و همکاران (Nikakhtar et al., 2022)، میزان باروری و طول دوره تخم‌گذاری سفیدبالک تحت تأثیر غلظت‌های زیرکشنده سه فرمولاسیون آزادیراکتین باروری افراد ماده از ۳۴/۹۴ تخم به‌ازای هر ماده در شاهد به‌ترتیب به ۲۷/۵۷، ۱۵/۲۷ و ۸ تخم به‌ازای هر ماده در فرمولاسیون‌های کوف (Kofa; 1.2% EC)، نیم‌آزال (NeemAzal T/S; EC %1) و نیم‌سیدین (Nimbecidine EC %0.03) کاهش یافت. مقایسه یافته‌های این تحقیق در خصوص تأثیر عصاره‌های آبی (۷/۵۳ تخم) و متانولی (۶/۵۶ تخم) بر میزان باروری با یافته‌های این محققان، به مراتب مؤثرتر از حشره‌کش گیاهی آزادیراکتین می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که قرار گرفتن حشرات کامل سفید بالک گلخانه در معرض غلظت زیرکشنده هر دو عصاره آبی و متانولی باعث کاهش قابل توجه فراسنجه‌های رشد جمعیتی این آفت، نظیر نرخ باروری خالص (R_0)، نرخ ذاتی و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) شدند. در این تحقیق، عصاره‌های آبی و متانولی گیاه تلخه از طریق کاهش در طول عمر و بقاء حشرات کامل و کاهش تخم‌ریزی (به‌دلیل کوتاه شدن طول عمر) باعث کاهش میزان فراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، و در نتیجه باعث کندتر شدن سرعت افزایش جمعیت سفیدبالک شدند- (Heidari et al., 2005). نتایج این تحقیق نشان داد که اگرچه اختلاف معنی‌داری از نظر فراسنجه نرخ متناهی افزایش جمعیت بین عصاره‌های مورد مطالعه وجود نداشت، ولی نرخ متناهی افزایش جمعیت را در نتایج حاصله نسبت به شاهد (۱/۰۹۶ بر روز) به‌طور معنی‌داری کاهش دادند. همچنین غلظت زیرکشنده عصاره آبی، متوسط مدت زمان یک نسل حشره را، بیشتر از عصاره متانولی افزایش داد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که رشد جمعیت سفیدبالک گلخانه در تیمارهای متانولی و آبی دقیقاً مطابق با فراسنجه‌های رشد جمعیت برآوردشده بود. به‌عنوان مثال، حشرات کامل سفیدبالک گلخانه تیمار شده با عصاره آبی، سرعت رشد کمتر و

مورد استفاده و گونه موجود مورد مطالعه ربط داد، به‌طوری‌که حشرات با جثه کوچک‌تر و سن پایین از حساسیت بیشتری نسبت به حشرات درشت جثه برخوردار هستند (Prince & Chandler, 2020). در تحقیقات قبلی، اثرات کشندگی، دورکنندگی و ضدتغذیه‌ای گیاه تلخه را در قالب سمیت کوتاه‌مدت ارزیابی شده و درباره اثرات طولانی‌مدت (زیرکشنده) گیاه تلخه بر هیچ یک از آفات حشره‌ای به‌ویژه سفیدبالک گلخانه‌ای مطالعه‌ای صورت نگرفته است. با توجه به اینکه برآورد فراسنجه‌های رشد جمعیت و تعیین نحوه روند رشد و سرعت جمعیت حشرات از طریق مطالعه اثر حشره‌کش‌ها بر توانایی تولیدمثلی، در تعیین کارایی آن‌ها حائز اهمیت است (Amini Jam & Saber, 2021). لذا در این پژوهش، برای اولین بار، اثرات زیرکشنده غلظت (LC₂₅) دو عصاره آبی و متانولی گیاه تلخه روی طول دوره مراحل مختلف نابالغ، طول دوره مراحل مختلف حشرات کامل، فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار، طول دوره مراحل تخم-گذاری، باروری و پیش‌بینی سرعت رشد جمعیتی آن صورت گرفت. تأخیر در طول دوره رشدی و تولیدمثلی حشرات، یکی از اثرات نامطلوب غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌ها می‌باشد (Piri Ouchtape et al., 2024). مطالعه اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌ها با استفاده از روش جدول زندگی دوجنسی (سنی-مرحله‌ای)، علاوه بر تعیین نقش حشرات ماده، نقش حشرات جنس نر و مراحل رشدی نابالغ را نادیده نگرفته، بلکه به اهمیت آن‌ها در روند تغییرات جمعیتی تأکید دارد (Chi et al., 2020). در تحقیق حاضر هر دو عصاره گیاه تلخه به‌ویژه عصاره آبی، علاوه بر تأخیر در رشد و نمو مراحل نابالغ، منجر به کاهش طول عمر حشرات کامل ماده گردید. تأخیر در طول عمر مراحل نابالغ حشره آفت، یکی از اثرات تجمعی غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها است که می‌تواند زمینه را برای در معرض قرار گیری آن‌ها در برابر دشمنان طبیعی فراهم کند و در تقویت تأثیر مهار بیولوژیک علیه آفات مفید باشد (Abdollahzadeh-Bovani et al., 2025). با توجه به اینکه تاکنون مطالعاتی مبنی بر اثرات زیرکشنده عصاره تلخه روی حشرات آفات به‌ویژه سفیدبالک گلخانه وجود ندارد، لذا به‌ناچار جهت مقایسه نتایج اثرات زیرکشنده، از اسانس‌ها و حشره‌کش‌های گیاهی سایر گیاهان استفاده شد. اگرچه، تأخیر در رشد و نمو مراحل نابالغ و کاهش طول عمر حشرات کامل ماده در اثرات زیرکشنده اسانس‌های نعنای فلفلی، پونه (Sharifiyan et al., 2024) و فرمولاسیون‌های آزادیراکتین (Nikakhtar et al., 2022) بر سفیدبالک گلخانه نیز گزارش شده است، ولی مقایسه نتایج این تحقیق در خصوص تأثیر غلظت زیرکشنده عصاره آبی گیاه تلخه بر طول دوره مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه طولانی‌تر (۲۴/۹۱ روز) از نعنای فلفلی (۲۴/۱۱ روز) بود (Sharifiyan et al., 2024). تفاوت طول دوره رشد و نمو مراحل نابالغ سفیدبالک مشاهده شده در این تحقیق را می‌توان به تفاوت در نحوه اثر (سمیت تماسی یا تدخینی)،

در نتیجه مدت زمان یک نسل (T)، طولانی مدت داشتند.

نتیجه گیری

یافته‌های حاصل از این تحقیق بیانگر این نکته مهم است که با توجه به تأثیر قابل توجه غلظت زیرکشنده هر دو عصاره آبی و متانولی گیاه تلخه، به‌ویژه عصاره آبی بر پتانسیل رشد جمعیت سفیدبالک گلخانه، می‌توان از آن‌ها در قالب مدیریت تلفیقی در گلخانه‌ها علیه

این آفت استفاده کرد. همچنین با توجه به تأثیر بهتر عصاره آبی، می‌توان گام‌های وسیعی را در جهت تولید آفت‌کش گیاهی بر پایه عصاره آبی مذکور به‌دلیل مقرون‌به‌صرفه بودن احتمالی آن، در مقایسه با عصاره متانولی آن تولید کرد. اگرچه اقدامات تکمیلی در خصوص صرفه اقتصادی، نحوه تولید و فرموله کردن حشره‌کش مذکور و تأثیر آن بر روی دشمنان طبیعی، بهتر است که ارزیابی‌های دقیقی صورت گیرد.

References

1. Amini Jam, N., Kochevli, F., Mossadegh, M.S., Rasekh, A., & Saber, M. (2012). Effect of imidacloprid and pirimicarb on functional response of *Aphidius matricariae* Haliday (Hym: Braconidae) under laboratory conditions. *Plant Pest Research*, 2(3), 51-61.
2. Baqeri, F., & Noori Deh Bozorgi, Z. (2023). Insecticidal and repellency properties of apple of sodom, *Calotropis procera* extract on greenhouse whitefly. *Plant Pest Research*, 3(13), 17-26. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22124/iprj.2023.25732.1536>
3. Abdollahzadeh-Bovani, M., Mehrkhou, F., & Forouzan, M. (2024). Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen on life table and population growth parameters of *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Biological Control of Pests and Plant Diseases*, 12(1), 111-131. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jbioc.2024.376343.343>
4. Bett, P.K., Deng, A.L., Ogendo, J.O., Kariuki, S.T., Kamatenesi-Mugisha, M., Mihale, J.M., & Torto, B. (2016). Chemical composition of *Cupressus lusitanica* and *Eucalyptus saligna* leaf essential oils and bioactivity against major insect pests of stored food grains. *Industrial Crops and Products*, 82, 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.009>
5. Cárdenas-Ortega, N.C., González-Chávez, M.M., Figueroa-Brito, R., Flores-Macías, A., Romo-Asunción, D., Martínez-González, D.E., Pérez-Moreno, V., & Ramos-López, M.A. (2015). Composition of the essential oil of *Salvia ballotiflora* (Lamiaceae) and its insecticidal activity. *Molecules*, 20(5), 8048-8059. <https://doi.org/10.3390/molecules20058048>
6. Chi, H. (2024 a). TWOSEX-MSChart: A computer program for age stage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan; available from. <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TWOSEX-MSChart.rar>.
7. Chi, H. (2024 b) TIMING-MSChart: A computer program for the population projection based on age-stage, two-sex life table. Taichung, Taiwan: National Chung Hsing University; Available from. <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TimingMSChart.rar>.
8. Chi, H., You, M., Atlihan, R., Smith, C. L., Kavousi, A., Özgökçe, M. S., Güncan, A., Tuan, S.-J., Fu, J.-W., Xu, Y.-Y., Zheng, F.-Q., Ye, B.-H., Chu, D., Yu, Y., Gharekhani, G., Saska, P., Gotoh, T., Schneider, M.I., Bussaman, P., Gökçe, A., & Liu, T.X. (2020). Age-stage, two-sex life table: An introduction to theory, data analysis, and application. *Entomologia Generalis*, 40(2), 103-124. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2020/0936>
9. Choi, W.I., Lee, E.H., Choi, B.R., Park, H.M., & Ahn, Y.J. (2003). Toxicity of plant essential oils to *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology*, 96(5), 1479-1484. <https://doi.org/10.1093/jee/96.5.1479>
10. Cis, J., Nowak, G., & Kisiel, W. (2006). Antifeedant properties and chemotaxonomic implications of sesquiterpene lactones and syringin from *Rhaponticum pulchrum*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 34(12), 862-867. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2006.05.019>
11. Croft, B.A. (1990). *Arthropod Biological Control Agents and Pesticides* (pp. 723). John Wiley & Sons, Inc.
12. de França, S.M., Breda, M.O., Barbosa, D.R.S., Araujo, A.M.N., & Guedes, C.A. (2017). The sublethal effects of insecticides in insects. In: Shields, V.D.C. (eds.) *Biological Control Pest Vector Insect*, 23-39. <https://doi.org/10.5772/66461>
13. Dehghani, M., & Ahmadi, K. (2011). Effects of *Melia azedarach* L. and *Peganum harmala* L. extracts on nymphal and pupal developmental duration of *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Herbal Drugs*, 2(4), 239-244. (in Persian) .
14. Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J.M. (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52(1), 81-106. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>
15. Erdogan, C., Velioglu, A.S., Gurkan, M.O., Denholm, I., & Moores, G.D. (2021). Detection of resistance to pyrethroid and neonicotinoid insecticides in the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westw.) (Homiptera: Aleyrodidae). *Crop Protection*, 146, 105661. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105661>

16. Fahim, M., Safar Alizadeh, M.H., & Safavi, S.A. (2012). Evaluation of susceptibility of egg, nymph, and adult of greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) to two plant essential oils (spearmint and cumin) under laboratory conditions. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 22(3), 28-35.
17. Gamarra, H., Sporleder, M., Carhuapoma, P., Kroschel, J., & Kreuze, J. (2020). A temperature-dependent phenology model for the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Virus Research*, 289, 198107. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198107>
18. Gerling, D., & Sinai, P. (1994). Buprofezin effects on two parasitoid species of whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology*, 87(4), 842-846. <https://doi.org/10.1093/jee/87.4.842> .
19. Guo, S.S., You, C.X., Liang, J.Y., Zhang, W.J., Geng, Z.F., Wang, C.F., & Lei, N. (2015). Chemical composition and bioactivities of the essential oil from *Etlingera yunnanensis* against two stored product insects. *Molecules*, 20, 15735–15747. <https://doi.org/10.3390/molecules200915735>
20. Heidari, A., Moharramipour, S., Poormirza, A.A., & Talebi, A.A. (2005). Effects of pyriproxyfen, buprofezin, and fenpropathrin on the growth population parameters in *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hom.: Aleyrodidae). *Iranian Journal of Agricultural Science*, 36(2), 353–361. (in Persian with English abstract).
21. Heydarzade, A., Valizadegan, O., Negahban, M., & Mehrkhou, F. (2019). Efficacy of *Mentha spicata* and *Mentha pulegium* essential oil nanoformulation on mortality and physiology of *Tribolium castaneum* (Col.: Tenebrionidae). *Journal of Crop Protection*, 8(4), 501-520. (in Persian with English abstract).
22. Heydarzade, A. (2020). Survey on efficacy of nanoformulation containing essential oils of *Mentha spicata* L. and *Mentha pulegium* L. on biological and physiological aspects of *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep.: Pyralidae) and *Tribolium castaneum* Herbst (Col.: Tenebrionidae). Ph.D. Thesis, Urmia University, 155 p. (in Persian with English abstract)
23. Isman, M.B. (2020). Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise? *Annual Review of Entomology*, 65, 233–249. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010>
24. Koul, O., Walia, S., & Dhaliwal, G.S. (2008). Essential oils as green pesticides: Potential and constraints. *Biopesticides International*, 4(1), 63-84.
25. Lawrence, P.O. (1981). Developmental and reproductive biologies of the parasitic wasp *Biosteres longicaudatus*, reared on hosts treated with a chitin synthesis inhibitor. *International Journal of Tropical Insect Science*, 1(4), 403-406. <https://doi.org/10.1017/S174275840000076X>
26. Locke, J.C., Walter, J.F., & Larew, H.G.L. (1994). Hydrophobic extracted neem oil--A novel fungicide (U.S. Patent No. 5,368,856). United States Patent and Trademark Office.
27. Moaven, N., Ghorbani, R., & Rezaeian-Doloei, R. (2014). Investigation on biological control of Russian knapweed (*Acroptilon repens* L.) with fungal pathogens. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(2), 107-122.
28. Nadaf, M., Nasrabadi, M., Halimi, M., Yazdani, Z., Javanshir, A., Ramazani, S., & Mohaddesi, B. (2013). Identification of non-polar chemical compounds in *Acroptilon repens* growing in Iran by GC-MS. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 17(5), 590–592.
29. Nikakhtar, S., Aramideh, S., Mirfakhraei, S., & Forouzan, M. (2022). The effect of sublethal concentration of three commercial formulations of neem including Kofa, NeemAzal, and Nimbecidine on the life table parameters of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hem., Aleyrodidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 42(4), 313–323. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.52547/jesi.42.4.6>
30. Norouzi-Arasi, H., Yavari, I., Chalabian, F., Kiarostami, V., Ghaffarzadeh, F., & Nasirian, A. (2006). Chemical constituents and antimicrobial activities of the essential oil of *Acroptilon repens* (L.) DC. *Flavour and Fragrance Journal*, 21, 247–249. <https://doi.org/10.1002/ffj.1568>
31. Oh, Y., Park, S., Byun, H.K., Cho, Y., Lee, I.J., Kim, J.S., & Ye, J.C. (2024). LLM-driven multimodal target volume contouring in radiation oncology. *Nature Communications*, 15(1), 9186.
32. Piri Ouchtape, M., Mehrkhou, F., & Forouzan, M. (2024). Lethal and sub-lethal effects of Clothianidin and summer oil on the life table parameters and population trend of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Hem.: Aphididae). *Plant Pest Research*, 13(4), 17-34. (in Persian with English abstract)
33. Prince, G., & Chandler, D. (2020). *Brevicoryne brassicae* and *Nasonovia ribisnigri* to fungal biopesticides in laboratory and field experiments. *Insects*, 11(1), 55.
34. Rahmani-Aghdam, E., Mehrkhou, F., & Forouzan, M. (2022). Sublethal effects of herbal insecticides, azadirachtin and palizin, on the life history, survival rate, and life expectancy of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). In Proceedings of the 24th Iranian Plant Protection Congress, Tehran, Iran, p. 46. (in Persian with English abstract)
35. Rajkumar, V., Gunasekaran, C., Dharmaraj, J., Chinnaraj, P., Paul, C.A., & Kanithachristy, I. (2020). Structural characterization of chitosan nanoparticles loaded with *Piper nigrum* essential oil for biological efficacy against stored grain pest control. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 166, 104566. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104566>

36. Razavi, S.M., Narouei, M., Majrohi, A.A., & Mohammaddust Chamanabad, H.R. (2012). Chemical constituents and phytotoxic activity of the essential oil of *Acroptilon repens* (L.) DC from Iran. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 15(6), 943–948. <http://dx.doi.org/10.1080/0972060x.2012.10662597>
37. Reshadat Salvanagh, N., Mehrkhou, F., & Fourozan, M. (2024). Lethal and sublethal effects of Flonicamid and BIO2 on life span and population growth parameters of greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Phytoparasitica*, 52(90).
38. Reshadat Salvanagh, N. (2021). Survey on the sublethal effects of Flonicamid and Bino2 on the population growth parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). M.Sc. Thesis, Urmia University, 76 p. (in Persian with English abstract)
39. Rodriguez, H.C. (2000). *Plantas contra plagas: Potencial práctico del ajo, anona, nim, chile y tabaco* (133 p.). Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México (RAPAM) y Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco.
40. Rodriguez, H.C., & Vendramim, J.D. (2008). Substancias vegetales para el manejo de las moscas blancas (pp. 83-102). In S. Infante G. (Ed.), *Moscas blancas: Temas selectos sobre su manejo*. Colegio de Postgraduados, Mundi Prensa.
41. Rumpf, S., Frampton, C., & Chapman, B. (1997). Acute toxicity of insecticides to *Micromus tasmaniae* (Neuroptera: Hemerobiidae) and *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae): LC50 and LC90 estimates for various test durations. *Journal of Economic Entomology*, 90(6), 1493–1499. <https://doi.org/10.1093/jee/90.6.1493>
42. Saeedi, M.R. (2022). Survey on the lethal and sublethal effects of Tondexir and Salpipest on the population growth parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). M.Sc. Thesis, Urmia University, Urmiam Iran. (in Persian with English abstract)
43. Safavi, S.A., & Bakhshaei, M. (2017). Biological parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) exposed to lethal and sublethal concentrations of Calypso®. *Journal of Crop Protection*, 6(3), 341–351.
44. Samareh Fekri, M. (2020). Effect of repellency and oviposition deterrence of plant extract and powder of *Acroptilon repens* (Asteraceae) and *Sophora aculeopoides* (Fabaceae) on saw toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*) in laboratory conditions. *Journal of Entomological Research*, 12(2), 103-117.
45. Sharifiyan, M., Mehrkhou, F., & Negahban, M. (2024). Lethal and sublethal effects of *Mentha piperita* L. and its nanoformulation on the biological and population growth parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood). *Journal of Entomological Society of Iran*, 44(1), 20-30. (In Persian with English abstract)
46. Smith C.M. (1989). Plant resistance to insects: a fundamental approach. John Wiley and Sons. New York.
47. SPSS, Inc. (2019). IBM SPSS statistics for windows, version 26.0 (Vol. 440). IBM Corporation.
48. Stark, J.D., & Banks, J.E. (2003). Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annual Review of Entomology*, 48, 505–519. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.48.091801.112621>
49. Toolabi, R., Abai, M.R., Sedaghat, M.M., Vatandoost, H., Shayeghi, M., Tavajoli, S., & Sistanzade Aghdam, M. (2018). Larviciding activity of *Acroptilon repens* extract against *Anopheles stephensi*, *Culex pipiens*, and *Culex quinquefasciatus* under laboratory conditions. *Pharmacognosy Journal*, 10(3), 453-456.
50. Tunalier, Z., Candan, N.T., Demirci, B., & Baser, H.C.K. (2006). The essential oil composition of *Acroptilon repens* (L.) DC. of Turkish origin. *Flavour and Fragrance Journal*, 21(5), 462–464. <https://doi.org/10.1002/ffj.1670>
51. Vinson, S.B. (1974). Effect of an insect growth regulator on two parasitoids developing from treated tobacco budworm larvae. *Journal of Economic Entomology*, 67, 335–336. <https://doi.org/10.1093/jee/67.3.335>
52. Wang, X.H., Liu, M.Y., Hu, G.F., Niu, S.J., Yu, H.T., & Zhang, X.R. (2015). Insecticidal activity of fractions from *Acroptilon repens* against larvae of Lepidoptera. *Journal of Southwest Agriculture*, 28(3), 1124–1129.
53. Watanabe, L.F.M., Bello, V.H., De Marchi, B.R., Sartori, M.M.P., Pavan, M.A., & Krause-Sakate, R. (2018). Performance of *Bemisia tabaci* MEAM1 and *Trialeurodes vaporariorum* on tomato chlorosis virus (ToCV) infected plants. *Journal of Applied Entomology*, 142(10), 1008–1015. <https://doi.org/10.1111/jen.12559>

Evaluation of Chitosan, Gamma-Aminobutyric Acid and Potassium Silicate on some Biochemical Parameters of Pistachio Tree to Induce Resistance against Pistachio Psyllid (*Agonoscena pistaciae*)

H. Ghasemi Nejad Rayeni¹, M. Pahlavan Yali^{1*}, M. Bozorg-Amirkalaei²

1- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

(* - Corresponding author's Email: pahlavanm@uk.ac.ir)

Received: 11-12-2024
Revised: 18-05-2025
Accepted: 03-06-2025
Available Online: 10-11-2025

How to cite this article:

Ghasemi Nejad Rayeni, H., Pahlavan Yali, M., & Bozorg Amir-Kalaei, M. (2025). Evaluation of chitosan, gamma-aminobutyric acid and potassium silicate on some biochemical parameters of pistachio tree to induce resistance against pistachio psyllid (*Agonoscena pistaciae*). *Iranian Plant Protection Research*, 39(3), 269-282. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jpp.2025.91135.1212>

Introduction

Pistachio (*Pistacia vera* L.), is a small tree native to Iran and Central Asia, grown for its edible seeds. The pistachio nut is an important export product and has special value among agricultural products. The pistachio psylla, *Agonoscena pistaciae* Burckhardt and Lauterer (Hemiptera, Psyllidae), is one of the key pests of pistachio trees. It is distributed in Turkey, Greece, Iran, Armenia, and Tajikistan. In both adult and nymphal stages, it directly damages trees by absorbing plant sap. Moreover, psyllids are usually involved in the transmission of pathogens and cause significant losses to the host. Stimulation of plant defense mechanisms by specific inducing agents (elicitors) is an alternative tool to protect plants against pests. Natural or synthetic elicitors activate induced systemic resistance (ISR). In recent years, researchers have been interested in finding efficient and environmentally friendly methods to prevent biotic agents that damage plants, such as the application of potential ISR elicitors. Elicitors can influence the secondary metabolite contents in plants in response to herbivores and induce defense mechanisms, thereby increasing the resistance of plants against pests. Further, secondary metabolites can affect oxidative stress through producing free radicals and modifying the antioxidant enzyme systems. The catalase and peroxidase enzymes play an important role in the defense system of plants. Thus, the present research was conducted to evaluate the effects of chitosan, gamma-aminobutyric acid and potassium silicate on the contents of secondary metabolites and biochemical compounds in pistachio leaves and the resultant effects on the pest population control.

Materials and Methods

The field experiments were conducted on 30-year-old pistachio trees (cv. Fandoghi) in a 1-hectare orchard located in Najaf Shahr, Sirjan, Kerman, Iran during 2023. In this research, effect of various compounds including chitosan (0.5%), potassium silicate (2%), and gamma-aminobutyric acid (GABA) (10 mM) were studied on the population reduction rate of pistachio psyllid nymphs in field conditions. The distilled water was applied as



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.91135.1212>

control treatment. Furthermore, the amount of enzymatic and biochemical compounds including antioxidant enzymes (catalase and peroxidase), hydrogen peroxide, proline, total phenol and flavonoids were determined in the leaves of the treated pistachio trees. Finally, variables were evaluated using the one-way analysis of variance in SPSS. The Tukey test was done for mean comparisons.

Results and Discussion

In this study, spraying various compounds on pistachio trees, especially chitosan, reduced population of the psyllid nymphs. The control efficiency (%) of studied inducers showed an increasing trend in treatments of GABA (23.76%), potassium silicate (34.39%) and chitosan (46.23%), respectively. No significant difference was observed in the flavonoid contents among different treatments. Indeed, the level of total phenol in the chitosan treatment was significantly higher than others. Therefore, the difference in the control effect percentage of the psyllid nymph population between the tested treatments can be related to the presence of phenolic compounds and other secondary metabolites. Some studies have proved a negative correlation between the presence of phenolic compounds in the host plant and the population of insects. On the other hand, pistachio trees treated with different compounds in terms of hydrogen peroxide, proline, enzymes of catalase and peroxidase showed a significant difference. The highest amounts of catalase and peroxidase enzymes were significantly observed in trees treated with chitosan (1.73 and $0.031 \text{ U min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ protein}$, respectively). Peroxidase and catalase enzymes are important antioxidants which destroy free radicals. Also, the highest and lowest amount of proline was significantly recorded in the control ($52.48 \mu\text{M g}^{-1} \text{ FW}$) and chitosan ($42.40 \mu\text{M g}^{-1} \text{ FW}$) treatments, respectively. In addition, the amount of hydrogen peroxide in the GABA treatment ($128.71 \mu\text{M g}^{-1} \text{ DW}$) was significantly higher than other treatments, which related to the peroxidase enzyme ($0.016 \text{ U min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ protein}$) decrease in the plant. Peroxidase enzyme is activated by biological stress and plays an important role in protecting the cell against different toxic concentrations of hydrogen peroxide. Findings of this research showed that lower population of the psyllid nymphs in chitosan treatment was related to the higher relative content of phenol and more activity of antioxidant enzymes (catalase and peroxidase) in pistachio trees.

Conclusion

This study showed that treatment of pistachio trees with different plant resistance inducers, especially chitosan, causes physiological changes in the plant and subsequently the reduction of pistachio psyllid damage. After complementary tests on the quality and quantity of the product, these compounds can be used in integrated management programs of *A. pistaciae* to minimize the use of insecticides.

Keywords: Antioxidant enzymes, Control effect, Inducer, Total phenol

ارزیابی تأثیر کیتوزان، گاما آمینو بوتیریک اسید و سیلیکات پتاسیم بر بعضی از شاخص‌های بیوشیمیایی درخت پسته جهت القاء مقاومت در برابر پسیل پسته (*Agonoscyta pistaciae*)

هدی قاسمی نژاد راینی^۱، مریم پهلوان یلی^{۱*}، مریم بزرگ امیر کلایی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۳

چکیده

پسته از مهم‌ترین محصولات باغی در ایران محسوب می‌شود که ارزش اقتصادی زیادی دارد. یکی از مشکلات موجود در کشت پسته، حمله آفات مانند پسیل پسته (*Agonoscyta pistaciae* Burckhardt and Lauterer (Hemiptera: Psyllidae)) است که می‌تواند خسارت جدی در باغ‌های این محصول ایجاد کند. این پژوهش در یک باغ پسته یک هکتاری واقع در نجف شهر کرمان روی درختان بالغ ۳۰ ساله پسته رقم فندقی در سال ۱۴۰۲ انجام شد. در این تحقیق اثر چند ترکیب القاگر مقاومت گیاهان به آفات شامل کیتوزان (نیم درصد)، پتاسیم سیلیکات (دو درصد) و گاما آمینو بوتیریک اسید (گابا، ۱۰ میلی‌مولار) روی نرخ کاهش جمعیت پوره‌های پسیل پسته در شرایط میدانی محاسبه گردید. از آب مقطر نیز به‌عنوان شاهد استفاده شد. همچنین تأثیر این ترکیبات روی برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز و پراکسیداز)، ترکیبات ثانویه و بیوشیمیایی برگ درختان پسته پس از تهیه مطالعه شد. در این پژوهش، داده‌ها به‌وسیله آزمون One-way ANOVA تجزیه واریانس و توسط آزمون توکی مقایسه میانگین شدند. براساس نتایج، میزان کارایی القاگرهای مورد مطالعه در مهار پسیل در تیمارهای کیتوزان ۴۶/۲۳ درصد، پتاسیم سیلیکات ۳۴/۳۹ درصد و گابا ۲۳/۷۶ درصد بود. میزان فنل کل در برگ گیاه در تیمار کیتوزان (۵۵/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در مقایسه با تیمارهای دیگر به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. بیشترین مقدار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه (کاتالاز و پراکسیداز) نیز با یک ارتباط معنی‌دار در درختان تیمار شده با کیتوزان (به‌ترتیب ۱/۷۳ و ۰/۰۳۱ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) مشاهده شد. از طرفی دیگر، تأثیر منفی آب اکسیژنه در تیمار گابا (۱۲۸/۷۱ میکرومول بر گرم وزن خشک) به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمارهای دیگر بیشتر بود که با کاهش مقدار آنزیم پراکسیداز گیاه (۰/۰۱۶ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) مرتبط بود. نتایج این تحقیق بیانگر آن است که کاربرد ترکیبات مختلف به‌عنوان عامل القاکننده مقاومت باعث تغییر در میزان تولید عوامل دفاعی آنزیمی و غیر آنزیمی در گیاه میزبان شده که می‌تواند منجر به بروز مقاومت گیاه نسبت به آفت پسیل پسته شود. در این میان، درختان تیمار شده با کیتوزان، کمترین جذابیت را برای پسیل پسته داشتند. برای کاربردی شدن مصرف این ترکیبات لازم است که آزمایش‌های تکمیلی در زمینه تأثیر احتمالی بر کیفیت و کمیت محصول صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اثر کنترل، القاگر، فنل کل

۱- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(Email: pahlavanm@uk.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.91135.1212>

مقدمه

پسته (*Pistacia vera* L.) به عنوان یک محصول مهم صادراتی، جایگاه خاصی را بین تولیدات کشاورزی دارا می‌باشد. پس‌یل پسته (*Agonoscena pistaciae* Burckhardt and Lauterer) (Hemiptera: Psyllidae)، در حال حاضر آفت کلیدی و خسارت‌زای باغ‌های پسته در ایران به شمار می‌رود (Tahami Zarandi et al., 2022). این آفت بسته به شرایط آب‌وهوایی دارای چندین نسل در سال بوده و خسارت آفت مربوط به تغذیه پوره‌ها و حشرات کامل از شیره گیاهی است که موجب ضعف گیاهی، زردی برگ‌ها، ریزش جوانه‌ها و برگ‌ها می‌شود (Mahmoudi Meimand & Ghanbari Adivi, 2013; Mehrnejad, 2001). بلافاصله پس از تورم و باز شدن جوانه‌های پسته در روزهای اول بهار شروع به فعالیت کرده و جمعیت آن به طور معمول خیلی سریع افزایش می‌یابد. وجود تراکم شدید جمعیت حشره هم‌زمان با شروع مغز بستن و یا پس از آن موجب اختلال در روند پرشدن مغز شده و در نتیجه خسارت جبران‌ناپذیری به محصول پسته وارد می‌شود، به طوری که گاهی محصول هشت سال متوالی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Tahami Zarandi et al., 2022). باغ‌داران پسته به طور مداوم با به کارگیری آفت‌کش‌ها برای مهار خسارت آفت، گاهی درختان پسته را تا هشت بار در سال سم‌پاشی می‌کنند. بنابراین، گسترش و طغیان این آفت، بازنگری در مهار شیمیایی برای کاهش میزان مصرف آفت‌کش‌ها را ضروری می‌سازد (Rouhani & Samih, 2012; Shabani et al., 2011). جست‌وجو برای روش‌های جدید جایگزین و دوست‌دار محیط زیست به‌ویژه در زمینه القاء مقاومت گیاهان به تنش‌های زنده و غیرزنده از عوامل کلیدی در کشاورزی پایدار است (Justyna et al., 2013). استفاده از ترکیبات القاکننده مقاومت گیاهان به آفات که می‌تواند از یک سو سبب فعال‌سازی سازوکارهای دفاعی گیاه قبل از رویارویی با آفات و بیماری‌ها شود و از سوی دیگر خطرات زیست محیطی کمتری داشته باشد، در سال‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است (Toscano & Prabhaker, 2011).

تغذیه حشرات، یک سری تغییرات شیمیایی در گیاهان ایجاد می‌کند که بیشتر این تغییرات بخشی از واکنش‌های دفاعی گیاه به آسیب حاصل از حشرات است. هرگونه تنش که منجر به اختلال در وضعیت طبیعی اکسیداسیون (سوخت‌وساز) از طریق تولید پراکسیدها و رادیکال‌های آزاد که منتج به تولید ترکیبات سمی و آسیب به تمامی اجزاء و ساختارهای درون سلولی، از جمله پروتئین‌ها و لیپیدها شود، تنش یا استرس اکسیداتیو گفته می‌شود. میزان آسیب سلول‌های گیاهی تحت تنش‌های مختلف به میزان تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و رادیکال‌های آزاد و سازوکارهای غیرفعال‌سازی این

ترکیبات در گیاه وابسته است (Saed-Moucheshi et al., 2023). یک سامانه دفاع آنتی‌اکسیدانی با اثربخشی بالا برای رویارویی با تنش‌های اکسیداتیو در گیاهان یافت شده است که می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین برده، جاروب و یا خنثی کند. سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌توانند به صورت آنزیمی شامل آنزیم‌های کاتالاز، فنل پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و گایاکول پراکسیداز و یا غیرآنزیمی نظیر ترکیبات فنلی، کاروتنوئیدها، پرولین، گلوتاتیون، آسکوربات و آلفاتوکوفرول عمل کنند (Shahid et al., 2014). ترکیبات ثانویه گیاهی نیز نقش مهمی در مقاومت و دفاع گیاه در برابر آفات و بیماری‌ها دارند (Todd et al., 1971; War et al., 2020). گیاهان فنل‌ها را در واکنش به برخی مواد پیام‌رسان که در دفاع گیاه نقش دارند، آزاد می‌کنند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه به طور مستقیم با میزان فنل کل مرتبط است (Ghasemzadeh et al., 2010). همچنین فلاونوئیدها به عنوان ترکیبات کشنده، دورکننده و ضدتغذیه حشرات محسوب می‌شوند (Bernays et al., 1989).

ترکیباتی همچون کیتوزان، گاما آمینوبوتیریک اسید و پتاسیم سیلیکات می‌توانند سازوکارهای دفاعی گیاهان را در برابر حمله عوامل زنده فعال کنند (Wang et al., El Hadrami et al., 2010). کیتوزان یک بیوپلیمر غیرسمی است که واکنش‌های دفاعی را در گیاه تحریک می‌کند و در نتیجه باعث ایجاد موانع فیزیکی و شیمیایی در برابر حملات حشرات آفت می‌شود (Katiyar et al., 2015). این ترکیب واکنش‌های دفاعی مانند لیگنیکاسیون، تولید گونه‌های اکسیژن فعال، بیوسنتز فیتوالکسین، اسیدی شدن سیتوپلاسمی و بیوسنتز اسید جاسمونیک را در گیاهان تحت شرایط تنش زیستی القا می‌کند (El Hadrami et al., 2010). کیتوزان می‌تواند سازوکارهای دفاعی از جمله آنزیم‌های مختلف در برابر شرایط نامطلوب را تحت تأثیر قرار دهد (Katiyar et al., 2015). براساس گزارش‌ها، کیتوزان فعالیت حشره‌کشی روی شته زرد (*Aphis nerii*)، کرم برگ‌خوار پنبه (*Spodoptera littoralis*) (Badawy & El-Sabbour, 2012)، مینوز گوجه‌فرنگی (*Tuta absoluta*) (Aswad, 2012) و شپشک سیاه زیتون (*Saissetia oleae*) (Abdel-Hakim, 2018) نشان داده است (Sabbour, 2019).

گاما آمینو بوتیریک اسید (GABA) یک آمینواسید غیرپروتئینی چهار کربنه طبیعی است که معمولاً در قارچ‌ها، باکتری‌ها، جلبک‌ها و گیاهان عالی شناسایی می‌شود (Jin et al., 2019). گابا به عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده یا متابولیت در برخی مسیرهای فیزیولوژیکی گیاه تحت شرایط تنش فعال می‌شود (Lang et al., 2015; Bao et al., 2016; Zhen et al., 2018). گابا از طریق تجزیه پلی آمین‌ها یا دکربوکسیلاسیون گلوتامات متابولیزه می‌شود (Wang et al.,

از آب مقطر نیز به‌عنوان شاهد استفاده شد. علاوه بر این مشخصه‌های بیوشیمیایی، آنزیمی، میزان فلاونوئید و فنل کل برگ درختان پسته در آزمایشگاه به‌روش اسپکتروفتومتری بررسی شد. در این مطالعه، آزمایش‌ها برپایه طرح کاملاً تصادفی انجام گردید. همچنین در سنجش فنل کل از اسید گالیک (یک فنولیک اسید و از ایزومرهای **تری‌هیدروکسی‌بنزوئیک اسید**) و در سنجش فلاونوئید از کوئرستین (یک فلاونول گیاهی از گروه فلاونوئیدی پلی فنل‌ها) به‌عنوان استاندارد برای رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شد.

کارایی ترکیبات القاگر در مهار جمعیت پسیل پسته

برای انجام آزمایش، ۱۰ درخت برای هریک از تیمارها (کیتوزان، سیلیکات پتاسیم، گابا و آب به‌عنوان شاهد) که از نظر جمعیت پوره پسیل در آستانه زیان اقتصادی (۵ تا ۱۰ پوره به‌ازاء هر برگچه) قرار گرفته بودند، انتخاب شد. درختان انتخاب‌شده با نوشتن کد و گره زدن روبان به آن‌ها علامت‌گذاری شدند تا ترکیب پاششی روی هر درخت مشخص شود. آن‌گاه از هر درخت پنج شاخه در جهات شرق، غرب، شمال، جنوب و مرکز درخت که هر شاخه دارای حداقل ۱۰ برگ بود، برای پاشش ترکیبات مورد آزمایش نشانه‌گذاری شد. در این آزمایش، ۵۰ نمونه یا تکرار برای هریک از تیمارها (یک برگ از هر شاخه در هر یک از جهات هر درخت) در نظر گرفته شد. محلول پاششی‌ها، ۵:۳۰ تا ۶:۳۰ صبح با سم‌پاش پستی (مدل SR420 Stihl Inc) انجام گردید. نمونه‌برداری در این آزمایش، یک روز قبل از پاشش و هفت روز بعد از پاشش ترکیبات مورد مطالعه روی درختان پسته انجام شد. در مرحله نمونه‌برداری قبل از پاشش و بعد از پاشش، از هر شاخه روبان‌زده، یک برگ مشابه از نظر اندازه چیده شد و داخل پاکت فریزر با ذکر کد و مشخصات گذاشته شد. به‌همین ترتیب از همه درختان مشخص‌شده، نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و جمعیت پوره‌های پسیل توسط بینوکولار شمارش شدند. بعد از اتمام شمارش، تمام داده‌ها وارد نرم‌افزار Excel ۲۰۱۶ شد. در انتها با استفاده از فرمول هندرسون-تیلتون (Henderson & Tilton, 1995) (معادله ۱)، درصد کارایی مهار ترکیبات مختلف روی پوره‌های پسیل پسته محاسبه شد.

$$\text{Control effect (\%)} = (T-C)/(1-C) \times 100 \quad (1)$$

که در آن، T و C: به‌ترتیب درصد کاهش جمعیت حشره در گیاه تیمارشده با القاگر و شاهد هستند.

تعیین مشخصه‌های بیوشیمیایی برگ گیاه پسته

اندازه‌گیری مقدار فنل کل

برای اندازه‌گیری فنل کل، یک گرم از نمونه برگ تازه گیاه در ۲۰ میلی‌لیتر متانول ساییده و به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی نگهداری شد.

همچنین کاربرد خارجی گابا به‌طور قابل توجهی محتویات فنلی گیاه را افزایش داد (Wang et al., 2014) و تنش شوری قلیایی را با بیوسنتز کلروفیل و همچنین تنظیم سیستم آنتی‌اکسیدانی بهبود بخشید (Jin et al., 2019).

رشد گیاه ارتباط نزدیکی با خواص فیزیکی خاک دارد (Gliński, 2011). سیلیسیوم، دومین عنصر فراوان در خاک است. بیشتر منابع سیلیسیوم نامحلول و برای گیاه غیرقابل دسترس هستند (Balakhnina, 2013). پتاسیم سیلیکات به‌عنوان یک محرک گیاهی و منبع پتاسیم و سیلیسیوم بسیار محلول استفاده می‌شود (Hafez et al., 2021). شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد سیلیسیوم در مقاومت گیاه به آفات با تأثیر روی نشو و نما (Assis et al., 2015)، زیست‌شناسی، رفتار تغذیه (Aparecida De Assis et al., 2012) و تولیدمثل (Pereira et al., 2010) حشره دخیل است. همچنین مطالعات مختلف نقش پتاسیم سیلیکات را در کاهش تنش گیاه نشان داده‌اند (Chen et al., 2016, Gomaa et al., 2021, Abdou et al., 2022). برخی گزارش‌ها پیشنهاد کرده‌اند که پتاسیم سیلیکات با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی در طول تنش شوری، عملکرد غشاء پلاسمایی را حفظ می‌کند (Gomaa et al., 2021; Hafez et al., 2021).

به‌طور کلی، مطالعات انجام‌شده نشان داده‌اند که کاربرد القاگر-های مقاومت می‌تواند تأثیر قابل توجهی در مقاومت گیاهان نسبت به آفات مختلف داشته باشد که ممکن است به‌دلیل تقویت ساختار سلولی، فعال‌سازی سازوکارهای دفاعی و ایمنی گیاه و در نتیجه افزایش مقاومت درختان در برابر شرایط تنش باشد. همچنین ترکیبات القاگر با فعال کردن سازوکارهای دفاعی مختلف در گیاه منجر به تولید متابولیت‌های ثانویه در سطوح متفاوت بسته به مسیر مقاومت فعال شده در گیاه می‌شوند (Bidart-Bouzat & Imeh-Nathaniel, 2008). هدف از این مطالعه، بررسی افزایش کارایی ترکیبات القاگر مقاومت درختان پسته جهت مهار جمعیت پوره‌های پسیل A. pistaciae از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه و تغییر متابولیت‌های ثانویه آن است که می‌تواند در برنامه‌های مدیریت تلفیقی این آفت در باغات پسته مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در یک باغ پسته به مساحت یک هکتار واقع در نجف شهر سیرجان (کرمان، ایران) روی درختان بالغ ۳۰ ساله پسته رقم فندق در سال ۱۴۰۲ انجام شد. در این پژوهش، کارایی محلول-پاشی کیتوزان (نیم درصد، سیگا آلدريج)، پتاسیم سیلیکات (دو درصد، مرک آلمان) و گاما آمینو بوتیریک اسید (گابا) (۱۰ میلی‌مولار، سیگما آلدريج) روی مهار جمعیت پسیل پسته در شرایط میدانی بررسی شد.

استخراج و سنجش آب اکسیژنه (H_2O_2)

برای اندازه‌گیری میزان آب اکسیژنه، از روش ولیکوا (Velikova, 2000) استفاده شد. برای این منظور، ۵۰۰ میلی گرم از بافت برگ را با پنج میلی لیتر تری کلرو استیک اسید ۰/۱ درصد (v/w) در حمام یخ، ساییده تا هموژن شوند. سپس همگن‌های حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در دور ۱۲۰۰۰ سانتریفوژ شد. ۰/۵ میلی لیتر از روشنار را برداشته و به آن ۰/۵ میلی لیتر از بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی مولار با pH=7 و یک میلی لیتر یدورپتاسیم یک مولار اضافه گردید. در نهایت، جذب نمونه در طول موج ۳۹۰ نانومتر خوانده شد و سپس مقدار H_2O_2 در نمونه با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید.

سنجش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز در گیاه

تهیه عصاره آنزیمی: یک گرم بافت گیاه درون لوله ایندورف به همراه متانول ساییده شد. سپس ۵۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار (pH=7) به آن اضافه و به مدت نیم ساعت در دمای چهار درجه سانتی گراد با تکان‌های ملایم استخراج گردید. ترکیب حاصل در دمای چهار درجه سانتی گراد به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ rpm سانتریفوژ شد و از محلول شفاف رویی برای انجام آزمایش‌های سنجش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز گیاه استفاده گردید.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز: فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از روش پل و همکاران (Polle et al., 1997) اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش حاوی ۲۴۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار، ۱۰۰ میکرولیتر گایاکول ۱۸ میلی مولار، ۱۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در لوله آزمایش ریخته شد. جذب نمونه براساس اکسیداسیون گایاکول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر به مدت دو دقیقه در طول موج ۴۳۶ نانومتر خوانده شد. از محلول واکنش بدون عصاره جهت صفر کردن دستگاه استفاده گردید. همچنین از معادله ۲ به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز استفاده گردید.

(۲) فعالیت آنزیم پراکسیداز = جذب خوانده شده تقسیم بر عدد ۲۶/۶ که در آن، جذب خوانده شده: معادل میزان تراگایاکول تولید شده در یک دقیقه و ۲۶/۶: ضریب خاموشی آنزیم پراکسیداز بر حسب میلی مولار بر سانتی متر در نظر گرفته شد.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز: فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش کاماک و مارشمر (Cakmak & Marschner, 1992) به صورت زیر اندازه‌گیری شد. مقدار ۲۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی به همراه ۴۰۰ میکرولیتر از محلول بافر

سپس سانتریفوژ با دور ۱۰ هزار به مدت پنج دقیقه انجام گردید. سپس ۰/۴ میلی لیتر معرف فولین ۵۰ درصد و ۰/۸ میلی لیتر سدیم کربنات پنج درصد به ۰/۲ میلی لیتر عصاره برگ اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت دو ساعت در تاریکی نگهداری و سپس درصد جذب هر نمونه در طول موج ۷۶۵ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل SPUV-26 خوانده شد (Soland & Laima, 1999). مقدار فنل کل به صورت معادل میلی گرم اسید گالیک بر گرم وزن خشک گیاه محاسبه گردید. این سنجش برای عصاره‌های گیاهی تحت هر تیمار در سه تکرار انجام شد.

اندازه‌گیری مقدار فلاونوئید کل

بدین منظور، ۵۰۰ میکرولیتر از نمونه با ۷۵ میکرولیتر $NaNO_2$ (پنج درصد) مخلوط و به هم زده شد و ترکیب حاصل به مدت پنج دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت. در مرحله بعد، ۱۵۰ میکرولیتر $AlCl_3$ (۱۰ درصد) اضافه و به هم زده شد. سپس ۵۰۰ میکرولیتر سود یک مولار و ۲۷۵ میکرولیتر آب مقطر استریل به آن اضافه گردید. در نهایت، درصد جذب هر نمونه در طول موج ۵۱۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل SPUV-26 خوانده شد. مقدار فلاونوئید کل به صورت معادل میلی گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک گیاه محاسبه گردید (Zhishen et al., 1999). ارزیابی هر کدام از عصاره‌های گیاهی مورد آزمایش در سه تکرار انجام شد.

استخراج و سنجش پرولین

مقدار پرولین با استفاده از روش بیتز و همکاران (Bates et al., 1973) اندازه‌گیری شد. در این روش، ۰/۳ گرم از بافت گیاه با اسید سولفوسالسیلیک سه درصد سائیده شد تا مخلوط یکنواختی حاصل گردد و سپس به حجم ۱۰ میلی لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه نگهداری و در مرحله بعد، به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. دو میلی لیتر از محلول رویی، به اضافه دو میلی لیتر اسید استیک گلاسیال و دو میلی لیتر معرف نین هیدرین به مدت یک ساعت در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ °C قرار گرفت. بعد از گذشت یک ساعت زمانی که محلول سرد شد، چهار میلی لیتر تولوئن به محلول اضافه و در حدود ۲۰ ثانیه با استفاده از دستگاه مخلوط کن هم زده شد. سپس لوله‌های آزمایش را برای مدتی ثابت نگه داشته تا دو فاز کاملاً از هم جدا گردد. فاز آلی به رنگ صورتی در بالا و فاز آبی بی رنگ و شفاف در زیر فاز آلی تشکیل شد؛ که از فاز آلی جهت رنگ سنجی استفاده شد. جذب نوری محلول در ۵۲۰ نانومتر با استفاده از تولوئن به عنوان شاهد خوانده و غلظت پرولین در محلول با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد.

استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

کارایی ترکیبات القاگر در مهار جمعیت پسیل پسته

در این مطالعه، اختلاف معنی‌داری بین کارایی ترکیبات القاگر مورد آزمایش در مهار جمعیت پسیل پسته وجود داشت ($P = 0.003$ ، $F = 5.96$ ، $df = 2$ و 147 ؛ جدول ۱). بیشترین درصد تأثیر در تیمار کیتوزان و کمترین آن در تیمار گابا مشاهده شد (جدول ۱). براساس نتایج حاصل از این پژوهش، کارایی القاگرهای مورد مطالعه در مهار پسیل به ترتیب در تیمارهای گابا (۲۳/۷۶ درصد)، پتاسیم سیلیکات (۳۴/۳۹ درصد) و کیتوزان (۴۶/۲۳ درصد) روند افزایشی نشان داد.

فسفات سدیم ۲۵ میلی‌مولار و ۳۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن مخلوط شد. سپس در طول موج ۲۴۰ نانومتر، سرعت حذف پراکسید-هیدروژن به مدت دو دقیقه اندازه‌گیری شد. میزان فعالیت آنزیم با استفاده از ضریب خاموشی ۳۹/۴ میلی‌مولار بر سانتی‌متر با استفاده از معادله ۳ براساس سرعت مصرف آب اکسیژنه در دقیقه محاسبه شد. (۳) اختلاف جذب با شاهد تقسیم بر ۳۹/۴ ضربدر ۱۰۰ = فعالیت آنزیم کاتالاز

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش، داده‌ها توسط آزمون One-way ANOVA نرم‌افزار SPSS ver 26 تجزیه واریانس شدند. در ضمن قبل از تجزیه آماری، آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از روش کلموگروف-اسمرینوف انجام گردید. در صورت عدم نرمال بودن توزیع داده‌ها، از روش‌های مختلف تبدیل داده‌ها برای یکنواختی واریانس داده‌ها

جدول ۱- مقایسه میانگین ($\pm SE$) درصد تأثیر تیمارهای مختلف روی جمعیت پسیل پسته پس از هفت روز (تیر ماه ۱۴۰۲)

Table 1- Mean ($\pm SE$) percentage of the effect of different treatments on the pistachio psyllid population

Treatment	Control effect (%)
Control	-
γ amino butyric acid	23.76 $\pm$ 6.03 b*
Potassium silicate	34.39 $\pm$ 3.94 ab
Chitosan	46.23 $\pm$ 2.88 a

* میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ستون، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد دارند (آزمون توکی، $P < 0.05$)

* Means followed by different letters in each column are significantly different (Tukey test, $P < 0.05$)

نشد ($P = 0.067$ ؛ $F = 3.57$ ؛ $df = 3$ و 11)، در صورتی که میزان فنل کل آن در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری را نشان داد (۰/۰۱۳؛ $P = 0.001$ ؛ $F = 6.97$ ؛ $df = 3$ و 11). براساس نتایج مقایسه میانگین، میزان فنل کل در تیمار کیتوزان (55.93 ± 0.36) نسبت به تیمارهای دیگر به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۲).

میزان فنل و فلاونوئید کل در برگ‌های درختان پسته تحت تأثیر تیمارهای مختلف

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به میزان فنل و فلاونوئید کل در برگ درختان پسته تیمار شده با القاگرهای مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. در این پژوهش، اختلاف معنی‌داری از نظر میزان فلاونوئید کل برگ درختان پسته در تیمارهای مورد آزمایش مشاهده

جدول ۲- میزان فنل کل و فلاونوئید کل (میانگین $\pm$ خطای استاندارد) در برگ‌های درخت پسته محلول‌پاشی شده با تیمارهای مختلف

Table 2- Total phenol and total flavonoid content (Mean $\pm$ SE) in the leaves of pistachio tree sprayed with different treatments

Treatments	Total Phenol (mg.g ⁻¹ dry weight)	Total flavonoid (mg.g ⁻¹ dry weight)
Control	52.57 $\pm$ 0.39 b*	440.74 $\pm$ 1.94 a
γ amino butyric acid	51.42 $\pm$ 1.13 b	437.61 $\pm$ 3.69 a
Chitosan	55.93 $\pm$ 0.36 a	429.93 $\pm$ 3.40 a
Potassium silicate	51.42 $\pm$ 1.02 b	426.70 $\pm$ 3.65 a

* میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ستون، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد دارند (آزمون توکی، $P < 0.05$)

* Means followed by different letters in each column are significantly different (Tukey test, $P < 0.05$)

مختلف از نظر مقادیر پراکسید هیدروژن ($P < 0.0001$ ؛ $df = 3$ و 11)، پیرولین ($F = 24.84$ ؛ $P < 0.0001$ ؛ $df = 3$ و 11)، آنزیم‌های کاتالاز ($P < 0.0001$ ؛ $df = 3$ و 11) و

تأثیر تیمارهای مختلف روی میزان ترکیبات بیوشیمیایی و آنزیم‌های دفاعی گیاه

براساس نتایج تجزیه واریانس، درختان پسته تیمار شده با ترکیبات

پراکسیداز (F = ۳۳۳/۳۳; df = ۳ و ۵۱; $P < ۰/۰۰۰۱$) تفاوت معنی‌داری را نشان دادند.

نتایج مقایسه میانگین مقادیر مربوط به ترکیبات بیوشیمیایی و آنزیم‌های دفاعی درختان پسته تحت تأثیر تیمارهای مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. براساس نتایج حاصل از این تحقیق، میزان پراکسید هیدروژن در تیمار گابا (۱۲۸/۷۱) میکرومول بر گرم وزن خشک) به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمارهای دیگر بیشتر بود. همچنین بیشترین و کمترین مقدار پرولین به‌ترتیب در تیمارهای شاهد (۵۲/۴۸) میکرومول بر گرم وزن تر) و کیتوزان (۴۲/۴۰)

میکرومول بر گرم وزن تر) مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین مقدار آنزیم کاتالاز با یک اختلاف معنی‌دار در درختان تیمار شده با کیتوزان (۱/۷۳) واحد آنزیمی بر دقیقه در میلی گرم پروتئین) مشاهده شد. همچنین مقدار این آنزیم در تیمار گابا به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد و پتاسیم سیلیکات بیشتر و در مقایسه با کیتوزان کمتر بود (جدول ۳). بیشترین و کمترین مقدار آنزیم پراکسیداز به‌ترتیب در تیمارهای کیتوزان (۰/۳۱) واحد آنزیمی بر دقیقه در میلی گرم پروتئین) و گابا (۰/۱۶) واحد آنزیمی بر دقیقه در میلی گرم پروتئین) مشاهده شد.

جدول ۳- مقایسه میانگین $\pm$ خطای استاندارد مقادیر پراکسید هیدروژن، پرولین، آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در برگ‌های درختان پسته تحت تیمارهای مختلف

Table 3- Comparison of mean $\pm$ SE of hydrogen peroxide, proline, catalase and peroxidase enzymes in the leaves of pistachio trees under different treatments

Treatments	Hydrogen peroxide ($\mu\text{M.g}^{-1}\text{dW}$)	Proline ($\mu\text{M.g}^{-1}\text{FW}$)	Catalase ($\text{U.min}^{-1}.\text{mg}^{-1}\text{protein}$)	Peroxidase ($\text{U.min}^{-1}.\text{mg}^{-1}\text{protein}$)
Control	96.21 $\pm$ 1.46 b*	52.48 $\pm$ 0.18 a	0.49 $\pm$ 0.07 c	0.029 $\pm$ 0.001 b
γ amino butyric acid	128.71 $\pm$ 4.52 a	49.47 $\pm$ 0.15 b	1.17 $\pm$ 0.07 b	0.016 $\pm$ 0.001 c
Chitosan	91.06 $\pm$ 2.90 b	42.40 $\pm$ 0.19 d	1.73 $\pm$ 0.15 a	0.031 $\pm$ 0.002 a
Potassium silicate	105.13 $\pm$ 3.69 b	47.43 $\pm$ 0.12 c	0.55 $\pm$ 0.15 c	0.028 $\pm$ 0.001 b

* میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد دارند (آزمون توکی، $p < ۰/۰۵$)

* Means followed by different letters in each column are significantly different (Tukey test, $P < 0.05$)

دنبال داشت (Mahani et al., 2008).

گابا نیز در فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی گیاه به‌عنوان پیام‌رسان داخلی عمل می‌کند و میزان آن در اثر محرک‌ها و همچنین آسیب‌های مکانیکی افزایش می‌یابد (Bown et al., 2002). اصغری (Asghari, 2019) بیان کرد که گابا با جلوگیری از افزایش رادیکال‌های آزاد و همچنین با تحریک تولید آنتی‌اکسیدان‌هایی همچون آنزیم‌های کیتیناز و بتا ۱ و ۳ گلوکاناز به گیاه در مقابله با تنش کمک می‌کند. همچنین مطالعه‌ای دیگر نشان داده است که محلول‌پاشی گابا با تأثیری که روی تنظیم فعالیت آنزیم‌های فعال در متابولیسم اولیه نیتروژن و جذب نیترات دارد، موجب القاء مقاومت گیاه به تنش‌ها و افزایش رشد گیاه می‌شود (Barbosa et al., 2010). علاوه بر این، مقاومت ایجاد شده در درختان پسته توسط تیمار پتاسیم سیلیکات می‌تواند به‌دلیل کاهش سدیم و افزایش پتاسیم در اندام‌هایی هوایی گیاه (HassanvandRezaei Nejad, 2018) و یا به‌علت رسوب زیاد سیلیسیوم که باعث افزایش استحکام بافت‌ها می‌شود، صورت بگیرد (Reynolds et al., 2009). مطالعات دیگر نیز کارایی مؤثر پتاسیم سیلیکات را در مهار رشد جمعیت برخی آفات مانند *Bemisia tabaci* (Gennadius) روی خیار (Correa et al., 2005) و *Diabrotica speciosa* (Germar) روی سیب‌زمینی (Aparecida De Assis et al., 2012) گزارش کرده‌اند.

در این مطالعه، پاشش ترکیبات مختلف به‌خصوص کیتوزان روی درختان پسته، جمعیت پوره‌های پسیل را تا حد قابل توجهی مهار کردند. در واقع، تیمار گیاهان با ترکیباتی که مسیرهای مقاومت را فعال می‌کنند باعث کاهش جمعیت آفت می‌شوند. ضیال‌دینی و همکاران (Ziaaddini et al., 2022) گزارش کردند که تیمار درختان گلابی با کیتوزان موجب القاء مقاومت در درخت و کاهش جمعیت پسیل گلابی شد که با نتایج این پژوهش در القاء مقاومت توسط کیتوزان در درختان پسته نسبت به پسیل پسته مطابقت داشت. همچنین شاهرخی و همکاران (Shahrokhy et al., 2024) ثابت کردند که القاگرهایی مانند گابا و کیتوزان دارای اثرات افزایشی قابل توجه در مقاومت ایجاد شده توسط مسیر سالیسیلیک اسید می‌باشند. تأثیر بالای کیتوزان در مهار *A. pistaciae* می‌تواند با میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و ترکیبات فنلی بالا در گیاه در ارتباط باشد. فنل‌ها ترکیبات ثانویه فعالی هستند که اثرات منفی روی نشو و نما، تولیدمثل و رشد جمعیت حشرات دارند (Wójcicka, 2010). همچنین گزارش شده است که بیان سطح بالای آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز در ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی باعث القاء مقاومت گیاه به *Spodoptera litura* (F) (Lepidoptera: Noctuidae) شد که متعاقب آن اکسیداسیون بالای فنل در این گیاه، کاهش کیفیت غذایی در شاخ و برگ‌ها و معنی‌دار شدن شاخص‌های تغذیه‌ای و رشدی آفت را به

(Chen *et al.*, 2000) و سبب ایجاد مقاومت در دیواره سلول گیاهی می‌شود (Mittler, 2002). در برخی تحقیقات گزارش شده است که تغذیه حشرات مکنده موجب کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز می‌شود (Usha Rani & Jyothsna, Zhu-Salzman *et al.*, 2004; 2010). طاهری و همکاران (Taheri *et al.*, 2018) گزارش کردند که محلول پاشی کیتوزان در غلظت‌های متفاوت موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی گیاه می‌شود. همچنین کیتوزان به عنوان الفاکر زیستی موجب افزایش فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز) و ترکیبات فنل کل در گیاه ریحان شد (Naderi *et al.*, 2015). خاوری نژاد (Khavari-Nejad, 2018) بیان کرد که فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه که منجر به توان بالای دفاع گیاه می‌شود، در مسیر ایجاد تنش افزایش می‌یابد. براساس گزارش این محقق، آنتی اکسیدان‌ها مولکول‌هایی هستند که با انتقال الکترون به رادیکال‌های آزاد آن‌ها را به شکل پایدار خود تبدیل می‌کنند و به این ترتیب تأمین کننده بقاء سلول به-شمار می‌روند. تجمع پراکسیدازها در سلول می‌تواند سبب استحکام دیواره سلولی به هنگام تمایز سلولی و در نتیجه افزایش مقاومت نسبت به آسیب‌های عوامل بیمارگر شود. آنزیم پراکسیداز در برخی از فعالیت‌های متابولیکی اولیه و ثانویه متفاوت همچون تنظیم کشیدگی سلول (Goldberg *et al.*, 1986)، تشکیل لیگنین (Egea *et al.*, 2001) و اکسیداسیون فنل‌ها مؤثر است.

در این مطالعه، آنزیم پراکسیداز در درختان تیمار شده با گابا کاهش یافت که احتمالاً به دلیل افزایش میزان پراکسید هیدروژن در درختان پسته بود. چنانچه از بین رفتن مقادیر زیادی از آنزیم پراکسیداز به هنگام کاربرد گابا در پژوهش حاضر جهت مهار تنش اکسیداتیو بوده است. در واقع، پراکسیدازها نقش مهمی در حفاظت سلول در برابر غلظت‌های سمی مختلف پراکسید هیدروژن دارند و از جمله آنزیم‌هایی هستند که بر اثر تنش‌های زیستی فعال می‌شود (Parida & Das, 2005). حسوند و رضایی نژاد (Hassanvand & Rezaei Nejad, 2018) نیز نشان دادند که کاربرد پتاسیم سیلیکات در گیاه با کاهش میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز و افزایش تولید مالون دی آلدئید و نشت الکترولیت‌ها در بهبود رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی شمعانی معطر (*Pelargonium graveolens* L'Hér.) مؤثر بود.

به طور کلی، آنزیم‌های دفاعی در مراحل مختلف زندگی حشره و با گذشت زمان تغییر می‌کند که این با تنش‌های اکسیداتیو مرتبط است (Fahmy *et al.*, 2022). مطالعات نشان داده است که فعالیت برخی از آنزیم‌های دفاعی گیاه از جمله کاتالاز پس از تغذیه آفات مکنده کاهش یافته، تغییری نکرده (Khattab, 2007; Gomez *et al.*, 2004) یا افزایش یافته است (Ferry *et al.*, 2011; Mai *et al.*, 2013). در حقیقت، به هنگام ایجاد تنش، آنزیم‌های دفاعی از

در مطالعه حاضر، تنش ایجاد شده در درختان به دلیل تغذیه پسلی از آوندهای آبکش موجب فعال شدن مسیرهای متابولیکی تولید عوامل دفاعی غیر آنزیمی گیاه مانند پراکسید هیدروژن و پرولین شد. بنابراین می‌توان گفت که تغذیه جمعیت اولیه پسلی از گیاه موجب القاء ترکیبات دفاعی در درختان پسته برای جلوگیری از تنش ناشی از خسارت این حشره می‌شود، هر چند میزان این ترکیبات به حدی نباشد که بر هجوم حشره غلبه کند. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد ترکیبات مختلف به عنوان عامل القاکنده مقاومت سبب تغییر در میزان تولید عوامل دفاعی از جمله آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در درختان پسته می‌شود. در شرایط مطلوب رشد گیاه، بین گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده و مصرف آن‌ها توسط فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی گیاه هماهنگی پدید می‌آید (Hayyan *et al.*, 2016).

در اکثر گیاهان، افزایش پرولین در تنش‌های زیستی و غیرزیستی گزارش شده است که می‌تواند منجر به حفاظت از غشاء سلول، آنزیم-های سیتوپلاسمی، پروتئین‌ها و همچنین جلوگیری از تولید رادیکال-های آزاد و گونه‌های اکسیژن فعال دیگر شود. به علاوه تخریب و اختلال در فرآیند سنتز پروتئین، تحریک سنتز پرولین از اسید-گلوتامیک و جلوگیری از اکسیداسیون پرولین از دلایل تجمع پرولین به هنگام تنش می‌باشد (Boroujerdnia *et al.*, 2016). حسوند و رضایی نژاد (Hassanvand & Rezaei Nejad, 2018) گزارش کردند که گیاه شمعانی در شرایط تنش موجب افزایش پرولین و کاهش آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گیاه می‌شود. همچنین تیمار گابا در تحقیق حاضر احتمالاً مسیرهایی را در گیاهان فعال می‌کند که منجر به بالا رفتن میزان پرولین در درختان پسته می‌شود. با این وجود، خیاط مقدم و همکاران (Khayat Moghadam *et al.*, 2021) گزارش کردند که محلول پاشی کلزا توسط پتاسیم سیلیکات با کاهش پرولین موجب بهبود تنش در گیاه می‌شود.

در مطالعه حاضر، تیمار کیتوزان با افزایش آنزیم‌های دفاعی پراکسیداز و کاتالاز موجب کاهش جمعیت پسلی شد. پراکسیداز و کاتالاز از آنزیم‌های مؤثر در حذف گونه‌های فعال اکسیژن هستند که موجب تبدیل پراکسید هیدروژن تولید شده به آب و اکسیژن می‌شوند (Ganji *et al.*, 2019). از سوی دیگر، کاهش مقدار کاتیون‌های تک ظرفیتی در سیتوسول سبب سنتز پرولین در جهت کم کردن تنش‌های اکسیداتیو وارد شده بر گیاه می‌شود (Molinari *et al.*, 2007). در مطالعه حاضر، اگرچه در گیاهان تحت تیمار کیتوزان، میزان پرولین کمتری مشاهده شد، اما احتمالاً به دلیل افزایش اسید آمینه‌های دیگر، دفاع گیاه افزایش یافت. چنانچه گزارش شده است که کیتوزان در گیاهان لوبیا می‌تواند غلظت اسید آمینه‌های دیگر مانند گلیسین بتائین را نسبت به پرولین افزایش دهد (Sheikha & Al-Maleki, 2015).

کاتالاز به صورت یک سیگنال در القاء ژن‌های دفاعی نقش داشته

ترکیبات فنلی در گیاه میزبان و جمعیت برخی از حشرات ثابت شده است (Gantner et al., 2019).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق بیانگر آن است که کاربرد ترکیبات مختلف به‌عنوان عامل القاکننده مقاومت باعث تغییر در میزان تولید عوامل دفاعی آنزیمی و غیرآنزیمی در گیاه میزبان و متعاقب آن جمعیت پسپل پسته می‌شود. در واقع، هریک از تیمارهای مورد مطالعه با فعال کردن سازوکارهای مختلف در داخل گیاه موجب افزایش مقاومت درختان به پسپل پسته می‌شوند. در این میان، درختان تیمار شده با کیتوزان کمترین جذابیت را برای پسپل پسته داشتند که با محتوای نسی بالاتر فنل، مقادیر بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز گیاه مرتبط بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تیمارهای مورد آزمایش تأثیرات متفاوتی روی مقاومت درختان پسته به پسپل A. pistaciae دارند. با انجام آزمایش‌های تکمیلی از جمله اثر این ترکیبات بر میزان و کیفیت محصول پسته، احتمالاً این ترکیبات می‌توانند در برنامه‌های مدیریت تلفیقی این پسپل در باغات پسته مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین پیشنهاد می‌شود که تحقیقات بیشتر در سطح وسیع‌تر، از نظر اقتصادی و همچنین در تلفیق با روش‌های دیگر روی میزان کارایی این ترکیبات در مهار آفت انجام شود.

آسیب گونه‌های اکسیژن فعال جلوگیری می‌کنند و بعد از آن نقش آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی افزایش می‌یابد (Ganji et al., 2019). در مطالعه حاضر، تیمار درختان با کیتوزان به دلیل افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنلی، کارایی بالاتری در مهار جمعیت پسپل پسته داشتند. ترکیبات فنلی نقش مهمی در مقاومت و دفاع گیاه در برابر آفات و بیماری‌ها دارند. در این تحقیق، احتمالاً تیمار کیتوزان با فعال کردن مسیرهایی در گیاه موجب بالا رفتن سطح فنل در درختان پسته می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه به‌طور مستقیم با میزان فنل کل مرتبط است (Ghasemzadeh et al., 2010). از طرفی دیگر، کاربرد غلظت‌های بالای کیتوزان ممکن است منجر به اثرات نامطلوب بر کیفیت محصول شود، بنابراین استفاده از غلظت ایمن کیتوزان در مدیریت محصول باید مورد توجه قرار گیرد (Jafari & Javadi, 2020; Taghipour et al., 2024). فلاونوئیدهای گیاهی نیز بر رفتار و نشو و نمو برخی از حشرات همچون شته مومی کلم *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) و کرم جوانه خوار توتون *Spodoptera litura* (Fabricius) تأثیر می‌گذارند (Taiz & Zeiger, 2002; Sattari et al., 2019). با این وجود، در این مطالعه اختلاف معنی‌داری از نظر میزان فلاونوئید کل بین تیمارها مشاهده نشد. بنابراین تفاوت در درصد کارایی مهار جمعیت پسپل بین تیمارها را می‌توان به وجود ترکیبات فنلی، متابولیت‌های ثانویه دیگر و توان آنتی‌اکسیدانی گیاه مرتبط دانست. همبستگی منفی بین حضور

References

1. Abdou, N.M., El-Saadony, F.M. A., Roby, M.H.H., Mahdy, H.A.A., El-Shehawi, A.M., Elseehy, M.M., El-Tahan, A.M., Abdalla, H.S., Ahmed, M., & AbouSreea, A.I.B. (2022). Foliar spray of potassium silicate, aloe extract composite and their effect on growth and yielding capacity of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under water deficit stress conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 33(2), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.02.033>
2. Aparecida De Assis, F., Campos-Moraes, J., Paterno-Silveira, L.C., Franoso, J., Maria-Nascimento, A., & Silveira-Antunes, C. (2012). Inducers of resistance in potato and its effects on defoliators and predatory insects. *Revista Colombiana de Entomología*, 38(1), 30-34. <https://doi.org/10.25100/socolen.v38i1.8914>
3. Asghari, M. (2019). Impact of jasmonates on safety, productivity and physiology of food crops. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 169-183. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.005>
4. Assis, F.A., Moraes, J.A., Assis, G.A., & Parolin, F.J.T. (2015). Induction of caterpillar resistance in sunflower using silicon and acibenzolar-S-methyl. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17, 543-550
5. Badawy, M.E. I.; & El-Aswad, A.F. (2012). Insecticidal activity of chitosans of different molecular weights and chitosan-metal complexes against cotton leaf worm *Spodoptera littoralis* and oleander aphid *Aphis nerii*. *Plant Protection Science*, 48, 131-141. <https://doi.org/10.17221/67/2010-pps>
6. Balakhnina, T.I. (2013). Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses. *Review of [International Agrophysics]*, 27, 225-232. <https://doi.org/10.2478/v10247-012-0089-4>
7. Bao, H., Chen, X., Lv, S., Jiang, P., Feng, J.J., Fan, P.X., Nie, L.L., & Li, Y.X. (2015). Virus induced gene silencing reveals control of reactive oxygen species accumulation and salt tolerance in tomato by γ -aminobutyric acid metabolic pathway. *Plant Cell & Environment*, 38, 600-613. <https://doi.org/10.1111/pce.12419>
8. Barbosa, J.M., Singh, N.K., Cherry, J.H., & Locy, R.D. (2010). Nitrate uptake and utilization is modulated by exogenous γ -aminobutyric acid in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(6), 443-450. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.01.020>
9. Bates, L.S., Waldren, R.P.A., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress

- studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/bf00018060>
10. Bernays, E.A., Driver, G.C., & Bilgener, M. (1989). Herbivores and plant tannins. *Advances in Ecological Research*, 19, 263-302. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60160-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60160-9)
11. Bidart-Bouzat, M.G., & Imeh-Nathaniel, A. (2008). Global change effects on plant chemical defenses against insect herbivores. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(11), 1339-1354. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2008.00751.x>
12. Boroujerdnia, M., Bihamta, M.R., AlamiSaid, K.H., & Abdossi, V. (2016). Effect of drought tension on proline content, soluble carbohydrates, electrolytes leakage and relative water content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Physiology Journal*, 8(29), 23-41. (In Persian)
13. Bown, A.W., Hall, D.E., & MacGregor, K.B. (2002). Insect footsteps on leaves stimulate the accumulation of 4-aminobutyrate and can be visualized through increased chlorophyll fluorescence and superoxide production. *Plant Physiology*, 129(4), 1430-1434. <https://doi.org/10.1104/pp.006114>
14. Cakmak, I., & Marschner, H. (1992). Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiology*, 98(4), 1222-1227. <https://doi.org/10.1104/pp.98.4.1222>
15. Chen, D., Cao, B., Wang, S., Liu, P., Deng, X., Yin, L., & Zhang, S. (2016). Silicon moderated the K deficiency by improving the plant-water status in sorghum. *Scientific Reports*, 6, 22882. <https://doi.org/10.1038/srep22882>
16. Chen, W.P., Li, P.H., & Chen, T.H.H. (2000). Glycinebetaine increases chilling tolerance and reduces chilling-induced lipid peroxidation in *Zea mays* L. *Plant, Cell & Environment*, 23(6), 609-618. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00570.x>
17. Correa, R.S., Moraes, J.C., Auad, A.M., & Carvalho, G.A. (2005). Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. *Neotropical Entomology*, 34, 429-433. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000300011>
18. Egea, C., Ahmed, A.S., Candela, M., & Candela, M.E. (2001). Elicitation of peroxidase activity and lignin biosynthesis in pepper suspension cells by *Phytophthora capsici*. *Journal of Plant physiology*, 158(2), 151-158. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00079>
19. El Hadrami, A., Adam, L.R., El Hadrami, I., & Daayf, F. (2010). Chitosan in plant protection. *Marine Drugs*, 8, 968-987. <https://doi.org/10.3390/md8040968>
20. Fahmy, N.M., Amin, T.R., & Khedr, M. (2022). Changes in antioxidant enzymes during the development of the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. A, Entomology*, 15(3), 151-163. <https://doi.org/10.21608/eajbsa.2022.264624>
21. Ferry, N., Stavroulakis, S., Guan, W., Davison, G.M., Bell, H.A., Weaver, R.J., & Gatehouse, A.M. (2011). Molecular interactions between wheat and cereal aphid (*Sitobion avenae*): analysis of changes to the wheat proteome. *Proteomics*, 11(10), 1985-2002. <https://doi.org/10.1002/pmic.200900801>
22. Ganji, Z., Hosseini Naveh, V., Ashouri, A., & Maali Amiri, R. (2019). Some biochemical responses of pistachio to feeding of the common pistachio psylla, *Agonoscena pistaciae*. *Plant Pest Research*, 9(3), 15-27.
23. Gantner, M., Najda, A., & Piesik, D. (2019). Effect of phenolic acid content on acceptance of hazel cultivars by filbert aphid. *Plant Protection Science*, 55(2), 116-122. <https://doi.org/10.17221/150/2017-PPS>
24. Ghasemzadeh, A., Jaafar, H.Z., & Rahmat, A. (2010). Antioxidant activities, total phenolics and flavonoids content in two varieties of Malaysia young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Molecules*, 15(6), 4324-4333. <https://doi.org/10.3390/molecules15064324>
25. Gliński, J. (2011). Agrophysical Objects (Soils, Plants, Agricultural Products, and Food). Encyclopedia of Agrophysics. In J. Gliński, J. Horabik, and J. Lipiec (Eds), Springer Dordrecht, Heidelberg, London, New York. 1100pp. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1_9.
26. Goldberg, R., Imberty, A., Liberman, M., & Prat, R. (1986). Relationships Between Peroxidatic Activities and Cell Wall Plasticity. Molecular and physiological aspects of plant peroxidases. In H. Greppin, C. Penel, and Th. Gaspar (Eds), Botanical Center, University of Geneva, Switzerland, pp. 209-220. <https://www.researchgate.net/publication/228127847>
27. Gomaa, M., Kandil, E.E., El-Dein, A.A.Z. Abou-Donia, M.E.M. , Ali, H.M., & Abdelsalam N.R. (2021). Increase maize productivity and water use efficiency through application of potassium silicate under water stress. *Scientific Reports*, 11, 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80656-9>
28. Gomez, S.K., Oosterhuis, D.M., Rajguru, S.N., & Johnson, D.R. (2004). Foliar antioxidant enzyme responses in cotton after aphid herbivory. *Journal of Cotton Science*, 8(2), 99-104.

29. Hafez, E.M., Osman, H.S., El-Razek, U.A.A., Elbagory M., El-Dein Omara, A., Eid, A.M.M., Gowayed, S., & Elbagory, M. (2021). Foliar-applied potassium silicate coupled with plant growth-promoting *Rhizobacteria* improves growth, physiology, nutrient uptake and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.) irrigated with saline water in salt-affected soil. *Plants*, 10, 894. <https://doi.org/10.3390/plants10050894>
30. Hassanvand, F., & Rezaei Nejad, A. (2018). Effect of potassium silicate on growth, physiological and biochemical characteristics of *Pelargonium graveolens* under salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48(4) 743-752. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.210950.1040>
31. Hayyan, M., Hashim, M.A., & AlNashef, I.M. (2016). Superoxide ion: Generation and chemical implications. *Chemical Reviews*, 116(5), 3029-3085. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00407>
32. Henderson, C.F., & Tilton, E.W. (1955). Tests with acaricides against the brown wheat mite. *Journal of Economic Entomology*, 48(2), 157-61. <https://doi.org/10.1093/jee/48.2.157>
33. Jafari, F.J., & Javadi, A. (2020). The Effect of chitosan coating incorporated with walnut leaf extract on shelf life of pistachio. *Food Research Journal*, 30(3), 221-232. (in Persian with English abstract)
34. Jin, X., Liu, T., Xu, J., Gao, Z., & Hu, X. (2019). Exogenous GABA enhances muskmelon tolerance to salinity-alkalinity stress by regulating redox balance and chlorophyll biosynthesis. *BMC Plant Biology*, 19, 48. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1660-y>.
35. Justyna, P.G., & Ewa, K. (2013). Induction of resistance against pathogens by β -aminobutyric acid. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 1735-1748. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1215-z>
36. Katiyar, D., Hemantaranjan, A., & Singh, B. (2015). Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review. *Indian Journal of Plant Physiology*, 20, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s40502-015-0139-6>
37. Khattab, H. (2007). The defense mechanism of cabbage plant against phloem-sucking aphid (*Brevicoryne brassicae* L.). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(1), 56-62.
38. Khavari-Nejad, S. (2018). A review on plant peroxidases. *Nova Biologica Reperta*, 5(4), 428-437. <https://doi.org/10.29252/nbr.5.4.428>
39. Khayat Moghadam, M.S., Gholami, A., Shirani Rad, A.H., BaradaranFiroozabadi, M., & Abbasdokht, H. (2021). The effect of potassium silicate and late-season drought stress on the physiological characters of canola. *Journal of Crops Improvement*, 23(4), 776-761. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2021.306872.2424>
40. Lang, J., Gonzalez-Mula, A., Taconnat, L., Clement, G., & Faure, D. (2016). The plant GABA signaling downregulates horizontal transfer of the *Agrobacterium tumefaciens* virulence plasmid. *New Phytology*, 210, 974–983. <https://doi.org/10.1111/nph.13813>
41. Mahanil, S., Attajarusit, J., Stout, M.J., & Thipyaong, P. (2008). Overexpression of tomato polyphenol oxidase increases resistance to common cutworm. *Plant Science*, 174(4), 456-466. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.01.006>
42. Mahmoudi Meimand, M.J., & Ghanbari Adivi, A. (2013). A new approach to the management of pistachio planting and harvesting. Newshe Publications, Shahrekord, Iran, 128 p. (In Persian)
43. Mai, V.C., Bednarski, W., Borowiak-Sobkowiak, B., Wilkaniec, B., Samardakiewicz, S., & Morkunas, I. (2013). Oxidative stress in pea seedling leaves in response to *Acyrtosiphon pisum* infestation. *Phytochemistry*, 93, 49-62. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2013.02.011>
44. Mehrnejad, M.R. (2001). The current status of pistachio pests in Iran. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 56(1), 315-322.
45. Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7(9), 405-410. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(02\)02312-9](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(02)02312-9)
46. Molinari, H.B.C., Marur, C.J., Daros, E., de Campos, M.K.F., de Carvalho, J., Besspalhok, J.C., Pereira, L.F.P., & Vieira, L.G.E. (2007). Evaluation of the stress-inducible production of proline in transgenic sugarcane (*Saccharum* spp.): Osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress. *Physiologia Plantarum*, 130(2), 218-229. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.00909.x>
47. Naderi, S., Esmailzadeh Bahabadi, S., & Fakheri, B. (2015). The effect of chitosan on some physiological and biochemistry characterization in basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of Plant Process and Function. Iranian Society of Plant Physiology*, 4(12), 29-41. (In Persian)
48. Parida, A.K., & Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324-349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>
49. Pereira, R.R.C., Moraes, J.C., Prado, E., & DaCosta, R.R. (2010). Resistance inducing agents on the biology and probing behaviour of the greenbug in wheat. *Scientia Agricola*, 67, 430-434. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162010000400009>
50. Polle, A., Otter, T., & Seifert, F. (1997). Apoplastic peroxidases and lignification in needles of Norway spruce (*Picea abies* L.). *Plant Physiology*, 106(1), 53-60. <https://doi.org/10.1104/pp.106.1.53>

51. Reynolds, O.L., Keeping, M.G., & Meyer, J.H. (2009). Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: A review. *Annals of Applied Biology*, 155(2), 171-186. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00348.x>
52. Rouhani, M., & Samih, M.A. (2012). Mortality effect of plant extracts with pesticide on common pistachio psylla, *Agonosca pistaciae*. *Archives Des Sciences*, 65(8), 452-460. <https://doi.org/10.1080/03235408.2019.1570589>
53. Sabbour, M.M. (2019). Effect of chitosan and nano-chitosan on *Saissetia oleae* (Hemiptera: Coccidae). *Journal of Applied Sciences*, 19(2), 128-132. <https://doi.org/10.3923/jas.2019.128.132>
54. Sabbour, M.M., & Abdel-Hakim, E.A. (2018). Control of *Cassida vittata* (Vill) (Coleoptera: Chrysomelidae) using chitosan and nano chitosan. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 8(1), 141-144.
55. Saed-Moucheshi, A., Sohrabi, F., & Shirkhani, A. (2023). A review on reactive oxygen species (ROS): production, function, and their influence on plants. *Crop Biotechnology*, 13(2), 53-70. (in Persian with English abstract)
56. Sattari Nasab, R., Pahlavan Yali, M., & Bozorg-Amirkalaei, M. (2019) Effects of humic acid and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on induced resistance of canola to *Brevicoryne brassicae* L. *Bulletin of Entomological Research*, 109(4), 479-489. <https://doi.org/10.1017/s0007485318000779>
57. Shabani, Z., Samih, M.A., Irannezad, M.A., & Mirzaei, F. (2011). Insecticidal efficacy of acetamiprid, hexaflumuron and *Calotropis procera* extract on *Agonosca pistaciae* Burckhardt and Lauterer under laboratory conditions. Global Conference on Entomology, March 5-9, Chiang Mai, Thailand. 481p. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.7877>
58. Shahid, M., Pourrut, B., Dumat, C., Nadeem, M., Aslam, M., & Pinelli, E. (2014). Heavy-metal induced reactive oxygen species: phytotoxicity and physicochemical changes in plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 232, 1-44. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06746-9_1
59. Shahrokh, M., Pahlavan Yali, M., & Bozorg-Amirkalaei, M. (2024). Role of exogenous elicitors in canola plant defense against cabbage aphid by regulating physiological balance and secondary metabolite biosynthesis. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 26(1), 165-176. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1575991/v1>
60. Sheikha, S.A.A., & AL-Malki, F.M. (2015). Chitosan influence on the amino acids and proline content in the plants under drought stress. *Journal of Plant Production*, 6(4), 447-455. <https://doi.org/10.21608/jpp.2018.49344>
61. Soland, S.F., & Laima, S.K. (1999). Phenolics and cold tolerance of *Brassica napus*. *Plant Agriculture*, 1, 1-5.
62. Tahami Zarandi, S.M.R., Askarianzadeh, A., & Karimi, J. (2022). Evaluation of the chemical and cultural control methods of the common pistachio psylla, *Agonosca pistaciae* (Hem.: Psyllide) in laboratory and field conditions. *Iranian Journal of Plant Protection Science*. 53(2), 271-282. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/IJPPS.2023.350634.1007013>
63. Taheri, F., Dahmardeh, M., Salari, M., & Bagheri, R. (2018). Evaluate the effect of chitosan on the activities of antioxidant enzymes in ajwain (*Carum copticum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 48(3), 575-584. (in Persian with English abstract)
64. Taghipour, S., Ehtesham, N.A., & Hokmabadi, H. (2024). The effect of pre-harvest chitosan and nano-chitosan application on the shelf life and quality of fresh pistachio (*Pistacia vera* L. Cv. 'Ahmad-Aghaei'). *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 25(1), 149-162. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.2139/ssrn.4397721>
65. Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. Sinauer Associates Inc Publishers. Sunderland, MA, 690 pp.
66. Todd, G.W., Getahun, A., & Cress, D.C. (1971). Resistance in barley to the greenbug, *Schizaphis graminum*. 1. Toxicity of phenolic and flavonoid compounds and related substances. *Annals of the Entomological Society of America*, 64(3), 718-722. <https://doi.org/10.1093/aesa/64.3.718>
67. Toscano, N.C., & Prabhaker, N. (2011). Spiromesifen: A New Pest Management Tool for Whitefly Management. Available at [http://www.insectscience.org/8.04/ref/abstract 78.html](http://www.insectscience.org/8.04/ref/abstract%2078.html).
68. Usha Rani, P., & Jyothsna, Y. (2010). Biochemical and enzymatic changes in rice plants as a mechanism of defense. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32, 695-701. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0449-2>
69. Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A.J.P.S. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, 151(1), 59-66. [https://doi.org/10.1016/s0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/s0168-9452(99)00197-1)
70. Wang, C.Y., Fan, L.Q., Gao, H.B., Wu, X.L., Li, J.R., Lv, G.Y., & Gong, B.B. (2014). Polyamine biosynthesis and degradation are modulated by exogenous gamma-aminobutyric acid in root-zone hypoxia-stressed melon roots. *Plant Physiology and Biochemistry*, 82, 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.04.018>
71. War, A.R., Buhroo, A.A., Hussain, B., Ahmad, T., Nair, R.M., & Sharma, H.C. (2020). Plant defense and insect adaptation with reference to secondary metabolites. *Reference Series in Phytochemistry Co-evolution of Secondary Metabolites*, Springer International Publishing. 795-822. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96397-6_60

72. Wójcicka, A. (2010). Cereal phenolic compounds as biopesticides of cereal aphids. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(6), 1337-1343.
73. Zhen, A., Zhang, Z., Jin, X.Q., Liu, T., Ren, W.Q., & Hu, X.H. (2018). Exogenous GABA application improves the NO₃ -N absorption and assimilation in Ca(NO₃)₂ treated muskmelon seedlings. *Science of Horticulture*, 227, 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.025>
74. Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), 555-559. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(98)00102-2)
75. Zhu-Salzman, K., Salzman, R.A., Ahn, J.E., & Koiwa, H. (2004). Transcriptional regulation of sorghum defense determinants against a phloem-feeding aphid. *Plant Physiology*, 134(1), 420-431. <https://doi.org/10.1104/pp.103.028324>
76. Ziaaddini, F., Yali, M.P., & Bozorg-Amirkalaei, M. (2022). Foliar spraying of elicitors in pear trees induced resistance to *Cacopsylla bidens*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 25(4), 101969. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2022.101969>

Identification, Genome Characterization and Phylogenetic Analysis of A Novel *Betanucleorhabdovirus* Infecting Sugar Beet (*Beta vulgaris*) in Iran

J. Abkhoo¹, M. Mehrvar^{2*}, M. Zakiaghl²

1and 2-Department of plant protection, Faculty of agriculture, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding author's Email: mehrvar@um.ac.ir)Received: 30-09-2024
Revised: 08-03-2025
Accepted: 09-03-2025
Available Online: 10-11-2025

How to cite this article:

Abkhoo, J., Mehrvar, M., & Zakiaghl, M. (2025). Identification, genome characterization and phylogenetic analysis of a novel *Betanucleorhabdovirus* infecting sugar beet (*Beta vulgaris*) in Iran. *Iranian Plant Protection Research*, 39(3), 283-291. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/JPP.2025.90010.1205>

Introduction

Sugar beet (*Beta vulgaris*) is one of the most important agricultural crops in Iran. Viruses that cause disease in sugar beet include *Beet necrotic yellow vein virus*, *Beet soil-borne mosaic virus*, *Beet soil-borne virus*, *Beet virus Q*, *Beet yellows virus*, *Beet western yellows virus*, *Beet chlorosis virus*, *Beet curly top virus*, *Beet curly top Iran virus* and *Beet black scorch virus*. Members of the genus *Betanucleorhabdovirus* have a monopartite genome and negative-strand RNA. The genome of betanucleorhabdoviruses is 12.9 to 14.4 kb in length and contains six to seven genes. The genus *Betanucleorhabdovirus* has 18 species. Phylogenetic analyzes based on the sequence of the L gene have shown that betanucleorhabdoviruses form a monophyletic group and are placed in a sister group with dichorhavirus. So far, comprehensive and complete research has not been done regarding the identification and determination of molecular characteristics of betanucleorhabdoviruses infecting sugar beet in Iran. Therefore, this research was carried out in order to identify and determine the molecular characteristics of these viruses to pave the way for other research fields, especially their pathogenesis and management.

Materials and Methods

In order to identify the casual agent of the viral diseases of sugar beet in Iran showing symptoms like mosaics and yellowing of the leaves in samples, were collected from major sugar beet cultivation areas of the country during September and October of 2023. Total RNA was extracted from 60 mg of sugar beet leaf and root tissue using SV Total RNA Extraction Kit (Promega, USA). After determining the quantity and quality of the samples using NanoDrop 2000 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA), one sample from the purified total RNA samples that had an optical absorption ratio of 260 nm to 280 nm of approximately 2 was sent to Macrogen Company (Seoul, South Korea) for high-throughput sequencing based on the Illumina platform. High-throughput sequencing reads were imported to the CLC Genomics Workbench (v.12) software, and after editing, assembling the reads based on the software's default, contig fragments were made. Contig fragments were annotated in NCBI database (GenBank) using BLASTX and BLASTN algorithms. Reverse transcription polymerase chain reaction was used to confirm the presence of the virus in the collected samples. Total RNA was used with Random Hexamer primer to convert RNA to cDNA. Polymerase chain reaction was performed using specific primers designed for the N gene of the virus. The polymerase chain reaction included the initial annealing step at



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/JPP.2025.90010.1205>

95°C for 5 minutes and then 35 cycles including 95°C for 1 minute, 54°C for 1 minute, and 72°C for 2 minutes. Then the reaction mixture was kept at 72°C for 15 minutes. The PCR products, which had an approximate size of 1208 bp, were sequenced. Phylogenetic analysis was performed based on complete genome sequence with MEGA 11, using Maximum likelihood method and General Time Reversible model (GTR+G+I) with 1000 bootstrap replications.

Results and Discussion

After receiving the high-throughput sequencing results from South Korea's MacroGen Company and their preliminary analysis, the complete genome of a new *Betanucleorhabdovirus* was identified in sugar beet. The identified isolates showed 86.13% nucleotide identity, and isolate IR1 (accession number OR227650) shared the highest nucleotide identity among the viruses in the GenBank with tomato betanucleorhabdovirus 2 isolate SKO20ST1 (70.3%) and had a nucleotide identity level below the demarcation criteria for delimiting ICTV species in the genus *Betanucleorhabdovirus* (nucleotide identity of 75% for the whole genome). Therefore, a new species tentatively called beet betanucleorhabdovirus 1 (beet leaf curl betanucleorhabdovirus) was identified in the genus *Betanucleorhabdovirus*. The full-length genome of beet betanucleorhabdovirus 1 had six open reading frames (3'-N-P-P3-M-G-L-5'). The beet betanucleorhabdovirus 1 specific primers amplified a fragment with the expected size of 1208 bp from the sugar beet sample followed by sequencing of the PCR product. The result confirmed infection of the original beet samples with beet betanucleorhabdovirus 1. The phylogenetic analysis showed that beet betanucleorhabdovirus 1 is most closely related to members of the genus *Betanucleorhabdovirus*. Sugar beet plants infected with beet betanucleorhabdovirus 1 showed curling and mild yellowing of leaf, although these symptoms could be caused by infection of the host plant with other infecting viruses.

Conclusion

This research identified a new virus with a negative single-stranded RNA genome, which belongs to the genus *Betanucleorhabdovirus* as a new species.

Keywords: High-throughput sequencing, Reverse transcription polymerase chain reaction, Rhabdoviridae, Rhabdovirus

شناسایی، بررسی خصوصیات ژنومی و واکاوی تبارزایی بتانوکلتورابدوویروس جدید آلوده‌کننده چغندرقد (*Beta vulgaris*) در ایران

جواد آبخو^۱، محسن مهرور^{۱*}، محمد زکی عقل^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۹

چکیده

چغندرقد (*Beta vulgaris*) یکی از محصولات مهم کشاورزی در ایران است که در استان‌های مختلف کشت می‌شود و ویروس‌های مختلف سبب بیماری آن می‌شوند. اعضای جنس *Betanucleorhabdovirus* دارای ژنوم تک‌بخشی و آر آن تک رشته منفی بوده، ژنوم آن‌ها دارای شش تا هفت قاب خوانش باز (ORF) است. جهت شناسایی عامل یا عوامل ایجاد بیماری ویروسی در چغندرقد که دارای علائمی مانند موزائیکی شدن و زردی برگ‌ها بودند، نمونه‌برداری از برگ‌ها و ریشه‌های چغندرقد دارای علائم بیماری ویروسی از مناطق عمده کشت چغندرقد در کشور طی شهریور و مهرماه سال ۱۴۰۲ انجام و آر آن‌ها جهت توالی‌یابی توان بالا یا ژرف (High-throughput sequencing) برپایه پلتفرم ایلومینا (illumina) انجام شد. برای تأیید حضور ویروس در نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز معکوس استفاده شد. ترسیم درخت تبارزایی براساس ترادف کامل نوکلئوتیدی ژنوم آن با استفاده از نرم‌افزار MEGA11 به روش Maximum likelihood و مدل General Time Reversible (GTR+G+I) انجام شد. ترادف کامل نوکلئوتیدی ژنوم یک بتانوکلتورابدوویروس گیاهی جدید در چغندرقد شناسایی شد. جدایه‌های شناسایی‌شده، یکسانی نوکلئوتیدی به میزان ۸۶/۱۳ درصد را نشان دادند و جدایه IR1 (رس شماره OR227650) بالاترین درصد یکسانی نوکلئوتیدی را در بین ویروس‌های موجود در بانک ژنی (GenBank) با بتانوکلتورابدوویروس شماره دو گوجه‌فرنگی (tomato betanucleorhabdovirus 2) جدایه SKO20ST1 به میزان ۷۰/۳ درصد داشت و دارای میزان یکسانی نوکلئوتیدی زیر معیار مرزبندی گونه‌های ICTV در جنس *Betanucleorhabdovirus* (تشابه نوکلئوتیدی ۷۵ درصد برای کل ژنوم) بود. بنابراین به‌عنوان یک گونه جدید به‌نام بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندرقد (بتانوکلتورابدوویروس پیچیدگی برگ چغندرقد) (*beet leaf curl betanucleorhabdovirus 1*) نام‌گذاری شد. ژنوم بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندرقد دارای شش قاب خوانش باز بود (3'-N-P-P3-M-G-L-5'). واکاوی تبارزایی نشان داد که بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندرقد بیشترین ارتباط را با اعضای جنس *Betanucleorhabdovirus* دارد. این تحقیق برای اولین بار بتانوکلتورابدوویروس جدیدی را از روی چغندرقد به‌عنوان یک گونه جدید از جنس *Betanucleorhabdovirus* معرفی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: توالی‌یابی توان بالا، رابدوویروس، واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز معکوس، *Rhabdoviridae*

۲۰۱- گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: mehrvar@um.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/JPP.2025.90010.1205>

مقدمه

چغندرقد (*Beta vulgaris*) با سطح برداشت ۱۳۲۱۸۵ هکتار یکی از محصولات مهم کشاورزی در ایران است که در استان‌های مختلف کشت می‌شود (Agricultural Statistics, 2023). ویروس‌هایی که سبب بیماری در چغندرقد می‌شوند شامل ویروس رگبرگ زرد نکروتیک چغندرقد (*Beet necrotic yellow vein virus*)، ویروس موزائیک خاک‌زاد چغندرقد (*Beet soil-borne mosaic virus*)، ویروس Q چغندرقد (*Beet virus Q*)، ویروس زردی غربی چغندرقد (*Beet western yellows virus*)، ویروس پیچیدگی بوته چغندرقد (*Beet curly top virus*) (Harvesom et al., 2009)، ویروس ایرانی پیچیدگی بوته چغندرقد (*Beet curly top Iran virus*) (Bolok-Yazdi et al., 2008) و ویروس سوختگی سیاه برگ چغندرقد (*Beet black scorch virus*) (Cui, 1988) است.

اعضای جنس *Betanucleorhabdovirus* دارای ژنوم از نوع آر ان ا خطی تک بخشی با سنس منفی به طول ۱۲/۹ تا ۱۴/۴ کیلوباز هستند که حاوی شش تا هفت قاب خوانش باز است

(<https://ictv.global/report/chapter/rhabdoviridae/rhabdoviridae/betanucleorhabdovirus>). ژنوم آن‌ها در ویروئیدهای باسیلی شکل با قطر ۴۵ تا ۱۰۰ نانومتر و طول ۱۳۰ تا ۳۵۰ نانومتر محصور شده است (Jackson et al., 2005). جنس *Betanucleorhabdovirus* دارای ۱۸ گونه است

(<https://ictv.global/report/chapter/rhabdoviridae/rhabdoviridae/betanucleorhabdovirus>). سایر بتانوکلتورابیدوویروس‌ها که آلوده‌کننده گیاهان بوده‌اند و شرح داده شده‌اند شامل رابیدوویروس شماره یک پاریس یونانسیس (*Paris yunnanensis rhabdovirus*) (Hu et al., 2023) و بتانوکلتورابیدوویروس شماره یک تا پنج آقطی سیاه (*Sambucus betanucleorhabdovirus* 1-5) (Šafářová et al., 2024) است. واکاوی‌های تبارزایی براساس ژن L نشان داده است که بتانوکلتورابیدوویروس‌ها یک گروه مونوفیلیک را تشکیل می‌دهند و با دی‌کوراویروس‌ها (*Dichorhavirus*) در یک گروه خواری قرار می‌گیرند (Li et al., 2015).

تعداد زیادی از رابیدوویروس‌های گیاهی با استفاده از روش توالی‌یابی توان بالا (High-throughput sequencing) شناسایی شده‌اند (Bejerman et al., 2021; Bejerman et al., 2020; Šafářová et al., 2024). تاکنون تحقیق جامع و کاملی در خصوص شناسایی و تعیین خصوصیات مولکولی بتانوکلتورابیدوویروس‌های

آلوده‌کننده چغندرقد در ایران انجام نشده است. لذا این طرح به‌منظور شناسایی و تعیین خصوصیات مولکولی این ویروس‌ها به اجرا درآمد تا راه برای سایر زمینه‌های تحقیقاتی به‌خصوص نحوه بیماری‌زایی و مدیریت آن‌ها هموار گردد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه‌های آلوده

نمونه‌برداری از برگ‌ها و ریشه‌های بوته‌های چغندرقد دارای علائم بیماری ویروسی از مناطق عمده کشت چغندرقد در کشور شامل استان‌های خراسان شمالی (شیروان و فاروج)، خراسان رضوی (مشهد، فریمان، سفیدسنگ، تربت‌جام، تایباد، تربت‌حیدریه و جوین)، خراسان جنوبی (خضری دشت بیاض و نیمبلوک)، کرمانشاه (کرمانشاه)، لرستان (ازنا) و همدان (نهاداند) طی ماه‌های شهریور و مهر ۱۴۰۲ انجام شد.

توالی‌یابی توان بالا

استخراج آر ان ا کل از ۶۰ میلی گرم بافت برگ‌ها و ریشه‌های بوته‌های چغندرقد با استفاده از SV Total RNA Extraction Kit (Promega, USA) انجام شد. پس از تعیین کمیت و کیفیت نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه نانودراپ ۲۰۰۰ (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)، از میان نمونه‌های آر ان ا کل خالص که دارای نسبت جذب نوری ۲۶۰ نانومتر به ۲۸۰ نانومتر تقریباً دو بودند (Barbas et al., 2007)، یک نمونه جهت توالی‌یابی توان بالا برپایه پلتفرم ایلومینا (illumina) به شرکت ماکروژن (کره جنوبی) ارسال شد (Turang et al., 2024).

واکاوی داده‌های توالی‌یابی توان بالا

ابتدا کنترل کیفیت خوانش‌های توالی‌یابی توان بالا با استفاده از نرم‌افزار CLC Genomics Workbench (v.12) بررسی شد. پس از ویرایش خوانش‌ها، مونتاژ آن‌ها براساس پیش‌فرض نرم‌افزار انجام و قطعات کانتیگ ساخته شد. قطعات کانتیگ در پایگاه داده NCBI (GenBank) با استفاده از الگوریتم‌های BLASTX و BLASTN حاشیه‌نویسی شدند (Altschul et al., 1997).

تأیید نتیجه توالی‌یابی توان بالا به‌وسیله واکنش

زنجیره‌ای پلیمران معکوس (RT-PCR)

برای تأیید حضور ویروس در نمونه‌های جمع‌آوری شده از واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز معکوس استفاده شد. از آر ان ا کل مورد استفاده

شماره OR227650) بالاترین درصد یکسانی نوکلئوتیدی را در بین ویروس‌های موجود در GenBank با بتانوکلتورابدوویروس شماره دو گوجه‌فرنگی جدایه SKO20ST1 به میزان ۷۰/۳ درصد داشت (جدول ۱) و دارای میزان یکسانی نوکلئوتیدی زیر معیار مرزبندی گونه‌های ICTV در جنس *Betanucleorhabdovirus* (تشابه نوکلئوتیدی ۷۵ درصد - براساس رای کمال ژنوم)

<https://ictv.global/report/chapter/rhabdoviridae/rhabdoviridae/betanucleorhabdovirus> بود. بنابراین به‌عنوان یک گونه جدید به نام بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندر قند (بتانوکلتورابدوویروس پیچیدگی برگ چغندر قند) ((beet leaf curl betanucleorhabdovirus 1 (betanucleorhabdovirus جنس *Betanucleorhabdovirus* نام‌گذاری شد (شکل ۱). ژنوم بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندر قند دارای شش قاب خوانش باز بود (3'-N-P-P3-M-G-L-5') (شکل ۲).

تأیید آلودگی چغندر قند به بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندر قند به وسیله واکنش زنجیره‌ای پلیمران معکوس
آغازگرهای اختصاصی بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندر قند قطعه‌ای را با اندازه مورد انتظار ۱۲۰۸ جفت باز از نمونه چغندر قند تکثیر کردند (شکل ۲) که پس از توالی‌یابی، آلودگی چغندر قند به بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندر قند تأیید شد.

واکاوی تبارزایی

درخت تبارزایی ترسیم‌شده براساس ترادف کامل نوکلئوتیدی ژنوم نشان داد که بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندر قند بیشترین ارتباط را با اعضای جنس بتانوکلتورابدوویروس دارد (شکل ۴).

جهت انجام توالی‌یابی با توان بالا به همراه آغازگر راندوم هگزامر (Random Hexamer) جهت تبدیل آن به cDNA استفاده شد. واکنش زنجیره‌ای پلی‌مران با استفاده از آغازگرهای اختصاصی ژن N (پروتئین نوکلئوکپسید) این ویروس که از روی ترادف دریافت‌شده از شرکت ماکروژن (کره جنوبی) (رس شماره OR227650) طراحی شده بود- (Forward: 5'- ACGAGCTCAAAGCCATCCG (Reverse: 5'- TGCAGCATACAGCTTGTCCA (3') انجام شد. واکنش زنجیره‌ای پلی‌مران شامل مرحله واسرشت‌سازی اولیه در ۹۵ درجه سلسیوس به مدت پنج دقیقه و سپس ۳۵ چرخه شامل دمای ۹۵ درجه سلسیوس به مدت یک دقیقه، دمای ۵۴ درجه سلسیوس به مدت یک دقیقه و دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت دو دقیقه بود. سپس مخلوط واکنش در ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه نگهداری شد. محصولات واکنش که دارای اندازه تقریبی ۱۲۰۸ جفت باز بودند برای تعیین توالی به شرکت فزایپرو (ایران) ارسال شد.

واکاوی تبارزایی

ترسیم درخت تبارزایی براساس ترادف کامل نوکلئوتیدی ژنوم آن با استفاده از نرم‌افزار MEGA11 (Tamura et al., 2021) به روش Maximum likelihood و مدل General Time Reversible (GTR+G+I) (Nei & Kumar, 2000) و با ۱۰۰۰ تکرار انجام شد.

نتایج

پس از دریافت نتایج توالی‌یابی توان بالا از شرکت ماکروژن (کره جنوبی) و واکاوی مقدماتی آن‌ها، ژنوم ویروس رگبرگ زرد نکروتیک چغندر قند، ویروس خاک‌زاد چغندر قند، ویروس Q چغندر قند، ویروس سوختگی سیاه برگ چغندر قند، ویروس پیچیدگی بوته چغندر قند و ژنوم یک بتانوکلتورابدوویروس جدید در چغندر قند شناسایی شد. جدایه‌های شناسایی‌شده از ژنوم بتانوکلتورابدوویروس، یکسانی نوکلئوتیدی به میزان ۸۶/۱۳ درصد را نشان دادند و جدایه IR1 (رس

جدول ۱- درصد یکسانی نوکلئوتیدی کل ژنوم بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندر قند جدایه IR1 (beet betanucleorhabdovirus 1 isolate)

(IR1) (رس شماره OR227650) با سایر ترادف‌های موجود در GenBank

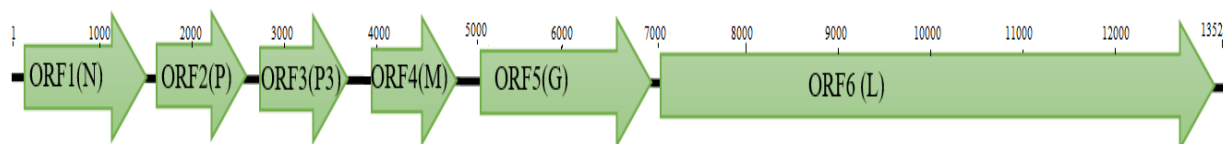
Table 1- Percentage of nucleotide identity of the complete genome of beet betanucleorhabdovirus 1 isolate IR1 (accession no. OR227650) with other sequences available in GenBank

Scientific name	Max score	Total score	Query cover	Percent identity	Accession number
Beet leaf curl betanucleorhabdovirus isolate Fariman	14074	16161	100	86.13	OQ784673
Tomato betanucleorhabdovirus 2 isolate SKO20ST1	2190	4684	84	70.3	OL472114
Tomato betanucleorhabdovirus 2 isolate STR20AT	2179	4630	84	70.27	OL472129
Tomato betanucleorhabdovirus 2 isolate 09-50	2178	4845	79	70.3	OP441765
Tomato betanucleorhabdovirus 2 isolate 10-52	2174	4840	79	70.28	OP441766



شکل ۱- بوته چغندر قند آلوده به بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندر قند (beet betanucleorhabdovirus 1) با علائم پیچیدگی و زردی خفیف برگ جمع آوری شده از منطقه فریمان، ایران

Figure 1- Sugar beet plant infected with beet betanucleorhabdovirus 1, showing curling and mild yellowing of the leaf collected from Fariman, Iran



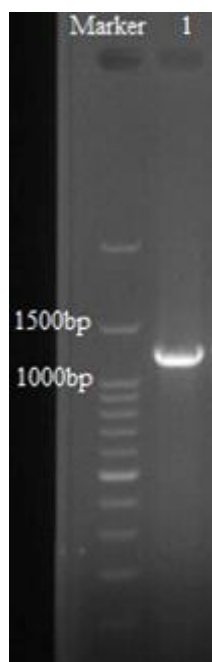
شکل ۲- تصویر شماتیک از ژنوم بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندر قند جدایه IR1 (beet betanucleorhabdovirus isolate 1 IR1) (رس شماره 0227650). N (ژن پروتئین نوکلئوکپسید)، P (ژن فسفو پروتئین)، P3 (ژن پروتئین حرکتی)، M (ژن پروتئین ماتریکس)، G (ژن گلیکوپروتئین) و L (ژن پروتئین بزرگ)

Figure 2- Schematic illustration of the beet betanucleorhabdovirus isolate 1 IR1 genome (accession no. OR227650). N (nucleocapsid protein gene), P (phosphoprotein gene), P3 (movement protein gene), M (matrix protein gene), G (glycoprotein gene), L (large protein gene)

بحث

گیاهی شناخته شده و همچنین ناشناخته را داشته و می تواند کل ژنوم ویروس های RNA دار را توالی یابی کند (Kreuze *et al.*, 2009; Adams *et al.*, 2009; Jones *et al.*, 2017; Al Rwahnih *et al.*, 2015). در مطالعه جدیدی روی چغندر قند در ایالات متحده آمریکا، *Alphanecrovirus* جدید آلوده کننده چغندر قند و ویروس های ماهواره ای همراه آن با استفاده از این روش شناسایی شد (Weiland *et al.*, 2020).

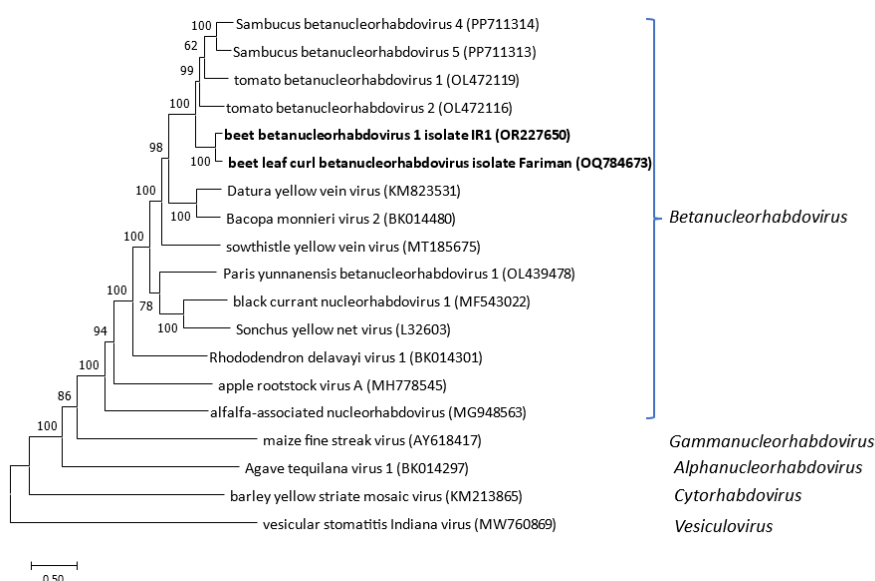
در این تحقیق برای اولین بار بتانوکلتورابدوویروس جدیدی بنام بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندر قند روی چغندر قند جداسازی شد. ژنوم این ویروس دارای شش قاب خوانش باز بوده که براساس مترادف نوکلئوتیدی کل ژنوم با بتانوکلتورابدوویروس ها گروه بندی شده، و به عنوان گونه جدیدی از جنس *Betanucleorhabdovirus* معرفی می گردد. تکنیک توالی یابی توان بالا، توانایی تشخیص ویروس های



شکل ۳- نتایج واکنش زنجیره‌ای پلیمرز معکوس روی ژل آگارز یک درصد

Figure 3- Reverse polymerase chain reaction results on 1% agarose gel

چاهک ۱: نمونه آلوده به بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندر قند (beet betanucleorhabdovirus 1) از گیاهان چغندر قند، M: نشانگر 100 bp+3K (DM2300)
Lane 1: sample infected with beet betanucleorhabdovirus 1 from sugar beet plants, M: marker 100 bp+3K (DM2300)



شکل ۴- درخت تبارزایی برپایه ترادف نوکلئوتیدی کل ژنوم بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندر قند (بتانوکلتورابدوویروس پیچیدگی برگ چغندر قند) (beet betanucleorhabdovirus 1 (beet leaf curl) و نمایندگانی از سایر جنس‌های خانواده

Rhabdoviridae با استفاده از نرم‌افزار MEGA 11 به روش Maximum likelihood و مدل General Time Reversible (GTR+G+I) و آزمون اعتبارسنجی با ۱۰۰۰ تکرار

Figure 4- Maximum likelihood tree of beet betanucleorhabdovirus 1 (beet leaf curl betanucleorhabdovirus) and other *Rhabdoviridae* constructed in MEGA11 using the GTR+G+I model, based on complete genome sequences, with 1000 bootstrap replications

ویروس ایندیانا وزیکولار استوماتیتیس (vesicular stomatitis Indiana virus) به عنوان عضو خارج از گروه در نظر گرفته شده است.

Vesicular stomatitis Indiana virus is considered as an outgroup.

گیاهان آلوده به بتانوکلتورابدوویروس شماره یک تا پنج آقطی سیاه فاقد علائم بودند و یا علائم سبزدی خفیف برگ را نشان می‌دادند (Šafářová et al., 2024). گیاهان آلوده به رابدوویروس شماره یک پاریس یونانسیس در مراحل اولیه آلودگی رگبرگ روشنی و به دنبال آن زردی و نکروز برگ را نشان می‌دادند (Hu et al., 2023). بوته‌های چغندرقد آلوده به بتانوکلتورابدوویروس شماره یک چغندرقد، علائم پیچیدگی و زردی خفیف برگ را نشان دادند. بالاین حال، این علائم می‌تواند ناشی از آلودگی گیاه میزبان به سایر ویروس‌های آلوده‌کننده نیز باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای اولین بار در دنیا یک بتانوکلتورابدوویروس جدید از روی چغندرقد شناسایی و گزارش گردید که به‌عنوان یک گونه جدید در جنس *Betanucleorhabdovirus* معرفی می‌گردد. تحقیقات آینده بر روی ویژگی‌های بیولوژیکی (ناقل و دامنه میزبانی)، میزان بیماریزایی و نحوه مدیریت آن توصیه می‌شود.

بلیت و همکاران (Belete et al., 2022) توالی کامل ژنوم رابدوویروسی جدید به‌نام ویروس شماره یک کنیدیم (*Cnidium virus 1*) از گیاه *Cnidium officinale* را در کره جنوبی شناسایی کردند که ژنوم آن از آن تک رشته‌ای با سنس منفی و به‌طول ۱۴ کیلوپاز بود. سازمان ژنومی این ویروس شباهت زیادی به رابدوویروس‌های گیاهی داشته، شامل شش قاب خوانش باز (N-P-3-M-G-L) بود که به‌عنوان یک عضو جدید از جنس *Betanucleorhabdovirus* در خانواده *Rhabdoviridae* طبقه‌بندی گردید. هو و همکاران (Hu et al., 2023) یک بتانوکلتورابدوویروس جدید آلوده‌کننده گیاه *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* به‌نام رابدوویروس شماره یک پاریس یونانسیس را در چین شناسایی کردند که ژنوم آن متشکل از ۱۳۵۰۹ نوکلئوتید بوده، دارای سازمان ژنومی معمولی رابدوویروس‌ها (حاوی شش قاب خوانش باز با مناطق بین ژنی حفاظت‌شده) است. صفروا و همکاران (Šafářová et al., 2024) پنج بتانوکلتورابدوویروس جدید به‌نام بتانوکلتورابدوویروس شماره یک تا پنج آقطی سیاه را از روی گیاه آقطی سیاه گزارش نمودند. این پنج بتانوکلتورابدوویروس جدید، ساختار ژنومی (3'-N-P-3-M-G-L-5') معمولی رابدوویروس‌های گیاهی را نشان دادند.

References

- Adams, I.P., Glover, R.H., Monger, W.A., Mumford, R., Jackeviciene, E., Navalinskiene, M., Samuitiene, M., & Boonham, N. (2009). Next-generation sequencing and metagenomic analysis: A universal diagnostic tool in plant virology. *Molecular Plant Pathology*, 10(4), 537-45. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2009.00545.x>
- Agricultural Statistics. (2023). Agricultural Statistics Crop Year 2021-2022, Volume one: Crops Products, Ministry of Agriculture Jihad, Deputy of Planning and Economics, ICT Center. (in Persian).
- Altschul, S.F., Madden, T.L., Schaffer, A.A., Zhang, J., Zhang, Z., Miller, W., & Lipman, D.J. (1997). Gapped BLAST and PSI-BLAST: A new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Research*, 25, 3389-3402. <https://doi.org/10.1093/nar/25.17.3389>
- Al Rwahnih, M., Daubert, S., Golino, D., Islas, C., & Rowhani, A. (2015). Comparison of next-generation sequencing versus biological indexing for the optimal detection of viral pathogens in grapevine. *Phytopathology*, 105(6), 758-63. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-14-0165-R>
- Barbas 3rd, C.F., Burton, D.R., Scott, J.K., & Silverman, G.J. (2007). Quantitation of DNA and RNA. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2007, pdb.ip47. <https://cshprotocols.cshlp.org/content/2007/11/pdb.ip47.long>
- Belete, M.T., Igori, D., Kim, S.E., Lee, S.H., & Moon, J.S. (2022). Complete genome sequence of cnidium virus 1, a novel betanucleorhabdovirus infecting *Cnidium officinale*. *Archives of Virology*, 167(3), 973-977. <https://doi.org/10.1007/s00705-021-05348-9>
- Bejerman, N., Debat, H., & Dietzgen, R.G. (2020). The plant negative-sense RNA virosphere: virus discovery through new eyes. *Frontiers in Microbiology*, 11, 588427. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.588427>
- Bejerman, N., Dietzgen, R.G., & Debat, H. (2021). Illuminating the plant rhabdovirus landscape through metatranscriptomics data. *Viruses*, 13(7), 1304. <https://doi.org/10.3390/v13071304>
- Cui, X. (1988). An icosahedral virus found in sugar beet. *Journal Xinjiang Shihezi Agriculture College*, 10(1), 73-78.
- Bolok-Yazdi, H.R., Heydarnejad, J., & Massumi, H. (2008). Genome characterization and genetic diversity of beet curly top Iran virus: A geminivirus with a novel nonanucleotide. *Virus Genes*, 36, 539-545. <https://doi.org/10.1007/s11262-008-0224-2>
- Harvesom, R.M., Hanson, L.E., & Hein G.L. (2009). Compendium of Beet Diseases and Pests. The American Phyto-pathological Society. St. Paul, Minnesota, U.S.A. <https://ictv.global/report/chapter/rhabdoviridae/rhabdoviridae/betanucleorhabdovirus>.

12. Hu, J., Miao, T., Que, K., Rahman, M.S., Zhang, L., Dong, X., Ji, P., & Dong, J. (2023). Identification, molecular characterization and phylogenetic analysis of a novel nucleorhabdovirus infecting *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*. *Scientific Reports*, 13(1), 10040. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37022-2>
13. Jackson, A.O., Dietzgen, R.G., Goodin, M.M., Bragg, J.N., & Deng, M. (2005). Biology of plant rhabdoviruses. *Annual Review of Phytopathology*, 43, 623–660. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.011205.141136>
14. Jones, S., Baizan-Edge, A., MacFarlane, S., & Torrance, L. (2017). Viral diagnostics in plants using next generation sequencing: Computational analysis in practice. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1770. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01770>
15. Kreuze, J.F., Perez, A., Untiveros, M., Quispe, D., Fuentes, S., Barker, I., & Simon, R. (2009). Complete viral genome sequence and discovery of novel viruses by deep sequencing of small RNAs: A generic method for diagnosis, discovery and sequencing of viruses. *Virology*, 388(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2009.03.024>
16. Li, C.X., Shi, M., Tian, J.H., Lin, X.D., Kang, Y.J., Chen, L.J., Qin, X.C., Xu, J., Holmes, E.C., & Zhang, Y.Z. (2015). Unprecedented genomic diversity of RNA viruses in arthropods reveals the ancestry of negative-sense RNA viruses. *Elife*, 29(4), e05378. <https://doi.org/10.7554/eLife.05378>
17. Nei, M., & Kumar, S. (2000). *Molecular Evolution and Phylogenetics*. Oxford University Press, New York.
- Šafářová, D., Candresse, T., Veselská, J., & Navrátil, M. (2024). Novel betanucleorhabdoviruses infecting elderberry (*Sambucus nigra* L.): Genome characterization and genetic variability. *Pathogens*, 13(445), 1-17. <https://doi.org/10.3390/pathogens13060445>
18. Tamura, K., Stecher, G., & Kumar, S. (2021). MEGA11: Molecular evolutionary genetics analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 38(7), 3022-3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
19. Turang, S., Mehrvar, M., & Zakiagh, M. (2024). Identification, molecular and phylogenetic characterization of two isolates of vinca mosaic virus based on p1 and cp genes. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 38(3), 209-226. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jpp.2024.82191.1144>
20. Weiland, J.J., Sharma, Poudel, R., Flobinus, A., Cook, D.E., Secor, G.A., & Bolton, M.D. (2020). RNAseq analysis of rhizomania-infected sugar beet provides the first genome sequence of beet necrotic yellow vein virus from the USA and identifies a novel alphanecrovirus and putative satellite viruses. *Viruses*, 12(6), 626. <https://doi.org/10.3390/v12060626>

Evaluation of the Allelopathic Potential of Plant Extracts and its Comparison with Chemical Treatments on *Galium aparine* L. and *Vicia villosa* Roth. Weeds in Chickpea Fields

S. Jalilian¹, S.A. Ghanbari^{1*}, M.R. Asgharipour¹, A. Bagheri²

1- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

2- Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

(*- Corresponding author's Email: drghanbari@uoz.ac.ir)

Received: 12-06-2025
Revised: 11-08-2025
Accepted: 17-08-2025
Available Online: 10-11-2025

How to cite this article:

Jalilian, S., Ghanbari, S.A., Asgharipour, M.R., & Bagheri, A. (2025). Evaluation of the allelopathic potential of plant extracts and its comparison with chemical treatments on *Galium aparine* L. and *Vicia villosa* Roth. weeds in chickpea fields. *Iranian Plant Protection Research*, 39(3), 293-315. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jpp.2025.94054.1234>

Introduction

Weeds represent a major constraint in agricultural production by competing with crops for essential resources such as light, water, nutrients, and space. In chickpea (*Cicer arietinum*) cultivation, species like *Galium aparine* L. (cleavers) and *Vicia villosa* Roth. (hairy vetch) can cause significant yield losses, estimated between 40% and 87% in the absence of effective weed management strategies. Conventional weed control relies heavily on synthetic herbicides, which provide rapid and effective results but raise environmental and health concerns due to their toxicity, persistence, and bioaccumulation. Allelopathy involves the release of allelochemicals by plants, which inhibit the growth and development of neighboring plants, offering a targeted approach to weed management. Plants such as *Gundelia tournefortii* (cardoos), *Anthemis* species (chamomile), and *Arachis hypogaea* (peanut) produce bioactive compounds, including terpenoids, phenolic acids, and flavonoids, known for their phytotoxic effects on weeds. Previous studies have demonstrated the efficacy of these plant extracts in suppressing weed growth, but their allelopathic effects on *Galium aparine* and *Vicia villosa* in chickpea fields remain underexplored. This study aimed to evaluate the phytotoxic and allelopathic potential of chamomile, cardoon, and peanut shell extracts, compared to pelargonic acid and the commercial herbicide Challenge, on these weeds over two growing seasons (2021–2022 and 2022–2023).

Materials and Methods

The experiment was conducted over two consecutive growing seasons (2021–2022 and 2022–2023) in an 80-hectare chickpea field located in Jiranblagh, Serfirouzabad, Kermanshah, Iran (34°12'34"N, 47°5'48"E; 1728 m above sea level). The study area has a Mediterranean climate characterized by long, dry summers and cold winters, with an average annual precipitation of 435 mm. Soil analysis confirmed adequate NPK levels, and 25 kg ha⁻¹ bentonite sulfur and 1 kg ha⁻¹ ammonium molybdate were applied for balanced nutrition. Chickpea seeds (cv. Mansour) were sown mechanically at 15 plants m⁻². Treatments included chamomile extract (50 g L⁻¹),



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.94054.1234>

cardoon extract (100 g L⁻¹), peanut shell extract (100 g L⁻¹), pelargonic acid (5 L ha⁻¹), Challenge herbicide (2 L ha⁻¹), and water control, applied in a factorial randomized complete block design with three replicates. Plant materials were collected from Kermanshah's Koohefid mountains (chamomile and cardoon) and Razi University's agricultural campus (peanut shells). Extracts were prepared using ethanol (1:10 ratio), filtered, and stored at 4°C. Total phenolic content was measured gravimetrically, and antioxidant activity was assessed via the DPPH assay. Weed traits, including growth inhibition, chlorophyll content, stomatal conductance, and chlorophyll fluorescence (Pocket PEA), were measured 48 hours post-treatment. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analyzed chamomile essential oil composition. Data were analyzed using SAS 9.1, with variance homogeneity tested via the F-test, and means compared using the Least Significant Difference (LSD) test at P<0.05.

Results and Discussion

The weed flora of the chickpea field consisted of 27 species, with *Galium aparine* (92% frequency, 10.6 plants m⁻²) and *Vicia villosa* (60% frequency) identified as the dominant species. GC-MS analysis of chamomile essential oil revealed 21 constituents, accounting for 82.49% of the total oil composition. The predominant compounds were myrtenyl acetate (20.37%), decanoic acid (9.85%), spathulenol (7.99%), and caryophyllene oxide (5.12%), consistent with previous reports (Nejadhabibvash, 2017). These terpenoids are known for their phytotoxic effects, disrupting photosynthesis and inducing oxidative stress. Growth inhibition of *V. villosa* was most pronounced in the first year with pelargonic acid (70.3%) and cardoon extract (67.13%), while for *Galium aparine*, cardoon extract (53.33%) and pelargonic acid (52.76%) were most effective in year one, and pelargonic acid (47.03%) and cardoon (46.79%) in year two. Treatments significantly reduced chlorophyll content, with a 69.91% decrease in *G. aparine* (pelargonic acid, year two) and 74.28% in *V. villosa* (chamomile, year two) compared to the control. Stomatal conductance was notably reduced by chamomile extract, with a 66.80% decrease in *G. aparine* and 51.75% in *V. villosa* in the second year. Chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) decreased by 56.63% in *G. aparine* and 36.14% in *V. villosa* under chamomile treatment in year two, indicating photosystem II impairment. These effects are attributed to allelochemicals, particularly terpenoids, which inhibit photosynthesis, reduce chlorophyll synthesis, and cause cellular damage.

Conclusion

Chamomile extract exhibited pronounced phytotoxic and allelopathic activity, markedly reducing growth parameters, chlorophyll content, stomatal conductance, and chlorophyll fluorescence in *Galium aparine* and *Vicia villosa*, with efficacy surpassing that of the commercial herbicide Challenge. The high proportion of myrtenyl acetate in chamomile essential oil is likely a key contributor to its herbicidal potential. Cardoon extract and pelargonic acid also showed strong weed suppression, while peanut shell extract was less effective. These findings suggest that chamomile extract is a promising eco-friendly bioherbicide for sustainable weed management in chickpea fields. Further studies are recommended to elucidate the mechanisms of action of these allelochemicals and optimize their field application.

Keywords: Growth inhibition, Natural herbicide, Secondary metabolites, Sustainable management

ارزیابی پتانسیل دگرآسیبی عصاره‌های گیاهی و مقایسه آن با تیمارهای شیمیایی بر علف‌های هرز بی‌تی‌راخ (*Galium aparine* L.) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) در مزرعه نخود

صادق جلیلیان^۱، سید احمد قنبری^{۱*}، محمدرضا اصغری پور^۱، علیرضا باقری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۷

چکیده

علف‌های هرز از محدودیت‌های اصلی تولید نخود در بوم‌نظام‌های کشاورزی هستند که استفاده از عصاره‌های گیاهی با پتانسیل دگرآسیبی می‌تواند رویکردی پایدار برای مدیریت آن‌ها ارائه دهد. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات دگرآسیبی و سمیت گیاهی عصاره‌های گیاهی بر علف‌های هرز بی‌تی‌راخ (*Galium aparine* L.) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) در زراعت نخود (*Cicer arietinum*) طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل عصاره‌های گیاه بابونه (*Anthemis odontostephana* Boiss.)، کنگر کوهی (*Gundelia tournefortii* L.)، پوسته بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.)، اسید پلارگونیک (*Pelargonic acid*)، علف‌کش چلنج (آکلونیفن) و شاهد (آب خالص) بودند. در سال اول، اسید پلارگونیک و عصاره کنگر به ترتیب با ۳/۷۰ درصد و ۱۳/۶۷ درصد بیشترین اثر مهاری بر رشد ماشک گل خوشه‌ای، و به ترتیب با ۵۲/۷۶ درصد و ۵۳/۳۳ درصد بیشترین بازدارندگی را بر رشد بی‌تی‌راخ نشان دادند. همچنین، میزان سبزیگی ماشک گل خوشه‌ای در اثر کاربرد اسید پلارگونیک ۶۰/۳۱ درصد کاهش یافت. در سال دوم، بیشترین کاهش رشد بی‌تی‌راخ مربوط به اسید پلارگونیک (۴۷/۰۳ درصد) و عصاره کنگر (۴۶/۷۹ درصد) بود. در همین سال، سبزیگی بی‌تی‌راخ در اثر کاربرد اسید پلارگونیک ۶۹/۹۱ درصد و سبزیگی ماشک گل خوشه‌ای به وسیله عصاره بابونه ۷۴/۲ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. هدایت روزنه‌ای بی‌تی‌راخ در سال دوم توسط عصاره بابونه (۶۶/۸۰ درصد) و هدایت روزنه‌ای ماشک گل خوشه‌ای در سال اول به وسیله اسید پلارگونیک (۴۰/۵۵ درصد) و در سال دوم توسط عصاره بابونه (۵۱/۷۵ درصد) و اسید پلارگونیک (۴۹/۷۴ درصد) نسبت به شاهد کاهش یافت. فلورسانس کلروفیل در بی‌تی‌راخ و ماشک گل خوشه‌ای تحت تیمار بابونه در سال دوم به ترتیب ۵۶/۶۳ درصد و ۳۶/۱۴ درصد کاهش داشت. تحلیل اسانس بابونه با کروماتوگرافی گازی، ۲۱ ترکیب را شناسایی کرد که ترپنوئیدها، به ویژه مایرنتیل استات، ترکیبات اصلی بودند. با توجه به پتانسیل بالای عصاره بابونه در مهار علف‌های هرز، انجام تحقیقات بیشتر برای توسعه آن به عنوان علف‌کش گیاهی سازگار با محیط‌زیست و گزینه‌ای جایگزین برای علف‌کش‌های شیمیایی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بازدارندگی رشد، علف‌کش طبیعی، متابولیت‌های ثانویه، مدیریت پایدار

مقدمه

در ایران، علف‌های هرز یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده

تولید نخود (*Cicer arietinum*) به شمار می‌روند (Veisi et al., 2024). این گیاهان ناخواسته با محصولات زراعی بر سر منابع حیاتی مانند فضا، آب، مواد مغذی خاک و نور رقابت کرده و تولید را به شدت کاهش می‌دهند (Vashishta et al., 2023a). علف‌کش‌های شیمیایی به طور گسترده برای مهار علف‌های هرز استفاده می‌شوند، استفاده بیش از حد از این ترکیبات به دلیل سمیت، ماندگاری در محیط و تجمع زیستی در موجودات، اثرات نامطلوبی بر محیط‌زیست، حیوانات و سلامت انسان دارد (Ben Kaab et al., 2024). استفاده از

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

(*)- نویسنده مسئول:
(Email: drghanbari@uoz.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.94054.1234>

عصاره‌های گیاهی با پتانسیل دگرآسیبی، می‌تواند رویکردی پایدار و هدفمند برای مهار علف‌های هرز در محصولات باشد (Đorđević et al., 2022). این ترکیبات به‌طور انتخابی با آنزیم‌های هدف یا گیرنده‌های خاص موجود در علف‌های هرز برهم‌کنش می‌کنند و در نتیجه رشد علف‌های هرز را مهار می‌کنند (Mendes da Silva et al., 2024).

کنگر کوهی (*Gundelia tournefortii* L.) گیاهی چندساله و گل‌دار و درختچه‌ای با برگ‌های متناوب و خارمانند از تیره Asteraceae است. این گیاه در مناطق کوهستانی، گرمسیری یا معتدل می‌روید (Karimzadeh et al., 2023). گونه‌هایی از جنس *Gundelia* دارای ترکیبات زیست‌فعال اسید کلروژنیک^۱، اسید کوئینیک^۲، ترکیبات گلوکوزیدی^۳ و اسید کافئیک^۴ هستند و فعالیت آنتی‌اکسیدانی از خود نشان داده‌اند (Tarhan et al., 2023). عصاره کنگر فعالیت علف‌کشی بر علف‌های هرز دارد (Al-Batsh & Qasem, 2020). جنس *Anthemis* متعلق به تیره Asteraceae متشکل از حدود ۱۹۵ گونه است. ۳۹ گونه یک‌ساله و چندساله از جنس *Anthemis* در فلور ایران یافت می‌شود که ۱۵ گونه آن بومی هستند (Jassbi Sajjadi et al., 2016). گل بابونه تاج دندانی (*Anthemis odontostephana* Boiss.) یکی از گونه‌های وحشی جنس *Anthemis* است (Zebarjad & Farjam, 2015). در اسانس گل بابونه تاج دندانی، ۴۷ ترکیب شناسایی شده است که اسپاتولنول^۵، اسید هگزادکانوئیک^۶ و ژرمارکن^۷ فراوان‌ترین ترکیبات هستند (Shokoohinia et al., 2015). در مطالعه الحربی (Al-Harbi, 2016) اثر بازدارندگی عصاره *Anthemis* بر علف‌های هرز مزارع زراعی گزارش شده است.

بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) از خانواده Fabaceae به‌دلیل داشتن مواد مغذی غنی از جمله پروتئین، اسیدهای چرب، مواد معدنی، ویتامین‌ها و مواد شیمیایی گیاهی در سراسر جهان مصرف می‌شود (Yu et al., 2025). پوست غلاف بادام‌زمینی حاوی بسیاری از ترکیبات فعال زیستی و آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند فنولیک اسیدها^۸، استیلبن‌ها^۹، فلاونوئیدها^{۱۰} و فیتواسترول‌ها^{۱۱} است، که می‌تواند ۸۵/۷

درصد از کل ترکیبات فنلی به‌دست‌آمده از پوست بادام زمینی را تشکیل دهد (Nunes et al., 2024). برخی از این ترکیبات، مانند فنولیک اسیدها، اسید استتاریک^{۱۲}، اسید پالمیتیک^{۱۳}، اسیدهای چرب^{۱۴}، پیرانون‌ها^{۱۵} و بنزوفوران‌ها^{۱۶} اثرات علف‌کشی دارند (Thang et al., 2023).

پژوهشگران، پتانسیل دگرآسیبی عصاره‌های گیاهی و اثر سمیت آن بر علف‌های هرز را گزارش کرده‌اند. در مطالعه مددی و همکاران (Madadi et al., 2023)، متابولیت‌های ثانویه موجود در عصاره شاخساره بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) اثر سمیت بر علف هرز خاکشیر (*Descurainia Sophia* L.) داشت و از جوانه زنی و رشد آن جلوگیری کرد. همچنین ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی موجود در عصاره متانولی کنگر فرنگی (*Cynara cardunculus*)، جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های شبدر لاکسی (*Trifolium incarnatum*)، خار مریم (*Silybum marianum*) و علف هرز فالاریس (*Phalaris minor*) را مهار کرد و باعث نکروز یا کلروز آن‌ها شد (Kaab et al., 2020). در پژوهشی مشابه، تانگ و همکاران (Thang et al., 2023) دریافتند که عصاره‌های آبی پودر بادام زمینی پوششی (*Arachis pintoii*)، گونه‌ای چندساله از تیره بقولات با کاربرد به‌عنوان پوشش گیاهی به‌طور قابل توجهی رشد سوروف (*Echinochloa crus-galli*) و گیاهان زراعی برنج (*Oryza sativa*) و ماش (*Vigna radiata*) را کاهش داد.

گیاهان دارای ترکیبات دگرآسیبی برای سرکوب علف‌های هرز به کار می‌روند (Kaab et al., 2020; Casimiro et al., 2017; Wardini et al., 2023). تاکنون فعالیت دگرآسیبی عصاره‌های اتانولی گل بابونه، پوسته غلاف بادام زمینی و کنگر کوهی بر علف‌های هرز مزارع نخود بررسی نشده است. بنابراین، این مطالعه با هدف ارزیابی سمیت گیاهی و پتانسیل دگرآسیبی عصاره گیاه بابونه، پوسته غلاف بادام زمینی و گیاه کنگر کوهی بر علف‌های هرز بی‌تی‌راخ (*G. aparine*) و ماشک گل خوشه‌ای (*V. villosa*) در مزرعه نخود زراعی طی دو سال متوالی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مزرعه آزمایشی و جزئیات اقلیمی و خاک

پژوهش حاضر در سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه زراعی ۸۰ هکتاری جهاد خودکفایی تیپ ۳۵ تکاور واکنش

- 12- Stearic acid
- 13- Palmitic acid
- 14- Fatty acids
- 1- Pyranones
- 16- Benzofurans

- 1- Chlorogenic acid
- 2- Quinic acid
- 3- Glucoside
- 4- Caffeic acid
- 5- Spathulenol
- 6- Hexadecanoic acid
- 7- Germacrene D
- 8- Phenolic acids
- 9- Stilbenes
- 10- Flavonoids
- 11- Phytosterols

نخود زراعی با استفاده از روش کشت مستقیم و با بهره‌گیری از دستگاه خطی کار تولید شرکت باران کشت (واقع در دیواندره)، به صورت مستقیم در خاک دارای رطوبت حاصل از بارندگی‌های فصلی کشت گردید. عملیات کاشت در دو سال متوالی، در تاریخ‌های ۲۵ اسفند ۱۴۰۰ (سال اول) و ۱۲ اسفند ۱۴۰۱ (سال دوم)، با تراکم ۱۵ بوته در مترمربع انجام شد. در یک سوم ابتدایی فصل رشد با تراکم‌گیری علف‌های هرز جهت کمک به بلوک‌بندی و انتخاب کرت‌ها در کل مزرعه به‌روش مین‌باشی و همکاران (Minbashi et al., 2008)، غنای گونه‌ای (۲۷ گونه علف هرز) شناسایی گردید. در سال ۱۴۰۱، مقدار کل بارندگی ۲۸۵/۷ میلی‌متر با توزیع نامنظم بود و بیشترین بارندگی در اردیبهشت ماه رخ داد. در سال ۱۴۰۲، میزان بارندگی ۴۷۷/۲ میلی‌متر با پراکنش نامنظم بود و بیشترین بارندگی در فروردین اتفاق افتاد. دما در فصل بهار (دوره رشد نخود) در سال ۱۴۰۲ خنک‌تر از سال ۱۴۰۱ بود (شکل ۱).

تهیه و جمع‌آوری مواد گیاهی

کل بوته گیاهان کنگرکوهی و بابونه در مرحله ابتدای گل‌دهی از دامنه ارتفاعات ۱۸۰۰-۱۳۰۰ متری کوه سفید کرمانشاه که جزء زاگرس مرتفع می‌باشد، در نیمه اول فروردین ماه ۱۴۰۱ جمع‌آوری شد. پوسته غلاف بادام‌زمینی نیز پس از برداشت و استحصال دانه بادام زمینی از مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی رازی جمع‌آوری گردید.

سریع ارتش جمهوری اسلامی ایران در منطقه جیران‌بلاغ دهستان سرفیروزآباد واقع در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵ دقیقه و ۴۸ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۲ دقیقه و ۳۴ ثانیه شمالی با ارتفاع ۱۷۲۸ متر از سطح دریا انجام شد. محل آزمایش در هشت کیلومتری جنوب کرمانشاه با آب‌وهوایی مدیترانه‌ای با دوره تابستان طولانی و خشک و زمستان سرد، با روزهای برفی کم و نامنظم، و با میانگین بارندگی بلندمدت در منطقه ۴۳۵ میلی‌متر بود، طبقه‌بندی اقلیمی این منطقه به‌روش سیلیانف، اقلیمی نیمه خشک می‌باشد. بذر نخود زراعی (رقم منصور) از شرکت اصلاح بذر کاوه ماهیدشت تهیه گردید. مزرعه مورد نظر که در هر دو سال زراعی گذشته زیر کشت گندم نان (*T. aestivum* L.) بوده است، بعد از اولین بارندگی مؤثر در اوایل زمستان به عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متر شخم زده شد. کرت‌های آزمایشی شامل شش ردیف کاشت به طول سه متر و به فاصله ۰/۵ متر با مساحت نه مترمربع (۳×۳ متر) بودند. در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، قبل از کشت نخود به منظور بررسی خصوصیات خاک منطقه مورد آزمایش، نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج آن در (جدول ۱) نشان داده شده است. براساس نتایج آزمایش خاک و بررسی ماده آلی و عناصر ماکرو، میزان عناصر NPK مناسب بود و از این کودها استفاده نشد، اما جهت تغذیه متعادل، میزان ۲۵ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار و یک کیلوگرم مولیبدات آمونیوم در هکتار مصرف شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی پیش از کاشت در سال‌های اجرای آزمایش

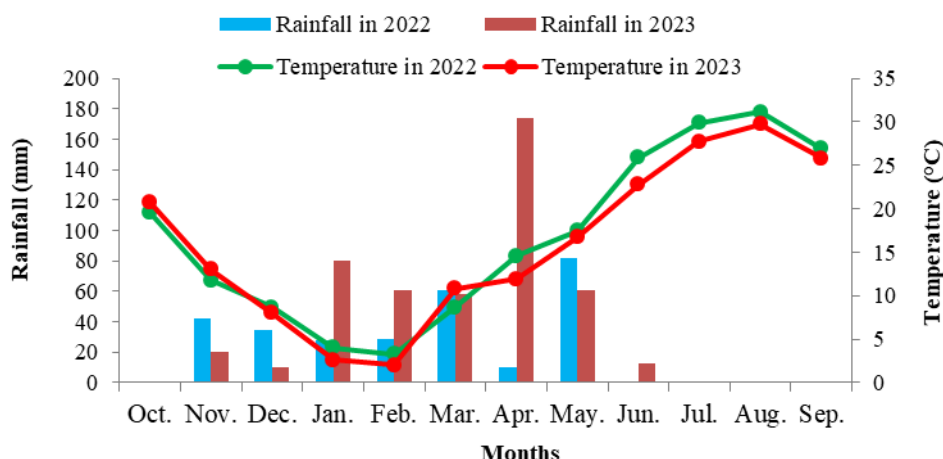
Table 1- Physical and chemical properties of the experimental site soil before planting in the years of the experiment

U.T.M	Longitude latitude	Sample 1 3786260 692713	Sample 2 3786857 693120	Sample 3 3787109 693364
Chemical properties	O Materials (%)	2.99	3.29	1.78
	P (ppm)	22.8	18.4	30
	K (ppm)	643.6	282	143.4
	T.N (%)	0.17	0.19	0.10
	T.N.V (%)	8.75	17	5.25
	pH	6.87	6.95	7.07
	EC (10 ⁻³ dS.m ⁻²)	0.50	0.50	0.48
	S.P (%)	48	49	48
Physical properties	Sand (%)	32	24	30
	Clay (%)	22	24	22
	Silt (%)	46	52	48
	Texture	L	SI. L	L
	FC (%)	28	30	28
	P.W.P (%)	13	14	13
	B.d (g.cm ⁻³)	1.38	1.35	1.37
	hydraulic conductivity (cm.h ⁻¹)	0.79	0.73	0.81

O.M: ماده آلی، P: فسفر، K: پتاسیم، T.N: نیتروژن کل، T.N.V: هایدات الکتریکی، S.P: خاک با دانه ریز- بد دانه‌بندی شده، FC: ظرفیت زراعی،

P.W.P: نقطه پژمردگی دائم

O.M: organic matter, P: phosphorus, K: potassium, T.N: total nitrogen, T.N.V: total neutralizing value, EC: electrical conductivity, S.P: fine-grained soil - poorly graded, FC: field capacity, P.W.P: permanent wilting point



شکل ۱- تغییرات اقلیمی ماه‌های اجرای آزمایش در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲
Figure 1- Climatic variations of the months during the experiment in 2022 and 2023

تعیین فنل کل

سنجش محتوای فنل کل به روش وزنی انجام شد (Onwuka, 2006). بدین منظور، پنج گرم از گیاه پودر شده در ۵۰ میلی‌لیتر اسید استیک ۱۰ درصد در اتانول مخلوط شد. سوسپانسیون حاصل در شیکر انکوباتور ۳۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه قرار داده شد و پس از چهار ساعت سکون، با استفاده از کاغذ صافی (شماره ۳۸۹ سارتریوس^۴) فیلتر گردید. حجم محلول فیلتر شده با استفاده از هیتر تا - حجم اولیه تقلیل یافت. سپس به آن قطره قطره محلول هیدروکسید آمونیوم ۳۰ درصد تا زمان رسوب فنل‌ها، اضافه شد و مخلوط با استفاده از یک کاغذ صافی توزین شده، فیلتر گردید. برای اطمینان، کاغذ با هیدروکسید آمونیوم یک درصد شستشو داده شد. کاغذ صافی در آن ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت نیم ساعت خشک و بلافاصله به دسیکاتور منتقل شد تا رطوبت جذب نکند و سپس توزین انجام شد. اختلاف وزن اولیه و ثانویه بیانگر میزان فنل است که به صورت درصد بیان شد (جدول ۲).

سنجش مهار رادیکال آزاد DPPH

ارزیابی قدرت آنتی‌اکسیدانی عصاره با استفاده از روش به دام انداختن رادیکال DPPH^۵ که مولکول رادیکالی آزاد و چربی دوست بوده که توانایی شروع واکنش‌های زنجیره‌ای لیپید پراکسیداسیون و اتواکسیداسیون از طریق واکنش مستقیم با آنتی‌اکسیدان‌ها را دارد، انجام شد. با به دام انداختن این رادیکال توسط آنتی‌اکسیدان‌ها، DPPH احیاء و مولکول پایدار H-DPPH تشکیل می‌شود

تهیه عصاره‌های گیاهی

پس از تأیید گیاهان برداشت شده توسط گیاه‌شناس، استخراج عصاره گیاهان کنگرکوهی و بابونه و پوسته غلاف بادام زمینی براساس روش بهینه‌سازی شده فلاح و همکاران (Falleh et al., 2013) انجام شد. بدین منظور، نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری شده به طور جداگانه با آب مقطر شسته و سپس هر نمونه در دمای اتاق به مدت هفت روز در تاریکی نگه داشته شدند. به منظور خشک کردن، نمونه‌ها به مدت دو ساعت در آن با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس آسیاب شدند. برای همگن شدن، پودر به دست آمده از الک با مش ۳۵ عبور داده شد. جهت تهیه عصاره از حلال اتانول با نسبت پودر خشک به حلال ۱ به ۱۰ استفاده گردید و محلول‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق روی دستگاه شیکر قرار داده شدند. هر کدام از عصاره‌ها به صورت جداگانه یک بار با استفاده از دستمال نظیف چهار لایه و بار دیگر با کاغذ صافی واتمن شماره یک صاف شدند تا بقایای آن‌ها حذف شود. اتانول با استفاده از دستگاه تقطیر در خلاء^۱ در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد حذف و باقی‌مانده‌ها مجدداً در توئن^۲ یک درصد حل شدند. پس از تعیین درصد عصاره (جدول ۲)، به منظور حفظ ترکیبات عصاره‌های به دست آمده و جلوگیری از تخریب ترکیبات آلوکسیمایی^۳ آن، مطابق روش توصیف شده توسط اصلانی و همکاران (Aslani et al., 2014) همه عصاره‌ها بعد از تولید و تا قبل از استفاده از آن‌ها در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند.

1- Rotary evaporator

2- Tween 1%

3- Allelochemical

4- Sartorius

5- 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical

DPPH در ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول) تهیه شده بود، به ۵۰ میکرولیتر از غلظت‌های مختلف عصاره اضافه گردید. پس از نگهداری نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در یک مکان تاریک، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان جذب نوری آن‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد.

(Vijayalakshmi & Ruckmani, 2016). شدت جذب با احیاء شدن، کاهش یافته و ترکیب زردرنگی تولید می‌شود که در طول موج ۵۱۷ نانومتر جذب دارد. به‌منظور تهیه غلظت چهار میلی‌گرم بر میلی‌لیتر عصاره، در دو میلی‌لیتر اتانول حل شدند. سپس رقیق کردن محلول تا غلظت ۰/۲۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر انجام گرفت. دو میلی‌لیتر از محلول DPPH، که با حل کردن پودر (۲/۴ میلی‌گرم

جدول ۲- مشخصات عصاره‌های گیاهی

Table 2- Characteristics of plant extracts

Plant name	Phenol	DPPH (mg ml ⁻¹)	Extract (%)
Chamomile	7.08	6.85	20
Peanut shell	4.08	13.18	12.5
Artichoke	11.22	6.02	16.25

(نخود) جلوگیری گردید.

صفات مورد ارزیابی

۴۸ ساعت بعد از اعمال تیمارها، شاخص سبزیگی توسط دستگاه SPAD (مدل ۵۰۲ کمپانی Konica Minolta ژاپن) ثبت شد (Janusauskaitė, 2023). برای اندازه‌گیری کارایی کوانتومی فتوسنتز II برگ‌ها، ۴۸ ساعت بعد از محلول‌پاشی تیمارهای آزمایش، برگ‌ها با استفاده از گیره‌های مخصوص، به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند و سپس نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر (Fv/Fm) که نمایانگر حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسنتز III است، با استفاده از دستگاه کلروفیل فلورسانس (مدل Pocket PEA ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای نیز ۴۸ ساعت بعد از اعمال تیمارها انجام گرفت، به این صورت که قسمت میانی برگ در داخل سنسور دستگاه فتوسنتز متر (مدل SD Portable، ساخت کشور انگلستان) قرار داده شد و پس از ۳۰ ثانیه عدد دستگاه یادداشت گردید. برای اجتناب از اثر تغییرات دمای هوا و شرایط نوری بر روزنه‌ها، این اندازه‌گیری بین ساعت‌های ۷ تا ۹ صبح انجام گرفت (Vashishth et al., 2023).

برای ارزیابی میزان بازدارندگی تیمارها بر جمعیت علف‌های هرز (St)، توانایی مهار علف‌های هرز برای هر تیمار با شاهد مقایسه شد (Motmainna et al., 2021).

$$St = \frac{W_u - W_t}{W_u} \times 100 \quad (2)$$

که در آن، W_u : وزن زیست‌توده علف‌های هرز (گرم بر مترمربع) در شاهد و W_t : وزن زیست‌توده علف‌های هرز تحت تأثیر عصاره‌های گیاهی است.

براساس معادله‌های ارائه‌شده ۳ تا ۸، شاخص‌های جمعیتی

از هر غلظت سه تکرار قرار داده شد. BHT^۱ نیز به‌عنوان آنتی‌اکسیدان سنتتیک، با غلظت یک میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به‌عنوان شاهد مثبت تهیه گردید (Özer, 2018). فعالیت برحسب درصد نسبی DPPH طبق معادله ۱ محاسبه شد (جدول ۲).

$$DPPH = \frac{\text{جذب نمونه} - \text{جذب شاهد}}{\text{جذب شاهد}} \times 100 \quad (1)$$

طرح آماری و تیمارهای آزمایش

آزمایش به‌صورت فاکتوریل و برپایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در هر دو سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲، تیمارهای آزمایش شامل عصاره بابونه با غلظت ۵۰ گرم بر لیتر، کنگر ۱۰۰ گرم بر لیتر، پوسته غلاف بادام زمینی ۱۰۰ گرم بر لیتر، علف‌کش چلنج با مقدار دو لیتر در هکتار، اسیدپلارگونیک با مقدار پنج لیتر در هکتار و شاهد (آب خالص) بودند. ۳۶-۶۰ روز پس از سبز شدن محصول، زمانی که نخود به مرحله رشد طولی ساقه با کد BBCH 39 (رشد نه میان‌گره به‌طور آشکار) (Khaliliaqdam et al., 2014) و اکثر علف‌های هرز به مرحله ۲-۶ برگی رسیدند، تیمارها به همراه ادجوانت^۲ (شرکت گیاه)، محلول‌پاشی شدند. علف‌کش چلنج (Challenge®) با نام عمومی آکلونیفن^۳، فرمولاسیون سوسپانسیون کنسانتره (SC) با غلظت ۶۰ گرم در لیتر، تولید شرکت بایر^۴ آلمان، به‌عنوان یکی از تیمارهای آزمایش استفاده گردید. محلول‌پاشی تیمارها در ساعات اولیه صبح و به‌صورت هدفمند بر روی علف‌های هرز موجود در بین ردیف‌های کاشت نخود انجام شد، به‌گونه‌ای که از تماس مستقیم با گیاه زراعی

- 1- Butylated hydroxytoluene
- 2- Adjuvant
- 3- Aclonifen
- 4- Bayer

دارای ستون موئینه به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۲۵۰ میکرومتر و ضخامت لایه داخلی ۰/۲۵ میکرومتر بود. هلیوم به عنوان گاز حامل با نسبت تقسیم ۵:۱ و دمای تزریق ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. دمای فر GC، با برنامه دمایی ۶۰ تا ۲۷۵ درجه سانتی‌گراد و همراه با افزایش تدریجی پنج درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا دمای نهایی ۲۶۵ درجه سانتی‌گراد و زمان نگهداری ۳۰ دقیقه انجام گردید. گاز حامل هلیوم با سرعت جریان یک میلی‌لیتر در دقیقه بود. دمای انژکتور و آشکارساز به ترتیب در ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۳۲۰ درجه سانتی‌گراد برنامه‌ریزی شد. پس از تزریق اسانس (یک میکرولیتر) به دستگاه و مشاهده طیف کروماتوگرام که حضور تعداد زیادی ترکیب را نشان می‌داد، با استفاده از زمان بازداری (Rt)، شناسایی ترکیبات با مقایسه طیف جرمی آن‌ها با طیف جرمی ترکیبات موجود در بانک اطلاعاتی NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library 2014 همراه با سیستم GC-MS انجام شد (Minh et al., 2019).

تحلیل داده‌ها

پس از اطمینان از توزیع نرمال داده‌های صفات، تجزیه و تحلیل آماری به وسیله نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. سال به عنوان عامل تصادفی در نظر گرفته شد، زیرا آزمایش در دو سال زراعی با شرایط اقلیمی متفاوت اجرا شد که می‌توانست بر صفات اثر بگذارد. همگنی واریانس داده‌های دوساله با آزمون F (آزمون نسبت واریانس) بررسی شد. برای صفاتی که واریانس همگن داشتند ($p \geq 0.05$)، تجزیه مرکب انجام شد، اما برای صفاتی با واریانس ناهمگن ($p < 0.01$)، به منظور حفظ اعتبار آماری و جلوگیری از سوگیری، داده‌های هر سال به صورت جداگانه تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت و نمودارها به وسیله نرم‌افزار Excel رسم و تفسیر شدند.

نتایج و بحث

در این آزمایش، گونه‌های علف هرز غالب در مزرعه نخود شناسایی شدند. فلور علف‌های هرز مهم موجود در مزرعه آزمایشی شامل ۲۷ گونه بود که براساس تراکم اولویت‌بندی شدند. در بین گونه‌های هرز، بی‌تی‌راخ با فراوانی ۹۲ درصد به عنوان غالب‌ترین علف هرز مزرعه نخود شناخته شد. ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa*) به دلیل برخورداری از دوره رویشی زمستانه، رشد سریع در آغاز بهار و وقوع زود هنگام دوره بحرانی رقابت نسبت به اغلب علف‌های هرز دیگر، به عنوان یکی از گونه‌های هدف در این پژوهش انتخاب شد.

علف‌های هرز شامل فراوانی، یکنواختی، تراکم و تراکم نسبی، میانگین تراکم و شاخص غالبیت گونه‌های مختلف در یک سوم ابتدای فصل رشد در کل مزرعه محاسبه شد (Minbashi et al., 2008).

فراوانی، بیانگر نسبت مزارع دارای گونه گیاهی خاص بر کل مزارع بررسی شده بود که به صورت درصد بیان می‌شود که با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد.

$$F_k = \frac{\sum Y_i}{n} \times 100 \quad (3)$$

که در آن، F_k : فراوانی گونه K ، Y_i : حضور (۱) و یا عدم حضور (۰) گونه در مزرعه شماره I و n : تعداد مزارع مورد بازدید بود.

$$U_k = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij}}{\sum_{i=1}^n m} \times 100 \quad (4)$$

که در آن، U_k : یکنواختی مزرعه‌ای برای گونه K ، X_{ij} : حضور (۱) و یا عدم حضور (۰) گونه K در کادر شماره i در مزرعه شماره j ، n : تعداد مزارع مورد بازدید و m : تعداد کادر پرتاب شده بود.

$$D_{ki} = \frac{\sum_{j=1}^m Z_{ij}}{m} \times 4 \quad (5)$$

که در آن، D_{ki} : تراکم (تعداد بوته در مترمربع) گونه k در مزرعه شماره i ، Z_{ij} : تعداد گیاهان در کادر (۰/۲۵ مترمربعی) و m : تعداد کادر پرتاب شده بود. برای تبدیل تراکم به مترمربع D_{ki} در ۴ ضرب می‌شود.

$$RD = \frac{F_i}{N} \quad (6)$$

که در آن، RD : تراکم نسبی، F_i : تعداد بوته‌های مشاهده شده از هر گونه و N : تعداد کل بوته‌ها در هر مزرعه می‌باشد. میانگین تراکم بیانگر میانگین تعداد گیاه در مترمربع در مزارع مورد بررسی می‌باشد و براساس معادله ۷ به دست آمد.

$$MFD_{ki} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{ki}}{n} \quad (7)$$

که در آن، MFD_k : میانگین تراکم گونه K ، D_{ki} : تراکم (تعداد بوته در مترمربع) برای گونه K در مزرعه شماره i و n : تعداد مزارع مورد مطالعه بود.

$$AI_k = F_k + U_k + MFD_k \quad (8)$$

که در آن، AI_k : شاخص غالبیت گونه K ، F_k : فراوانی، U_k : یکنواختی و MFD_k : میانگین تراکم گونه‌ای می‌باشد (Minbashi et al., 2008).

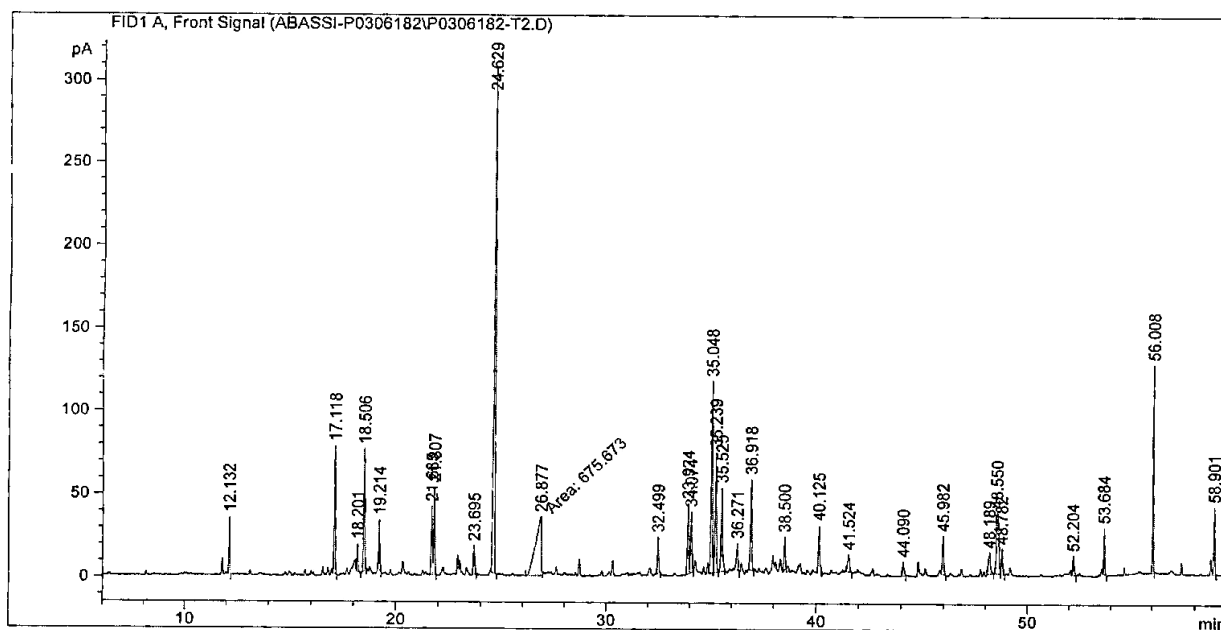
تحلیل GC-MS

به منظور جداسازی و شناسایی ترکیبات موجود در اسانس، اسانس با بونبه به دستگاه گاز کروماتوگراف (ساخت شرکت آگیلنت، مدل A/5975CY۸۹۰) با طیف‌سنج (GC-MS) تزریق گردید. دستگاه

جدول ۳- مشخصات علفهای هرز مزرعه

Table 3- Characteristics of field weeds

	Scientific name	Weed family	Frequency (%)	Uniformity (%)	Mean density (Plant.m ⁻²)	Abundance index	Relative density (%)
1	<i>Galium aparine</i> L.	Rubiaceae	92	0.46	10.6	103.06	30.47
2	<i>Cichorium intybus</i> L.	Astraceae	82	0.41	5	87.41	14.37
3	<i>Tragopogon graminifolius</i> DC.	Astraceae	78	0.39	5	83.39	14.37
4	<i>Piptomon acarna</i> (L.) Cass.	Astraceae	70	0.35	3.8	74.15	10.92
5	<i>Carthamus oxyacantha</i> M. B.	Astraceae	68	0.34	3.2	71.54	9.20
6	<i>Scandix pecten veneris</i> L.	Apiaceae	60	0.3	1.6	61.9	4.60
7	<i>Lathyrus blepharicarpus</i> L.	Fabaceae	60	0.3	1	61.3	2.87
8	<i>Vicia villosa</i> Roth.	Fabaceae	60	0.3	0.6	60.9	1.72
9	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Convolvulaceae	50	0.25	0.6	50.85	1.72
10	<i>Scariola orientalis</i> (Boiss.) Sojak.	Astraceae	40	0.2	0.4	40.6	1.15
11	<i>Vaccaria pyramidata</i> Medico	Caryophyllaceae	36	0.18	0.2	36.38	0.57
12	<i>Falcaria vulgaris</i> Bernh	Apiaceae	30	0.15	0.5	30.65	1.44
13	<i>Vigna radiata</i>	Fabaceae	24	0.12	0.4	24.52	1.15
14	<i>Turgenia latifolia</i> (L.) Hoffm	Apiaceae	20	0.1	0.3	20.4	0.86
15	<i>Orobanch ramosa</i> L.	Orobanchaceae	12	0.06	0.1	12.16	0.29
16	<i>Euphorbia helioscopia</i> L.	Euphorbiaceae	10	0.05	0.1	10.15	0.29
17	<i>Lathyrus latifolius</i> L.	Fabaceae	8	0.04	0.2	8.24	0.57
18	<i>Conringia orientalis</i> (L.) Andrz	Brassicaceae	8	0.04	0.1	8.14	0.29
19	<i>Vicia hircanica</i> L.	Fabaceae	8	0.04	0.1	8.14	0.29
20	<i>Triticum aestivum</i> L.	Poaceae	8	0.04	0.05	8.09	0.14
21	<i>Sinapis arvensis</i> L.	Brassicaceae	6	0.03	0.1	6.13	0.29
22	<i>Cardaria draba</i> L.	Brassicaceae	4	0.02	0.04	4.06	0.11
23	<i>Lactuca serriola</i> L.	Astraceae	2	0.01	0.1	2.11	0.29
24	<i>Vicia ervilia</i>	Fabaceae	2	0.01	0.3	2.31	0.86
25	<i>Anchusa italica</i> Retz.	Boraginaceae	2	0.01	0.1	2.11	0.29
26	<i>Avena ludoviciana</i> L.	Poaceae	2	0.01	0.2	2.21	0.57
27	<i>Hordeum spontaneum</i> Koch	Poaceae	2	0.01	0.1	2.11	0.29
					34.79		100



شکل ۲- گاز کروماتوگرام حاصل از آنالیز GC-MS اسانس بابونه
Figure 2- Gas chromatogram obtained from gc-ms analysis of chamomile essential oil

جدول ۴- ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس بابونه

Table 4- Components of chamomile essential oil

NO.	Name of compound	Percentage (%)	Group
1	1,8-cineole	1.63	Oxygenated monoterpenes
2	Camphor	4.12	Oxygenated monoterpenes
3	Borneol	0.87	Oxygenated monoterpenes
4	Terpinene-4-ol	3.98	Oxygenated monoterpenes
5	Cis-chrysanthenyl acetate	2.38	
6	3-iso-thujanol acetate	3.03	
7	Trans-sabinyl acetate	1.19	
8	Myrtenyl acetate	20.37	Oxygenated monoterpenes
9	Decanoic acid	9.85	Fatty acid
10	Iso-bornyl iso valerate	1.36	
11	Spathulenol	7.99	Oxygenated sesquiterpenes
12	Caryophyllene oxide	5.12	Oxygenated sesquiterpenes
13	Fokienol	3.67	
14	Humulene epoxide2	1.07	Oxygenated sesquiterpenes
15	Muurola-4-10-(14) dien-1-β-ol	3.66	
16	N-nonadecane	1.50	
17	Hexadecanoic acid	1.36	Fatty acid
18	N-heneicosane	0.88	
19	Methyl linoleate	1.57	Non-terpene hydrocarbons
20	N-tricosane	4.57	Non-terpene hydrocarbons
21	N-pentacosane	2.22	

بنابراین در این مطالعه، ترکیبات اسانس و پتانسل دگرآسیبی ترکیبات آن روی علف‌های هرز بررسی شد. نمودار حاصل از گاز کروماتوگرام حاصل از آنالیز اسانس بابونه در (شکل ۲) گزارش شده است. تجزیه و تحلیل GC-MS ترکیبات اسانس بابونه، حضور ترکیبات شیمیایی

شناسایی ترکیبات موجود در اسانس گیاه بابونه

براساس نتایج به‌دست‌آمده از مزرعه، عصاره بابونه بیشترین اثر سمیت و مهاری را روی ۲۷ گونه علف هرز مورد مطالعه داشت.

مایرتنیل استات منتشرشده توسط اسانس *Atriplex cana* را آزمایش کرده‌اند که سمیت گیاهی قوی در برابر *Amaranthus retroflexus* و *Poa annua* نشان داد و به‌طور قابل توجهی از جوانه‌زنی و رشد گیاهچه جلوگیری کرد. به‌علاوه پتانسیل بازدارندگی ترکیبات کاریوفیلن اکسید، مایرتنیل استات، شیبونول^{۱۵}، ترانس-کاریوفیلن^{۱۶} در برابر علف هرز *Dactyloctenium aegyptium* گزارش شده است (Abd-ElGawad et al., 2021). یافته‌های پژوهش حاضر، فعالیت فیتوتوکسیک قابل توجه عصاره بابونه را در برابر علف‌های هرز بی‌تی‌راخ و ماشک گل خوشه‌ای در هر دو سال آزمایش نشان داد. مطابق با نتایج این تحقیق، اثرات علف‌کشی اسانس‌های ۱۸ گونه گیاهی بر روی گیاهچه سوروف (*Echinochloa crus-galli*) و بی‌تی‌راخ (*G. aparine*) توسط شو و همکاران (Xu et al., 2023) مورد سنجش قرار گرفت. در میان آن‌ها، پنج ترکیب ترپنوئیدی مایرتنیل استات، گلیسرول تری استات^{۱۷}، لینالول^{۱۸}، ال-منتول^{۱۹} و سینن^{۲۰} موجود در سه اسانس (لیمو، اسطوخودوس و بابونه) اثر علف‌کشی قوی بر علف‌های هرز مورد مطالعه داشتند. بنابراین فعالیت بازدارندگی و علف‌کشی قابل توجه مشاهده‌شده در عصاره بابونه را می‌توان به درصد بالای ترکیبات ترپنوئیدی به‌ویژه ترکیب مایرتنیل استات نسبت داد.

بازدارندگی

میزان بازدارندگی از رشد علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف (عصاره‌ها)، سال و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۵). براساس نتایج حاصل از تجزیه برش‌دهی، اثر عصاره‌های گیاهی بر بازدارندگی از رشد علف‌هرز بی‌تی‌راخ در هر دو سال به‌طور معنی‌داری مشهود بود ($P < 0.01$) (جدول ۶). در هر دو سال اجرای پژوهش، کاربرد عصاره‌های گیاهی منجر به افزایش درصد بازدارندگی از رشد علف‌هرز بی‌تی‌راخ شد. در سال اول، بیشترین میزان بازدارندگی از رشد بی‌تی‌راخ (۵۳/۳۳ درصد) با محلول‌پاشی عصاره کنگر به دست آمد. این تیمار از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با اسید پلارگونیک، عصاره بابونه و علف‌کش چلنج نداشت. در مقابل، عصاره بادام‌زمینی کمترین میزان بازدارندگی (۱۵/۷۶ درصد) را نشان داد و اثر ناچیزی بر رشد گیاهچه بی‌تی‌راخ داشت، درحالی‌که عصاره بادام‌زمینی با ۱۵/۷۶ درصد اثر بازدارندگی

متنوعی را نشان داد. در مجموع، ۲۱ ترکیب در اسانس بابونه شناسایی شد که ۸۲/۴۹ درصد از کل اسانس بابونه را تشکیل می‌دهند. در بین این ترکیبات مایرتنیل استات^۱، دکانوئیک اسید^۲، اسپاتونول و کاریوفیلن اکسید^۳ به‌ترتیب با میزان ۲۰/۳۷، ۹/۸۵، ۷/۹۹ و ۵/۱۲ درصد بیشترین ترکیبات موجود در اسانس بابونه بودند (جدول ۴). ترکیبات فعال زیستی عصاره کنگر و پوسته بادام‌زمینی، مانند اسیدهای فنولیک و فلاونوئیدها (Tarhan et al., 2023; Nunes et al., 2024)، احتمالاً در اثرات دگرآسیبی مشاهده‌شده نقش داشته‌اند. در اسانس بابونه، ۲۱ ترکیب شناسایی شد که ترکیبات مایرتنیل استات، دکانوئیک اسید، اسپاتونول و کاریوفیلن اکسید عمده‌ترین ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس بابونه بودند. ترکیب شیمیایی شناخته شده اسانس بابونه توسط آنالیز GC-MS عمدتاً با یافته‌های نژادحبیب‌وش (Nejadhabibvash, 2017) مطابقت داشت. بر این اساس، ۲-پنتانون^۴، کاریوفیلن اکسید، اسپاتونول، آلفا-فارنزن^۵، بتا-اودسمول^۶ و بتا-سسکوئی‌فلاندرن^۷ به‌عنوان اجزاء اصلی اسانس بابونه (*Anthemis wiedemanniana*) شناسایی شدند. همچنین در عصاره بابونه (*Matricaria chamomilla*)، ترکیبات ۸-و ۸-سینئول^۸، لیمونن^۹، کامفن^{۱۰}، کافور^{۱۱} و P-سیمن^{۱۲} یافت شد (Madadi et al., 2022). اسانس‌های استخراج‌شده از گیاهان مختلف علاوه‌بر هیدروکربن‌ها، حاوی مخلوط پیچیده‌ای از متابولیت‌های ثانویه مانند مونوترپنوئیدها، سسکوئی‌ترپنوئیدها و دی‌ترپنوئیدها هستند که به‌عنوان مواد شیمیایی فیتوتوکسیک (آلووشیمیایی) شناخته شده‌اند (Ibáñez & Blázquez, 2018). اسانس‌ها، پتانسیل مهاری در جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه، ایجاد تنش اکسیداتیو و اختلال در فتوسنتز و سازوکارهای تنفسی نشان دادند (Pouresmaeil et al., 2020). به‌طور کلی، اسانس‌های گیاهی منابع ارزشمندی از ترکیبات هستند که دارای فعالیت سمی گیاهی هستند و بنابراین دارای پتانسیل خاصی به‌عنوان علف‌کش‌های طبیعی هستند (Álvarez-Rodríguez et al., 2023a). در این زمینه، وی و همکاران (Wei et al., 2019) فعالیت سمیت گیاهی ترکیبات دی‌بوتیل فتالات^{۱۳}، اکالیپتول^{۱۴} و

- 1- Myrtenyl acetate
- 2- Decanoic acide
- 3- Caryophyllene oxide
- 4- 2-pentanone
- 5- α -farnesene
- 6- β -eudesmol
- 7- β -sesquiphellandrene
- 8- 1,8-cineole
- 9- Limonene
- 10- Camphene
- 11- Camphor
- 12- P-cymene
- 13- Dibutyl Phthalate

- 14- Eucalyptol
- 15- Shyobunol
- 16- Trans-caryophyllene
- 17- Glycerol triacetate
- 18- Linalool
- 19- L-Menthol
- 20- Cinene

ناچیزی بر رشد گیاهچه بی‌تی‌راخ داشت. در سال دوم، تیمار اسید پلارگونیک با ۴۷/۰۳ درصد و عصاره کنگر با ۴۶/۷۹ درصد اثر سرکوب‌کنندگی بالایی بر این علف‌هرز داشتند و کارایی آن‌ها به‌طور قابل توجهی بالاتر از علف‌کش چلنج بود. در مقابل، عصاره‌های بادام‌زمینی و بابونه اگرچه نسبت به شاهد اثر بازدارندگی بالاتری داشتند، اما در مهار علف‌هرز بی‌تی‌راخ از کارایی ضعیفی برخوردار بودند (شکل ۳).

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که عصاره‌های گیاهی اثر فیتوتوکسیک قابل توجهی بر بازدارندگی از رشد علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای نشان دادند. استفاده از تیمار اسید پلارگونیک در سال اول با میزان ۷۰/۳ درصد اثر مهاری بیشتری بر رشد علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای داشت. در رتبه بعدی، تیمارهای کنگر و بادام زمینی در سال اول و اسید پلارگونیک و کنگر در سال دوم بالاترین اثر بازدارندگی را بر رشد این علف‌هرز داشتند که نشان‌دهنده تأثیر قوی این تیمارها در مهار علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای بوده است، درحالی‌که عصاره بادام زمینی در سال دوم (۸/۴۳ درصد) و بابونه در سال اول (۲۰/۱ درصد) اثر مهاری ضعیفی بر رشد ماشک گل خوشه‌ای نشان دادند (شکل ۴).

در مطالعه حاضر، رشد علف‌های هرز در هر دو سال به‌دلیل

تداخل آلوشیمیایی فیتوتوکسیک موجود در عصاره‌ها به‌طور قابل توجهی مهار شد که این اثر سرکوب‌کنندگی با کاربرد عصاره کنگر بیشتر بود و با اسید پلارگونیک اختلافی نداشت. استفاده از عصاره *Cynara cardunculus*، رشد علف‌های هرز *A. retroflexus* و *P. oleracea* را مهار می‌کند و طول ریشه، طول هیپوکوتیل و اپیکوتیل و وزن خشک کل گیاهچه را کاهش می‌دهد که به حضور متابولیت‌های ثانویه مختلف نسبت داده می‌شود (Scavo et al., 2019).

ترکیبات مورد بررسی دارای اثرات آللوپاتیک قابل توجهی هستند که با کارایی علف‌کش‌های زیستی تجاری حاوی اسید پلارگونیک قابل مقایسه است (Ben Kaab et al., 2020). شهنواز و همکاران (Shahnawaz et al., 2017) با استفاده از عصاره ریشه بابونه (*Anthemis cotula*) در شرایط آزمایشگاهی، پتانسیل آللوپاتیک این گیاه را ارزیابی کرده و مهار رشد قابل‌توجهی در گونه‌های *Zea mays* و *Brassica caulorapa* گزارش نمودند. متابولیت‌های ثانویه می‌توانند تغییرات فیزیولوژیکی متعددی در گیاهان هدف ایجاد کنند که منجر به آسیب ساختار سلولی و اختلال در عملکرد طبیعی آن‌ها می‌شود.

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب اثر تیمار (عصاره‌ها) بر درصد بازدارندگی از رشد علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای در هر دو سال آزمایش

Table 5- Combined analysis of variance (mean of squares) of the effect of treatments (extracts) on the percentage of growth inhibition of hairy vetch weed in two years of the experiment

S.O.V	df	Inhibition
Block	2	6.92 ^{ns}
Year	1	889.33 ^{**}
Treatment	4	1797.97 ^{**}
Year × treatment	4	1088.87 ^{**}
Total error	18	39.09
C.V (%)	-	13.28

^{ns} و ^{**}: به ترتیب عدم‌معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد.

ns and **: non-significant and significant at $P < 0.01$, respectively.

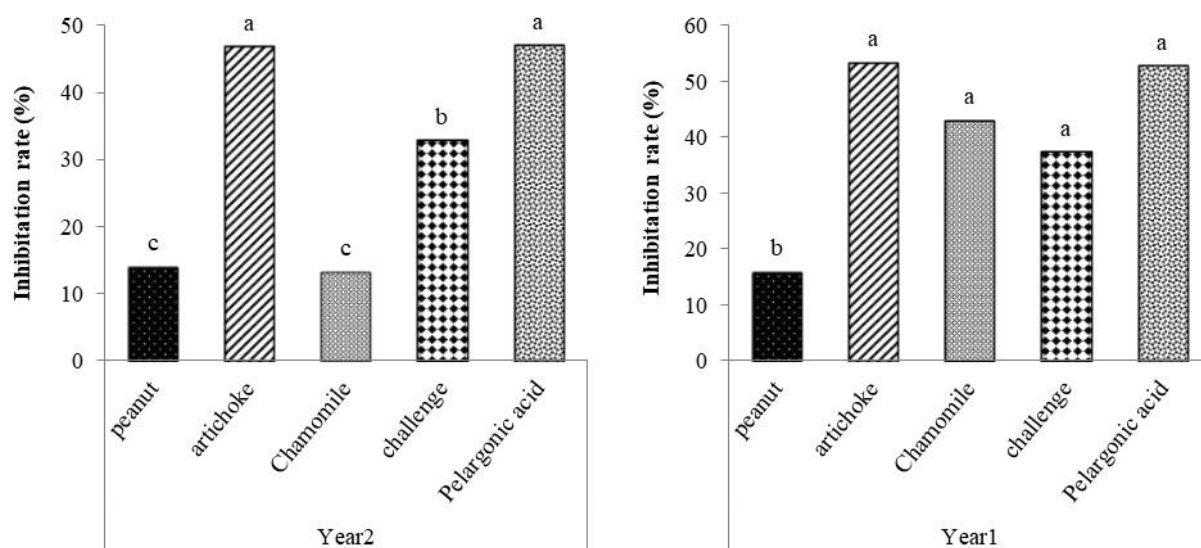
جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برش‌دهی اثر متقابل سال × تیمار بر درصد بازدارندگی از رشد علف‌هرز بی‌تی‌راخ در هر دو سال آزمایش

Table 6- Analysis of variance (mean of squares) of the year × treatment interaction effect on the percentage of growth inhibition of cleavers weed in two years of the experiment

S.O.V	df	Inhibition	
		Year 1 (2022)	Year 2 (2023)
Block	2	371.17 ^{ns}	210.41 ^{**}
Treatment	4	707.40 ^{**}	838.92 ^{**}
Total error	8	91.07	21.62
C.V (%)	-	23.60	15.12

^{ns} و ^{**}: به ترتیب عدم‌معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد.

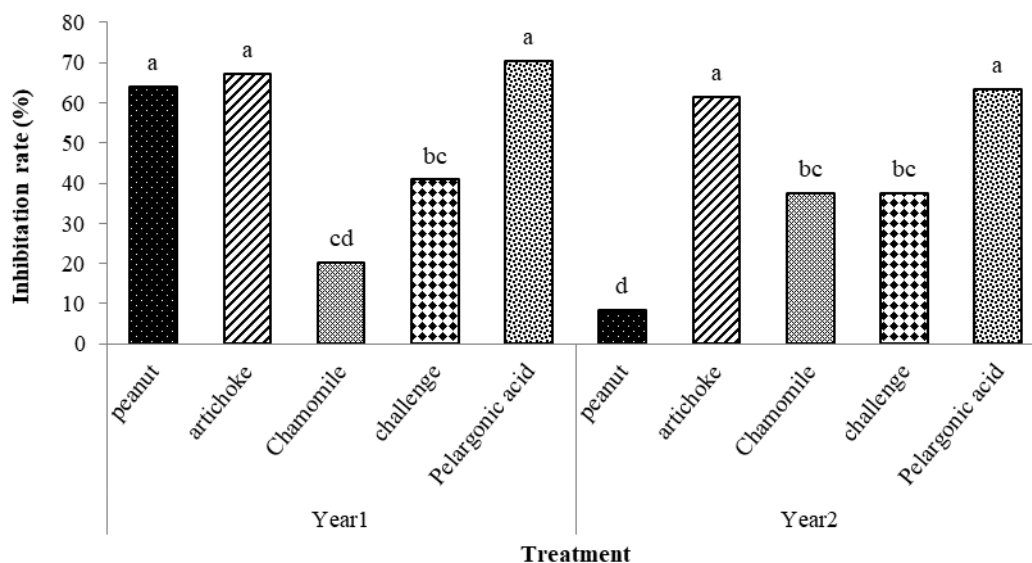
ns and **: non-significant and significant at $P < 0.01$, respectively.



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های حاصل از برش‌دهی اثر متقابل سال و تیمار بر میزان بازدارندگی از رشد علف هرز بی‌تی‌راخ در هر دو سال آزمایش
Figure 3- Comparison of mean slicing of the year × treatment interaction effect on the percentage of growth inhibition of cleavers weed over two years of the experiment

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at the 5% probability level.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تیمار بر میزان بازدارندگی از رشد علف هرز ماشک گل خوشه‌ای
Figure 4- Comparison of mean interaction effect of year and treatment on the percentage of growth inhibition of hairy vetch weed

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by the Same Letter within Each Column Are not significantly different according to the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% Probability Level.

از سوی دیگر، این ترکیبات با افزایش غلظت هورمون‌های گیاهی از جمله ایندول-۳-استیک اسید (IAA)، جبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها و آبسزیک اسید (ABA) موجب مهار رشد گیاهچه می‌شوند (Dmitrović et al., 2025). همچنین، آلوکسیم‌های موجود در عصاره‌ها ممکن است از طریق مهار یا تغییر در بیان ژن و فرآیند طول‌شدن سلول‌های مریستمی، تقسیم سلولی را محدود کنند (Uyun et al., 2024). این ترکیبات می‌توانند فرآیندهایی نظیر فتوسنتز، سنتز پروتئین و کربوهیدرات را در گیاهان هدف کاهش داده، محتوای کلروفیل را پایین آورده، متابولیسم انرژی را با تأثیر بر نفوذپذیری غشاء سلولی ریشه مختل کرده و با جلوگیری از تقسیم سلولی و انشعاب ریشه، در نهایت موجب کاهش رشد گیاه شوند (Alsharekh et al., 2022).

سبزی‌نگی

براساس نتایج تجزیه واریانس برش‌دهی، اثر تیمارهای مختلف عصاره‌های گیاهی بر میزان سبزی‌نگی علف‌های هرز بی‌تی‌راخ در سال دوم و بر سبزی‌نگی ماشک گل خوشه‌ای در هر دو سال به‌طور معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۷)، درحالی‌که در سال اول، تیمارهای اعمال‌شده تأثیر معنی‌داری بر سبزی‌نگی علف‌های بی‌تی‌راخ نداشتند. در سال دوم، گیاهان بی‌تی‌راخ تیمارشده با اسید پلارگونیک کمترین میزان سبزی‌نگی را با مقدار ۱۱/۰۳ نشان دادند که بیانگر بالاترین اثر مهاری در میان تیمارها بود. پس از آن، عصاره‌های کنگر (۱۲/۷۰)، بادام زمینی (۱۲/۷۸) و بابونه (۱۵/۹۵) نیز کاهش قابل توجهی در سبزی‌نگی و افزایش در میزان زردی نشان دادند. این تیمارها به‌ترتیب

موجب کاهش سبزی‌نگی به‌میزان ۶۹/۹۱ درصد، ۶۵/۳۶ درصد، ۶۵/۱۴ درصد و ۵۶/۴۹ درصد نسبت به شاهد شدند. در مقابل، تیمار با علف‌کش شیمیایی چلنج کاهش سبزی‌نگی کمتری نسبت به عصاره‌های گیاهی مذکور داشت، به‌گونه‌ای که تنها باعث ۳۹/۶۳ درصد کاهش در میزان سبزی‌نگی گیاهان بی‌تی‌راخ در مقایسه با شاهد شد (شکل ۵A).

محلول‌پاشی علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای با عصاره‌های گیاهی تأثیر متفاوتی بر میزان سبزی‌نگی داشت. در سال اول (۱۴۰۱)، تیمارهای اسید پلارگونیک و علف‌کش چلنج بیشترین کاهش را در سبزی‌نگی علف‌هرز نشان دادند. میزان سبزی‌نگی برای این تیمارها در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۶۰/۳۱ و ۵۰/۵۲ درصد کمتر بود. کاربرد عصاره‌های بادام زمینی، بابونه و کنگر نیز منجر به مقادیر پایین سبزی‌نگی بی‌تی‌راخ شد، اما در مقایسه با دو تیمار فوق، مقدار آن‌ها کمی بیشتر بود و اختلافی با شاهد نداشتند. به‌طور خاص، کاربرد عصاره‌های بادام زمینی، بابونه و کنگر، میزان سبزی‌نگی را در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۳۷/۳۶، ۲۴/۳۰ و ۲۳/۱۹ درصد کاهش داد. در سال دوم، تیمار عصاره بابونه نسبت به سایر تیمارها اثر سمیت بیشتری بر میزان سبزی‌نگی ماشک گل خوشه‌ای داشت و ۷۴/۲۸ درصد کمتر از شاهد بود. پس از آن کمترین میزان سبزی‌نگی در تیمارهای اسیدپلارگونیک و علف‌کش چلنج حاصل شد. این تیمارها میزان سبزی‌نگی را حدود ۶۹/۱۰ و ۶۳/۸۵ درصد در مقایسه با شاهد کاهش دادند (شکل ۵B).

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برش‌دهی اثر متقابل سال × تیمار بر میزان سبزی‌نگی علف‌های هرز بی‌تی‌راخ و ماشک گل خوشه‌ای در هر دو سال آزمایش

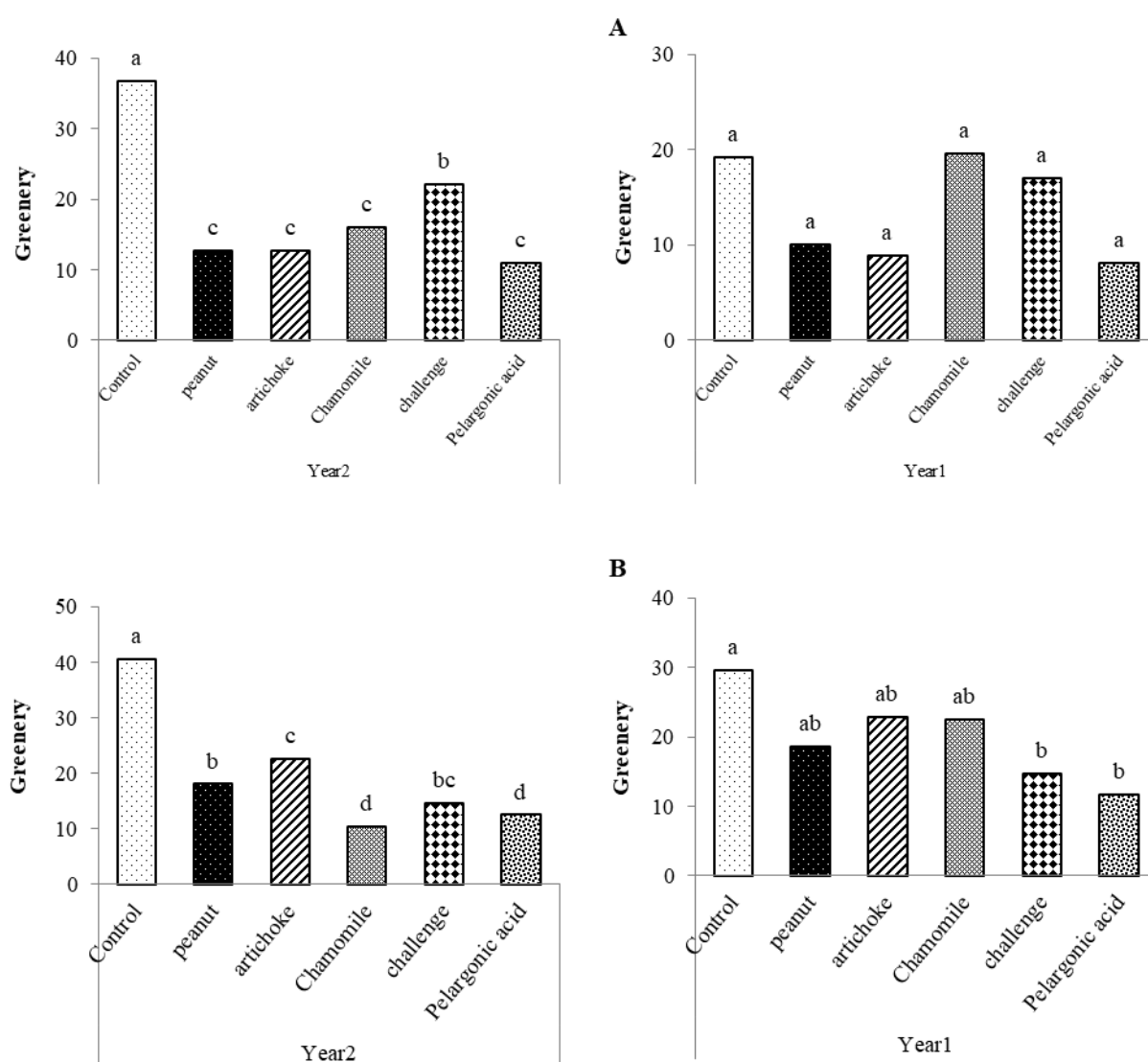
Table 7- Analysis of variance (mean of squares) of the year × treatment interaction effect on the greenness of cleavers and hairy vetch weeds in two years of the experiment

S.O.V	df	Greenery G. aparine		Greenery V. villosa	
		Year 1 (2022)	Year 2 (2023)	Year 1 (2022)	Year 2 (2023)
Block	2	13.95 ^{ns}	0.56 ^{ns}	43.70 ^{ns}	29.14 ^{ns}
Treatment	5	86.80 ^{ns}	283.08 ^{**}	122.79 [*]	364.79 ^{**}
Total error	22	46.50	10.60	39.71	10.39
C.V (%)	-	49.39	17.55	31.55	16.28

^{ns}، ^{**} و ^{*}: به ترتیب عدم‌معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد را نشان می‌دهد. ns, ** and *: non-significant and significant at $P < 0.01$ and at $P < 0.05$, respectively.

2024). تنش اکسیداتیو باعث انرژی اضافه شده و کلروفیل این انرژی مازاد را جذب می‌کند و به مولکول‌های اکسیژن مجاور منتقل کرده و با تولید گونه‌های فعال اکسیژن منجر به آسیب اکسیداسیون نوری (سفید و زرد شدن برگ‌ها) می‌شود.

کلروپلاست‌ها به‌ویژه در برابر آسیب اکسیداتیو حساس هستند. گونه‌های فعال اکسیژن^۱ (ROS) می‌تواند مستقیماً از طریق اکسیداسیون به مولکول‌های کلروفیل آسیب برساند (Uyun et al.,



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های حاصل از برش دهی اثر متقابل سال و تیمار بر میزان سبزیگی علف‌های هرز بی‌تی‌راخ (A) و ماشک گل خوشه‌ای (B) در هر دو سال آزمایش

Figure 5- Comparison of mean slicing of the year $\times$ treatment interaction effect on the greenness of cleavers weed (A) and hairy vetch (B) in two years of the experiment

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at 5% probability level.

اجزاء کلروفیل اتفاق بیفتد که می‌تواند تحت تأثیر آلوشیمیایی‌ها قرار گیرد (Pouresmaeil *et al.*, 2020). گزارش شده است که متابولیت‌های ثانویه با اثر بر پروتوپورفیرینوژن اکسیداز^۱ (PPO)، که تبدیل پروتوپورفیرینوژن به پروتوپورفیرین را کاتالیز می‌کند، بیوسنتز

آسیب بیش از حد منجر به تخریب غشاء و اکسیداسیون کلروفیل می‌شود (Ben Kaab *et al.*, 2020). سطوح بالای ROS می‌تواند آنزیم‌های دخیل در تخریب کلروفیل را فعال کند، مانند کلروفیلاز، که تجزیه مولکول‌های کلروفیل را تسریع می‌کند و محتوای کلروفیل را بیشتر کاهش می‌دهد (Uyun *et al.*, 2024). احتمال دیگر این است که سرکوب کلروفیل می‌تواند در نتیجه ممانعت از بیوسنتز یا تخریب

1- Protoporphyrinogen oxidase

کلروفیل در کلروپلاست را هدف قرار می‌دهد. این فرآیند شامل تجمع غیرقابل تنظیم رنگدانه بسیار فتودینامیک پروتوپورفیرین است که در مواجهه با نور باعث پراکسیداسیون سریع غشاء می‌شود (Verdeguer *et al.*, 2020). این مطالعه نشان داد که تیمار علف‌های هرز با عصاره‌های گیاهی منجر به کاهش میزان سبزی‌نگی در سال‌های اجرای آزمایش شد. هم‌راستا با نتایج این پژوهش، لوپس و همکاران (Lopes *et al.*, 2022) نشان دادند که محلول‌پاشی عصاره‌های *Piper tuberculatum* و *Ricinus communis* روی گیاهان *Bidens bipinnata* باعث زردی برگ‌ها، تأثیر بر محتوای کلروفیل و کاهش رشد می‌شود. در مطالعه پون‌پای‌بون‌پی‌ت و همکاران (Poonpaiboonpipat *et al.*, 2021)، میزان کلروفیل *Echinochloa crus-galli* به‌طور چشمگیری با افزایش غلظت عصاره *Chromolaena odorata* کاهش می‌یابد، که نشان‌دهنده توانایی آن در اختلال در فرآیند فتوسنتز است.

هدایت روزنه‌ای

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که هدایت روزنه‌ای علف‌هرز بی‌تی‌راخ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار عصاره‌های گیاهی، سال و برهم‌کنش تیمار و سال قرار گرفت (جدول ۸). براساس نتایج آزمون برهم‌کنش، اثر تیمارها (عصاره‌ها) در سال اول ($P < 0.05$) و دوم ($P < 0.01$) بر علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای معنی‌دار بود (جدول ۹). بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای علف‌هرز بی‌تی‌راخ در شاهد در سال دوم با مقدار $38/65$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع در ثانیه به دست آمد. در مقابل، کمترین هدایت روزنه‌ای این علف‌هرز مربوط به تیمار عصاره بابونه در سال دوم با مقدار $12/83$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع در ثانیه بود که بیانگر کاهش $66/80$ درصدی این صفت نسبت به شاهد همان سال است. همچنین، تیمارهای اسید پلارگونیک در سال

اول و دوم، و عصاره بابونه در سال اول، اثرات سمی مشابهی بر هدایت روزنه‌ای بی‌تی‌راخ داشتند و به‌ترتیب باعث کاهش $58/27$ ، $51/88$ و $55/16$ درصدی آن در مقایسه با تیمار شاهد در سال دوم شدند (شکل ۶).

در رابطه با میزان هدایت روزنه‌ای علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای، محلول‌پاشی عصاره‌های گیاهی باعث کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای برگ در هر دو سال آزمایش شد. در سال اول، کمترین میزان هدایت روزنه‌ای علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای با اعمال تیمار اسید پلارگونیک به‌میزان $17/3$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع در ثانیه حاصل شد و بیشترین میزان آن در شاهد به‌میزان $29/1$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع در ثانیه بود که تأثیر اسید پلارگونیک بر هدایت روزنه‌ای $40/55$ درصد کمتر بود. پس از آن، عصاره کنگر کمترین میزان هدایت روزنه‌ای را داشت و نسبت به شاهد کاهش $23/19$ درصدی نشان داد. در سال دوم، عصاره بابونه و اسید پلارگونیک به‌ترتیب با مقادیر $18/43$ و $19/2$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع در ثانیه کمترین میزان هدایت روزنه‌ای را داشتند. در رتبه بعدی، عصاره کنگر کارایی بالایی در کاهش هدایت روزنه‌ای داشت. تیمارهای ذکرشده نسبت به شاهد به‌ترتیب میزان هدایت روزنه‌ای ماشک گل خوشه‌ای را $51/75$ ، $49/74$ و $36/23$ درصد کاهش دادند. در واقع، اثر کاربرد این تیمارها بر کاهش هدایت روزنه‌ای ماشک گل خوشه‌ای در سال دوم نسبت به سال اول بارزتر بود (شکل ۷).

هدایت روزنه‌ای به‌نوبه خود با سرعت فتوسنتز در ارتباط است. کاهش هدایت روزنه‌ای بر توانایی گیاه برای انجام فتوسنتز با کاهش عبور گاز از روزنه تأثیر می‌گذارد، و مقدار کربن موجود برای تثبیت را کاهش می‌دهد، بنابراین سرعت فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد (Fu *et al.*, 2019).

جدول ۸- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مرکب تیمار (عصاره‌ها) بر صفات فتوسنتزی علف‌های هرز بی‌تی‌راخ و ماشک گل خوشه‌ای در هر دو سال آزمایش

Table 8- Combined analysis of variance (mean of squares) of the effect of treatments (extracts) on photosynthetic traits of cleavers and hairy vetch weeds in two years of the experiment

S.O.V	df	Stomatal conductance		Chlorophyll fluorescence	
		<i>G. aparine</i>		<i>G. aparine</i>	<i>V. villosa</i>
Block	2	444.80**		0.0020 ^{ns}	0.0082*
Year	1	67.40*		0.0142 ^{ns}	0.0073 ^{ns}
Treatment	5	335.55**		0.0978**	0.0367**
Year × treatment	5	42.11*		0.0147**	0.0121**
Total error	22	12.73		0.0037	0.0018
C.V (%)	-	14.31		9	6.01

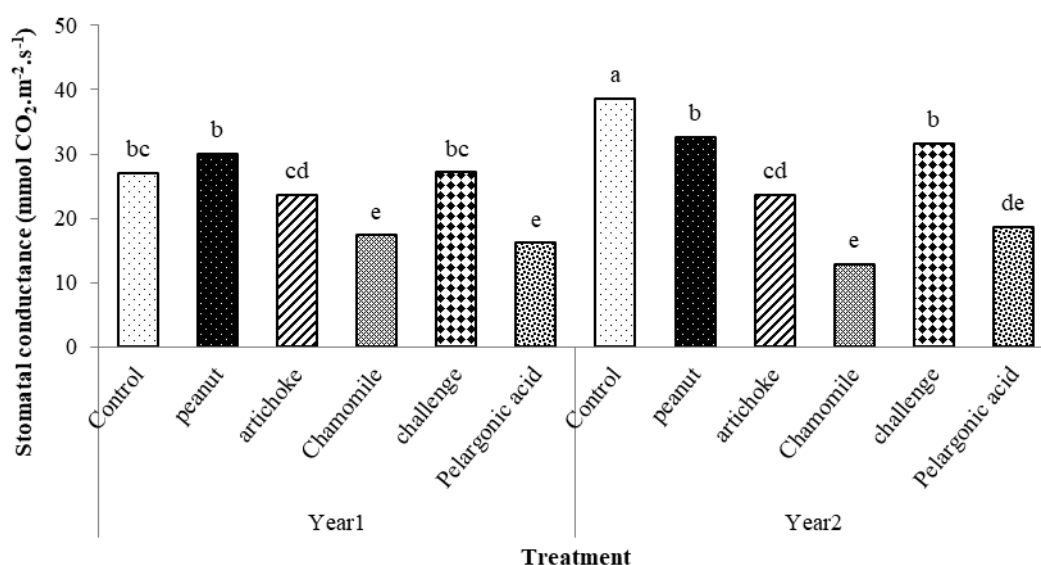
^{ns}, ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد را نشان می‌دهد. ns, ** and *: non-significant and significant at $P < 0.01$ and at $P < 0.05$, respectively.

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر متقابل سال × تیمار بر میزان هدایت روزنه‌ای ماشک گل خوشه‌ای در هر دو سال آزمایش

Table 9- Analysis of variance (mean of squares) of the year × treatment interaction effect on the stomatal conductance of hairy vetch weed in two years of the experiment

S.O.V	df	Stomatal conductance	
		Year 1 (2022)	Year 2 (2023)
Block	2	158.57**	143.83**
Treatment	5	59.29*	165.78**
Total error	22	17.54	5.09
C.V (%)	-	17.43	8.56

ns، ** و *: به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد را نشان می‌دهد. ns, ** and *: ns and significant at $P < 0.01$ and at $P < 0.05$, respectively.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تیمار بر میزان هدایت روزنه‌ای علف‌های هرز بی‌تی‌راخ

Figure 6- Comparison of mean interaction effect of year and treatment on the stomatal conductance of cleavers weed

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

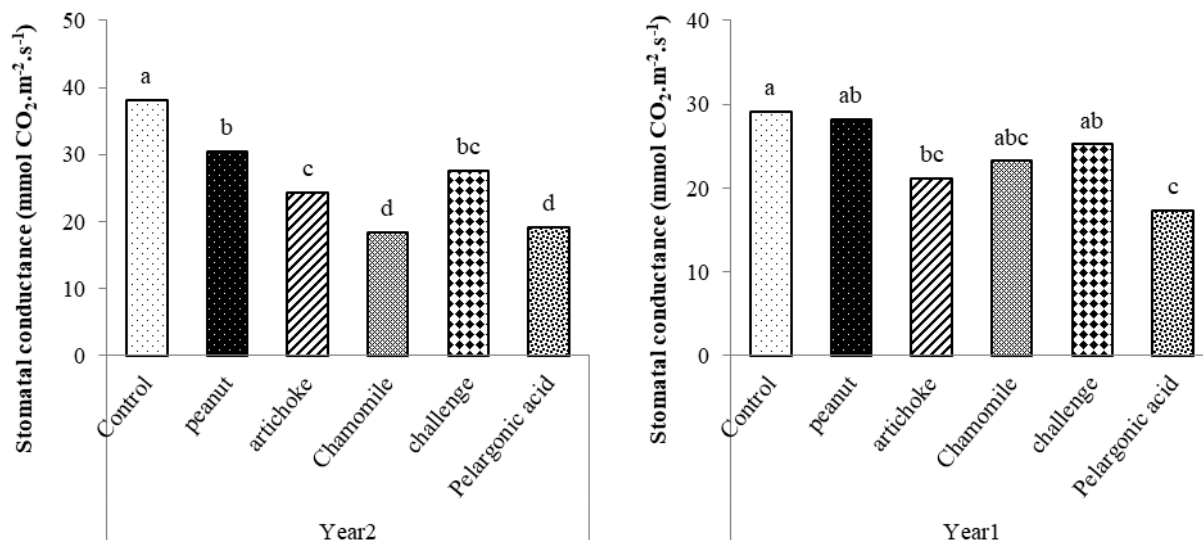
Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at the 5% probability level.

(Verdeguer *et al.*, 2020). همچنین، متابولیت‌های ثانویه باعث تغییر قابل توجهی در وضعیت آب گیاه همراه با افزایش محتوای ABA، باعث بسته شدن کامل روزنه‌ها و در نتیجه، کاهش تبخیر و تعرق و تجمع گرما در سطح لامینای برگ می‌شود. این اثرات با تجمع شدید ROS باعث تنش اکسیداتیو و آسیب غشاء سلولی شد (Araniti *et al.*, 2020). جانوساسکایت (Janusauskaite, 2023) بیان کردند که غلظت‌های ۵۰ و ۷۵ درصد عصاره آبی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، اثرات بازدارندگی بر سرعت فتوسنتز نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) نشان دادند. راندمان مصرف آب، هدایت روزنه‌ای و محدودیت روزنه مهار شد، درحالی‌که سرعت تعرق، راندمان استفاده از آب فتوسنتزی و غلظت CO₂ بین سلولی با افزایش

روزنه‌ها نقش کلیدی در گیاهان دارند، زیرا هم از دست دادن آب و هم جذب CO₂ را کنترل می‌کنند. ترکیبات طبیعی با باز و بسته کردن بیش از حد دهانه روزنه‌ها می‌توانند عملکرد آن‌ها را تغییر دهند و باعث اثرات کشنده بر گیاهان شود (Dalcin *et al.*, 2022). در مطالعات انجام‌گرفته مشخص شده است که ترکیبات ترپنوئیدی از بسته شدن روزنه‌ها و ایجاد تغییرات در اسکلت سلولی روزنه، که نقشی محوری در حرکات روزنه‌ها دارد، جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، تیمار طولانی مدت ترکیبات ترپنوئیدی باعث کاهش بیان ژن‌های MPK3 و ABF4، که پروتئین‌های دخیل در فرآیند بسته شدن روزنه‌ها را کدگذاری می‌کنند، و همزمان کاهش بیان PEPCase، که آنزیمی مهم برای باز شدن روزنه‌ها است، می‌شود

ساعت و بعد با استفاده از علف‌کش گیاهی WeedLock مهار شد (Hasan et al., 2022) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

غلظت عصاره نسبت به شاهد تحریک شد. به‌طور مشابه هدایت روزنه‌ای گیاهان *Z. Eleusine indica* *Ageratum conyzoides* و *mays* و *Amaranthus gangeticus* به‌طور قابل ملاحظه‌ای در ۲۴



شکل ۷- مقایسه میانگین‌های حاصل از برش‌دهی اثر متقابل سال و تیمار بر میزان هدایت روزنه‌ای علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای در هر دو سال آزمایش

Figure 7- Comparison of mean slicing of the year and treatment interaction effect on the stomatal conductance of hairy vetch weed in two years of the experiment

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at 5% probability level.

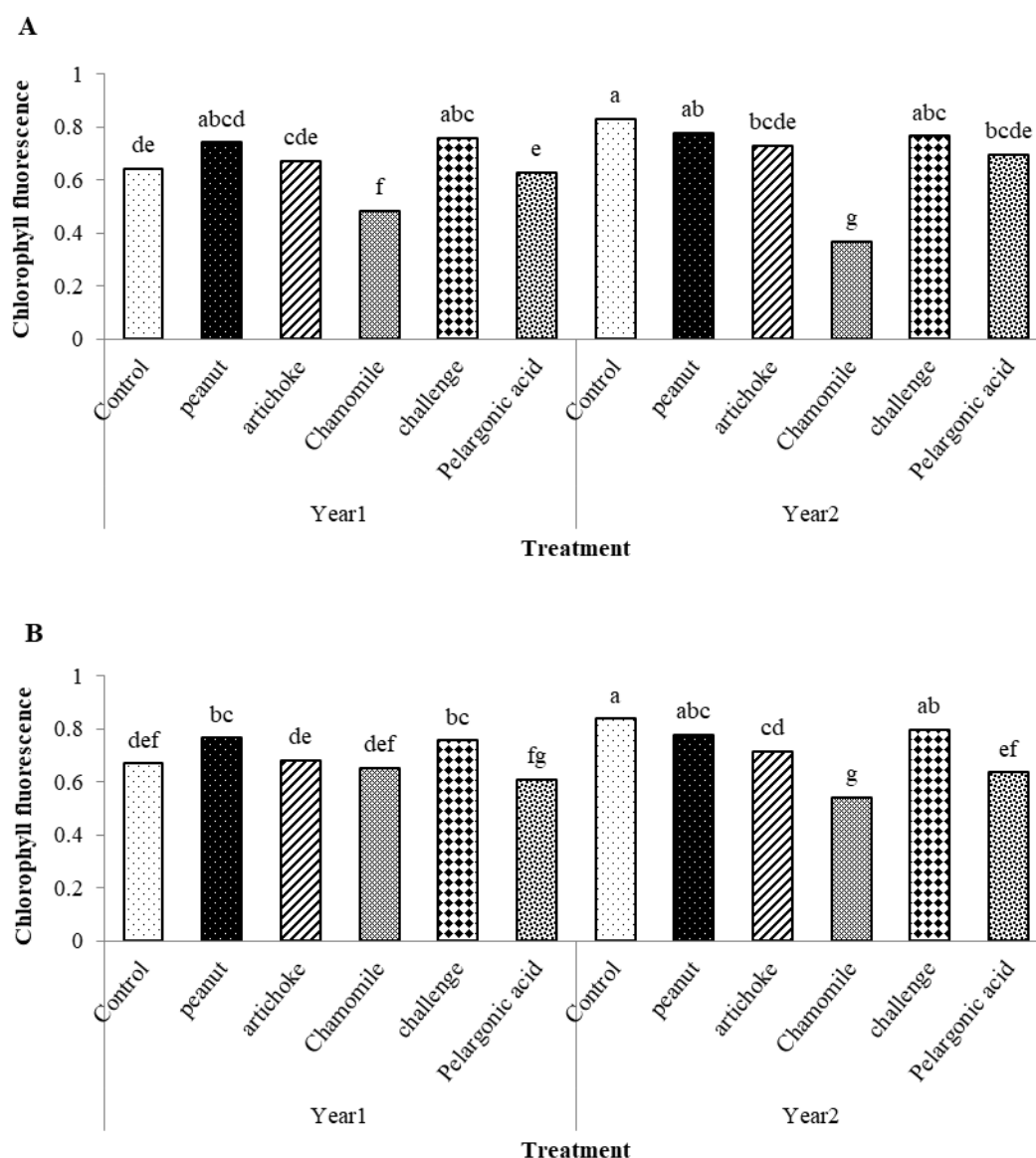
اسید پلارگونیک در سال اول بیشترین اثر سمیت را بر کاهش فلورسانس کلروفیل ماشک گل خوشه‌ای نشان دادند. این تیمارها به‌ترتیب موجب کاهش ۳۶/۱۴ و ۲۷/۷۱ درصدی فلورسانس کلروفیل نسبت به شاهد در سال دوم شدند. با این حال، عصاره بابونه در سال دوم از کارایی بالاتری در کاهش این شاخص برخوردار بود و توانست میزان فلورسانس کلروفیل علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای را در مقایسه با سایر تیمارها، و حتی علف‌کش چلنج، در هر دو سال کاهش دهد (شکل ۸).

تجزیه و تحلیل فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm) اغلب برای بررسی جنبه‌های فیزیولوژیکی فتوسنتز و مشخص کردن عملکرد دستگاه فتوسنتزی گیاه استفاده می‌شود (Ben Kaab et al., 2020). همچنین با موفقیت برای تشخیص اثرات علف‌کش‌ها بر روی فتوشیمی PSII استفاده شده است. مقدار Fv/Fm نشان‌دهنده حداکثر بازده کوانتومی PSII است و کاهش آن نشان‌دهنده غیرفعال شدن PSII (آسیب نوری) و یا مسدود شدن مسیرهای انتقال الکترون و انرژی از دست رفته است (Pouresmaeil et al., 2020).

فلورسانس کلروفیل

میزان فلورسانس کلروفیل در هر دو گونه علف‌هرز بی‌تی‌راخ و ماشک گل خوشه‌ای به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای عصاره‌های گیاهی (تیمارها) و برهم‌کنش تیمار و سال قرار گرفت ($P \leq 0.01$) (جدول ۸). در هر دو سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲، تیمار عصاره بابونه به‌ترتیب با مقادیر ۰/۴۸ و ۰/۳۶، بیشترین تأثیر را در کاهش میزان فلورسانس کلروفیل علف‌هرز بی‌تی‌راخ داشت (به‌ترتیب ۴۲/۱۷ و ۵۶/۶۳ درصد)، به‌طوری‌که که اثر مهاری آن حتی بیشتر از علف‌کش چلنج بود. همچنین تیمار اسید پلارگونیک در سال اول باعث کاهش بیشتری در فلورسانس کلروفیل شد. میزان فلورسانس کلروفیل در گیاهان تیمار شده با این ماده، در سال دوم حدود ۲۵/۳۰ درصد کمتر از گیاهان شاهد در سال دوم بود. تیمار علف‌کش چلنج در سال اول و دوم، به‌ترتیب میزان فلورسانس کلروفیل بی‌تی‌راخ را ۹/۶۴ و ۸/۴۳ درصد نسبت به گیاهان شاهد در سال دوم کاهش داد (شکل ۸).

در میان تمام تیمارهای اعمال شده، عصاره بابونه در سال دوم و



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تیمار بر میزان فلورسانس کلروفیل علف‌های هرز بی‌تی‌راخ (A) و ماشک گل خوشه‌ای (B)
Figure 8- Comparison of mean interaction effect of year and treatment on the chlorophyll fluorescence of cleavers weed (a) and hairy vetch weed (B)

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at 5% probability level.

اتلاف کمی به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کند (Uyun et al., 2024). نویسندگان پیشنهاد کردند که نشت الکترون در غشاء تیلاکوئید و آسیب به غشاء تیلاکوئید به دلیل اکسیداسیون آن در کلروپلاست، انتقال الکترون از PSII به فتوسیستم I (PSI) را مختل می‌کند (Verdeguer et al., 2020). در پژوهش حاضر با کاربرد عصاره

این کاهش همچنین ممکن است به کاهش کلروفیل و همچنین دنا توره شدن پروتئین‌های متصل‌شونده به کلروفیل مرتبط باشد (Araniti et al., 2020). نور توسط رنگدانه‌های آنتن جذب شده و در طی فتوسنتز به مراکز واکنش PSI و PSII منتقل می‌شود. این مراکز، واکنش‌های فتوشیمیایی اولیه را آغاز می‌کنند که انرژی نور را با

بابونه در سال دوم، میزان فلورسانس کلروفیل هر دو گونه علف‌هرز بی‌تی‌راخ و ماشک گل خوشه‌ای بیشترین کاهش را نشان داد. نتایج مشابه اخیراً توسط آوارز-رودریگز و همکاران (Alvarez-Rodríguez et al., 2023a) پس از تیمار اسانس *Carlina acaulis* روی علف هرز *Bidens pilosa* مشاهده شده است. آن‌ها این کاهش را با تنش اکسیداتیو و فرآیندهای نکرز مرتبط دانستند. همچنین محلول‌پاشی تیمار هارمالین روی گیاهان بالغ *Fv/Fm Arabidopsis thaliana* را کاهش داد که نشان‌دهنده آسیب‌های فیزیکی در فتوسیتسم II است (Alvarez-Rodríguez et al., 2023b).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که عصاره بابونه در شرایط آزمایشی، به‌دلیل ترکیبات فیتوتوکسیک، به‌طور قابل‌توجهی سبزی‌نگی، هدایت روزنه‌ای و فلورسانس کلروفیل بی‌تی‌راخ و ماشک گل خوشه‌ای را در هر دو سال کاهش داد و در برخی موارد کارایی بالاتری نسبت به علف‌کش چلنج نشان داد. عصاره بابونه در سال دوم به‌طور مؤثری سبزی‌نگی (۷۴/۲۸ درصد کاهش در ماشک گل خوشه‌ای)، هدایت روزنه‌ای (۶۶/۸۰ درصد کاهش در بی‌تی‌راخ و ۵۱/۷۵ درصد در ماشک

گل خوشه‌ای) و فلورسانس کلروفیل (۵۶/۶۳ درصد کاهش در بی‌تی‌راخ و ۳۶/۱۴ درصد در ماشک گل خوشه‌ای) را کاهش داد و در مقایسه با علف‌کش شیمیایی چلنج، عملکرد سمی بهتری از خود نشان داد. اسید پلارگونیک در سال اول رشد ماشک گل خوشه‌ای (۷۰/۳ درصد) و در هر دو سال رشد بی‌تی‌راخ (۵۲/۷۶ درصد در سال اول و ۴۷/۰۳ درصد در سال دوم) را به‌طور مؤثری مهار کرد و سبزی‌نگی بی‌تی‌راخ (۶۹/۹۱ درصد در سال دوم) و ماشک گل خوشه‌ای (۶۰/۳۱ درصد در سال اول) و هدایت روزنه‌ای ماشک گل خوشه‌ای (۴۰/۵۵ درصد در سال اول و ۴۹/۷۴ درصد در سال دوم) را کاهش داد. عصاره کنگر نیز رشد بی‌تی‌راخ (۵۳/۳۳ درصد در سال اول و ۴۶/۷۹ درصد در سال دوم) و ماشک گل خوشه‌ای (۶۷/۱۳ درصد در سال اول) را به‌طور قابل‌توجهی مهار کرد. تجزیه‌وتحلیل اسانس بابونه، ۲۱ ترکیب را شناسایی کرد که مایرتیل استات به‌عنوان ترکیب اصلی، احتمالاً مسئول اثرات علف‌کشی است. این یافته‌ها نشان‌دهنده پتانسیل عصاره بابونه، کنگر و اسید پلارگونیک به‌عنوان گزینه‌های پایدار برای مدیریت علف‌های هرز در مزارع نخود است، اما مطالعات بیشتری برای بهینه‌سازی کاربرد و بررسی سازوکارهای دگرآسیبی آن‌ها توصیه می‌شود.

References

1. Abd-ElGawad, A.M., Elgamal, A.M., Ei-Amier, Y.A., Mohamed, T.A., El Gendy, A.E.N.G., & Elshamy, A.I. (2021). Chemical composition, allelopathic, antioxidant, and anti-inflammatory activities of sesquiterpenes rich essential oil of *Cleome amblyocarpa* Barratte & Murb. *Plants*, 10(7), 1294. <https://doi.org/10.3390/plants10071294>
2. Al-Batsh, L.J., & Qasem, J.R. (2020). Phytotoxicity of wild plants extracts to redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) and nettle-leaved goosefoot (*Chenopodium murale* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 57(6), 1493–1502.
3. Al-Harbi, N.A. (2016). Allelopathic potential of *Artemisia herba-alba* and *Anthemis arvensis* to control weeds in wheat (*Triticum aestivum*) and barley (*Hordeum vulgare*). *South Asian Journal of Experimental Biology*, 6(3), 95–100.
4. Alsharekh, A., El-Sheikh, M.A., Alatar, A.A., & Abdel-Salam, E.M. (2022). Natural control of weed invasions in hyper-arid arable farms: Allelopathic potential effect of *Conocarpus erectus* against common weeds and vegetables. *Agronomy*, 12(3), 703. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030703>
5. Álvarez-Rodríguez, S., Alvite, C.M., Reigosa, M.J., Sánchez-Moreiras, A.M., & Araniti, F. (2023a). Application of indole-alkaloid harmaline induces physical damage to photosystem II antenna complexes in adult plants of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(15), 6073–6086. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c00531>
6. Álvarez-Rodríguez, S., Spinozzi, E., Sánchez-Moreiras, A.M., López-González, D., Ferrati, M., Lucchini, G., Maggi, F., Petrelli, R., & Araniti, F. (2023b). Investigating the phytotoxic potential of *Carlina acaulis* essential oil against the weed *Bidens pilosa* through a physiological and metabolomic approach. *Industrial Crops and Products*, 203, 117149. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117149>
7. Araniti, F., Miras-Moreno, B., Lucini, L., Landi, M., & Abenavoli, M.R. (2020). Metabolomic, proteomic and physiological insights into the potential mode of action of thymol, a phytotoxic natural monoterpene phenol. *Plant Physiology and Biochemistry*, 153, 141–153. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.05.008>
8. Aslani, F., Juraimi, A.S., Ahmad-Hamdani, M.S., Omar, D., Alam, M.A., Hashemi, F.S.G., Hakim, M.A., & Uddin, M.K. (2014). Allelopathic effect of methanol extracts from *Tinospora tuberculata* on selected crops and rice weeds. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 64(2), 165–177. <https://doi.org/10.1080/09064710.2014.898784>

9. Ben Kaab, S., Fernández Pierna, J.A., Foncoux, B., Compère, P., Baeten, V., & Jijakli, M. H. (2024). Biochemical and physiological responses of weeds to the application of a botanical herbicide based on cinnamon essential oil. *Plants*, 13(23), 3432. <https://doi.org/10.3390/plants13233432>
10. Ben Kaab, S., Lins, L., Hanafi, M., Bettaieb Rebey, I., Deleu, M., Fauconnier, M.L., Ksouri, R., Jijakli, M.H., & De Clerck, C. (2020). *Cynara cardunculus* crude extract as a powerful natural herbicide and insight into the mode of action of its bioactive molecules. *Biomolecules*, 10(2), 209. <https://doi.org/10.3390/biom10020209>
11. Casimiro, G.S., Mansur, E., Pacheco, G., Garcia, R., Leal, I.C.R., & Simas, N.K. (2017). Allelopathic activity of extracts from different Brazilian peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars on lettuce (*Lactuca sativa*) and weed plants. *The Scientific World Journal*, 2017, Article 2796983. <https://doi.org/10.1155/2017/2796983>
12. Dalcin, M.S., Dias, B.L., Viteri Jumbo, L.O., Oliveira, A.C., Araújo, S.H., Moura, W.S., Mourão, D.S., Ferreira, T.P., Campos, F.S., Cangussu, A.S.R., & Santos, G.R. (2022). Potential action mechanism and inhibition efficacy of *Morinda citrifolia* essential oil and octanoic acid against *Stagonosporopsis cucurbitacearum* infestations. *Molecules*, 27(16), 5173. <https://doi.org/10.3390/molecules27165173>
13. Dmitrović, S., Nestorović Živković, J., Smailagić, D., Trajković, M., Banjac, N., Ninković, S., & Stanišić, M. (2025). Via air or rhizosphere: The phytotoxicity of *Nepeta* essential oils and *Malus dihydrochalcones*. *Plants*, 14(5), 701. <https://doi.org/10.3390/plants14050701>
14. Đorđević, T., Đurović-Pejčev, R., Stevanović, M., Sarić-Krsmanović, M., Radivojević, L., Šantrić, L., & Gajić-Umiljendić, J. (2022). Phytotoxicity and allelopathic potential of *Juglans regia* L. leaf extract. *Frontiers in Plant Science*, 13, 986740. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.986740>
15. Falleh, H., Msilini, N., Oueslati, S., Ksouri, R., Magne, C., Lachaâl, M., & Karray-Bourauoui, N. (2013). *Diploaxis harra* and *Diploaxis simplex* organs: Assessment of phenolics and biological activities before and after fractionation. *Industrial Crops and Products*, 45, 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.12.017>
16. Fu, Y.H., Quan, W. X., Li, C.C., Qian, C.Y., Tang, F.H., & Chen, X.J. (2019). Allelopathic effects of phenolic acids on seedling growth and photosynthesis in *Rhododendron delavayi* Franch. *Photosynthetica*, 57(2), 377–387. <https://doi.org/10.32615/ps.2019.045>
17. Hasan, M., Mokhtar, A.S., Mahmud, K., Berahim, Z., Rosli, A.M., Hamdan, H., Motmainna, M., & Ahmad-Hamdani, M. S. (2022). Physiological and biochemical responses of selected weed and crop species to the plant-based bioherbicide WeedLock. *Scientific Reports*, 12(1), 19602.
18. Ibáñez, M.D., & Blázquez, M.A. (2018). Phytotoxicity of essential oils on selected weeds: Potential hazard on food crops. *Plants*, 7(4), 79. <https://doi.org/10.3390/plants7040079>
19. Janusauskaite, D. (2023). The allelopathic activity of aqueous extracts of *Helianthus annuus* L., grown in boreal conditions, on germination, development, and physiological indices of *Pisum sativum* L. *Plants*, 12(9), 1920. <https://doi.org/10.3390/plants12091920>
20. Jassbi, A.R., Firuzi, O., Miri, R., Salhei, S., Zare, S., Zare, M., Masroorbabanari, M., Chandran, J.N., Schneider, B., & Baldwin, I.T. (2016). Cytotoxic activity and chemical constituents of *Anthemis mirheydari*. *Pharmaceutical Biology*, 54(10), 2044–2049. <https://doi.org/10.3109/13880209.2016.1141220>
21. Kaab, S.B., Rebey, I.B., Hanafi, M., Hammi, K.M., Smaoui, A., Fauconnier, M.L., De Clerck, C., Jijakli, M.H., & Ksouri, R. (2020). Screening of Tunisian plant extracts for herbicidal activity and formulation of a bioherbicide based on *Cynara cardunculus*. *South African Journal of Botany*, 128, 67–76.
22. Karimzadeh, H.R., Farhang, H.R., Rahimmalek, M., & Esfahani, M.T. (2023). Spatio-temporal variations of extract produced and fatty acid compounds identified of *Gundelia tournefortii* L. seeds in central Zagros, Iran. *Scientific Reports*, 13(1), 7665. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34538-5>
23. Khaliliaqdam, N., Faghfori, F., & Mir-Mahmoodi, T. (2014). Critical period for weed control of chickpea in a semi-arid region. *International Journal of Biosciences*, 5(2), 33–40. <https://doi.org/10.12692/ijb/5.2.33-40>
24. Lopes, R.W.N., Marques Morais, E., Lacerda, J.J.D.J., & Araújo, F.D.D.S. (2022). Bioherbicidal potential of plant species with allelopathic effects on the weed *Bidens bipinnata* L. *Scientific Reports*, 12(1), 13476.
25. Madadi, E., Fallah, S., Sadeghpour, A., & Barani-Beiranvand, H. (2022). Exploring the use of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) bioactive compounds to control flaxweed (*Descurainia sophia* L.) in bread wheat (*Triticum aestivum* L.): Implication for reducing chemical herbicide pollution. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(11), 103421. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103421>
26. Mendes da Silva, L., Novaes Matilde, M.E., & Júnio da Silva, F. (2024). Allelopathic and phytochemical potential of the aqueous extract of *Curcuma longa* L.: Contributions to the production of bioherbicides. *Revista de Ciencias Agroveterinarias*, 23(2), 177–187.
27. Minbashi, M., Baghestani, M.A., & Mashhadi, H.R. (2008). Introducing an abundance index for assessing weed flora in survey studies. *Weed Biology and Management*, 8(3), 172–180. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2008.00293.x>
28. Minh, T.N., Xuan, T.D., Tran, H.D., Van, T.M., Andriana, Y., Khanh, T.D., Quan, N.V., & Ahmad, A. (2019). Isolation and purification of bioactive compounds from the stem bark of *Jatropha podagrica*. *Molecules*, 24(5), 889. <https://doi.org/10.3390/molecules24050889>

29. Motmainna, M., Juraimi, A.S., Uddin, M.K., Asib, N.B., Islam, A.M., Ahmad-Hamdani, M.S., & Hasan, M. (2021). Phytochemical constituents and allelopathic potential of *Parthenium hysterophorus* L. in comparison to commercial herbicides to control weeds. *Plants*, 10(7), 1445. <https://doi.org/10.3390/plants10071445>
30. Nejadhabibvash, F. (2017). Phytochemical composition of the essential oil of *Anthemis wiedemanniana* Fisch. & C.A.Mey. (Asteraceae) from Iran during different growth stages. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(5), 1349–1359. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1383191>
31. Nunes, Y.C., de Oliveira Santos, G., Machado, N.M., Otoboni, A.M., Laurindo, L.F., Bishayee, A., Fimognari, C., & Barbalho, S.M. (2024). Corrigendum to “peanut (*Arachis hypogaea* L.) seeds and by-products in metabolic syndrome and cardiovascular disorders: A systematic review of clinical studies” [*Phytomedicine*, 123, 155170]. *Phytomedicine*, 155870. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2024.155870>
32. Onwuka, G.I. (2006). Soaking, boiling and antinutritional factors in pigeon peas (*Cajanus cajan*) and cowpeas (*Vigna unguiculata*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 30(5), 616–630. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2006.00092.x>
33. Özer, Z. (2018). Investigation of phenolic compounds and antioxidant activity of *Mentha spicata* L. subsp. *spicata* and *M. longifolia* (L.) L. subsp. *typhoides* (Briq.) Harley decoction and infusion. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 5(2), 445–456. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.350089>
34. Poonpaiboonpipat, T., Krumsri, R., & Kato-Noguchi, H. (2021). Allelopathic and herbicidal effects of crude extract from *Chromolaena odorata* (L.) R.M. King & H. Rob. on *Echinochloa crus-galli* and *Amaranthus viridis*. *Plants*, 10(8), 1609. <https://doi.org/10.3390/plants10081609>
35. Pouresmaeil, M., Nojadeh, M.S., Movafeghi, A., & Maggi, F. (2020). Exploring the bio-control efficacy of *Artemisia fragrans* essential oil on the perennial weed *Convolvulus arvensis*: Inhibitory effects on the photosynthetic machinery and induction of oxidative stress. *Industrial Crops and Products*, 155, 112785. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112785>
36. Scavo, A., Pandino, G., Restuccia, A., Lombardo, S., Pesce, G.R., & Mauromicale, G. (2019). Allelopathic potential of leaf aqueous extracts from *Cynara cardunculus* L. on the seedling growth of two cosmopolitan weed species. *Italian Journal of Agronomy*, 14(2), 1373–1379. <https://doi.org/10.4081/ija.2019.1373>
37. Shah Nawaz, M.O.H.D., Malik, S.B., Dar, R.A., Hussain, M., Tak, A.Q., Chauhan, D., Qazi, H.A., Rather, I.A., Yaseen, M., Sirwal, S.Y., & Manisha, K. (2017). Allelopathic effect of aqueous root extract of *Anthemis cotula* L. on some important crops of Chenab Valley, Jammu and Kashmir, India. *Trends in Biosciences*, 10(44), 9096–9103.
38. Shokoohinia, Y., Sajjadi, S.E., Jassbi, A.R., Moradi, H., Ghassemi, N., & Schneider, B. (2015). Sesquiterpenes and flavonoids of *Anthemis odontostephana* var. *odontostephana*. *Chemistry of Natural Compounds*, 51(3), 491–494. <https://doi.org/10.1007/s10600-015-1322-8>
39. Tarhan, A., Firat, M., & Topal, G. (2023). Comprehensive study of all *Gundelia* L. taxa exists in the globe: An insight on LC-MS/MS based phytochemical investigation and bioactivity potential of 22 species. *Biochemical Systematics and Ecology*, 109, 104672. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2023.104672>
40. Thang, P.T., Vien, N.V., Anh, L.H., Xuan, T.D., Duong, V.X., Nhung, N.T., Trung, K.H., Quan, N.T., Nguyen, C.C., Loan, L.T.K. & Ha, T.T.T. (2023). Assessment of allelopathic activity of *Arachis pintoi* Krapov. & WC Greg as a potential source of natural herbicide for paddy rice. *Applied Sciences*, 13(14), 8268. <https://doi.org/10.3390/app13148268>
41. Uyun, Q., Respatie, D.W., & Indradewa, D. (2024). Unveiling the allelopathic potential of *Wedelia* leaf extract as a bioherbicide against purple nutsedge: A promising strategy for sustainable weed management. *Sustainability*, 16(2), 479. <https://doi.org/10.3390/su16020479>
42. Vashishth, D.S., Bachheti, A., Bachheti, R.K., Alhag, S.K., Al-Shuraym, L.A., Kumar, P., & Husen, A. (2023). Reducing herbicide dependency: Impact of *Murraya koenigii* leaf extract on weed control and growth of wheat (*Triticum aestivum*) and chickpea (*Cicer arietinum*). *Agriculture*, 13(9), 1678. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091678>
43. Veisi, M., Turk, A.J., & Mansouri, M.S. (2024). Influence of herbicides-based weed management in chickpea. *Journal of Food Legumes*, 37(3), 297–304. <https://doi.org/10.59797/jfl.v37.i3.210>
44. Verdeguer, M., Sánchez-Moreiras, A.M., & Araniti, F. (2020). Phytotoxic effects and mechanism of action of essential oils and terpenoids. *Plants*, 9(11), 1571. <https://doi.org/10.3390/plants9111571>
45. Vijayalakshmi, M., & Ruckmani, K. (2016). Ferric reducing antioxidant power assay in plant extract. *Bangladesh Journal of Pharmacology*, 11(3), 570–572. <https://doi.org/10.3329/bjp.v11i3.27663>
46. Wardini, T.H., Afifa, I.N., Esyanti, R.R., Astutiningsih, N.T., & Pujiswanto, H. (2023). The potential of invasive species *Praxelis clematidea* extract as a bioherbicide for *Asystasia gangetica*. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(9), 4960–4967. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240914>
47. Wei, C., Zhou, S., Li, W., Jiang, C., Yang, W., Han, C., Zhang, C., & Shao, H. (2019). Chemical composition and allelopathic, phytotoxic and pesticidal activities of *Atriplex cana* Ledeb. (Amaranthaceae) essential oil. *Chemistry & Biodiversity*, 16(4), e1800595. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201800595>

48. Xu, J., Bai, H., Bai, Z., & Li, Z. (2023). Characteristics of eighteen essential oils on *Echinochloa crus-galli* and *Galium aparine* seedling growth. *Pakistan Journal of Botany*, 55(3), 1051–1063. [https://doi.org/10.30848/PJB2023-3\(6\)](https://doi.org/10.30848/PJB2023-3(6))
49. Yu, H.H., Park, J.S., & Lee, S. (2025). Enhanced bioactive compounds and antioxidant activity in germinated seeds of the new peanut variety. *BioTech*, 14(1), 12. <https://doi.org/10.3390/biotech14010012>
50. Zebarjad, Z., & Farjam, M.H. (2015). Evaluation of antimicrobial activity of essential oils from different parts of *Anthemis odontostephana* Boiss. var. *odontostephana*. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 7(3), 579–584.

Research Article

Vol. 39, No. 3, 2025, p. 317-330



Effect of Polyethylene Microplastic Abiotic Stress on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat (*Triticum aestivum* L.)

J. Karimi*¹, S. Arbabi¹

1- Department of Biology, College of Science, Shiraz University, Iran

(*- Corresponding author's Email: javadkarimi@shirazu.ac.ir)

Received: 20-03-2025

Revised: 22-06-2025

Accepted: 08-07-2025

Available Online: 10-11-2025

How to cite this article:

Karimi, J., & Arbabi, S. (2025). The effect of polyethylene microplastic on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Plant Protection Research*, 39(3), 317-330. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.9223.1224>

Introduction

Microplastic pollution has become a growing environmental concern, with polyethylene (PE) being one of the most prevalent sources. These plastic particles, originating from industrial activities, plastic degradation, and agricultural applications, persist in ecosystems and pose significant threats to plant growth, soil health, and overall agricultural productivity. Recent studies have highlighted the widespread contamination of microplastics in terrestrial and aquatic environments, raising concerns about their impact on plant physiology and development. Polyethylene microplastics (PE-MPs) are widely used in agricultural plastic mulch, greenhouse films, and packaging materials. Over time, these plastics degrade into micro-sized fragments that infiltrate the soil, potentially altering soil properties, affecting microbial communities, and influencing plant growth. Despite the increasing awareness of microplastic contamination, limited studies have been conducted to elucidate the effects of PE-MPs on economically important crops such as wheat (*Triticum aestivum* L.). Wheat is a staple food crop cultivated worldwide, and factors affecting its growth and productivity could have severe implications for food security. This study aims to investigate the physiological and biochemical effects of PE-MPs on wheat seed germination and seedling development. Key parameters such as germination rate, shoot and root growth, biomass allocation, photosynthetic pigment content, and proline accumulation are examined to provide a comprehensive understanding of the impact of microplastic pollution on crop health. The results of this study will contribute to the ongoing discussion regarding the environmental risks of microplastic pollution and the need for sustainable agricultural practices.

Materials and Methods

This study was conducted under controlled greenhouse conditions using a completely randomized design. The experiment involved four different concentrations of polyethylene microplastics, including 0 mg L⁻¹ (control), 1 mg L⁻¹, 10 mg L⁻¹, and 100 mg L⁻¹, with four replications per treatment group. Wheat seeds (*Triticum aestivum* L.) were sterilized with sodium hypochlorite (5%) and washed with distilled water before sowing. The seeds were placed in pots filled with perlite, and Hoagland's nutrient solution was applied regularly to ensure adequate nutrition. After one week of germination, polyethylene microplastics were added into the growth medium. The plants were grown under optimal temperature and light conditions for two additional weeks before harvesting. To assess the impact of PE-MPs on wheat seedlings, several physiological and biochemical parameters were measured, such as germination rate: the percentage of seeds that successfully germinated under different PE-MP concentrations; shoot and root growth: length measurements of shoots and roots were recorded



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.9223.1224>

using a ruler; biomass allocation: fresh and dry weights of shoots and roots were measured to determine any changes in biomass distribution; chlorophyll and carotenoid content: spectrophotometric analysis was performed using the Arnon method to quantify chlorophyll a, chlorophyll b, and total carotenoids; proline content: the acid ninhydrin method was employed to determine the accumulation of proline, an indicator of oxidative stress and plant defense responses.

Results and Discussion

The results demonstrated that polyethylene microplastics had concentration-dependent effects on wheat seed germination and seedling growth. Germination: While the lowest concentration (1 mg L^{-1}) of PE-MPs had no significant impact on germination rate, moderate (10 mg L^{-1}) and high (100 mg L^{-1}) concentrations significantly reduced germination percentages. The inhibitory effect at higher concentrations suggests that microplastic exposure interferes with water uptake and seed metabolism. Root and shoot growth: Root length exhibited a notable increase across all treatment levels, with the highest stimulation observed at 10 mg L^{-1} . In contrast, shoot growth was negatively affected at both moderate and high concentrations, indicating an asymmetric response of different plant organs to PE-MP exposure. Biomass distribution: Root biomass increased significantly at 10 mg L^{-1} and 100 mg L^{-1} , while shoot biomass declined. This suggests that wheat seedlings may redirect energy allocation towards root development to enhance water and nutrient uptake under stress conditions. Photosynthetic pigments: Chlorophyll and carotenoid levels showed a biphasic response. At 1 mg L^{-1} and 10 mg L^{-1} , an increase in pigment concentration was observed, possibly due to a hormetic response where low levels of stress stimulate plant defense mechanisms. However, at 100 mg L^{-1} , both chlorophyll and carotenoid contents decreased, indicating oxidative stress and potential chloroplast damage. Proline accumulation: Proline content progressively increased with rising PE-MP concentrations. This suggests that polyethylene microplastics induce osmotic stress, triggering proline biosynthesis as a protective mechanism against oxidative damage.

The observed results indicate that polyethylene microplastics have complex and concentration-dependent effects on wheat growth. Increase in root length and biomass at higher concentrations suggests an adaptive response, where plants prioritize root expansion to improve nutrient acquisition under stress conditions. However, the simultaneous decline in shoot growth, germination rate, and photosynthetic pigments at higher microplastic levels highlights the detrimental consequences of microplastic pollution on crop physiology. The decrease in chlorophyll and carotenoid content at high PE-MP concentrations aligns with previous studies reporting microplastic-induced oxidative stress. Reduced photosynthetic efficiency can directly impact crop productivity and grain yield, raising concerns about the long-term implications of microplastic contamination in agricultural soils. Proline accumulation serves as an important biomarker for plant stress tolerance. The significant increase in proline levels at higher PE-MP concentrations suggests that wheat seedlings perceive microplastics as an abiotic stress factor. Proline plays a crucial role in stabilizing cellular structures, scavenging reactive oxygen species (ROS), and maintaining osmotic balance under stress conditions.

Conclusion

This study highlights the potential risks of polyethylene microplastic pollution on wheat growth and development. While low concentrations of PE-MPs may induce mild stimulatory effects on certain physiological parameters, higher concentrations negatively impact germination, shoot growth, and photosynthetic efficiency, while triggering stress-related responses such as proline accumulation. These findings emphasize the urgent need for policies and practices that mitigate microplastic pollution in agricultural soils. Future research should explore the long-term effects of microplastics on soil health, crop productivity, and food safety to ensure sustainable agricultural production in the face of increasing environmental pollution.

Key words: Abiotic stress, Oxidative stress, Photosynthetic pigments, Proline accumulation, Soil contamination

اثر تنش غیر زیستی میکروپلاستیک پلی‌اتیلن بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گندم (*Triticum aestivum* L.)

جواد کریمی^{۱*}، سعیده اربابی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷

چکیده

در سال‌های اخیر، آلودگی میکروپلاستیکی به‌ویژه پلی‌اتیلن، به‌عنوان یک تهدید جدی برای بوم‌نظام‌های کشاورزی شناخته شده است. در این پژوهش، اثرات میکروپلاستیک پلی‌اتیلن بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گندم (*Triticum aestivum* L.) بررسی شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار سطح غلظتی (۰، ۱، ۱۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و چهار تکرار انجام گردید. شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شامل درصد جوانه‌زنی، رشد ریشه و ساقه، زیست‌توده، رنگدانه‌های فتوسنتزی و محتوای پروتئین ارزیابی شد. نتایج نشان داد که غلظت‌های بالا (۱۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) به‌طور معنی‌داری جوانه‌زنی را کاهش دادند، درحالی‌که در غلظت پایین (یک میلی‌گرم بر لیتر) تغییر محسوسی مشاهده نشد. رشد ریشه در تمام غلظت‌ها افزایش یافت، اما رشد ساقه در غلظت‌های متوسط و بالا کاهش نشان داد. زیست‌توده ریشه افزایش و زیست‌توده ساقه کاهش یافت که نشان‌دهنده پاسخ‌های متفاوت اندام‌های گیاه به میکروپلاستیک‌ها است. میزان کلروفیل در غلظت متوسط، افزایش و در غلظت بالا، کاهش یافت که احتمالاً ناشی از تنش اکسیداتیو است. الگوی تغییرات کاروتنوئید مشابه بود. همچنین پروتئین در غلظت‌های بالا افزایش یافت که بیانگر فعال‌سازی سازوکارهای دفاعی گیاه است. این نتایج نشان می‌دهد که آلودگی میکروپلاستیکی می‌تواند اثرات منفی بر رشد و سلامت گیاهان زراعی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، تجمع پروتئین، تنش اکسیداتیو، تنش غیر زیستی، رنگدانه‌های فتوسنتزی

مقدمه

منابع تولید میکروپلاستیک‌ها را می‌توان به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم کرد. میکروپلاستیک‌های اولیه شامل ذرات ریز پلاستیکی هستند که به‌طور عمده در انواع محصولات آرایشی و بهداشتی، شوینده‌ها، صنایع دارویی، پوشاک مصنوعی، کودهای شیمیایی و مواد صنعتی مانند پلت‌های پلاستیکی استفاده می‌شوند (Horton et al., 2017). در مقابل، میکروپلاستیک‌های ثانویه از تجزیه پلاستیک‌های بزرگ‌تر تحت تأثیر نور خورشید، سایه مکانیکی و تخریب شیمیایی ایجاد می‌شوند و از منابعی مانند بقایای مواد پلاستیکی استفاده‌شده در زمین‌های کشاورزی، لاستیک وسایل نقلیه، نخ‌های مصنوعی و زباله‌های پلاستیکی شهری سرچشمه می‌گیرند (Rochman et al., 2019).

یکی از رایج‌ترین انواع میکروپلاستیک‌ها، پلی‌اتیلن است که بیشترین سهم را در تولید جهانی پلاستیک دارد و به‌دلیل ویژگی‌هایی مانند سبکی، انعطاف‌پذیری، پایداری شیمیایی و مقاومت در برابر

در سال‌های اخیر، آلودگی محیط زیست ناشی از مصرف بی‌رویه پلاستیک‌ها و تجزیه آن‌ها به ذرات کوچک‌تر، یعنی میکروپلاستیک‌ها، به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی جهان تبدیل شده است. میکروپلاستیک‌ها به ذرات پلاستیکی با اندازه کمتر از پنج میلی‌متر اطلاق می‌شوند و به‌دلیل پایداری شیمیایی بالا، قابلیت تجزیه‌ناپذیری و اندازه کوچک، به‌راحتی در آب، خاک و هوا منتشر می‌شوند. این مواد آلاینده نه‌تنها بر کیفیت محیط زیست اثر منفی دارند، بلکه به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر سلامت موجودات زنده از جمله گیاهان، حیوانات و انسان‌ها تأثیرات منفی می‌گذارند (Andrady, 2011; Zhou et al., 2020).

۱- بخش زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: javadkarimi@shirazu.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.9223.1224>

رطوبت، در طیف وسیعی از محصولات استفاده می‌شود و به‌طور گسترده در تولید انواع بسته‌بندی‌ها، کیسه‌های پلاستیکی و محصولات کشاورزی مانند مالچ پلاستیکی استفاده می‌شود. (Hurley et al.,; Geyer et al., 2017Boonsong et al., 2025) مطالعات نشان داده‌اند که پلی‌اتیلن یکی از اصلی‌ترین ترکیبات میکروپلاستیک‌های موجود در محیط‌زیست است که از طریق تخریب مکانیکی و فتواکسیداسیون بسته‌بندی‌ها، کیسه‌های پلاستیکی و فیلم‌های کشاورزی در بوم‌نظام‌های خاکی و آبی آزاد می‌شود (Rillig et al., 2019). به‌ویژه در کشاورزی، مالچ‌های پلاستیکی پلی‌اتیلنی به‌طور گسترده برای افزایش بازده محصول و کاهش تبخیر آب استفاده می‌شوند، اما تجزیه ناقص آن‌ها موجب ورود مقادیر زیادی میکروپلاستیک به خاک می‌شود که می‌تواند تأثیرات منفی بر خصوصیات فیزیکی خاک و رشد گیاه داشته باشد (Liang et al., 2024).

بااین‌حال، حضور پلی‌اتیلن در محیط زیست، به‌ویژه در خاک‌های کشاورزی، نگرانی‌های جدی در مورد تأثیرات آن بر سلامت خاک و رشد گیاهان ایجاد کرده است. این ذرات پلاستیکی کوچک می‌توانند به‌طور مستقیم با ریشه گیاهان تعامل داشته باشند یا از طریق تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، فرآیندهای حیاتی رشد گیاهان را مختل کند (Tian et al., 2022). تحقیقات پیشین نشان داده‌اند که میکروپلاستیک‌ها با ایجاد تغییر در تراکم، تخلخل و ساختار خاک، می‌توانند بر حرکت آب و مواد مغذی در خاک تأثیر بگذارند (Li et al., 2024). همچنین میکروپلاستیک‌ها می‌توانند با تجمع در اطراف ریشه‌ها، تبادل گازها و فرآیندهای تنفسی گیاه را مختل کنند (Chen et al., 2024). از سوی دیگر، برخی مطالعات گزارش داده‌اند که میکروپلاستیک‌ها قادرند ترکیبات شیمیایی مضر را آزاد کرده و بر تولید متابولیت‌های ثانویه و اولیه گیاهان اثر منفی بگذارند. این اثرات می‌توانند منجر به کاهش عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی شوند (Jadhav & Medyńska-Juraszek, Iqbal et al., 2024).

گیاهان به‌عنوان پایه‌های زنجیره غذایی، نقش حیاتی و بسیار مهم در بوم‌نظام‌ها و کشاورزی ایفا می‌کنند. گیاهان زراعی به‌ویژه محصولات استراتژیکی نظیر گندم (*Triticum aestivum* L.)، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع غذایی جهان، نقش کلیدی در تأمین امنیت غذایی بشر دارند. گندم با دارا بودن سطح زیرکشت وسیع و نقش اساسی در تغذیه انسان‌ها و دام‌ها، از جمله محصولاتی است که بیشترین تأثیر را از آلودگی‌های زیست‌محیطی به‌ویژه آلودگی میکروپلاستیکی ایفا می‌کند (Yan et al., 2024).

اهمیت گندم به‌عنوان یک محصول استراتژیک در تأمین امنیت غذایی جهانی، جایگاه ویژه‌ای به این گیاه در نظام کشاورزی و تغذیه انسان‌ها بخشیده است. گندم یکی از مهم‌ترین منابع کربوهیدرات در

رژیم غذایی میلیاردها نفر در سراسر جهان به شمار می‌آید و نقش حیاتی در ثبات اقتصادی و سیاسی بسیاری از کشورها ایفا می‌کند. با توجه به این اهمیت بنیادین، هرگونه عامل تهدیدکننده سلامت و رشد گندم می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای برای تولید غذا و پایداری کشاورزی داشته باشد (Shiferaw et al., 2013). از جمله این تهدیدات، گسترش آلودگی‌های ناشی از میکروپلاستیک‌ها است که به‌ویژه پلی‌اتیلن به‌عنوان یکی از رایج‌ترین انواع آن‌ها، نگرانی‌های زیست‌محیطی فزاینده‌ای را به وجود آورده است (Yao et al., 2022). میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور، نگرانی‌های فزاینده‌ای را در خصوص تأثیرات بالقوه آن‌ها بر محیط زیست و سلامت موجودات زنده ایجاد کرده‌اند؛ بااین‌حال، شکاف‌های قابل‌توجهی در درک علمی ما از اثرات آن‌ها بر گیاهان زراعی، به‌ویژه محصولات استراتژیکی مانند گندم وجود دارد. بیشتر مطالعات پیشین بر بوم‌نظام‌های آبی متمرکز بوده‌اند و اطلاعات محدودی درباره واکنش‌های فیزیولوژیکی و رشدی گیاهان خاکری در مواجهه با انواع، اندازه‌ها و غلظت‌های مختلف میکروپلاستیک‌ها در دست است. ازاین‌رو، بررسی دقیق اثرات میکروپلاستیک‌ها بر مراحل حیاتی رشد گیاهان مانند جوانه‌زنی، رشد ریشه و ساقه و تغییرات بیوشیمیایی، گامی ضروری در جهت شناخت بهتر این چالش زیست‌محیطی و تضمین پایداری کشاورزی و امنیت غذایی به شمار می‌رود (De Silva et al., 2021).

در همین راستا، پژوهش حاضر به بررسی اثرات میکروپلاستیک پلی‌اتیلن بر فرآیند جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گندم می‌پردازد. در این مطالعه، شاخص‌های مهمی نظیر درصد جوانه‌زنی، رشد ریشه و ساقه، وزن تر و خشک، میزان کلروفیل‌های a و b، کاروتنوئیدها و پرولین برگ، در معرض غلظت‌های مختلف میکروپلاستیک مورد ارزیابی قرار گرفته و با گروه‌های شاهد مقایسه شده‌اند. نتایج این تحقیق می‌تواند به درک دقیق‌تری از تأثیرات منفی میکروپلاستیک‌ها بر محصولات استراتژیک کشاورزی منجر شده و لزوم تدوین راهکارهایی جهت کاهش اثرات آن‌ها بر پایداری تولید و امنیت غذایی را برجسته سازد.

مواد و روش‌ها

کشت بذر

آزمایش به‌شکل فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار سطح صفر، ۱، ۱۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن و چهار تکرار انجام شد. بذر گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) از دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز تهیه گردید. پس از ۲۴ ساعت شنوری در آب مقطر و ۲۴ ساعت رشد درون پارچه تنظیف، درصد جوانه‌زنی محاسبه شد. بذرهای جوانه‌زده درون گلدان‌هایی با قطر ۱۰ سانتی‌متر و حاوی پرلیت کشت گردید (در هر گلدان ۱۰ بذر با اندازه

گرفت تا به طور کامل خشک گردد و وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری و برحسب گرم گزارش شد.

سنجش محتوای کلروفیل a و b و کاروتنوئید: سنجش

محتوای کلروفیل a و b و کاروتنوئید برگ گیاه گندم در معرض تیمار غلظت‌های مختلف میکروپلاستیک پلی اتیلن و نمونه شاهد به روش آرنون (Arnon, 1949) انجام شد. برای این منظور، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تر گیاه در هاون چینی ریخته شد و با ازت مایع به‌خوبی سائیده و خرد گردید. ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به نمونه‌ها اضافه و به‌خوبی مخلوط شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. محلول فوقانی برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتنوئید برداشت شد و مورد استفاده قرار گرفت. میزان جذب این محلول در طول موج ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، طول موج ۶۴۵ برای کلروفیل b و طول موج ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئید اندازه‌گیری شد (دستگاه اسپکتوفتومتر VU-VIS مدل LAMBDA 365 ساخت آمریکا). در نهایت برای سنجش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید از معادله‌های ۱ تا ۳ استفاده و مقادیر به‌دست‌آمده برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر گزارش شد.

$$\text{Chl.a (mg g}^{-1} \text{ FW)} = 12.25 A_{663} - 2.79 A_{646} \quad (1)$$

$$\text{Chl.b (mg g}^{-1} \text{ FW)} = 21.50 A_{646} - 5.10 A_{663} \quad (2)$$

$$\text{Car (mg g}^{-1} \text{ FW)} = (1000 A_{470} - 1.8 \text{ Chl a} - 85.02 \text{ Chl b})/198 \quad (3)$$

اندازه‌گیری پرولین

اندازه‌گیری محتوای پرولین با استفاده از روش

نبن هیدرین: اندازه‌گیری محتوای پرولین با استفاده از اسید نبن هیدرین طبق روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) انجام شد. برای این منظور، ابتدا ۰/۱ گرم بافت برگ گیاه در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک سه درصد در هاون چینی به‌خوبی سائیده شد، سپس مخلوط حاصل در درون لوله آزمایش ریخته شده و ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. دو میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده برداشته و در یک لوله آزمایش ریخته شد. سپس به هر لوله دو میلی‌لیتر معرف نبن‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص اضافه گردید. لوله‌های آزمایش در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار گرفت، پس از یک ساعت، لوله‌ها جهت خاتمه واکنش در داخل حمام یخ گذاشته شد. پس از سرد شدن لوله‌ها، به آن‌ها چهار میلی‌لیتر تولوئن افزوده و ۳۰ ثانیه به هم زده شد و پس از تشکیل دو فاز مجزا، قسمت رنگی برداشته و میزان جذب آن‌ها توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. غلظت پرولین برحسب میکرومول بر گرم وزن تر با استفاده از رابطه ۴ محاسبه و گزارش شد.

یکسان). محلول هوگلند (طبق جدول ۱) تهیه و به‌میزان یکسان به همه گلدان‌ها در فواصل زمانی یک روز در میان اضافه شد. آزمایش در اتاقک کشت آزمایشگاه با دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی (با شدتی در حدود ۱۵۰۰۰ لوکس نور) و هشت ساعت تاریکی، دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد انجام شد.

تیماردهی

پس از گذشت یک هفته از زمان کشت بذر، تیماردهی اعمال شد. محلول‌های میکروپلاستیک پلی اتیلن در چهار غلظت صفر، ۱، ۱۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به گیاهچه‌های کاشته‌شده در محلول آبی یا مخلوط با پرلیت اضافه گردید. میکروپلاستیک‌های پلی اتیلن (PE) با شکل نامنظم، که از آسیاب کردن و الک کردن پلی اتیلن خالص با چگالی کم (LDPE) مشتق شده‌اند، از دانشگاه تورون لهستان تهیه شدند. قطر ذرات در محدوده بین ۲/۵ تا حدود هشت میکرومتر بود. پس از پایان تیماردهی (دو هفته پس از زمان کشت بذر) و یک هفته پس از تیماردهی، گیاهان برای ارزیابی میزان رشد ریشه و ساقه، وزن تر و خشک ریشه و ساقه، میزان کلروفیل a و b، میزان کاروتنوئید و مقدار پرولین برداشت شدند.

جدول ۱- ترکیبات محیط کشت هوگلند

مواد	غلظت
Substances	Concentration
KNO ₃	101.10 g L ⁻¹
Ca (NO ₃) ₂ 4H ₂ O	236.16 g L ⁻¹
NH ₄ H ₂ PO ₄	115.08 g L ⁻¹
MgSO ₄ .7H ₂ O	246.48 g L ⁻¹
KCL	1.864 g L ⁻¹
H ₃ BO ₃	0.773 g L ⁻¹
MnSO ₄ -H ₂ O	0.169 g L ⁻¹
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.288 g L ⁻¹
CuSO ₄ .SH ₂ O	0.962 g L ⁻¹
H ₂ MoO ₄ (0/85 MoO ₃)	0.040 g L ⁻¹
NaFe DTPA	30.0 g L ⁻¹

روش‌ها

اندازه‌گیری طول ساقه، طول ریشه، وزن خشک و وزن

تر: برای اندازه‌گیری طول ساقه و ریشه از هر محیط کشت با غلظت متفاوت از میکروپلاستیک پلی اتیلن، طول ساقه و ریشه هر گیاه جداگانه اندازه‌گیری و میانگین آن محاسبه و برحسب سانتی‌متر گزارش گردید. برای اندازه‌گیری وزن تر نیز پس از جدا کردن ریشه از ساقه و خشک کردن رطوبت سطحی با دستمال کاغذی، با استفاده از ترازوی دقیق، وزن تر ریشه و ساقه گیاه اندازه‌گیری شد. سپس ریشه و ساقه هر تیمار به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۴۵ درجه قرار

$$\frac{[(\mu\text{g proline.ml}^{-1} \times \text{ml toluene})/115.5 \mu\text{g } \mu\text{mol}^{-1}]}{[(\text{g sample})/5]} = \mu\text{moles proline g}^{-1} \text{ of fresh weight} \quad (4)$$

تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و آزمون ANOVA صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

در این پژوهش، به‌منظور بررسی اثر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن بر رشد و فیزیولوژی گیاهچه‌های گندم، شاخص‌های مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفت. این شاخص‌ها شامل درصد جوانه‌زنی (جهت بررسی توان زیستی بذرها در آغاز رشد)، میزان رشد ریشه و ساقه (برای سنجش توسعه ساختار گیاهی در مرحله گیاهچه‌ای)، وزن تر و خشک (به‌منظور ارزیابی تجمع زیست‌توده و آب در اندام‌های گیاه)، و نیز میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها (به‌عنوان شاخص‌های عملکرد فتوسنتزی) بود. همچنین مقدار پرولین نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اسیدهای آمینه در پاسخ‌های تنشی گیاهان اندازه‌گیری شد، چرا که افزایش آن معمولاً نشان‌دهنده واکنش گیاه به شرایط تنش‌زا نظیر آلودگی‌های محیطی است. این شاخص‌ها به‌صورت کمی و در مقایسه با گروه شاهد بررسی شدند و به‌عنوان معیارهای حساس به تنش‌های زیست‌محیطی در مراحل اولیه رشد گیاه در نظر گرفته شدند. تغییرات آن‌ها می‌تواند بازتابی از پاسخ فیزیولوژیکی گیاه به حضور آلاینده‌ها باشد. در ادامه، نتایج هر کدام از موارد مذکور به‌تفکیک با جزئیات بیشتر بیان خواهد شد.

اثر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن بر درصد جوانه‌زنی بذر گیاه گندم

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، در غلظت‌های ۱۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، میکروپلاستیک پلی‌اتیلن منجر به کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی شد، درحالی‌که در غلظت یک میلی‌گرم بر لیتر، اثر معنی‌داری مشاهده نشد که نشان می‌دهد پاسخ گیاه به میکروپلاستیک‌ها وابسته به غلظت آن است.

مطابق با یافته‌های گونگ و همکاران (Gong et al., 2021) که روی جوانه‌زنی چندین بذر گیاه (کاهوی ایتالیایی، تربچه، گندم و ذرت) انجام گردید، میکروپلاستیک، شاخص‌های جوانه‌زنی را کاهش داد. جوانه‌زنی بذر، به‌عنوان اولین مرحله در رشد گیاه، به شرایط تنش

بسیار حساس است. یکی از انواع تنش‌هایی که می‌تواند بر جوانه‌زنی تأثیر بگذارد، تنش میکروپلاستیک است. این نوع تنش با مسدود کردن منافذ موجود در پوشش بذر، فرآیند جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد. در نتیجه، جذب آب و فرآیندهای مربوط به آن نیز کاهش می‌یابد و مانع شکستن خواب بذر می‌شود (Lian et al., 2020). به نظر می‌رسد که میکروپلاستیک پلی‌اتیلن روی سطح بذر تجمع یافته و تبادلات آب، گازها و مواد مغذی را تحت تأثیر قرار داده است. گزارش شده است که میکروپلاستیک از طریق تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محیط ریشه یا بذر، جذب آب را کاهش دهند. این اثرات منفی به‌طور عمده به‌دلیل ایجاد تنش اکسیداتیو، آسیب به غشاهای سلولی، اختلال در جذب آب، مواد معدنی و کاهش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی است (Li X et al., 2023).

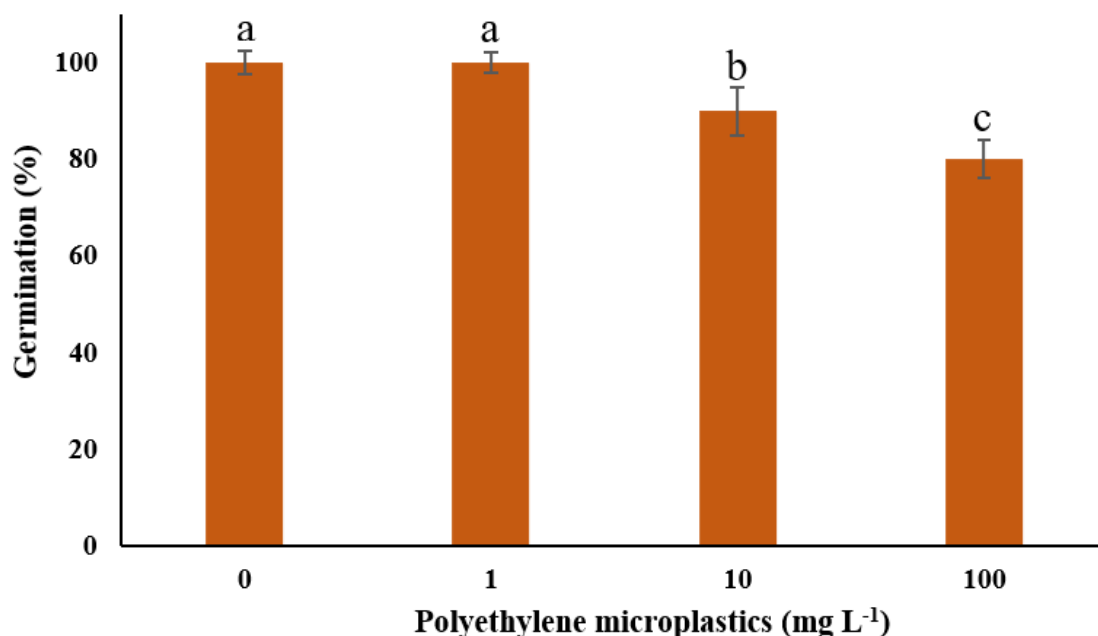
اثر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن بر میزان رشد ریشه و ساقه گیاهچه گندم

نتایج نشان داد که رشد ریشه گیاهچه گندم در هر سه غلظت میکروپلاستیک پلی‌اتیلن افزایش معنی‌دار نسبت به نمونه شاهد داشت. این افزایش به‌ترتیب حدود ۱۹، ۵۲، ۶۸ درصد نسبت به نمونه شاهد در غلظت‌های ۱، ۱۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن بود. در مقابل، رشد ساقه در دو غلظت متوسط (۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) و شدید (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) میکروپلاستیک پلی‌اتیلن به‌ترتیب حدود ۱۵ و ۲۵ درصد کاهش معنی‌دار نسبت به نمونه شاهد داشت و نمونه تیمار ملایم (یک میلی‌گرم بر لیتر) تأثیر معنی‌داری بر رشد ساقه نداشت.

میکروپلاستیک پلی‌اتیلن در غلظت‌های مختلف تأثیر مثبتی بر رشد ریشه گیاهچه‌های گندم داشت. افزایش رشد ریشه ممکن است به‌عنوان یک پاسخ تطبیقی به تنش تلقی شود، به‌طوری‌که گیاه برای بهبود جذب آب و مواد مغذی، انرژی بیشتری به توسعه ریشه اختصاص می‌دهد. افزایش رشد ریشه در حضور میکروپلاستیک‌ها ممکن است نشان‌دهنده یک پاسخ به تنش گیاه باشد. گیاهان ممکن است در مواجهه با تنش‌های محیطی مانند حضور میکروپلاستیک‌ها، مواد مغذی و انرژی بیشتری را به رشد ریشه اختصاص دهند تا بتوانند مواد مغذی و آب بیشتری جذب کنند. این افزایش رشد ممکن است سازوکاری برای مقابله با شرایط نامساعد محیطی از طریق بهبود در جذب مواد مغذی و آب توسط ریشه‌ها باشد (Jia et al., 2023).

در مقابل، کاهش رشد ساقه در غلظت‌های بالاتر می‌تواند به‌دلیل اختلال در هورمون‌های رشد و مسیرهای متابولیکی باشد. کاهش در تخصیص منابع به بخش‌های هوایی به‌نفع توسعه بخش زیرزمینی (ریشه) در شرایط تنش، نشان‌دهنده یک بازآرایی در توزیع منابع در پاسخ به فشار محیطی است که این الگوی رشد می‌تواند به کاهش

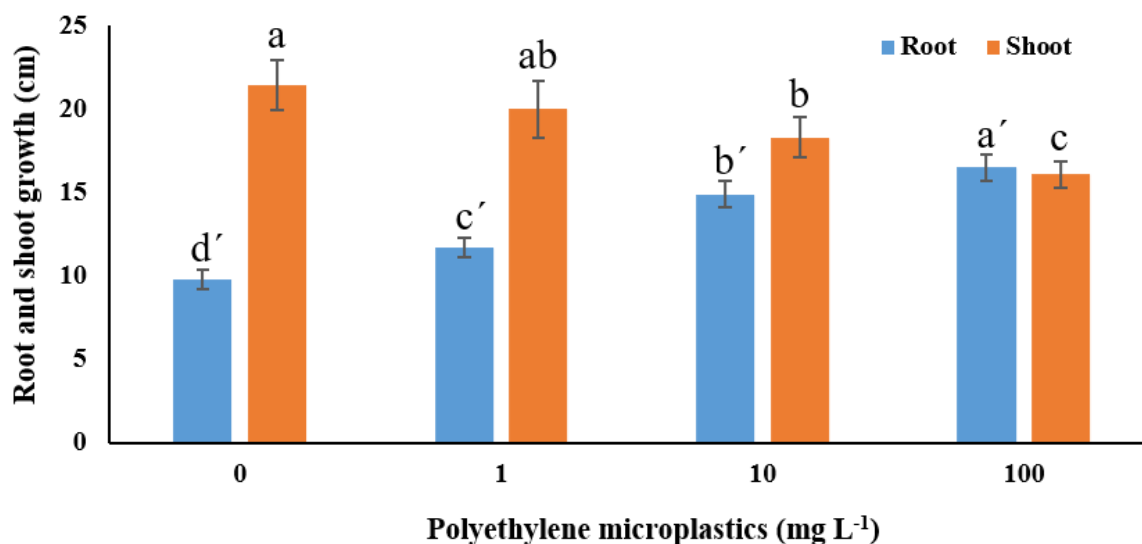
ارتفاع نهایی گیاه و افت عملکرد منجر شود.



شکل ۱- درصد جوانه زنی بذر گندم در معرض غلظت های مختلف میکروپلاستیک پلی اتیلن

هر سری داده میانگین چهار تکرار است. حروف متفاوت اختلاف معنی داری را در سطح $p < 0.05$ نشان می دهد. Error bar براساس انحراف معیار ($\pm$ SD) می باشد

Figure 1. Percentage of wheat seed germination under different concentrations of polyethylene microplastics. Each data series represents the mean of four replicates. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$. Error bars represent standard deviation ($\pm$ SD).



شکل ۲- طول ریشه و ساقه گیاهچه گندم در معرض غلظت های مختلف میکروپلاستیک پلی اتیلن

هر سری داده میانگین چهار تکرار است. حروف متفاوت اختلاف معنی داری را در سطح $p < 0.05$ نشان می دهد. Error bar براساس انحراف معیار ($\pm$ SD) می باشد

Figure 2. Root and shoot length of wheat seedlings under different concentrations of polyethylene microplastics. Each data series represents the mean of four replicates. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$. Error bars represent standard deviation ($\pm$ SD).

کاهش رشد ساقه در غلظت‌های بالاتر میکروپلاستیک‌ها ممکن است نشان‌دهنده تأثیر منفی این مواد بر متابولیسم و تقسیم سلولی در بخش‌های هوایی گیاه باشد. این کاهش می‌تواند ناشی از اختلال در جذب مواد مغذی، تولید هورمون‌های رشد یا سمیت مستقیم میکروپلاستیک‌ها باشد. عدم کاهش معنی‌دار رشد ساقه در تنش ملایم نیز می‌تواند به علت پایین بودن سطح تنش در این غلظت باشد، زیرا به نظر می‌رسد که به میزانی نیست که باعث تغییرات شدید در تخصیص منابع یا افزایش تنش اکسیداتیو شود (Kumar et al., 2024).

این نتایج نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌های پلی‌اتیلن می‌توانند تأثیرات متفاوتی بر رشد گیاهچه گندم داشته باشند. افزایش رشد ریشه در غلظت‌های بالا می‌تواند به عنوان یک سازوکار جبرانی در برابر تنش تلقی شود، اما این افزایش با کاهش رشد ساقه همراه است که می‌تواند نشان‌دهنده تأثیرات منفی بر رشد کلی گیاه باشد.

اثر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن بر وزن تر و خشک ریشه و ساقه گیاهچه گندم

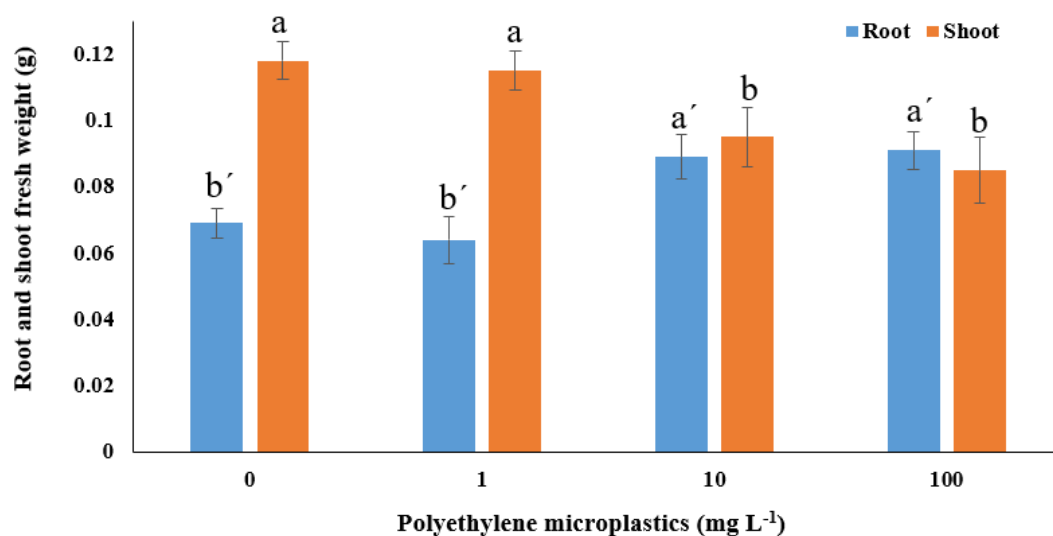
نتایج این مطالعه نشان داد که وزن تر ریشه در غلظت‌های ۱۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۲۸ درصد و ۳۱ درصد افزایش معنی‌داری داشت، اما در غلظت یک میلی گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد مشاهده نشد (شکل ۳). در مورد وزن تر ساقه نیز در غلظت یک میلی گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد مشاهده نشد، اما در دو غلظت ۱۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۲۰ درصد و ۲۸ درصد کاهش معنی‌داری دیده شد (شکل ۳). در مورد وزن خشک ریشه و ساقه نیز مشابه وزن تر، الگوی افزایش و کاهش یکسان بود. وزن خشک ریشه گیاهچه گندم در دو غلظت ۱۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۳۹ درصد و ۶۹ درصد افزایش معنی‌داری داشت (شکل ۴). همچنین در وزن خشک ساقه گیاهچه گندم در دو غلظت ۱۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۲۶ درصد و ۴۰ درصد کاهش معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۴).

به طور کلی، وزن تر و خشک ریشه در غلظت‌های بالاتر افزایش یافت، در حالی که همین شاخص‌ها برای ساقه کاهش نشان دادند. این تفاوت، به تغییرات در تخصیص منابع در پاسخ به تنش اشاره دارد. افزایش وزن ریشه ممکن است به دلیل افزایش تعداد یا ضخامت ریشه‌ها در پاسخ به کاهش دسترسی به آب یا مواد معدنی باشد. از سوی دیگر، کاهش وزن ساقه ممکن است نتیجه کاهش فتوسنتز،

اختلال در انتقال مواد فتوسنتزی یا تأثیر منفی بر رشد مریستم‌های ناحیه هوایی باشد. در تنش کم، میزان میکروپلاستیک‌ها ممکن است به اندازه‌ای نباشد که اثرات منفی قابل توجهی بر گیاه بگذارد. در این حالت، گیاه ممکن است قادر به سازگاری با مقدار کمی میکروپلاستیک باشد و هیچ تأثیر معنی‌داری بر رشد ساقه مشاهده نشود. همچنین ممکن است در تنش‌های کم، این اثرات به طور فوری قابل مشاهده نباشند. بنابراین، در مدت زمان کوتاه تأثیرات تنش کم ممکن است بدون تغییر محسوس در وزن تر و خشک ساقه باقی بماند و در صورت تداوم بیشتر تنش، روند کاهشی مشخص شود. در شرایط تنش متوسط و بالای میکروپلاستیک، ممکن است گیاه تحت تأثیر تنش اکسیداتیو قرار گیرد که منجر به آسیب به ساختارهای سلولی، کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد ساقه و کاهش وزن تر و خشک آن شود. در مورد ریشه گیاهچه گندم ممکن است تنش میکروپلاستیک، رشد ریشه را به عنوان یک سازوکار دفاعی افزایش دهد تا از خود در برابر اثرات منفی میکروپلاستیک‌ها محافظت کنند و به این دلیل وزن تر و خشک آن افزایش یابد. گائو و همکاران (Gao et al., 2024) نیز گزارش کردند که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند موجب کاهش رشد بخش‌های هوایی در گیاه شوند.

اثر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن بر کلروفیل a و b برگ گیاهچه گندم

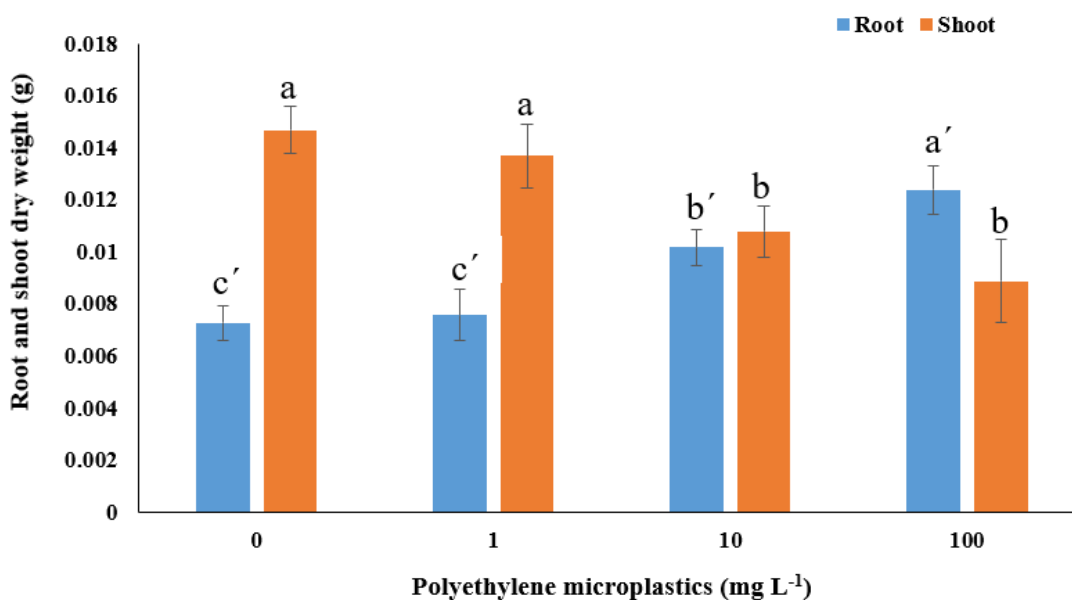
همان گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، میزان کلروفیل a در تنش ملایم (غلظت یک میلی گرم در لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن) تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد ندارد، اما در مواجهه با تنش متوسط (غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن) افزایش معنی‌داری به میزان ۲۲ درصد در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده شد. در مقابل، در شرایط تنش شدید (غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن) کاهش معنی‌داری در مقایسه با نمونه شاهد به میزان ۱۶ درصد نشان داد. در شرایط تنش، گیاه ممکن است تلاش کند تا کارایی جذب نور را افزایش دهد. کلروفیل، به عنوان مولکولی کلیدی در جذب نور و انتقال انرژی در فتوسنتز، نقش مهمی در انطباق گیاه با شرایط نامساعد دارد. افزایش کلروفیل باعث بهبود جذب نور و در نتیجه افزایش نرخ فتوسنتز می‌شود. این سازوکار به گیاه کمک می‌کند تا انرژی بیشتری برای مقابله با تنش تولید کند. به عبارت دیگر تحت تنش متوسط، گیاه ممکن است فعالیت آنزیم‌های کلیدی در مسیر سنتز کلروفیل (مانند کلروفیل سنتاز) را افزایش دهد. این افزایش فعالیت آنزیمی می‌تواند منجر به تجمع بیشتر کلروفیل در برگ‌ها شود.



شکل ۳- وزن تر ریشه و ساقه گیاهچه گندم در معرض غلظت‌های مختلف میکروپلاستیک پلی اتیلن

هر سری داده میانگین چهار تکرار است. حروف متفاوت اختلاف معنی‌داری را در سطح $p < 0.05$ نشان می‌دهد. Error bar براساس انحراف معیار ($\pm$ SD) می‌باشد

Figure 3. Fresh weight of root and shoot of wheat seedlings under different concentrations of polyethylene microplastics. Each data series represents the mean of four replicates. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$. Error bars represent standard deviation ($\pm$ SD).



شکل ۴- وزن خشک ریشه و ساقه گیاهچه گندم در معرض غلظت‌های مختلف میکروپلاستیک پلی اتیلن

هر سری داده میانگین چهار تکرار است. حروف متفاوت اختلاف معنی‌داری را در سطح $p < 0.05$ نشان می‌دهد. Error bar براساس انحراف معیار ($\pm$ SD) می‌باشد

Figure 4. Dry weight of root and shoot of wheat seedlings under different concentrations of polyethylene microplastics. Each data series represents the mean of four replicates. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$. Error bars represent standard deviation ($\pm$ SD).

در تنش شدید و غلظت‌های بالای میکروپلاستیک، گونه‌های فعال اکسیژن (ROS^1) مانند سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل می‌توانند باعث ایجاد اکسیداتیو در گیاهان شوند و به غشاهای سلولی، پروتئین‌ها و DNA آسیب برسانند و همچنین باعث تخریب کلروفیل شود.

در مورد کلروفیل b، گیاهچه گندم در معرض تنش کم و متوسط (غلظت ۱ و ۱۰ میلی گرم در لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن) تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت، ولی در معرض تنش شدید (غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن) کاهش معنی‌داری در مقایسه با نمونه شاهد به میزان ۲۰ درصد مشاهده شد (شکل ۵). این نتایج را می‌توان به این صورت تحلیل کرد که کلروفیل b عمدتاً در جذب نور آبی و انتقال آن به مرکز واکنش نقش دارد و کاهش آن می‌تواند بیانگر آسیب ساختاری به کمپلکس‌های آنتن نوری باشد. در شرایط تنش کم و متوسط، گیاه گندم ممکن است بتواند با فعال‌سازی سازوکارهای تطبیقی مانند افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها یا تنظیم هورمونی، سطح کلروفیل b را حفظ کند و از این‌رو تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد مشاهده نمی‌شود. اما در شرایط تنش شدید، افزایش قابل توجه تنش اکسیداتیو و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن و آسیب به ساختار کلروپلاست‌ها، همراه با اختلال در سنتز رنگدانه‌ها به‌ویژه کلروفیل و کاهش جذب مواد مغذی منجر به تخریب مولکول‌های کلروفیل b و کاهش ۲۰ درصدی آن نسبت به نمونه شاهد می‌شود. این کاهش نشان‌دهنده محدودیت توانایی گیاه در تحمل تنش‌های شدید است. مشابه نتایج این پژوهش، لی و همکاران (Li et al., 2023) نشان دادند که تیمار با غلظت بالای میکروپلاستیک به‌طور قابل توجهی محتوای رنگدانه‌های گیاهی (کلروفیل a، b، و کلروفیل کل) را کاهش می‌دهد.

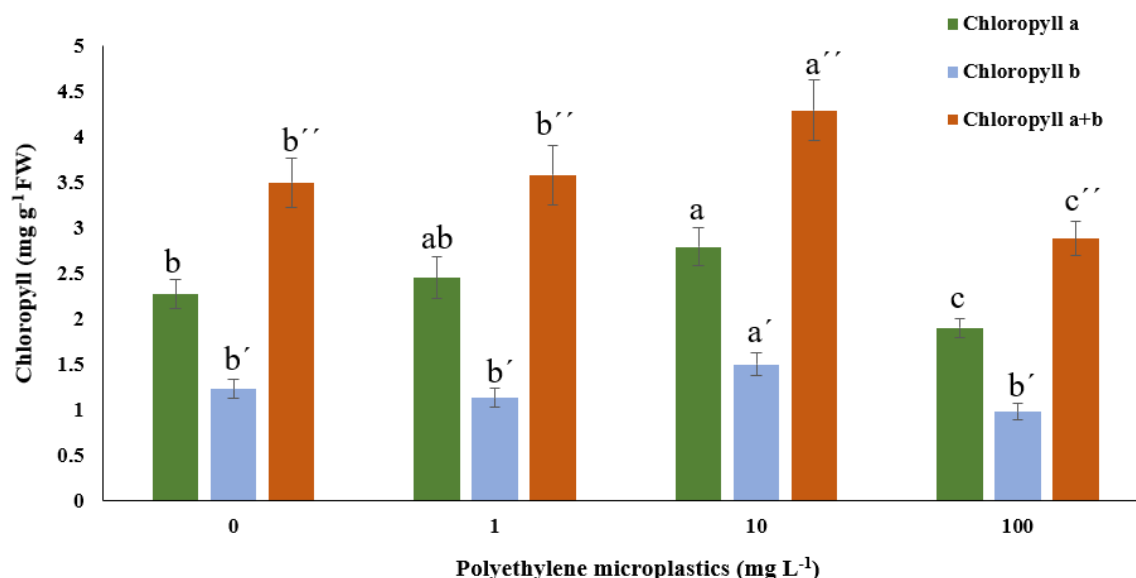
اثر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن بر کاروتنوئید گیاهچه گندم

همان‌گونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، میزان کاروتنوئید در غلظت یک میلی گرم در لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت، درحالی‌که در غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن افزایش معنی‌دار به میزان ۲۱ درصد در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده شد، اما در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن کاهش معنی‌داری در مقایسه با نمونه شاهد به میزان ۲۱ درصد از خود نشان داد. این پدیده را می‌توان با توجه به پاسخ گیاه به سطوح مختلف تنش ناشی از میکروپلاستیک‌های پلی‌اتیلن توضیح داد. این روند بیانگر پاسخ

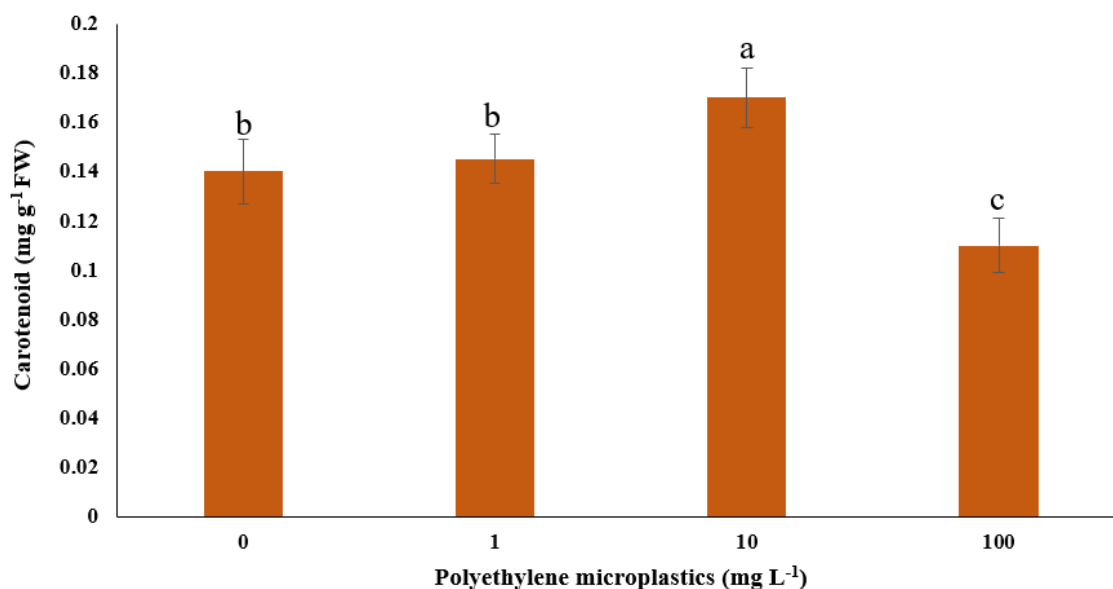
دوگانه و وابسته به غلظت میکروپلاستیک و میزان تنش است. در غلظت کم، میکروپلاستیک‌ها تأثیر قابل توجهی بر محتوای کاروتنوئیدها ندارند، زیرا گیاه قادر به تحمل این سطح از تنش بدون تغییرات عمده در متابولیسم خود است. در غلظت متوسط، گیاه ممکن است با افزایش سنتز کاروتنوئیدها به‌عنوان یک سازوکار دفاعی در برابر تنش اکسیداتیو پاسخ دهد، زیرا کاروتنوئیدها نقش آنتی‌اکسیدانی داشته و از سلول‌ها در برابر آسیب‌های ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کنند. با این حال، در غلظت‌های بسیار بالا، تنش ناشی از میکروپلاستیک‌ها به‌حدی شدید می‌شود که باعث آسیب به ساختارها و عملکرد سلولی، کاهش سنتز کاروتنوئیدها و افزایش تخریب آن‌ها می‌گردد که منجر به کاهش محتوای کاروتنوئیدها می‌شود. این تغییرات نشان‌دهنده پاسخ غیرخطی گیاه به سطوح مختلف تنش است. در آزمایش مشابهی مشخص شد که در پاسخ به تنش میکروپلاستیک، میزان کاروتنوئید، مشابه کلروفیل افزایش می‌یابد (Pignattelli et al., 2020).

اثر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن بر محتوای پرولین برگ گیاهچه گندم

نتایج این مطالعه نشان داد که محتوای پرولین برگ گیاهچه گندم در غلظت‌های ۱۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن نسبت به نمونه شاهد به‌ترتیب ۷۵ درصد و ۱۲۰ درصد افزایش معنی‌داری دارد، اما در غلظت یک میلی گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد مشاهده نشد (شکل ۷). افزایش محتوای پرولین در برگ‌های جوانه‌های گندم در مواجهه با غلظت‌های ۱۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن نشان‌دهنده پاسخ دفاعی گیاه به تنش ناشی از میکروپلاستیک‌ها است. پرولین یکی از مهم‌ترین اسمولیت‌های سازگارکننده در پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی است و در شرایط تنش، از سلول‌ها در برابر آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو محافظت می‌کند. در غلظت‌های بالاتر میکروپلاستیک، تنش واردشده به گیاه شدیدتر است و در نتیجه گیاه با افزایش سنتز پرولین سعی در حفظ تعادل و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو دارد. در غلظت پایین‌تر (یک میلی گرم بر لیتر)، تنش ممکن است به اندازه‌ای نباشد که باعث القاء پاسخ دفاعی قابل توجهی شود، بنابراین تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد مشاهده نمی‌شود. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج چن و همکاران (Chen et al., 2023) که نشان دادند که القاء تنش میکروپلاستیک در گیاه ماش (Vigna radiata L.) منجر به افزایش پرولین می‌شود، مطابقت داشت. پرولین به‌عنوان یک اسیدآمینه شبه‌غیرضروری، در شرایط تنش اکسیداتیو نقش حفاظتی چندگانه‌ای در سلول‌های گیاهی ایفا می‌کند.



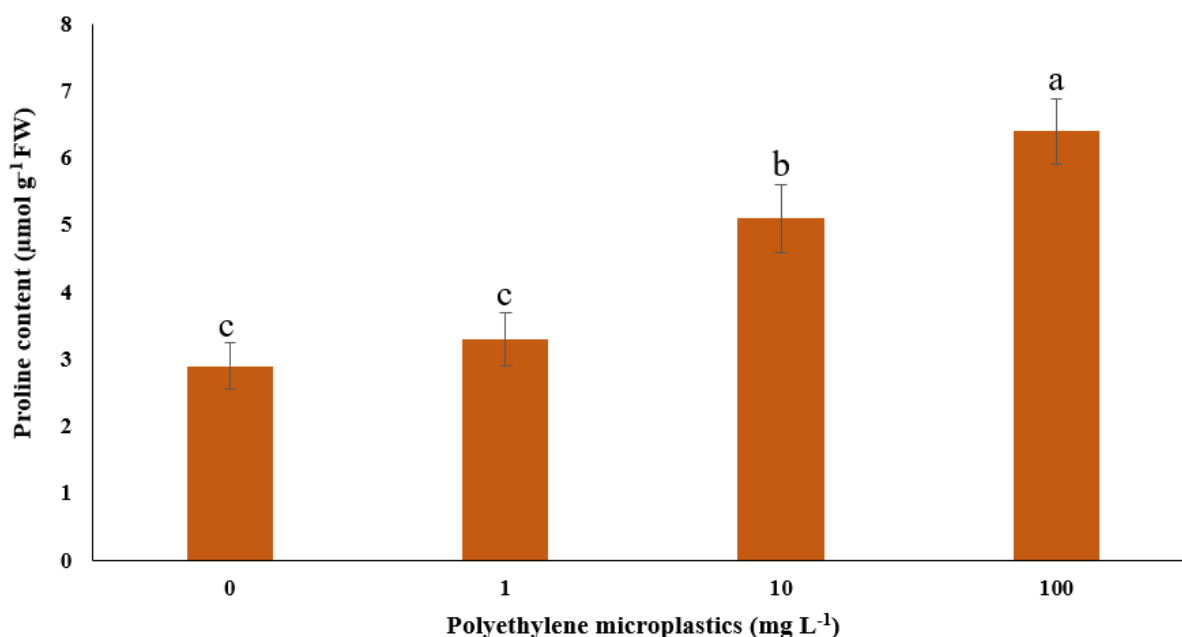
شکل ۵- کلروفیل a، b و مجموع a و b برگ گیاهچه گندم در معرض غلظت‌های مختلف میکروپلاستیک پلی اتیلن
هر سری داده میانگین چهار تکرار است. حروف متفاوت اختلاف معنی‌داری را در سطح $p < 0.05$ نشان می‌دهد. Error bar براساس انحراف معیار ($\pm$ SD) می‌باشد.
Figure 5. Chlorophyll a, b, and total (a + b) content in leaves of wheat seedlings under different concentrations of polyethylene microplastics.
Each data series represents the mean of four replicates. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$. Error bars represent standard deviation ($\pm$ SD).



شکل ۶- کاروتنوئید برگ گیاهچه گندم در معرض غلظت‌های مختلف میکروپلاستیک پلی اتیلن
هر سری داده میانگین چهار تکرار است. حروف متفاوت اختلاف معنی‌داری را در سطح $p < 0.05$ نشان می‌دهد. Error bar براساس انحراف معیار ($\pm$ SD) می‌باشد.
Figure 6. Leaf carotenoid content of wheat seedlings under different concentrations of polyethylene microplastics.
Each data series represents the mean of four replicates. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$. Error bars represent standard deviation ($\pm$ SD).

نیز دارد و با جذب آب در سلول، مانع از دهیدراسیون و ایجاد آسیب‌های ثانویه ناشی از تنش می‌شود. پرولین همچنین می‌تواند با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز، به‌صورت غیرمستقیم نیز در کاهش تنش اکسیداتیو ایفای نقش کند. در مجموع، پرولین با مشارکت در سازوکارهای مستقیم و غیرمستقیم، به‌عنوان یک مولکول کلیدی در کاهش آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو عمل می‌کند (Szabados & Savoure, 2010).

یکی از مهم‌ترین عملکردهای آن، مهار مستقیم گونه‌های فعال اکسیژن از طریق عمل به‌عنوان پایدارکننده ردوکس است؛ پرولین می‌تواند به‌عنوان دهنده الکترون با گونه‌های فعال اکسیژن واکنش دهد و از آسیب به ساختارهای حیاتی سلولی جلوگیری کند. همچنین این ترکیب در پایداری ساختار پروتئین‌ها و غشاهای زیستی مؤثر است، به‌گونه‌ای که از دنا‌توراسیون پروتئین‌ها و پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی که از پیامدهای مستقیم گونه‌های فعال اکسیژن هستند، جلوگیری می‌کند. افزون بر این، پرولین نقش تنظیم فشار اسمزی را



شکل ۷- محتوای پرولین برگ گیاهچه گندم در معرض غلظت‌های مختلف میکروپلاستیک پلی‌اتیلن

هر سری داده میانگین چهار تکرار است. حروف متفاوت اختلاف معنی‌داری را در سطح $p < 0.05$ نشان می‌دهد. Error bar براساس انحراف معیار ($\pm$ SD) می‌باشد

Figure 7. Leaf proline content of wheat seedlings under different concentrations of polyethylene microplastics.

Each data series represents the mean of four replicates. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$. Error bars represent standard deviation ($\pm$ SD).

نتیجه‌گیری

منفی میکروپلاستیک بر بخش‌های هوایی گیاه است. وزن تر و خشک ریشه در غلظت‌های بالا افزایش یافت، اما وزن تر و خشک ساقه کاهش یافت. میزان کلروفیل a و b در غلظت متوسط افزایش پیدا کرد، اما در غلظت بالا کاهش یافت که نشان‌دهنده ایجاد تنش اکسیداتیو در تنش‌های شدید است. کاروتنوئید نیز در غلظت متوسط افزایش یافت، اما در غلظت بالا کاهش یافت که نشان از نقش آن در مقابله با تنش اکسیداتیو دارد. در نهایت، محتوای پرولین در غلظت‌های بالا به‌طور قابل توجهی افزایش یافت و نشان‌دهنده فعال‌سازی سازوکارهای دفاعی گیاه در برابر تنش ناشی از میکروپلاستیک است. به‌طور کلی، میکروپلاستیک پلی‌اتیلن تأثیرات

در این پژوهش، تأثیر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاهچه گندم در سه غلظت مختلف (۱، ۱۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بررسی شد. نتایج نشان داد که میکروپلاستیک پلی‌اتیلن در غلظت‌های بالا (۱۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) تأثیر منفی معنی‌داری بر جوانه‌زنی بذر دارد، اما در غلظت پایین (یک میلی‌گرم بر لیتر) تأثیر قابل ملاحظه‌ای مشاهده نشد. همچنین رشد ریشه در تمام غلظت‌ها افزایش یافت که ممکن است به‌عنوان یک سازوکار دفاعی برای بهبود جذب آب و مواد مغذی عمل کرده باشد. در مقابل، رشد ساقه در غلظت‌های متوسط و بالا کاهش یافت که نشان‌دهنده تأثیر

غلات مانند گندم تهدید کند، به ویژه در مناطقی که منابع خاک و آب محدود هستند و آلودگی های پلاستیکی رو به افزایش هستند. بنابراین، استفاده از مالچ های زیست تخریب پذیر به جای مواد پلاستیکی سنتی در کشاورزی می تواند یکی از راهکارهای عملی برای کاهش اثرات منفی میکروپلاستیک ها باشد. همچنین برای درک بهتر تأثیرات بلندمدت و تجمعی میکروپلاستیک ها، انجام مطالعات میدانی در مقیاس های بزرگ تر و در شرایط طبیعی خاک پیشنهاد می شود. بررسی عملکرد گیاه در دوره رشد کامل، تحلیل ترکیب خاک و مطالعه برهم کنش میکروپلاستیک ها با میکروبیوم خاک از دیگر محورهای مهمی هستند که باید در پژوهش های آینده مورد توجه قرار گیرند.

پیچیده ای بر رشد و فیزیولوژی گیاه گندم دارد و نشان می دهد که غلظت های مختلف میکروپلاستیک ها می توانند اثرات متفاوتی بر رشد گیاه داشته باشند که به نوعی تعادل بین سازگاری و آسیب را نشان می دهد. با توجه به یافته های حاصل، می توان نتیجه گرفت که حضور میکروپلاستیک ها در محیط های کشت می تواند رشد و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار دهد. کاهش درصد جوانه زنی و اختلال در رشد ساقه می تواند به کاهش تراکم و کیفیت محصولات در مزارع منجر شود و بهره وری تولید را کاهش داده و هزینه های اقتصادی کشاورزان را افزایش دهد. چنین شرایطی، در مقیاس گسترده، ممکن است امنیت غذایی را در مناطق وابسته به محصولات

References

- Andrady, A.L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Boonsong, P., Ussawarujikulchai, A., Prapagdee, B., & Pansak, W. (2025). Contamination of microplastics in greenhouse soil subjected to plastic mulching. *Environmental Technology & Innovation*, 37, 103991. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103991>
- Chen, F., Aqeel, M., Khalid, N., Nazir, A., Irshad, M.K., Akbar, M.U., Alzuair, F.M., Ma, & JNoman, A. (2023). Interactive effects of polystyrene microplastics and Pb on growth and phytochemicals in mung bean (*Vigna radiata* L.). *Journal of Hazardous Materials*, 449, 130966. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130966>
- Chen Y, Li, Y, Liang, X, Lu, S, Ren, J, Zhang, Y, Han, Z, Gao, BSun, K. (2024). Effects of microplastics on soil carbon pool and terrestrial plant performance. *Carbon Research*, 3(1), 1-23. <https://doi.org/10.1007/s44246-024-00124-1>
- De Silva YSK, Rajagopalan, UM, Kadono, H. (2021). Microplastics on the growth of plants and seed germination in aquatic and terrestrial ecosystems. *Global Journal of Environmental Science & Management (GJESM)*, 1, 7(3).
- Gao W, Wu, D, Zhang, D, Geng, Z, Tong, M, Duan, Y, Xia, W, Chu, JYao, X. (2024). Comparative analysis of the effects of microplastics and nitrogen on maize and wheat: Growth, redox homeostasis, photosynthesis, and AsA-GSH cycle. *Science of The Total Environment*, 932, 172555. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172555>
- Geyer R, Jambeck, JRLaw, KL. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Gong W, Zhang, W, Jiang, M, Li, S, Liang, G, Bu, Q, Xu, L, Zhu, HLu, A. (2021). Species-dependent response of food crops to polystyrene nanoplastics and microplastics. *Science of the Total Environment*, 796, 148750. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148750>
- Horton AA, Walton, A, Spurgeon, DJ, Lahive, ESvensen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the Total Environment*, 586, 127-141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>
- Hurley R, Binda, G, Briassoulis, D, Carroccio, SC, Cerruti, P, Convertino, F, Dvořáková, D, Kernchen, S, Laforsch, CLöder, MG. (2024). Production and characterisation of environmentally relevant microplastic test materials derived from agricultural plastics. *Science of the Total Environment*, 946, 174325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174325>
- Iqbal B, Zhao, X, Khan, KY, Javed, Q, Nazar, M, Khan, I, Zhao, X, Li, GDu, D. (2024). Microplastics meet invasive plants: Unraveling the ecological hazards to agroecosystems. *Science of the Total Environment*, 906, 167756. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167756>
- Jadhav B Medyńska-Juraszek, A. (2024). Microplastic and Nanoplastic in Crops: Possible Adverse Effects to Crop Production and Contaminant Transfer in the Food Chain. *Plants*, 13(17), 2526. <https://doi.org/10.3390/plants13172526>
- Jia L, Liu, L, Zhang, Y, Fu, W, Liu, X, Wang, Q, Tanveer, MHuang, L. (2023). Microplastic stress in plants: effects on plant growth and their remediations. *Frontiers in plant science*, 14, 1226484. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1226484>
- Kumar D, Biswas, JK, Mulla, SI, Singh, R, Shukla, R, Ahanger, MA, Shekhawat, GS, Verma, KK, Siddiqui, MWSeth, CS. (2024). Micro and nanoplastics pollution: Sources, distribution, uptake in plants, toxicological effects,

- and innovative remediation strategies for environmental sustainability. *Plant Physiology and Biochemistry*, 108795. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108795>
16. Li F, Huang, D, Wang, G, Cheng, M, Chen, H, Zhou, W, Xiao, R, Li, R, Du, L Xu, W. (2024). Microplastics/nanoplastics in porous media: Key factors controlling their transport and retention behaviors. *Science of The Total Environment*, 20;926:171658. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171658>
17. Li R, Tu, C, Li, L, Wang, X, Yang, J, Feng, Y, Zhu, X, Fan, Q Luo, Y. (2023). Visual tracking of label-free microplastics in wheat seedlings and their effects on crop growth and physiology. *Journal of Hazardous Materials*, 456, 131675. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131675>
18. Li X, Wang, R, Dai, W, Luan, Y Li, J. (2023). Impacts of micro (nano) plastics on terrestrial plants: germination, growth, and litter. *Plants*, 12(20), 3554. <https://doi.org/10.3390/plants12203554>
19. Lian J, Wu, J, Xiong, H, Zeb, A, Yang, T, Su, X, Su, L Liu, W. (2020). Impact of polystyrene nanoplastics (PSNPs) on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of hazardous materials*, 385, 121620. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121620>
20. Liang R, Zhang, C, Zhang, R, Li, Q, Liu, H Wang, X-X. (2024). Effects of microplastics derived from biodegradable mulch film on different plant species growth and soil properties. *Science of The Total Environment*, 948, 174899. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174899>
21. Pignattelli S, Broccoli, A Renzi, M. (2020). Physiological responses of garden cress (*L. sativum*) to different types of microplastics. *Science of The Total Environment*, 727, 138609. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138609>
22. Rillig MC, Lehmann, A, de Souza Machado, AAYang, G. (2019). Microplastic effects on plants. *New phytologist*, 223(3), 1066-1070. <https://doi.org/10.1111/nph.15794>
23. Rochman CM, Brookson, C, Bikker, J, Djuric, N, Earn, A, Bucci, K, Athey, S, Huntington, A, McIlwraith, HMunno, K. (2019). Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environmental toxicology and chemistry*, 38(4), 703-711. <https://doi.org/10.1002/etc.4371>
24. Shiferaw B, Smale, M, Braun, HJ, Duveiller, E, Reynolds, M, Muricho, G. (2013). Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food security*, 5, 291-317. <https://doi.org/10.1007/s12571-013-0263-y>
25. Szabados L, Savoure, A. (2010). Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in plant science*, 15(2), 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>
26. Tian L, Jinjin, C, Ji, R, Ma, Y Yu, X. (2022). Microplastics in agricultural soils: sources, effects, and their fate. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 25, 100311. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100311>
27. Yan Y, Yang, H, Du, Y, Li, X Li, X. (2024). Effects and molecular mechanisms of polyethylene microplastic oxidation on wheat grain quality. *Journal of Hazardous Materials*, 5;474:134816. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134816>
28. Yao Z, Seong, H.J, Jang, Y.S. (2022). Environmental toxicity and decomposition of polyethylene. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 242, 113933. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113933>
29. Zhou Y, Wang, J, Zou, M, Jia, Z, Zhou, S Li, Y. (2020). Microplastics in soils: A review of methods, occurrence, fate, transport, ecological and environmental risks. *Science of the Total Environment*, 748, 141368. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141368>

Contents

Impact of Some Pesticides on <i>Diaeretiella rapae</i> and <i>Diadegma semiclausum</i> in Cabbage Production	229
M.A. Samih	
Fumigant Toxicity and Sublethal Effects of <i>Acroptilon repens</i> Extracts on Life Table Parameters and Population Projection of <i>Trialeurodes vaporariorum</i>, (Hemiptera: Aleyrodidae)	249
S.S. Sarboland, F. Mehrkhou, M. Fattahi, M. Forouzan	
Evaluation of Chitosan, Gamma-Aminobutyric Acid and Potassium Silicate on some Biochemical Parameters of Pistachio Tree to Induce Resistance against Pistachio Psyllid (<i>Agonoscaena pistaciae</i>)	269
H. Ghasemi Nejad Rayeni, M. Pahlavan Yali, M. Bozorg-Amirkalae	
Identification, Genome Characterization and Phylogenetic Analysis of A Novel <i>Betanucleorhabdovirus</i> Infecting Sugar Beet (<i>Beta vulgaris</i>) in Iran	283
J. Abkhoo, M. Mehrvar, M. Zakiaghl	
Evaluation of the Allelopathic Potential of Plant Extracts and its Comparison with Chemical Treatments on <i>Galium aparine</i> L. and <i>Vicia villosa</i> Roth. Weeds in Chickpea Fields	293
S. Jalilian, S.A. Ghanbari, M.R. Asgharipour, A. Bagheri	
The Effect of Polyethylene Microplastic Abiotic Stress on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	317
J. Karimi, S. Arbabi	

Iranian Plant Protection Research

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol . 39

No. 3

2025

Published by: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
Editor in charge: Valizadeh, R. (Ruminant Nutrition) Prof. Ferdowsi University of Mashhad
General Chief Editor: Taheri, P. (Plant Pathology) Prof. Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

Izadi Darbandi, E.	Weed Science	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Etesami, H	Soil biology and biotechnology	Asso. Prof. University of Tehran.
Baghaee Ravari ,S	Plant Pathology	Asso. Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Pourjam, E.	Plant Pathology	Prof. Tarbiat Modarres University.
Jamali, S.	Plant Pathology	Prof. University of Guilan
Hosseini, M.	Agricultural Entomology	Asso. Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Hajiboland, R	Plant physiology	Prof. University of Tabriz
Khodaparast, S. A.	Mycology	Prof. University of Guilan
Rastgoo, M.	Weed Science	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Rashed- Mohassel, M.H.	Weed Science	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Sharifnabi, B	Plant Pathology	Prof. Isfahan University of Technology
Saberi riseh, R	Plant Pathology	Prof. Vali Asr University of Rafsanjan
Sadeghi Namaghi, H.	Agricultural Entomology	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Saboori, A.	Agricultural Entomology	Prof. Tehran University
Karim Mojeni ,H	Production and Plant Genetics	Asso. Prof. Isfahan University of Technology
Karimi, J	Agricultural Entomology	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Marashi, S.H.	Biotechnology & Plant Breeding	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Mosallanejad, H	Entomolog	Asso. Prof. of Research. Iranian Research Institute of Plant Protection (IRIPP)
Masumi, H	Plant Virology	Prof. Shahid Bahonar University of Kerman
Mehrvar, M	Plant Virology	Asso. Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Tarasco, Estacu	Entomology	Asso. Prof. University of Bari Aldo Moro - Italia
Rashed- Mohassel, A.	Insect Ecology	Assistant prof. Erzurum Teknik University
Derviş, Sibel	Plant Pathology	Post-Doctoral Research Associate ,Texas A&M AgriLife Extension Service
Lahlali, Rachid	Phytopathology & Microbiology	Prof. Artoklomardin University, Türkiye
Vera Cruz, Casiana	Plant Pathology	Asso. Prof. National School of Agriculture of Meknes (ENAM), Morocco
		Prof. International Rice Research InstituteThis link is disabled., Makati, Philippines

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad.
Address: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
P.O.BOX: 91775- 1163
Fax: +98 -0511- 8787430

E-Mail: Jpp1@um.ac.ir
Web Site: <https://jpp.um.ac.ir/>

Contents

Impact of Some Pesticides on <i>Diaeretiella rapae</i> and <i>Diadegma semiclausum</i> in Cabbage Production	229
M.A. Samih	
Fumigant Toxicity and Sublethal Effects of <i>Acroptilon repens</i> Extracts on Life Table Parameters and Population Projection of <i>Trialeurodes vaporariorum</i>, (Hemiptera: Aleyrodidae)	249
S.S. Sarboland, F. Mehrkhou, M. Fattahi, M. Forouzan	
Evaluation of Chitosan, Gamma-Aminobutyric Acid and Potassium Silicate on some Biochemical Parameters of Pistachio Tree to Induce Resistance against Pistachio Psyllid (<i>Agonoscena pistaciae</i>)	269
H. Ghasemi Nejad Rayeni, M. Pahlavan Yali, M. Bozorg-Amirkalae	
Identification, Genome Characterization and Phylogenetic Analysis of A Novel <i>Betanucleorhabdovirus</i> Infecting Sugar Beet (<i>Beta vulgaris</i>) in Iran	283
J. Abkhoo, M. Mehrvar, M. Zakiaghl	
Evaluation of the Allelopathic Potential of Plant Extracts and its Comparison with Chemical Treatments on <i>Galium aparine</i> L. and <i>Vicia villosa</i> Roth. Weeds in Chickpea Fields	293
S. Jalilian, S.A. Ghanbari, M.R. Asgharipour, A. Bagheri	
The Effect of Polyethylene Microplastic Abiotic Stress on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	317
J. Karimi, S.Arbabi	