



عنوان مقالات

- مقایسه کارایی حشره کش آفیدوپروپین با حشره کش‌های رایج در مهار شته سبز هلو
.....*Myzus persicae* Sulzer) در شرایط مزرعه‌ای ۴۳۵
هادی مصلی نژاد - زبیر سعیدی - علی جوینده
- ارزیابی شاخص‌های مهم زراعی ۱۶ ژنوتیپ گندم بهاره دیم تحت تأثیر *Haplothrips tritici* (Thysanoptera: Phlaeothripidae) در شرایط مزرعه ۴۴۷
روشنک قربانی - نرگس هینی - امیر محسنی امین - مهناز رحمتی - سید محمد حسین حیات‌الغیبی - منیر اسدزاده مقدم
- بیواکولوژی سوسک برگ‌خوار نارون (*Xanthogaleruca luteola* (Col.: Chrysomelidae)) در شهر کرمانشاه ۴۵۹
محمد رضا پایدار - عباسعلی زمانی - آرزو جمشیدی
- برهم کنش گیاه با ویروس‌ها و ویروئیدها: مروری بر نقش تنظیمی متابولیت‌های ثانویه و فیتوهورمون‌ها ۴۷۱
محدثه صادقی نیچیکوهی - زهره مرادی
- کنی‌سازی واکنش سبز شدن اکوتیپ‌های مختلف فالاریس (*Phalaris minor* Retz.) به دما ۴۹۵
قدسیه آرزوگر - افشین سلطانی - آیه سیاحمر گویی - فرشید قادری‌فر
- بررسی تأثیر کشت مخلوط کنجد (*Sesamum indicum* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) بر علف‌های هرز و روش‌های کنترل آن‌ها ۵۱۱
سارا سادات موفقی - ابراهیم ایزدی دربندی - کمال حاج محمدنیا

نشریه پژوهشی 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
۲۱/۲۰۱۵
۷۳/۱۰/۱۹

جلد ۴۰ شماره ۱ بهار ۱۴۰۵

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:	حسین صادقی نامقی
اعضای هیئت تحریریه:	ایزدی دربندی، ابراهیم اعتصامی، حسن بقائی راوری، ساره پور جم، ابراهیم 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 مهدیخانی مقدم، عصمت مهرور، محسن تاراسکو، استاکو راشد محصل، آرش درویس، سیل لهلالی، رشید ورا کروز، کاسیانا
	استاد- تغذیه نشخوارکنندگان - 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- 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 استاد- بیماری شناسی گیاهی - دانشگاه فردوسی مشهد 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

نمابر: ۰۵۱-۳۸۷۸۷۴۳۰

تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۴۶۵۴

آدرس سایت: <https://jpp.um.ac.ir>

پست الکترونیکی: jpp1@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

- ۴۳۵ مقایسه کارآیی حشره کش آفیدوپروپن با حشره کش های رایج در مهار شته سبز هلو (*Myzus persicae* Sulzer) در شرایط مزرعه ای
هادی مصلی نژاد- زریر سعیدی- علی جوینده
- ۴۴۷ ارزیابی شاخص های مهم زراعی ۱۶ ژنوتیپ گندم بهاره دیم تحت تأثیر *Haplothrips tritici* (Thysanoptera: Phlaeothripidae) در شرایط مزرعه
روشنک قربانی- نرگس عینی- امیر محسنی امین- مهناز رحمتی- سید محمد حسین حیات الغیبی- منیر اسدزاده مقدم
- ۴۵۹ بیواکولوژی سوسک برگ خوار نارون (*Xanthogaleruca luteola* (Col.: Chrysomelidae)) در شهر کرمانشاه
محمدرضا پایدار- عباسعلی زمانی- آرزو جمشیدی
- ۴۷۱ برهم کنش گیاه با ویروس ها و ویروئیدها: مروری بر نقش تنظیمی متابولیت های ثانویه و فیتوهورمون ها
محدثه صادقی نیچکوهی- زهره مرادی
- ۴۹۵ کمی سازی واکنش سبز شدن اکوتیپ های مختلف فالاریس (*Phalaris minor* Retz.) به دما
قدسیه آرزوگر- افشین سلطانی- آسیه سیاهمرگویی- فرشید قادری فر
- ۵۱۱ بررسی تأثیر کشت مخلوط کنجد (*Sesamum indicum* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) بر علف های هرز و روش های کنترل آنها
سارا سادات موذنی- ابراهیم ایزدی دربندی- کمال حاج محمدنیا

Efficacy Comparison of Afidopyropen with Commonly Used Insecticides Against the green peach aphid (*Myzus persicae* Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) Under Field Condition

H. Mosallanejad^{1*}, Z. Saeidi², A. Joyandeh³

1- Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

2- Charmahal & Bakhtiyari Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrekord, Iran

3- Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran

(*- Corresponding author's Email: hmosalla@gmail.com)

Received: 19-04-2025

Revised: 08-01-2026

Accepted: 14-01-2026

Available Online: 21-03-2026

How to cite this article:

Mosallanejad, H., Saeidi, & Z., Joyandeh, A. (2026). Efficacy comparison of Afidopyropen with commonly used insecticides against the green peach aphid (*Myzus persicae* Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) under field condition. *Iranian Plant Protection Research*, 40(1), 433-443. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/JPP.2026.93080.1227>

Introduction

The green peach aphid, *Myzus persicae* Sulzer, a cosmopolitan aphid species, is one of the most important pests in Iran and worldwide, causing considerable damages through direct plant sap feeding and transmitting many plant viruses. It is a highly polyphagous, feeding on more than 50 plant families, causing losses to agro-industrial crops (including potato, sugar beet and tobacco), horticultural crops (including plants of Brassicaceae, Solanaceae and Cucurbitaceae families) and stone fruits (peach, apricot, and cherry, among others). A number of factors, such as its distribution, host range, mechanisms of plant damage, life cycle, capacity to disperse and ability to evolve resistance to insecticides, have enhanced the status of this species as a pest. For example, the life cycle is often anholocyclic meaning that it continues the parthenogenesis throughout the year, allowing populations to increase rapidly under favorable conditions and quickly reach damaging numbers. Currently, insecticide application is the primary and most effective option for controlling *M. persicae*. Indeed, since its damage is of great economic importance in Iran, several insecticide applications are performed against this pest during the cropping season. Biological characteristics, including short generation time and high reproductive capacity, has made this pest as one of the potential pests to develop resistance to insecticides. As a consequence, resistance to many insecticides has reported throughout the world. Globally, insect has shown high to extremely high levels of resistance to a wide range of conventional insecticides. The best Strategy for postpone the resistance evolution is to rotate Insecticides with different modes of action. Indeed, alternation of new mode of action groups have the potential to reduce the intensity of selection for new resistance mechanisms. In order to register new insecticides and diversify the insecticides basket, the present study was conducted to evaluate the field efficacy of Afidopyropen (Ventigra®) (DC 10%) in comparison with malathion (EC 57%) and pirimicarb



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

<https://doi.org/10.22067/JPP.2026.93080.1227>

(WP 50%). Afidopyropen (IRAC 9D) is a novel pyropene insecticide, derived from the fungus *Aspergillus fumigatus*, that inhibits the insect vanilloid-type transient receptor potential (TRPV) channels. It provides systemic protection in plants due to its high translaminar activity. Afidopyropen interacts with chordotonal stretch receptor neurons in various sap-feeding Hemiptera, which serve as mechanosensory functions by detecting articulatory movements, and causes insect death via starvation and desiccation. Afidopyropen also displays little risk to the environment and to humans. Afidopyropen has been registered for use on a broad range of crops, such as cotton, soybeans, wheat, citrus, pome fruit, stone fruit, tree nuts, leafy and fruiting vegetables, brassica, cucurbits, tuberous and corm vegetables as well as ornamental plants in many countries, such as USA, India, China and Australia.

Materials and Methods

The field trial was conducted in a randomized complete block design with five treatments and three replications in peach orchards of three provinces of Iran, Khorasan Razavi, Charmahal & Bakhtiari and Qazvin, in 2022. To do this, at 3, 7 and 14 days after treatment, the aphid counts per branch were recorded on five shoots per tree, and efficacy was calculated using the Henderson and Tilton's formula. The treatments consisted of Afidopyropen (0.1 ml L⁻¹), Afidopyropen (0.075 ml L⁻¹), malathion (2 ml L⁻¹), pirimicarb (0.5 ml L⁻¹) and control. Afidopyropen (DC 10%) was obtained from the representative of BASF Co., Ltd., Tehran, Iran. Other insecticides were purchased from Golsam Gorgan Chemical Co.

Results and Discussion

The combined analysis of variance confirmed that interaction of treatment × place was not significant, meaning that the experimental treatments had the same responses at different locations. Therefore, the data were statistically analyzed based on this, without considering the locations. The results showed that in all days of post treatment, Afidopyropen (0.1 ml L⁻¹) had the highest efficacy (93-92%), whereas malathion showed the lowest (79-86 %). The reduced dose of Afidopyropen (0.075 ml L⁻¹), also exhibited good efficacy (%87) at all days of post treatments and there was no significant statistical difference with Afidopyropen with 0.1 ml/L field rate. Additionally, pirimicarb did not show significant statistical difference with malathion at all days of post treatments.

Conclusion

In conclusion, our results showed that Afidopyropen exhibited acceptable efficacy against *Myzus persicae*, required for registration in Iran. However, since the both Afidopyropen concentrations (0.075 and 0.1 ml L⁻¹) had the same efficiency and considering the low-input of pesticides to the environment and as the economic view, it is recommended to use the application rate of 0.075 ml L⁻¹ against this pest.

Keywords: Chemical control, Evaluation, Field trial, New compound

مقایسه کارایی حشره‌کش آفیدوپروپن با حشره‌کش‌های رایج در مهار شته سبز هلو (*Myzus persicae* Sulzer) در شرایط مزرعه‌ای

هادی مصلی نژاد^{۱*} - زریر سعیدی^۲ - علی جوینده^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۴

چکیده

شته سبز هلو با نام علمی *Myzus persicae* Sulzer از آفات مهم درختان میوه و گیاهان زراعی در ایران و جهان است که خسارت قابل توجهی را باعث می‌شود. خسارت این آفت به حدی است که چندین بار سم‌پاشی علیه آن صورت می‌گیرد. در راستای ثبت آفت‌کش‌های جدید و تنوع‌بخشی به سید حشره‌کش‌های این آفت در کشور که زمینه‌ساز اجرای مصرف تناوبی حشره‌کش‌ها به‌عنوان مهم‌ترین اقدام پیشگیرانه برای جلوگیری از مقاومت آفات است، تحقیق حاضر به‌منظور تعیین کارایی حشره‌کش جدید آفیدوپروپن ۱۰ درصد (IRAC 9D) DC در مقایسه با مالاتیون ۵۷٪ EC و پیریمیکارب ۵۰٪ WP در استان‌های قزوین (تاکستان)، چهارمحال و بختیاری (فالارد) و خراسان رضوی (ایستگاه گل‌مکان) در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. تیمارها شامل آفیدوپروپن با غلظت ۰/۱ در هزار، آفیدوپروپن با غلظت ۰/۰۷۵ در هزار، مالاتیون با غلظت ۲ در هزار، پیریمیکارب با غلظت ۰/۵ در هزار و شاهد بودند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در پنج تیمار و سه تکرار اجرا شد. نمونه‌برداری یک روز قبل از سم‌پاشی درختان هلو، و ۷ و ۱۴ روز پس از سم‌پاشی انجام شد. درصد کارایی تیمارها براساس معادله هندرسون-تیلتون محاسبه گردید. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تیمار در مکان (تیمار × مکان) معنی‌دار نبود. بنابراین داده‌ها بر این اساس و بدون در نظر گرفتن مکان‌های مورد مطالعه، تجزیه آماری شدند. نتایج این پژوهش نشان داد که در همه روزهای بعد از سم‌پاشی، آفیدوپروپن با غلظت ۰/۱ (یک دهم) در هزار بالاترین کارایی (۹۳ تا ۹۴ درصد) و مالاتیون با میانگین کارایی بین ۸۶-۷۷ درصد کمترین کارایی را داشته است. کارایی پیریمیکارب نیز با مالاتیون اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. آفیدوپروپن با غلظت کاهش‌یافته (۰/۰۷۵ در هزار) نیز در همه روزهای بعد از سم‌پاشی اگرچه کارایی کمتری نشان داد (حدود ۸۷ درصد)، اما از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با غلظت کاهش‌نیافته آفیدوپروپن نداشت. بنابراین با رویکرد ورود کمتر آفت‌کش‌ها به محیط‌زیست، قابل توصیه‌ترین آفت‌کش از بین آفت‌کش‌های مورد بررسی در این پژوهش، آفیدوپروپن بود.

واژه‌های کلیدی: آزمایش مزرعه‌ای، ارزیابی، ترکیب جدید، کنترل شیمیایی

مقدمه

براساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۲ (Anonymous, 2023)،

سطح زیرکشت هلو در سال ۱۴۰۲ در ایران بیش از ۵۷ هزار هکتار بود که از این سطح، حدود یک میلیون و دویست هزار تن محصول تولید و برداشت شده است. درختان هلو مورد حمله تعداد زیادی از آفات قرار می‌گیرند که شته سبز هلو^۴ یکی از مهم‌ترین آن‌ها است. شته سبز هلو با نام علمی *Myzus persicae* Sulzer از آفات مهم درختان میوه و گیاهان زراعی در ایران و جهان محسوب می‌شود و گونه‌ای پلی‌فاژ بوده و دامنه میزبانی بسیار وسیعی دارد، به‌طوری‌که گزارش‌ها حاکی از آن است که روی بیش از ۴۰۰ گونه گیاهی متعلق به ۴۰ تیره گیاهی می‌تواند تغذیه کند (Blackman & Eastop, 2000).

۱- مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی تهران، تهران، ایران

۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

(Email: hmosalla@gmail.com)

(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/JPP.2026.93080.1227>

4- The green peach aphid *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae)

۲۰۰۸). میزبان اول آن درختان میوه هسته‌دار و میزبان دوم آن گیاهان زراعی متعدد از تیره‌های مختلف گیاهی می‌باشد. اواخر بهار فرم‌های بالدار شته روی میزبان‌های دوم از جمله سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) مهاجرت می‌کنند که تا اوایل پاییز روی این میزبان‌ها به زادوولد می‌پردازند. این شته در تمام نواحی ایران یافت می‌شود و در نقاط با زمستان‌های ملایم و فاقد درختان هلو، سراسر زمستان را به صورت بکرزائی تولیدمثل می‌کند (Behdad, 1996). براساس گزارش‌های منتشرشده در کشورمان، این شته در سال‌های اخیر روی کلزا (*Brassica napus* L.) نیز فعالیت داشته و خسارت می‌زند (Talepour & Rashki Shivani, 2016). خسارت این آفت هم از راه تغذیه مستقیم از شیره گیاهی و هم از راه انتقال ویروس‌های گیاهی است. در اثر تغذیه از شیره گیاهی، برگ‌ها تغییر شکل داده و پیچیده می‌شوند که علاوه بر آفت عملکرد محصول، باعث می‌شود که آفت از تماس مستقیم با حشره‌کش‌ها در امان بماند. خسارت غیرمستقیم نیز از طریق انتقال ویروس‌های گیاهی رخ می‌دهد. براساس پژوهش‌های انجام‌شده، این آفت قادر به انتقال بیش از ۱۰۰ نوع ویروس گیاهی است (Van Edmen & Harrington, 2017). مهم‌ترین ویروس‌های قابل انتقال توسط این شته عبارتند از ویروس پیچیدگی برگ سیب‌زمینی (Potato leafroll virus, PLRV) و ویروس وای سیب‌زمینی (Belabess et al., 2025). از آنجایی که خسارت این آفت اهمیت اقتصادی زیادی دارد، در طول فصل با استفاده از حشره‌کش‌ها چندین بار سم‌پاشی علیه آن صورت می‌گیرد. اکسی‌دیمتون متیل ۲۵٪ EC (IRAC 1B)، مالاتیون ۵۷٪ EC (IRAC 1B)، پیریمیکارب ۵۰٪ DF/WP (IRAC 1A) و هپتئفوس ۵۰٪ EC (IRAC 1B) از جمله حشره‌کش‌هایی هستند که در ایران برای مهار این آفت در محصول هلو توسط سازمان حفظ نباتات توصیه شده‌اند (Noorbakhsh, 2025). اما یکی از مهم‌ترین چالش‌های مهار شیمیایی که منجر به کاهش یا عدم کارایی حشره‌کش‌ها می‌شود، پدیده مقاومت آفات به حشره‌کش‌ها است. ویژگی‌های زیست‌شناسی این آفت نظیر پلی‌فاژ بودن و باروری زیاد، این آفت را در زمره حشرات مستعد بروز مقاومت به حشره‌کش‌ها قرار داده، به طوری که این آفت در مقیاس جهانی، جزء پنج آفت مهم مقاوم به حشره‌کش‌ها قرار دارد (Sparks et al., 2020). نکته مهم دیگر در خصوص مقاومت این آفت به حشره‌کش‌ها، موضوع مقاومت چندگانه^۱ است یعنی آفت هم‌زمان دو یا سه سازوکار مقاومت را با هم بروز می‌دهد که باعث پیچیده شدن و سخت‌تر شدن مهار آن می‌شود (Bass et al., 2014). همان‌طور که ملاحظه می‌شود، حشره‌کش‌های توصیه‌شده علیه آفت، همگی متعلق به گروه یک (IRAC 1) (ارگانوفسفرها و کاربامات‌ها) هستند که

نحوه عمل یکسانی داشته (بازدارنده آنزیم استیل کولین استراز) و از دیدگاه مدیریت مقاومت آفات به حشره‌کش‌ها، قابلیت استفاده به صورت تناوبی را ندارند. ضمن اینکه بعضی از حشره‌کش‌های توصیه شده مثل هپتئفوس به دلیل عدم تدارک در کشور، در بازار وجود ندارند و عملاً قابل استفاده نیستند. از این رو سید حشره‌کش‌های مهارکننده این آفت بسیار محدود است. بنابراین ضروری است که حشره‌کش‌های جدید با طرز تأثیر متفاوت، در سبد حشره‌کش‌های قابل توصیه و مجاز برای مهار این آفت موجود باشد تا بتوان مصرف تناوبی حشره‌کش‌ها از گروه‌های مختلف را به صورت عملیاتی اجرا نمود که این راهبرد در پیشگیری و به تأخیر انداختن مقاومت آفات به حشره‌کش‌ها تأثیر بسزایی دارد (Sparks et al., 2021).

آفیدوپروپین (Afidopyropen) با نام تجاری ونتیگرا^۲ حشره‌کش جدیدی برای کشور ما است که در طبقه‌بندی حشره‌کش‌ها و کنه‌کش‌ها براساس محل تأثیر (IRAC)، در گروه شماره ۹ تحت عنوان ترکیبات مؤثر بر اندام کوردوتونال^۳ (تعدیل‌کننده کانال مربوطه) قرار دارد (IRAC, 2025). آفیدوپروپین با فرمولاسیون DC^۴ یعنی مایع غلیظ پخش‌شونده فرموله شده است. اندام کوردوتونال در شنیدن، تغذیه و توازن حشرات نقش دارد و نتیجه مسموم شدن حشرات با این حشره‌کش، توقف تغذیه، عدم تعادل در جهت‌یابی، عدم هماهنگی اعضا، اختلال در شنوایی و در نهایت مرگ (در اثر گرسنگی و از دست رفتن آب بدن) خواهد بود (Kandasamy et al., 2017). آفیدوپروپین در سطح جهانی، برای مدیریت آفات مکنده در محصولات مختلف کشاورزی شامل پنبه، سویا، گندم، مرکبات، درختان میوه هسته‌دار و دانه‌دار، درختان آجیلی^۵، سبزیجات برگی و میوه‌ای، انواع کلم‌ها و گیاهان زینتی در کشورهای مختلف (۲۳ کشور نظیر ایالات متحده آمریکا، برزیل، چین، ژاپن، استرالیا و هندوستان) ثبت شده و از منظر مدیریت تلفیقی آفات (IPM) توصیه شده است. در این پروژه تحقیقاتی، برای اولین بار در کشور و به منظور ثبت حشره‌کش جدید آفیدوپروپین در مقایسه با مالاتیون ۵۷٪ EC و پیریمیکارب ۵۰٪ WP میزان کارایی در سه استان کشور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق که به عنوان داده‌های اولیه و پایه‌ای در خصوص حساسیت آفت^۶ به آفیدوپروپین قلمداد می‌شود، برای مطالعات بعدی در آینده می‌تواند مورد استفاده قرار گرفته و اطلاعات کاربردی مهمی را در برنامه‌های پایش و ردیابی مقاومت آفت به حشره‌کش‌ها به محققان ارائه دهد. اهمیت چنین داده‌هایی به عنوان

2- Ventigra®

3- Chordotonal organ TRPV channel modulators

4- Dispersible concentrate

5- Tree nuts

6-Baseline Susceptibility Data

1- Multiple resistance

نتایج

تجزیه واریانس مرکب داده ها (با در نظر گرفتن عامل های تیمار و مکان) نشان داد که اثر متقابل تیمار در مکان (تیمار $\times$ مکان) معنی دار نبود. به عبارت دیگر، تیمارهای آزمایشی در مکان های مختلف، پاسخ های مشابهی را نشان دادند. بنابراین داده ها بر این اساس و بدون در نظر گرفتن مکان های مورد نظر (شهرکرد، مشهد و قزوین) تجزیه آماری شدند. مؤلفه های آماری برای اثر متقابل تیمار $\times$ مکان این تجزیه عبارتند از: سه روز ($F_{(6,18)}=0.50$; $P=0.797$)، هفت روز ($F_{(6,18)}=1.04$; $P=0.43$) و ۱۴ روز ($F_{(6,18)}=2.16$; $P=0.096$) بعد از سمپاشی می باشد.

سه روز پس از سمپاشی

تجزیه واریانس داده های مربوط به کارایی تیمارها، در سه روز بعد از سمپاشی نشان داد که بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معنی دار وجود داشت ($F_{(3,6)}=3.69$; $P=0.027$). گروه بندی میانگین درصد کارایی تیمارهای آزمایشی نشان داد که آفیدوپروپین با غلظت ۰/۱ در هزار با کارایی ۹۴/۴۴ درصد بالاترین و مالاتیون با کارایی ۸۶/۵۰ درصد کمترین کارایی را داشتند (جدول ۱).

هفت روز پس از سمپاشی

تجزیه واریانس داده های مربوط به کارایی تیمارها، در هفتمین روز بعد از سمپاشی نشان داد که بین تیمارهای مختلف در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت آماری معنی دار وجود داشت ($F_{(3,6)}=5.15$; $P=0.007$). گروه بندی میانگین درصد کارایی تیمارهای آزمایشی نشان داد که آفیدوپروپین با غلظت ۰/۱ در هزار با کارایی ۹۳/۱۸ درصد بالاترین و مالاتیون با کارایی ۸۳/۸۰ درصد کمترین کارایی را داشتند (جدول ۱).

چهارده روز پس از سمپاشی

تجزیه واریانس داده های مربوط به کارایی تیمارها، در چهاردهمین روز بعد از سمپاشی نشان داد که بین تیمارهای مختلف در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معنی دار وجود داشت ($P<0.0001$; $F_{(3,6)}=17.48$). گروه بندی میانگین درصد کارایی تیمارهای آزمایشی نشان داد که آفیدوپروپین با غلظت ۰/۱ در هزار با کارایی ۹۳/۱۳ بالاترین و مالاتیون با کارایی ۷۹/۴۲ درصد کمترین کارایی را داشتند (جدول ۱).

مهم ترین منابع اطلاعاتی که در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت در دنیا مورد تأکید محققان قرار دارد (Bavithra et al., 2024).

مواد و روش ها

این پروژه در استان های قزوین (شهرستان تاکستان)، چهارمحال و بختیاری (روستای سندگان شهرستان فلارد) و خراسان رضوی (مشهد، ایستگاه تحقیقات کشاورزی گلکان) در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در پنج تیمار و سه تکرار در بهار سال ۱۴۰۱ اجرا شد. مشخصات جغرافیایی این مکان ها عبارتند از: گلکان (۱۰° ۵۹' شرقی و ۲۹° ۳۶' شمالی)، سندگان (۶۵° ۵۲' شرقی و ۵۹° ۳۴' شمالی) و تاکستان (۶۹° ۴۹' شرقی و ۳۶° ۰۶' شمالی).

تیمارها عبارت بودند از: آفیدوپروپین (ونتیگرا®) 10% DC با غلظت ۱۰۰ سی سی در هزار لیتر آب (0.1 ml L^{-1})؛ آفیدوپروپین (ونتیگرا®) 10% DC با غلظت ۷۵ سی سی در هزار لیتر آب (0.075 ml L^{-1})؛ مالاتیون 57% EC با غلظت ۲ در هزار (2 ml L^{-1})؛ پیریمیکارب 50% WP با غلظت ۰/۵ (نیم) در هزار (0.5 ml L^{-1}) و شاهد (آب پاشی). غلظت های مالاتیون و پیریمیکارب توصیه شده رسمی سازمان حفظ نباتات کشور هستند (Noorbakhsh, 2025).

آفیدوپروپین از نمایندگی شرکت بی آ اس اف^۱ در ایران تهیه شد. مالاتیون و پیریمیکارب تولید شرکت شیمیایی گل سم گرگان بودند. سمپاشی با استفاده از سمپاش باغی زنبه ای (هیدرولیک) انجام شد. از هر درخت پنج سرشاخه (به صورت تصادفی) انتخاب شدند، هر کدام به طول ۳۰ سانتی متر از چهار جهت مختلف جغرافیایی و از آشکوب میانی درخت انتخاب شدند و پس از قرار دادن در محفظه های استوانه ای (ارتفاع ۴۰ و قطر ۱۶ سانتی متر)، تحت فرآیند کاملاً کنترل شده برای شمارش شته ها به آزمایشگاه منتقل شد. آزمایش در مشهد روی هلو رقم حاج کاظمی، در شهرکرد روی رقم زعفرانی دیررس و در قزوین روی رقم آلبرتا انجام شد. سن درختان هلو چهار تا پنج سال بود.

نمونه برداری یک روز قبل از سمپاشی و ۳، ۷ و ۱۴ روز پس از سمپاشی انجام شد. در شاهد، به جای حشره کش، از آب به تنهایی استفاده شد. فاصله بین بلوک ها دو ردیف درخت (حدود ۱۰-۱۲ متر) در نظر گرفته شد. درصد کارایی هر تیمار براساس معادله هندرسون-تیلتون تعیین گردید (Henderson & Tilton, 1955). تجزیه آماری نتایج، با استفاده از رویه ANOVA و گروه بندی میانگین درصد کارایی تیمارها با استفاده از آزمون توکی (Tukey) و به کمک نرم افزار آماری SAS انجام شد.

جدول ۱- میانگین درصد کارایی ($\pm$ اشتباه استاندارد) تیمارهای مختلف آزمایشی علیه شته سبز هلو در روزهای مختلف بعد از سم‌پاشی

Table 1- Mean percentage of efficacy ($\pm$ standard error) in different experimental treatments against the green peach aphid,

<i>Myzus persicae</i> Sulzer in different days after spraying		Days after treatment		
Treatments	Concentrations (ml L ⁻¹)	+3	+ 7	+ 14
Afidopyropen	0.075	88.90 $\pm$ 1.83 ab*	87.11 $\pm$ 1.62 ab	87.87 $\pm$ 2.1 ab
Afidopyropen	0.1	94.44 $\pm$ 1.31 a	93.18 $\pm$ 1.13 a	93.13 $\pm$ 1.26 a
Malathion	2	86.50 $\pm$ 2.60 b	83.80 $\pm$ 2.45 b	79.42 $\pm$ 1.63 c
Pirimicarb	0.5	89.65 $\pm$ 1.68 ab	86.40 $\pm$ 2.11 ab	84.72 $\pm$ 1.63 bc

* در هر ستون، حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

* Different letters in each column indicate a significant difference in the probability level of 0.05%,

بحث

(Raunser, 2023). به عقیده دانشمندان، پتانسیل زیادی برای توسعه و گسترش حشره‌کش‌هایی که نقطه هدفشان کانال اشاره شده است (TRPV) وجود دارد و از این‌رو مولکول‌های جدید دیگری از این گروه در حال کشف و ورود به بازار هستند (Spalthoff et al., 2023)؛ (Paschapur et al., 2025). آفیدوپروپین به دلیل دارا بودن خاصیت سیستمیک و همین‌طور نفوذی (translaminar)، روی آفات مکنده نظیر شته‌ها، پسیل‌ها، سفیدبالک‌ها و زنجبرک‌ها مؤثر بوده و تاکنون در دنیا با نام‌های تجاری مختلف نظیر اینسکالیس^۳، اینوریس^۴، سفینا^۵، ورسیس^۶ و ونتیگرا تولید و عرضه می‌شود (Horikoshi et al., 2023).

براساس نتایج پژوهش حاضر، آفیدوپروپین برای مهار شته سبز هلو از کارایی مؤثری برخوردار بود و بنابراین به‌طور رسمی توسط سازمان حفظ نباتات کشور، به سید حشره‌کش‌های مجاز این آفت اضافه شده است (Noorbakhsh, 2025). آفیدوپروپین با غلظت ۰/۱ (یک دهم) در هزار تا ۱۴ روز بعد از سم‌پاشی، بالاترین کارایی را به خود اختصاص داد (۹۳ تا ۹۴٪). این نتایج با نتایج محققان دیگر از جمله محققان هندی (Jayasekharan et al., 2022) مطابقت دارد که گزارش کردند، آفیدوپروپین در مزرعه تنباکو (Nicotiana rustica L.) تا ۲۰ روز علیه زیرگونه تنباکوی شته سبز هلو (Myzus persicae nicotianae Blackman) کارایی مؤثری دارد. همچنین نتایج پژوهشگران چینی (Liu et al., 2023) موید آن است که آفیدوپروپین در شرایط گلخانه و روی گیاهچه‌های کلم و فلفل تا ۱۰ روز پس از کاربرد با کمترین دز مصرف (۷۵ گرم ماده مؤثره در هکتار)، مرگ‌ومیر بیش از ۸۰ درصدی را روی شته سبز هلو داشت. همچنین براساس نتایج محققان ژاپنی (Horikoshi et al., 2022)،

سال‌ها قبل در یک مؤسسه تحقیقاتی در ژاپن به نام کیتاساتو^۱، از کلنی‌های گونه‌ای از قارچ *Aspergillus* به نام *Aspergillus fumigatus* ماده‌ای به نام پایری‌پیروپین^۲ استخراج شد (Omura et al., 1993). سپس محققان ژاپنی با بهینه‌سازی ساختاری مولکول، به ماده مؤثره آفیدوپروپین رسیدند که خاصیت حشره‌کشی داشت (Goto et al., 2019). آفیدوپروپین هم‌اکنون در طبقه‌بندی ایراک، در گروه شماره ۹ و زیرگروه 9D IRAC قرار دارد. مولکول شناخته‌شده دیگر این گروه که قبلاً در کشور ما ثبت شده، پی‌متروزین نام دارد که در همان گروه ۹ اما در زیرگروه دیگری (IRAC 9B) قرار دارد. پی‌متروزین، اولین حشره‌کش تأثیرگذار روی اندام کوردوتونال بود که در سال ۱۹۹۴ توسط شرکت سیباگایگی (سینجنتای فعلی) به بازار آمد و سپس سایر مولکول‌ها نظیر Pyrifluquinazon و آفیدوپروپین به بازار آمدند. برای شناخت بهتر چگونگی تأثیر و نحوه عمل این حشره‌کش‌ها، باید به عنوانی که ایراک برای این گروه انتخاب کرده (channel modulators Chordotonal organ TRPV) توجه کرد. حشره‌کش‌های این گروه که جزء حشره‌کش‌های عصبی تلقی می‌شوند، نقطه هدفشان اندام‌های کوردوتونال است که منحصراً در بندپایان دیده می‌شود و در فعالیت‌های مختلف حشرات نقش داشته و لذا برای ادامه حیات خود به آن بسیار وابسته هستند. این اندام‌های کششی حسی در احساس و درک حشرات از محیط بیرون، تغذیه و حرکت متوازن نقش دارد. نحوه عمل دقیق‌تر آفیدوپروپین و پی‌متروزین در سطح مولکولی به این صورت است که این حشره‌کش‌ها از طریق فعال‌سازی کانالی به نام transient receptor potential vanilloid= TRPV) که روی سلول‌های عصبی اندام‌های کوردوتونال قرار دارد، تأثیر گذاشته که در نهایت با اختلال در فعالیت‌های حیاتی حشره باعث مرگ آن خواهند شد (Raisch &

3- Inscalis®

4- Inveris®

5- Sefina®

6- Versys®

1- Kitasato

2- Pyripyropen

۲۰۲۰). دلیل آن، عدم وجود مقاومت تقاطعی بین آفیدوپروپین و پارتروئیدها است که در تحقیق یادشده ثابت شد. عدم وجود مقاومت تقاطعی بین آفیدوپروپین و پی متروزین نیز در سفید بالک پنبه/جالیز (*Bemisia tabaci* Gennadius) توسط محققان چینی گزارش شده است (Zhang et al., 2021). در تحقیق اخیر، جمعیت های سفیدبالک مقاوم به پی متروزین، به آفیدوپروپین حساس بودند. مهار مؤثر پوره های سفید بالک *B. tabaci* روی گیاه زیتنی بنتقسول (سرخ برگه) (*Euphorbia pulcherrima*) با استفاده از آفیدوپروپین نیز طی یک تحقیق گلخانه ای از آمریکا گزارش شده است (Gill & Chong, 2021). مطالعات آزمایشگاهی محققان چینی نیز حاکی از آن است که سمیت آفیدوپروپین روی پوره ها و بالغین سفید بالک بمیزیا (*B. tabaci*) بیشتر از ایمیداکلوپراید بود (Ding et al., 2024). یکی از ویژگی های دیگر آفیدوپروپین این است که در حشرات مسموم شده، بازدارندگی و توقف سریع تغذیه ایجاد می شود و در حقیقت آن ها در اثر گرسنگی و از دست رفتن آب بدن تلف می شوند (Leichter et al., 2013). ویژگی اخیر، آفیدوپروپین را برای مهار حشرات ناقل ویروس ها و باکتری های گیاهی مناسب نموده است. چون این ناقلان در مدت زمان کوتاهی قادرند که ویروس ها را از یک گیاه کسب کرده و به گیاهان دیگر منتقل کنند. در نتیجه، اگر تغذیه آفت متوقف شود، انتقال ویروس ها نیز کاهش خواهد یافت. از جمله بیماری های گیاهی ویروسی که توسط آفیدوپروپین به خوبی کنترل شده، ویروس پیچیدگی برگ سیب زمینی است (Angelella & Waters, 2023). آفیدوپروپین با توقف تغذیه، بر مهار پسپیل آسیائی مرکبات^۸ که ناقل باکتری عامل بیماری میوه سبز (گرینینگ) در مرکبات هست، نیز بسیار مؤثر گزارش شده است (Chen et al., 2018). طی پژوهش اخیر، تأثیر آفیدوپروپین روی توقف تغذیه و کاهش توانایی پسپیل در انتخاب میزبان گیاهی ثابت شد. علاوه بر آن، غلظت های زیرکشنده آفیدوپروپین باعث کاهش تخم ریزی در ماده ها و کاهش زنده ماندن پوره های پسپیل مرکبات و همچنین کاهش خروج حشرات بالغ شد. تأثیرات منفی غلظت های زیرکشنده آفیدوپروپین روی مؤلفه های تولیدمثلی شته سبز هلو (Liu et al., 2022) و شته پنبه/جالیز (*A. gossypii*) نیز گزارش شده است (Kang-Sheng et al., 2022).

از ویژگی های مثبت دیگر آفیدوپروپین، کم خطر بودن برای دشمنان طبیعی آفات است. در این خصوص گزارش شده است که آفیدوپروپین برای لاروها و حشرات بالغ کشش دوزک شته خوار *Hippodamia convergens*^۹ و همین طور حشرات بالغ سن

آفیدوپروپین در مزرعه تا ۱۵ روز علیه شته پنبه و جالیز (*Aphis gossypii* Glover) کارایی مؤثری داشت. از این پژوهش ها می توان چنین نتیجه گرفت که اثر حشره کشی آفیدوپروپین در شرایط مزرعه به مدت نسبتاً طولانی حفظ می شود. آفیدوپروپین با غلظت کاهش یافته (۰/۰۷۵ در هزار) نیز در همه روزهای بعد از سم پاشی اگرچه حدود ۸۷ درصد کارایی داشت، اما از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با غلظت یک دهم در هزار آفیدوپروپین نداشت. بنابراین با رویکرد ورود کمتر آفت کش ها به محیط زیست و همین طور به لحاظ اقتصادی، توصیه می شود که این حشره کش با غلظت ۰/۰۷۵ در هزار مصرف شود.

آفیدوپروپین، حشره کش نسبتاً جدیدی برای دنیا است که به طور انتخابی برای بسیاری از آفات مکنده از جمله شته ها در محصولات مختلف کشاورزی ثبت و توصیه شده است. محققان آمریکایی در یک پژوهش آزمایشگاهی (از طریق زیست سنجی)، سمیت قوی این حشره کش را روی شته نخود فرنگی با نام علمی *Acyrtosiphon pisum* Harris^۱ گزارش کردند (Leichter et al., 2013). در تحقیق اخیر، LC50 های آفیدوپروپین و ایمیداکلوپراید نسبت به هم اختلاف معنی داری نداشتند و لذا سمیت آن ها برابر قلمداد شد. اما سمیت آفیدوپروپین ۷۵ بار بیشتر از پی متروزین، ۵۴ بار بیشتر از دلتامترین، ۴۳ بار بیشتر از فلونیکامید و ۵ بار بیشتر از پیریمیکارب علیه شته ذکر شده، محاسبه شد. این محققان همچنین عدم کارایی آفیدوپروپین را روی سوسری آلمانی^۲ و آمریکائی^۳، مگس خانگی^۴، سوسک قرمز آرد، سوسک کلرادو^۵، مگس سرکه^۶ و پشه آندس^۷ ثابت کردند. در تحقیق دیگری (Shi et al., 2022) که با جمع آوری ۲۵ جمعیت از شته پنبه (جالیز) (*A. gossypii*) از مناطق مختلف چین طی سال های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ (از میزبان هایی نظیر پنبه، خیار، خربزه، هندوانه و کدو) به منظور ارزیابی حساسیت آن ها به آفیدوپروپین انجام گرفت، ثابت شد که این حشره کش در همه جمعیت ها از کارایی مؤثری برخوردار بود. در برخی ایالت های آمریکا (midwestern U.S.) که شته سویا (*Aphis glycines*) مهم ترین آفت سویا است، آفیدوپروپین کارایی آزمایشگاهی قابل توجهی در برابر جمعیت های مقاوم این آفت به پارتروئیدها از خود نشان داد و لذا به گزینه مناسبی برای مهار آن جمعیت ها تبدیل شد (da Silva Queiroz et al., 2022).

- 1- Pea aphid
- 2- The German cockroach, *Blattella germanica*
- 3- The American cockroaches, *Periplaneta americana*
- 4- The house fly, *Musca domestica*
- 5- The Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*
- 6- The fruit fly, *Drosophila melanogaster*
- 7- *Aedes aegypti*

8- *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae)

9- Coleoptera: Coccinellidae

شکارگر *Orius insidiosus*^۱ سمیتی ندارد. درحالی که فقط سمیت متوسطی روی زنبور پارازیتوئید *Aphelinus certus*^۲ دارد (Koch et al., 2020). در تحقیقات دیگر نیز محققان چینی به سازگار بودن آفیدوپروپین با گونه دیگری از کفشدوزک شته‌خوار اشاره شده به نام *Hippodamia variegata* در شرایط مزارع پنبه و همین‌طور شرایط آزمایشگاهی اشاره داشته‌اند (Bing-Mei et al., 2023).

برای مشخص شدن علت سمیت انتخابی آفیدوپروپین روی حشرات مکنده (مثل شته سبز هلو) در مقایسه با کفشدوزک هفت نقطه‌ای^۳ به عنوان یکی از دشمنان طبیعی، بررسی دقیقی در سطح مولکولی انجام شده است (Liu et al., 2024). براساس نتایج تحقیق اخیر ثابت شده است که انتخابی بودن آفیدوپروپین برای حشرات مکنده ناشی از تفاوت در ساختار پروتئینی نقطه هدف گیرنده اختصاصی (TRPV) در حشرات مکنده با کفشدوزک ذکر شده می‌باشد (Liu et al., 2024). این تفاوت باعث می‌شود که میل ترکیبی آفیدوپروپین برای برقراری پیوند با گیرنده اختصاصی در شته سبز هلو بسیار بیشتر از اتصال آن به گیرنده سایر حشرات باشد. کنه شکارگر *Amblyseius swirskii*، یکی از رایج‌ترین عوامل کنترل زیستی سفیدبالک‌ها است که به‌طور گسترده در گلخانه‌های جهان به‌صورت تجاری استفاده می‌شود. در تحقیقی که در خصوص مدیریت تلفیقی سفیدبالک بزمیا (در گلخانه) از طریق تلفیق مهار شیمیایی با آفیدوپروپین و مهار زیستی با کنه شکارگر مذکور انجام شد، ثابت گردید که آفیدوپروپین برای این کنه شکارگر ایمن است (Kumar et al., 2018). در جدیدترین تحقیقی که در مزارع پنبه آریزونا آمریکا انجام شد (Bordini et al., 2025)، آفیدوپروپین برای جوامع دشمنان طبیعی در مزارع یادشده نظیر گونه‌های مختلف اوریوس (*Orius spp.*) و جئوکوریس (*Geocoris spp.*) کاملاً ایمن گزارش شده است.

نیمه‌عمر آفیدوپروپین در خیار و شلیل (*Prunus persica* Var nectarine) در چین آزمایش شده است. براساس نتایج به‌دست آمده، نیمه‌عمر آفیدوپروپین با فرمولاسیون ۷.۴٪ DC و دز مصرف ۷۵ گرم ماده مؤثره در هکتار (معادل ۱/۵ برابر حداکثر دز توصیه‌شده) در خیار بین ۰.۳ تا ۱/۷۹ روز و در هلو بین ۱/۸۹ تا ۲/۲۸ روز محاسبه شد (Xie et al., 2019). امروزه ارزیابی خطر باقی‌مانده آفت‌کش‌ها در اثر مصرف خوراکی محصولات کشاورزی، برای سلامت انسان به یکی از آزمایش‌های مهم برای تضمین کم‌خطر بودن آفت‌کش‌ها

تبدیل شده است. در پژوهش اخیر نتایج مطالعات ارزیابی خطر نشان داد که باقی‌مانده آفیدوپروپین و متابولیت آن در دو محصول خیار و شلیل بسیار پایین بوده و با مصرف انسان از آن‌ها، نگرانی خاصی به وجود نخواهد آمد که مؤید کم‌خطر بودن آفیدوپروپین برای انسان است. همچنین نیمه‌عمر ماده تکنیکال آفیدوپروپین (۹۷/۳٪ خلوص) با کاربرد سه دز مختلف توصیه‌شده شامل ۷/۵، ۹/۸ و ۱۲ گرم ماده مؤثره در هکتار (معادل کمترین، متوسط و بیشترین دز توصیه‌شده) روی گیاهچه‌های کلم در شرایط گلخانه از ۱/۴۵ تا ۲/۳۴ روز و روی فلفل از ۳/۹۸ تا ۵/۹۸ روز محاسبه شده است (Liu et al., 2023).

اگرچه مدت زمان زیادی نیست که آفیدوپروپین به بازار جهانی آفت‌کش‌ها راه پیدا کرده است، اما گزارش‌های جهانی حاکی از امکان مقاوم شدن آفات به این حشره‌کش و در نتیجه کاهش کارایی میدانی آن است. براساس تحقیق وانگ و همکاران (Wang et al., 2022) که در آن ۱۸ جمعیت سفیدبالک پنبه/جالیز (*B. tabaci*) از مناطق مختلف چین جمع‌آوری و پایش شد، یک جمعیت با نرخ مقاومت ۴۰ به آفیدوپروپین یافت شد. از کشور چین، مقاومت به آفیدوپروپین در شته پنبه (*A. gossypii*) با نرخ مقاومتی حداکثر ۳۳ در سال ۲۰۲۰ و حداکثر تا ۹۵ در سال ۲۰۲۱ گزارش شده است (Li et al., 2022). لازم به ذکر است که آفیدوپروپین در سال ۲۰۱۹ در چین به ثبت رسیده است. مقاومت به آفیدوپروپین در سفید بالک پنبه (*B. tabaci*) از هندوستان در چهار جمعیت با نرخ مقاومتی بین ۱۹ تا ۳۵ (Mahalanobish et al., 2022) و از ایالت فلوریدای آمریکا در دو جمعیت با نرخ مقاومتی بین ۳۸ تا ۵۱ (Dimase et al., 2024) گزارش شده است. لازم به ذکر است که محققان استرالیایی با انجام سلکسیون (انتخاب) آزمایشگاهی با هدف ایجاد جمعیت مقاوم شته سبز هلو به آفیدوپروپین گزارش کردند که پس از ۳۰ نسل، مقاومتی در این شته مشاهده نشد (Kirkland et al., 2024).

در این تحقیق، در بین همه حشره‌کش‌ها مالاتیون، کمترین کارایی را از خود نشان داد. مالاتیون (IRAC 1B) از گروه فسفرها است که ۵۶ سال قبل در ایران ثبت شده است (سال ۱۳۴۷). بنابراین سابقه مصرف آن در کشور نسبتاً زیاد است. در نتیجه، کاهش کارایی آن به‌مرور زمان در اثر پدیده مقاومت، دور از انتظار نیست. کارایی کم مالاتیون روی شته سبز هلو توسط سایر محققان دنیا نیز گزارش شده است. براساس تحقیقی در هندوستان، برای تعیین سمیت حشره‌کش‌های مالاتیون، ایمیداکلوپراید (IRAC 4)، استامی‌پراید (IRAC 4)، تیمتوکسام (IRAC 4)، فیپرونیل (IRAC 2) و لامبداسیپه‌الوترین (IRAC 3) روی شته سبز هلو، مالاتیون کمترین سمیت را از خود نشان داد (Gavkare et al., 2013). سمیت نسبی تیمتوکسام، ایمیداکلوپراید، لامبداسیپه‌الوترین، فیپرونیل و استامی‌پراید نسبت به مالاتیون به ترتیب ۸۸، ۸۰، ۲۳، ۲۲ و ۲۱ بار بیشتر محاسبه

- 1- Hemiptera: Heteroptera
- 2- Hymenoptera: Encyrtidae
- 3- The seven-spotted lady beetle, *Coccinella septempunctata* Linnaeus (Coleoptera: Coccinellidae)

توجه به جدید بودن این حشره کش برای کشورمان، در پژوهش های آینده میزان باقی مانده آن روی محصولات کشاورزی و تأثیر آن روی دشمنان طبیعی موجود در زیست بوم های کشاورزی مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه گیری

در مجموع، نتایج این تحقیق نشان داد که آفیدوپایروپن برای مهار شته سبز هلو از کارایی مطلوبی برخوردار بود و پیشنهاد می شود که با

References

- Anonymous. (2023). Agricultural Statistical Yearbook, (Volume 3, Greenhouse and Horticultural Crops) Center for Statistics, Information and Communication Technology. Ministry of Agriculture of Iran. (In Persian)
- Angelella, G. M., & Waters, T. D. (2023). Afidopyropen as a potential tool for potato leafroll virus management in post-neonicotinoid potato production. *Journal of Economic Entomology*, 116(3), 713-718. <https://doi.org/10.1093/jee/toad042>
- Bass, C., Puinean, A. M., Zimmer, C. T., Denholm, I., Field, L. M., Foster, S. P., & Williamson, M. S. (2014). The evolution of insecticide resistance in the peach potato aphid, *Myzus persicae*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 51, 41-51. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2014.05.003>
- Bavithra, C. M. M. L., Murugan, M., Balasubramani, V., Harish, S., & Prakash, K. (2024). Baseline susceptibility of an A1 quarantine pest-the South American tomato pinworm *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) to insecticides: past incidents and future probabilities in line to implementing successful pest management. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1404250. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1404250>
- Behdad, E. (1996) Encyclopedia of Iranian Plant Protection, Plant Pests, Diseases and Weeds. Yadbod Press. Isfahan, Iran. (In Persian)
- Belabess, Z., Tahiri, A., & Lahlali, R. (2025). From symptoms to solutions: A deep dive into potato leaf roll virus pathology. *Journal of Crop Health*, 77(1), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10343-024-01096-3>
- Bing-Mei, S. O. N. G., Yan, J. I. A. N. G., Xin, C. H. E. N., Wan-Nan, C. H. E. N. G., Yu, Z. H. A. N. G., & Hong-Sheng, P. A. N. (2023). Effectiveness of different pesticides on *Aphis gossypii* and a safety evaluation of *Hippodamia variegata*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(5). <https://doi.org/10.7679/j.issn.2095-1353.2023.147>
- Blackman, R. L., & Eastop, V. F. (2008). Aphids on the World's Herbaceous Plants and Shrubs, 2 Volume Set. John Wiley & Sons.
- Bordini, I., Naranjo, S. E., Fournier, A., & Ellsworth, P. C. (2025). Determining selectivity of isocycloseram and afidopyropen and their compatibility with conservation biological control in Arizona cotton. *Pest Management Science*, 81(2), 639-653. <https://doi.org/10.1002/ps.8460>
- Chen, X. D., Ashfaq, M., & Stelinski, L. L. (2018). Susceptibility of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae), to the insecticide afidopyropen: A new and potent modulator of insect transient receptor potential channels. *Applied Entomology and Zoology*, 53(4), 453-461. <https://doi.org/10.1007/s13355-018-0574-8>
- da Silva Queiroz, O., Nyoike, T. W., & Koch, R. L. (2020). Baseline susceptibility to afidopyropen of soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) from the north central United States. *Crop Protection*, 129, 105020. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105020>
- Dimase, M., Rossitto De Marchi, B., Barreto da Silva, F., Lahiri, S., Beuzelin, J., Hutton, S., & Smith, H. A. (2024). Monitoring the susceptibility of *Bemisia tabaci* Middle East-Asia Minor 1 (Hemiptera: Aleyrodidae) to afidopyropen, cyantraniliprole, dinotefuran, and flupyradifurone in south Florida vegetable fields. *Journal of Economic Entomology*, 117(4), 1606-1615. <https://doi.org/10.1093/jee/toae104>
- Ding, W., Xu, T., Zhu, G., Chu, P., Liu, S., & Xue, M. (2024). Lethal and sublethal effects of afidopyropen and flonicamid on life parameters and physiological responses of the tobacco whitefly, *Bemisia tabaci* MEAM1. *Agronomy*, 14(8), 1774. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081774>
- Gavkare, O. M. K. A. R., Kumar, S., Sharma, N. I. K. H. I. L., & Sharma, P. L. (2013). Evaluation of some novel insecticides against *Myzus persicae* (Sulzer). *The Bioscan*, 8(3), 1119-1121.
- Gill, G. S., & Chong, J. H. (2021). Efficacy of selected insecticides as replacement for neonicotinoids in managing sweetpotato whitefly on poinsettia. *HortTechnology*, 31(6), 745-752. <https://doi.org/10.21273/horttech04853-21>
- Goto, K., Horikoshi, R., Mitomi, M., Oyama, K., Hirose, T., Sunazuka, T., & Ōmura, S. (2019). Synthesis and insecticidal efficacy of pyripyropene derivatives. Part II—Invention of afidopyropen. *The Journal of Antibiotics*, 72(9), 661-681. <https://doi.org/10.1038/s41429-019-0193-9>
- Horikoshi, R., Goto, K., Mitomi, M., Sunazuka, T., & Ōmura, S. (2025). Research and development of an insecticide, afidopyropen. *Journal of Pesticide Science*, 50(1), 14. <https://doi.org/10.1584/jpestics.j25-01>
- Horikoshi, R., Goto, K., Mitomi, M., Oyama, K., Hirose, T., Sunazuka, T., & Ōmura, S. (2022). Afidopyropen, a novel insecticide originating from microbial secondary extracts. *Scientific Reports*, 12(1), 1-10.

<https://doi.org/10.1038/s41598-022-06729-z>

IRAC. (2025). Insecticide Resistance Action Committee. <https://www.irac-online.org>. Mode of Action Classification Scheme, Version 11.3, January 2025.

Jayasekharan, B. S., Sreedhar, U., Venkateswarlu, V., & Naik, S. B. (2022). Efficacy of afidopyropen against tobacco aphid, *Myzus persicae nicotianae* (Blackman) and impact on natural enemies in tobacco. *Tobacco Research*, 48(1), 51-54. <https://doi.org/10.1079/cabicompndium.35639>

Kandasamy, R., London, D., Stam, L., von Deyn, W., Zhao, X., Salgado, V. L., & Nesterov, A. (2017). Afidopyropen: New and potent modulator of insect transient receptor potential channels. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 84, 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2017.03.005>

Kang-Sheng, M. A., Tang, Q. L., Liang, P. Z., Li, J. H., & Gao, X. W. (2022). A sublethal concentration of afidopyropen suppresses the population growth of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Integrative Agriculture*, 21(7), 2055-2064. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(21\)63714-0](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(21)63714-0)

Kirkland, L. S., Babineau, M., Ward, S. E., Van Rooyen, A. R., Chirgwin, E., Mata, L., & Umina, P. A. (2024). Assessing the risk of resistance to flonicamid and afidopyropen in green peach aphid (Hemiptera: Myzus persicae) via in-vivo selection. *Crop Protection*, 184, 106783. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106783>

Koch, R. L., da Silva Queiroz, O., Aita, R. C., Hodgson, E. W., Potter, B. D., Nyoike, T., & Ellers-Kirk, C. D. (2020). Efficacy of afidopyropen against soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) and toxicity to natural enemies. *Pest Management Science*, 76(1), 375-383. <https://doi.org/10.1002/ps.5525>

Kumar, V., McKenzie, C. L., & Osborne, L. S. (2018). Effect of foliar application of afidopyropen on *Bemisia tabaci* and *Amblyseius swirskii*, 2018. *Arthropod Management Tests*, 43(1), tsy071. <https://doi.org/10.1093/amt/tsx054>

Leichter, C. A., Thompson, N., Johnson, B. R., & Scott, J. G. (2013). The high potency of ME-5343 to aphids is due to a unique mechanism of action. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 107(2), 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.06.009>

Li, R., Cheng, S., Liang, P., Chen, Z., Zhang, Y., Liang, P., & Gao, X. (2022). Status of the resistance of *Aphis gossypii* Glover, (Hemiptera: Aphididae) to afidopyropen originating from microbial secondary metabolites in China. *Toxins*, 14(11), 750. <https://doi.org/10.3390/toxins14110750>

Liu, X., Fu, Z., Zhu, Y., Gao, X., Liu, T. X., & Liang, P. (2022). Sublethal and transgenerational effects of afidopyropen on biological traits of the green peach aphid *Myzus persicae* (Sluzer). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 180, 104981. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104981>

Liu, X., Ban, N., Fu, Z., Gao, X., Liu, T. X., & Liang, P. (2023). Persistent toxicity and dissipation dynamics of afidopyropen against the green peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer) in cabbage and chili. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 252, 114584. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114584>

Liu, X., Wang, Q., Liu, X., Xiao, D., Liu, T. X., & Liang, P. (2024). Molecular mechanisms for selective action of afidopyropen to *Myzus persicae* and *Coccinella septempunctata*. *Pest Management Science*, 80(8), 3893-3900. <https://doi.org/10.1002/ps.8092>

Mahalanobish, D., Dutta, S., Roy, D., Biswas, A., Sarkar, S., Mondal, D., & Sarkar, P. K. (2022). Field-evolved resistance and mechanisms in *Bemisia tabaci* Asia I to a novel pyropene insecticide, afidopyropen, in India. *Crop Protection*, 162, 106078. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.106078>

Noorbakhsh, S. (editor), (2025) List of Important Pests, Diseases and Weeds of Major Agricultural Crops, Pesticides and Recommended Methods to Control Them. Iranian Plant Protection Organization Publication. Tehran, Iran. 224 pp. (In Persian)

Paschapur, A. U., Manoj, M. S., Pavan, J. S., & Subramanian, S. (2025). Exploiting TRP channel diversity in insects: A pathway to next-generation pest management. *Archives of Toxicology*, 99(6), 2277-2297. <https://doi.org/10.1007/s00204-025-04012-4>

Peck, S. L., & McQuate, G. T. (2000). Field tests of environmentally friendly malathion replacements to suppress wild Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) populations. *Journal of Economic Entomology*, 93(2), 280-289. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.2.280>

Raisch, T., & Raunser, S. (2023). The modes of action of ion-channel-targeting neurotoxic insecticides: Lessons from structural biology. *Nature Structural & Molecular Biology*, 30(10), 1411-1427. <https://doi.org/10.1038/s41594-023-01113-5>

Sparks, T. C., Storer, N., Porter, A., Slater, R., & Nauen, R. (2021). Insecticide resistance management and industry: The origins and evolution of the Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) and the mode of action classification scheme. *Pest Management Science*, 77(6), 2609-2619. <https://doi.org/10.1002/ps.6254>

Sparks, T. C., Crossthwaite, A. J., Nauen, R., Banba, S., Cordova, D., Earley, F., & Wessels, F. J. (2020). Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC's mode of action classification-a tool for resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 167, 104587.

Talepour, F., & Rashki Shivani, A. (2016). Survey of interaction among entomopathogen fungus, *Metarhizium anisopliae*, the aphid, *Myzus persicae* and its host plant canola. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 5(1), 209-216.

- Ōmura, S., Tomoda, H., Kim, Y. K., & Nishida, H. (1993). Pyripyropenes, highly potent inhibitors of acyl-CoA: Cholesterol acyltransferase produced by *Aspergillus fumigatus*. *The Journal of Antibiotics*, 46, 1168-1169. <https://doi.org/10.7164/antibiotics.46.1168>
- Panini, M., Dradi, D., Marani, G., Butturini, A., & Mazzoni, E. (2013). Detecting the presence of target-site resistance to neonicotinoids and pyrethroids in Italian populations of *Myzus persicae*. *Pest Management Science*, 70, 931e938. <https://doi.org/10.1002/ps.3630>
- Puinean, A. M., Foster, S. P., Oliphant, L., Denholm, I., Field, L. M., Millar, N. S., & Bass, C. (2010). Amplification of a cytochrome P450 gene is associated with resistance to neonicotinoid insecticides in the aphid *Myzus persicae*. *Plos Genetics*, 6(6), e1000999. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1000999>
- Shi, D., Liang, P., Zhang, L., Lv, H., Gao, X., You, H., & Ma, K. (2022). Susceptibility baseline of *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) to the novel insecticide afidopyropen in China. *Crop Protection*, 151, 105834. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105834>
- Spalthoff, C., Salgado, V. L., Balu, N., David, M. D., Hehlert, P., Huang, H., & Göpfert, M. C. (2023). The novel pyridazine pyrazolecarboxamide insecticide dimpropyridaz inhibits chordotonal organ function upstream of TRPV channels. *Pest Management Science*, 79(5), 1635-1649. <https://doi.org/10.1002/ps.7352>
- Van Edmen, H. F., & Harrington, R., (2017). *Aphids on the World's Crops, an Identification and Information Guide*, second ed. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK, 716 pp.
- Wang, R., Gao, B., Che, W., Qu, C., Zhou, X., & Luo, C. (2022). First report of field resistance to Afidopyropen, the novel Pyropene insecticide, on *Bemisia tabaci* Mediterranean (Q Biotpe) from China. *Agronomy*, 12(3), 724. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030724>
- Xie, J., Zheng, Y., Liu, X., Dong, F., Xu, J., Wu, X., & Zheng, Y. (2019). Human health safety studies of a new insecticide: Dissipation kinetics and dietary risk assessment of afidopyropen and one of its metabolites in cucumber and nectarine. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 103, 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2019.01.025>
- Zhang, Z., Shi, H., Xu, W., Liu, J., Geng, Z., Chu, D., & Guo, L. (2021). Pymetrozine-resistant whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) populations in China remain susceptible to afidopyropen. *Crop Protection*, 149, 105757. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105757>

Evaluation of Important Agronomic Indices of 16 Spring Dryland Wheat Genotypes under the Influence of *Haplothrips tritici* (Kurdjumov) in Field Conditions

R. Ghorbani^{1*}, N. Eini¹, A. Mohseni Amin², M. Rahmati³, S. M. H. Hayatolghybi¹, M. Asadzade Moghadam¹

1- Plant Protection Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran

2- Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- Agricultural Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran

(*- Corresponding author's Email: r-Ghorbani@areeo.ac.ir)

How to cite this article:

Ghorbani, R., Eini, N., Mohseni Amin, A., Rahmati, M., Hayatolghybi, S. M. H., & Asadzade Moghadam, M. (2026). Evaluation of important agronomic indices of 16 spring dryland wheat genotypes under the influence of *Haplothrips tritici* (Kurdjumov) in field conditions. *Iranian Plant Protection Research*, 40(1), 445-456. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/JPP.2026.94210.1238>

Received: 02-07-2025

Revised: 29-12-2025

Accepted: 07-02-2026

Available Online: 21-03-2026

Introduction

The wheat thrips, *Haplothrips tritici* (Kurdjumov) (Thysanoptera: Phlaeothripidae), is one of the most common and damaging pests of winter and spring wheat, causing significant yield losses by feeding on leaves and grains. This insect has a slender body, measuring approximately 1 to 1.5 mm in length, with a yellowish-brown coloration. It typically inhabits the lower parts of the wheat stem. Both adults and nymphs feed by sucking sap from the young tissues of the wheat plant. The life cycle of the wheat thrips is usually 2 to 3 weeks, and under favorable conditions, its population can increase rapidly.

Materials and Methods

This study was conducted to evaluate the effect of wheat thrips on important agronomic traits of 16 spring bread wheat genotypes suitable for warm-temperate regions in Khorramabad, Lorestan Province, Iran. The field experiment was carried out at the Sarabe Changai Research Station during the 2018 and 2019 growing seasons using a randomized complete block design (RCBD) with three replications in 2018 and four replications in 2019. Thrips population density (nymphs and adults) was monitored at 10-day intervals by randomly collecting five spikes from each plot and transferring them to the laboratory for counting. At harvest, agronomic indices including grain yield (kg ha⁻¹), 1000-grain weight (g), spike length (cm), awn length (cm), number of grains per spike, grain weight per spike (g), number of spikelets per spike, and plant height (cm) were measured for each genotype. Analysis of variance (ANOVA) and mean comparisons (Tukey's HSD test, $P \leq 0.05$) were performed



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

<https://doi.org/10.22067/JPP.2026.94210.1238>

using SAS 9.1.

Results and Discussion

The results showed significant differences among genotypes in thrips population density and yield performance. In 2018, genotypes 10, 13, 15, 16, and 5 had the highest thrips densities, while genotype 9 had the lowest. Genotype 5 exhibited the lowest grain yield ($2883.5 \text{ kg ha}^{-1}$) and shortest spike length (8.9 cm), identifying it as the most susceptible. In contrast, genotype 15 (KACHU), despite having a high thrips population (the highest in both years), showed the highest grain yield ($4364.0 \text{ kg ha}^{-1}$), longest spike length (10.3 cm), and high spike number, indicating strong tolerance to wheat thrips. In 2019, due to increased rainfall and lower average temperatures, thrips populations decreased significantly compared to 2018. Genotype 3 had the highest grain yield ($1472.5 \text{ kg ha}^{-1}$) and thousand-grain weight (40.0 g) in 2019, while genotype 4 had the lowest yield ($1028.8 \text{ kg ha}^{-1}$). Notably, genotypes 10 and 15 consistently hosted the highest thrips densities across both years while maintaining relatively high yields, suggesting inherent resistance or tolerance to *H. tritici*. The two-year combined ANOVA revealed significant effects of year, genotype, and their interaction on most agronomic traits except plant height and thousand-grain weight. Morphological traits, particularly spike length and awn length, appear to influence thrips attraction; genotype 15, with the longest spikes and awns, consistently supported high thrips populations yet remained high-yielding.

Conclusions

In conclusion, although wheat thrips is not currently considered a major pest, climate change and global warming may elevate its economic importance. Therefore, the use of tolerant genotypes such as KACHU (genotype 15) is recommended as an effective, environmentally friendly component of integrated pest management (IPM) strategies for wheat production in warm-temperate regions of Iran.

Keywords: Host plant resistance, IPM, *Haplothrips tritici*, Spring wheat, Wheat cultivars, Wheat thrips

ارزیابی شاخص‌های مهم زراعی ۱۶ ژنوتیپ گندم بهاره دیم تحت تأثیر *Haplothrips tritici* (Thysanoptera: Phlaeothripidae) در شرایط مزرعه

روشنک قربانی^{۱*} - نرگس عینی^۱ - امیر محسنی امین^۲ - مهناز رحمتی^۳ - سید محمد حسین حیات الغیبی^۱ - منیر اسدزاده مقدم^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۸

چکیده

تریپس گندم، با نام علمی *Haplothrips tritici*، یکی از رایج‌ترین و خطرناک‌ترین آفات گندم زمستانه و بهاره است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر این آفت بر شاخص‌های زراعی ۱۶ ژنوتیپ گندم نان بهاره (مناسب برای کشت در مناطق معتدل و گرم) در شهرستان خرم‌آباد اجرا گردید. مطالعه در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اجرا گردید و آزمایش به‌صورت طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ و چهار تکرار در سال ۱۳۹۸ در شرایط مزرعه‌ای انجام شد. برای پایش جمعیت تریپس، هر ۱۰ روز یک بار، از هر کرت آزمایشی پنج سنبله به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری شد و نمونه‌ها برای تحلیل به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه، شمارش دقیق پوره‌ها و حشرات بالغ تریپس روی هر سنبله انجام گرفت تا تراکم جمعیت آفت در هر ژنوتیپ مشخص شود. در زمان برداشت، شاخص‌های عملکردی مختلفی از جمله عملکرد دانه، طول سنبله، تعداد سنبله‌چه در هر سنبله، وزن هزار دانه و طول ریشک اندازه‌گیری گردید. این شاخص‌ها به‌عنوان معیارهای اصلی برای ارزیابی مقاومت ژنوتیپ‌ها در برابر آفت و عملکرد کلی آن‌ها در نظر گرفته شدند. نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در برخی صفات تفاوت‌های معنی داری وجود داشت. به‌عنوان مثال، ژنوتیپ ۱۵ (KACHU) در هر دو سال زراعی، علی‌رغم تراکم بالای آفت، عملکرد مطلوبی از خود نشان داد. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده مقاومت نسبی این ژنوتیپ در برابر تریپس گندم باشد. همچنین در سال دوم به‌دلیل افزایش بارندگی، جمعیت آفت به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. این کاهش احتمالاً به‌دلیل تأثیر بارندگی بر چرخه زندگی آفت یا افزایش مقاومت طبیعی گیاه در شرایط مرطوب‌تر بوده است. ژنوتیپ KACHU با دارا بودن صفات فتوسنتزی پایدار و مقاومت نسبی در برابر تریپس گندم، می‌تواند به‌عنوان یک منبع ارزشمند در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات معرفی شود. استفاده از چنین ژنوتیپ‌هایی در مناطق معتدل و گرم می‌تواند به کاهش خسارت ناشی از آفت و افزایش عملکرد گندم کمک کند. در نهایت، این پژوهش گامی مهم در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و مقاومت در برابر آفات در مناطق معتدل و گرم ایران به شمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی: ارقام گندم، تریپس گندم، گندم بهاره، مقاومت گیاه میزبان، IPM

مقدمه

جمعیت جهان شناخته می‌شود. این گیاه به خانواده گندمیان Poaceae تعلق دارد و انواع مختلفی از آن وجود دارد که شامل گندم نرم، گندم سخت و گندم دوروم می‌باشد (Shewry, 2009). عملکرد گندم تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله شرایط آب‌وهوایی (Lobell et al., 2011)، خاک و شرایط آن (Bationo et al., 2018)، مدیریت زراعی (Slafer et al., 2023) و آفات و بیماری‌ها است (Pimentel, 2005). در بین عوامل زیستی، حشرات گیاه‌خوار با آسیب به سطح فتوسنتزی و اندام‌های مولد گیاه موجب کاهش عملکرد می‌شوند (Kozulina et al., 2019). تغییرات اقلیمی و افزایش دمای زمین نیز از طریق افزایش متابولیسم و بقاء آفات در دوره‌های زمستان‌گذرانی، به افزایش جمعیت آن‌ها و در نتیجه خسارت بیشتر منجر می‌گردد (Deutsch et al., 2018). در این میان، تریپس

گندم (*Triticum* spp.) یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در جهان است و به‌عنوان منبع اصلی غذایی برای بیش از نیمی از

۱- بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

۲- مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- بخش تحقیقات علوم زراعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

(*) نویسنده مسئول: r-Ghorbani@areeo.ac.ir (Email:)

<https://doi.org/10.22067/JPP.2026.94210.1238>

مقاومت گیاه میزبان که مستلزم حساسیت متفاوت به حمله حشرات گیاه‌خوار است، ابزار خوبی برای کاهش استفاده از حشره‌کش‌ها و یک روش ساده و راحت برای مهار آفات بدون هیچ هزینه اضافی می‌باشد (Dent, 2000). مقاومت گیاهان به آفات شامل سه سازوکار اصلی است؛ آنتی‌بیوز (ویژگی‌های گیاه که باعث مرگ یا کاهش رشد و نمو آفت می‌شود)، آنتی‌زنوز (ویژگی‌هایی که باعث کاهش جذابیت گیاه برای تخم‌گذاری یا تغذیه آفت می‌شود) و تحمل (توانایی گیاه در تحمل خسارت آفت بدون کاهش قابل توجه عملکرد است (Nouri et al., 2008; Ghanbalani et al., 1995; Reji et al., 2008)). تولید ارقام مقاوم به حشرات مستلزم آن است که منابع مقاومت ابتدا شناسایی و تأیید شوند، سپس این منابع به‌نحو مؤثری در ارقام جدید با پتانسیل عملکرد بالا ادغام گردند (DePauw et al., 2010).

محققان مختلفی، مقاومت ارقام گندم نسبت به تریپس گندم را بررسی کرده‌اند (Azmayesh Krasilovets & Rabinoich, 1979)؛ بنابراین گزارش (Fard & Faridi, 1991; Bagheri & Afuni, 2010). کراسیلووست و رابینوئچ (Krasilovets & Rabinoich, 1979)، ارقام دیررس گندم دو تا چهار برابر بیشتر از ارقام زودرس آلوده شدند. این دانشمندان رابطه معنی‌داری بین فشردگی سنبله‌ها و میزان خسارت تریپس گندم یافتند. ارقامی که دارای سنبله‌هایی با ساختمان فشرده بودند و فضای کمی بین اجزای آن‌ها وجود داشت نسبت به ارقام با فضای باز، خسارت کمتری دیدند. درحالی‌که در بررسی‌های دیگری دیده شد که میزان آلودگی در ارقام و هیبریدهای گندم به خصوصیات ریخت‌شناختی سنبله و ریشک بستگی نداشت (Krasilovets, 1980). در بررسی مقاومت ۱۵ رقم و لاین گندم شامل مهدوی، قدس، روشن، مرودشت، برکت، الوند، امید، شتردندان، شیراز، پشتاز، سپاهان و لاین‌های پیشرفته، در برابر تریپس گندم در شرایط مزرعه، کمترین تراکم پوره روی سنبله در رقم شتر دندان و روشن گزارش شد. دو رقم مقاوم روشن و شتر دندان نسبت به سایر ارقام، دارای پوشینه‌های ضخیم‌تر و فضای کمتری بین دانه‌ها بودند و این خصوصیت را از دلایل مهم مقاومت این دو رقم ذکر نمودند (Bagheri & Afuni, 2010). در بررسی خسارت و میزان تراکم تریپس گندم روی سه رقم گندم قدس، آزادی و کرج یک و دو رقم جو والفجر و آریوات، اختلاف معنی‌داری بین ارقام مورد بررسی از نظر تراکم آفت مشاهده نشد (Azmayesh Fard & Faridi, 1991).

استفاده از ارقام مقاوم به آفات، نقش بسیار مهمی در مهار و کاهش خسارت ناشی از آن‌ها در بخش کشاورزی دارند. این ارقام، گیاهانی هستند که به‌طور طبیعی یا از طریق اصلاح‌نژاد، مقاومت بیشتری در برابر آفات خاصی از خود نشان می‌دهند. استفاده از ارقام مقاوم می‌تواند در مدیریت مهار آفات نقش مؤثری داشته باشند. این بررسی به‌منظور ارزیابی واکنش ۱۶ ژنوتیپ گندم بهاره نسبت به تغذیه و خسارت تریپس گندم برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم

ها از مهم‌ترین آفات گندم هستند که با تغذیه از برگ و دانه، خسارت اقتصادی قابل توجهی وارد می‌کنند (Kozulina et al., 2021). تریپس گندم (*Haplothrips tritici* (Kurdjumov)) یکی از آفات مهم گندم است که به‌واسطه توان سازگاری بالا با شرایط اقلیمی گوناگون، در بسیاری از مناطق کشت گندم در جهان گسترش یافته است. علاوه بر گندم، گیاهانی چون جو (*Hordeum vulgare* L)، چاودار (*Secale cereale* L)، ذرت (*Zea mays* L) و برنج (*Oryza sativa* L) نیز به‌عنوان میزبان آن ذکر شده‌اند (Azmayesh Fard & Faridi, 1991). در ایران، تریپس گندم نخستین بار توسط دواچی در حومه شهرهای تهران، یزد، کرمان و رفسنجان از روی گندم گزارش گردید. این گونه با فراوانی ۷۰/۲ درصد روی گندم و ۵۵/۷ درصد روی جو در بین گونه‌های تریپس، بیشترین فراوانی را دارد (Alavi et al., 2007). تریپس گندم دارای مراحل زیستی تخم، دو سن پورگی فعال، مرحله پیش‌شفیرگی، شفیرگی و حشره کامل است (Lewis, 1997; Davachi, 1951). خسارت اصلی این آفت مربوط به پوره سن یک و دوم می‌باشد که با نفوذ به درون گلچه‌های سنبله و فرو بردن استیله‌های دهانی، از شیر سلول‌های سطحی تخمدان و نیز پریکارپ دانه‌ها تغذیه کرده و سبب کاهش ارزش ناوایی آن‌ها می‌شوند (Lewis, 1997). خسارت این آفت روی برگ به‌صورت پیچیدگی و ایجاد لکه‌های نقره‌ای و روی سنبله‌ها به‌صورت کوتاه ماندن و پیچیدگی سنبله‌ها و کج و معوج شدن ریشک‌ها شده و کاهش وزن دانه‌ها را موجب می‌شود (Azmayesh Fard & Faridi, 1991). علاوه بر کاهش وزن دانه، کاهش قدرت جوانه‌زنی بذور آلوده و کاهش سطح سبز برگ نیز از جمله خسارت‌های کیفی این آفت ذکر شده است (MalschiMikhailova & Shurovenkov, 1971)؛ (Dumitru, 1992).

تغذیه تریپس گندم باعث ۱۵ تا ۲۱ درصد کاهش عملکرد گندم می‌شود (Larsson, 2005). میزان خسارت تریپس گندم در اسپانیا ۵۰ درصد به‌ازای ۲۰۰ پوره در سنبله گزارش شده است (Bielza et al., 1996). در مطالعات انجام‌شده در کشور ایران نیز کاهش محصول در اثر خسارت این آفت تا ۲۴ درصد گزارش شده است. چنانچه تراکم پوره‌های آن ۱۰ عدد در هر سنبله باشد، در گندم آبی ۰/۸ درصد و در گندم دیم تا ۱ درصد کاهش محصول رخ می‌دهد (Roshandel & Rajabi, 1994).

استفاده از سموم شیمیایی برای مهار تریپس گندم به خاطر رفتار خاص و تمایل آن به گریز از نور مستقیم و پنهان شدن در میان برگ‌ها و گل‌ها مشکل است (Palumbo, 2000). یکی از روش‌های مؤثر در کاهش خسارت تریپس گندم، استفاده از ارقام مقاوم در مدیریت تلفیقی آفت است (Arif et al., 2022). استفاده از ارقام مقاوم نه‌تنها باعث کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود، بلکه تنوع زیستی حشرات را حفظ و تولید در واحد سطح را می‌تواند افزایش دهد.

صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ۱۶ ژنوتیپ گندم دیم شامل ارقام و لاین‌های انتخاب‌شده (ژنوتیپ‌های بهاره مناسب برای کشت در منطقه معتدل گرم خرم‌آباد) از مؤسسه تحقیقات دیم کشور تهیه گردید. این ژنوتیپ‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در نیمه اول آذر ماه سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به‌میزان ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار در ایستگاه تحقیقات سراب چنگایی واقع در شهرستان خرم‌آباد کشت شدند (جدول ۱). ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در سال اول (۱۳۹۷) در سه تکرار و در سال دوم (۱۳۹۸) در چهار تکرار کشت شدند (جدول ۱). در این تحقیق، ژنوتیپ ۱ (AFTAB) به‌عنوان ژنوتیپ شاهد برای مقایسه سایر ارقام و لاین‌ها در هر تکرار در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایشی شامل هشت ردیف به طول شش متر و فاصله بین ردیف‌ها ۱۵ سانتی‌متر بود. کاشت با استفاده از بذرکار مکانیکی کالیبره‌شده انجام شد. پیش از کاشت، بذرها با قارچ‌کش سیستمیک دیفنوکنازول تیمار گردید تا از بروز بیماری‌های قارچی جلوگیری شود. عمق کاشت در محدوده چهار تا پنج سانتی‌متر تنظیم گردید. کودهای شیمیایی شامل آمونیوم نترات (منبع نیتروژن)، سوپرفسفات تریپل (منبع فسفر)

و پتاسیم سولفات (منبع پتاسیم) به‌ترتیب با مقادیر ۱۰۰، ۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت یکنواخت در کرت‌ها توزیع شدند. در مرحله پنجه‌زنی، برای مهار علف‌های هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ، از علف‌کش‌های تاپیک (۱ لیتر در هکتار) و گرانستار (۲۰ گرم در هکتار) استفاده گردید. پس از ظهور سنبله‌ها، در فواصل زمانی ۱۰ روزه، از هر کرت به‌صورت تصادفی پنج سنبله برداشت و به‌آرامی جدا شد. سنبله‌های برداشت‌شده در کیسه‌های فریزر قرار گرفته و با ذکر مشخصات تیمار و تکرار مربوطه، به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه، شمارش پوره‌ها و حشرات کامل با توجه به اینکه طول بدن حشرات کامل نسبت به پوره‌ها بلندتر و رنگ بدن حشرات کامل قهوه‌ای تیره یا سیاه یکنواخت است و رنگ بدن پوره‌ها زرد متمایل به قرمز رنگ است (Khanjani, 2005) به‌صورت مجزا انجام و نتایج در جداول مربوطه ثبت گردید. در زمان برداشت محصول، صفات کمی از جمله عملکرد دانه، وزن ۱۰۰۰ دانه، طول سنبله، طول ریشک، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، تعداد سنبله‌چ و ارتفاع بوته برای هر تیمار اندازه‌گیری و ثبت شد. عملکرد دانه با محاسبه وزن دانه در هر کرت و تبدیل آن به کیلوگرم بر هکتار تعیین گردید. وزن ۱۰۰۰ دانه با محاسبه وزن ۲۰۰ دانه و ضرب آن در عدد ۵ به دست آمد.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های معتدل و گرم کشت‌شده در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سراب چنگایی خرم‌آباد

Table 1- Temperate and hot genotypes cultivated in Sarab Changaee Agricultural Research Station of Khorramabad

Genotypes	Name/pedigree
1	AFTAB
2	BABAX/LR42//BABAX*2/3/KUKUNA/4/BACEU #1/5/BECARDCMSS07Y00885T-099TOPM-099Y-099M-099Y-10M-0RGY
3	BABAX/LR42//BABAX*2/3/KUKUNA/4/CROSBILL #1/5/BECARDCMSS 07Y01006 T- 099TOPM-099Y-099M-099NJ-099NJ-7RGY-0B
4	BABAX/LR42//BABAX*2/3/KUKUNA/4/CROSBILL #1/5/BECARD
5	BLOUK #1/5/FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/ KAUZ*2/ TRAP//KAUZCMSS06B01047T-099TOPY-099Y-11M-0Y-5B-0Y
6	KIRITATI//PRL/2*PASTOR/5/OASIS/KAUZ//4*BCN/3/PASTOR/4/KAUZ*2/YACO//KAUZ/6/KIRITATI//PRL/2*PASTORCMSS07Y00718T-099TOPM-099Y-099M-099Y-22M-0RGY
7	BAJ #1/3/KIRITATI//ATTILA*2/PASTOR CMSS07Y 00288S-0B-099Y-099M-099NJ-099NJ-10WGY-0B
8	WBL1*2/VIVITSI//MESIA/3/KIRITATI/WBL1CMSS07Y00841T-099TOPM-099Y-099M-099Y-12M-0WGY
9	SUP152/BAJ #1CMSS08Y00185S-099Y-099M-099NJ-099NJ-28WGY-0B
10	MUNAL*2/WESTONIAMSS08Y00871T-099TOPM-099Y-099M-099NJ-099NJ-66WGY-0B
11	CHEWINK #1/MUTUSCMSS08Y00485S-099Y-099M-099Y-5M-0WGY
12	MUNAL*2/WESTONIAMSS08Y00833T-099TOPM-099Y-099M-099NJ-099NJ-8WGY-0B
13	BABAX/LR42//BABAX*2/3/PAVON 7S3, +LR47/4/ND643/2*WBL1 /5/BABAX /LR42// BABAX*2/3/PAVON 7S3, +LR47CMSS08B00634T-099TOPY-099M-099NJ-099NJ-24WGY-0B
14	QUAIU #1/5/KIRITATI/4/2*SER1.1B*2/3/ KAUZ*2/ BOW//KAUZ/6/ BECARD CMSS08B00645T-099TOPY-099M-099NJ-099NJ-6WGY-0B
15	KACHU/BECARD//WBL1*2/BRAMBLINGCMSS07B00580T-099TOPY-099M-099NJ-099NJ-10WGY-0B
16	KIRITATI//2*PRL/2*PASTOR/3/CHONTE/5/PRL/2*PASTOR/4/CHOIX/STAR/3/HE1/3*CNO79//2*SERICMSS08B00732T-099TOPY-099M-099Y-6M-0WGY

تجزیه آماری داده‌ها

پیش از انجام تحلیل‌های آماری، به منظور رعایت فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها، تبدیل لگاریتم طبیعی بر داده‌ها اعمال گردید. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. در ادامه، جداول تجزیه واریانس (ANOVA) در چارچوب مدل خطی عمومی (GLM) برای هر صفت مورد بررسی تهیه و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه توکی (Tukey's HSD) در سطح احتمال ۰/۰۵ ($P \leq 0.05$) انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج

در این بررسی، تعداد ۱۶ ژنوتیپ گندم دیم بهاره در شهرستان خرم آباد ایستگاه سراب چنگایی از نظر شاخص‌های عملکردی و همچنین مقاومت به ترپس گندم در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس بررسی شاخص‌های عملکردی ۱۶ ژنوتیپ گندم دیم بهاره نشان داد که در سال ۱۳۹۷ طول ریشک و ارتفاع گیاه اختلاف معنی‌دار داشتند و در سایر شاخص‌ها اختلافی مشاهده نشد (جدول ۲). در سال ۱۳۹۸ نیز همه

شاخص‌های عملکردی بررسی‌شده در ۱۶ ژنوتیپ، نشان داد که طول خوشه و تعداد خوشه اختلاف معنی‌دار داشتند، اما سایر شاخص‌ها اختلافی نداشتند (جدول ۳). نتایج تجزیه مرکب دو ساله مربوط به ۱۶ ژنوتیپ گندم دیم بهاره نشان داد که عامل سال به‌جز در ارتفاع گیاه در سایر شاخص‌های عملکردی تأثیر دات و همچنین اثر متقابل سال و ژنوتیپ سبب اختلاف معنادار در اکثر شاخص‌های عملکردی به‌جز ارتفاع و وزن هزاردانه دانه گیاه شد (جدول ۴).

مقایسه میانگین شاخص‌های عملکردی ژنوتیپ‌های گندم بهاره در سال ۱۳۹۷ در جدول ۵ ارائه شده است (جدول ۵). نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱، ۱۱، ۱۲، ۱۴ و ۱۵ بیشترین و ژنوتیپ ۲ کمترین میزان عملکرد را داشتند. ژنوتیپ ۱۴ بیشترین و ژنوتیپ ۱۲ کمترین وزن هزار دانه را نشان دادند. بیشترین طول سنبله در ژنوتیپ ۱۶ مشاهده شد و کمترین آن در ژنوتیپ ۸ بود. ژنوتیپ ۴ بیشترین و ژنوتیپ ۱۰ کمترین طول ریشک را داشتند. ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۶ بیشترین و ژنوتیپ ۸ کمترین تعداد دانه در سنبله را به خود اختصاص دادند. ژنوتیپ ۱۴ بیشترین و ژنوتیپ ۸ کمترین وزن دانه در سنبله را داشتند. ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۱۲ بیشترین و ژنوتیپ ۸ کمترین تعداد سنبله را داشتند. ژنوتیپ ۴ بیشترین و ژنوتیپ ۶ کمترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص‌های مهم زراعی ۱۶ ژنوتیپ گندم دیم بهاره در منطقه معتدل خرم آباد در سال ۱۳۹۷

Table 2- Analysis of variance for important agronomic indexes of 16 dry spring wheat genotypes in Khorramabad temperate region in 2018

S.O.V	df	Mean of squares							
		Yield	1000-grain weight	Spike length	Awn length	Number of grain per spike	Grain weight per spike	Number of Spikelet	Plant height
Block	2	21674.4 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.64 [*]	70.40 ^{ns}	0.16 ^{ns}	1.08 ^{ns}	136.3 ^{**}
Treatment	15	856453.1 ^{**}	21.93 ^{**}	1.78 ^{**}	0.95 ^{**}	99.61 ^{**}	0.21 ^{**}	4.82 ^{**}	92.1 ^{**}
Error	26	144589.2	5.90	0.42	0.19	23.88	0.051	0.82	14.56
CV	9.98	9.99	5.69	6.56	7.26	9.17	9.44	5.12	4.64

***: significant at 1%; *: significant at 5%; ns: non-significant

***: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪، *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، ns: بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص‌های مهم زراعی ۱۶ ژنوتیپ گندم دیم بهاره در منطقه معتدل خرم آباد در سال ۱۳۹۸

Table 3- Analysis of variance for important agronomic indexes of 16 dry spring wheat genotypes in Khorramabad temperate region in 2019

S.O.V	df	Mean of squares							
		Yield	1000-grain weight	Spike length	Awn length	Number of grain per spike	Grain weight per spike	Number of spikelet	Plant height
Block	3	20628.8 ^{ns}	3.17 ^{ns}	1.62 [*]	0.37 ^{ns}	25.65 ^{ns}	0.07 ^{ns}	12.46 ^{**}	77.72 ^{ns}
Treatment	15	54679.3 [*]	24.2 [*]	1.3 ^{**}	0.44 ^{ns}	102.9 ^{**}	0.18 ^{**}	4.82 ^{**}	181.20 ^{**}
Error	36	22122.8	10.65	0.40	0.25	18.77	0.05	1.73	29.47
CV	11.94	11.95	8.81	7.93	9.22	11.83	16.01	8.02	6.51

***: significant at 1%; *: significant at 5%; ns: non-significant.

***: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪، *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، ns: بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب دو ساله شاخص‌های مهم زراعی ۱۶ ژنوتیپ گندم دیم بهاره در منطقه معتدل خرم آباد

Table 4- Analysis of variance two-year composite for important agronomic indicators of 16 dry spring wheat genotypes in Khorramabad

Source	Df	Mean Squares							
		Yield	Thousand-grain weight	Spike Length	Awn length	Number of grain per spike	Grain weight per spike	Number of Spikelet	Plant Height
Year	1	150895637**	788.40**	89.70**	11.00**	7027.00**	28.41**	39.40**	35.04 ^{ns}
Error Year	5	21891	1.98	1.11	0.48 ^{ns}	43.55	0.11	7.91**	101.10**
Number	15	501929**	32.34**	2.14**	0.89**	110.80**	0.22**	6.06**	226.32**
Treatment×Year	15	552718**	13.64 ^{ns}	0.92*	0.54**	95.82**	0.18**	3.83**	34.22 ^{ns}
Error Residual	62	73479.7	8.49	0.41	0.22	21.10	0.05	1.35	23.51
Coefficient of Variation	11.37	11.37	7.34	7.21	8.25	10.35	12.05	6.87	5.86

** : significant at 1%; * : significant at 5%; ns: non-significant.

***: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪، **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، ns: بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۵- مقایسه میانگین ($\pm$ SE) شاخص‌های مهم زراعی ۱۶ ژنوتیپ گندم دیم معتدل بهاره در منطقه خرم آباد در سال ۱۳۹۷

Table 5- Comparison of mean ($\pm$ SE) important agronomic indicators of 16 temperate rainfed spring wheat genotypes in Khorramabad region in 2018

No. of genotypes	Yield (Kg/h)	Thousand -grain weight (g)	Spike Length (cm)	Awn length (cm)	Number of grain per spike	Grain weight per spike (g)	Number of Spikelet	Plant Height (cm)
1	4525.0 $\pm$ 335.0 ^a	44.1 $\pm$ 1.760 ^{ab}	10.2 $\pm$ 0.233 ^{abcd}	6.6 $\pm$ 0.176 ^{abc}	44.3 $\pm$ 0.667 ^{bc}	2.1 $\pm$ 0.109 ^{bc}	17.7 $\pm$ 0.333 ^{abc}	74.3 $\pm$ 2.33 ^{cd}
2	2131.0 $\pm$ 324.0 ^c	42.3 $\pm$ 1.580 ^{abc}	10.1 $\pm$ 0.291 ^{abcd}	5.5 $\pm$ 0.208 ^{bcd}	56.0 $\pm$ 0.577 ^{abc}	2.5 $\pm$ 0.074 ^{abc}	18.7 $\pm$ 0.333 ^{ab}	80.7 $\pm$ 2.85 ^{bcd}
3	3536.3 $\pm$ 146.0 ^{ab}	44.7 $\pm$ 2.280 ^{ab}	9.6 $\pm$ 0.306 ^{abcd}	6.3 $\pm$ 0.100 ^{abc}	49.7 $\pm$ 0.667 ^{abc}	2.4 $\pm$ 0.125 ^{abc}	18.0 $\pm$ 1.000 ^{abc}	86.3 $\pm$ 2.40 ^b
4	3722.3 $\pm$ 92.1 ^{ab}	45.3 $\pm$ 1.680 ^{ab}	10.6 $\pm$ 0.463 ^{ab}	7.1 $\pm$ 0.153 ^a	47.7 $\pm$ 3.760 ^{abc}	2.3 $\pm$ 0.129 ^{bc}	18.3 $\pm$ 0.333 ^{abc}	98.3 $\pm$ 3.33 ^a
5	2883.5 $\pm$ 537.0 ^b	43.0 $\pm$ 0.548 ^{abc}	8.9 $\pm$ 0.418 ^{bcd}	5.8 $\pm$ 0.203 ^{abcd}	48.3 $\pm$ 0.882 ^{abc}	2.2 $\pm$ 0.009 ^{bc}	17.7 $\pm$ 0.333 ^{abc}	84.3 $\pm$ 3.48 ^{bcd}
6	3677.7 $\pm$ 178.0 ^{ab}	42.0 $\pm$ 0.548 ^{abc}	8.5 $\pm$ 0.451 ^{cd}	6.1 $\pm$ 0.416 ^{abcd}	47.3 $\pm$ 2.730 ^{abc}	2.1 $\pm$ 0.152 ^{bc}	16.3 $\pm$ 0.333 ^{bc}	73.0 $\pm$ 1.53 ^d
7	3739.0 $\pm$ 207.0 ^{ab}	42.3 $\pm$ 2.280 ^{abc}	10.1 $\pm$ 0.581 ^{abcd}	6.1 $\pm$ 0.351 ^{abcd}	52.3 $\pm$ 4.100 ^{abc}	2.5 $\pm$ 0.281 ^{abc}	16.3 $\pm$ 0.667 ^{bc}	82.3 $\pm$ 1.45 ^{bcd}
8	3494.3 $\pm$ 86.8 ^{ab}	43.0 $\pm$ 0.548 ^{abc}	8.3 $\pm$ 0.173 ^d	5.7 $\pm$ 0.145 ^{bcd}	43.7 $\pm$ 2.730 ^c	2.0 $\pm$ 0.143 ^c	15.7 $\pm$ 0.333 ^c	82.7 $\pm$ 2.73 ^{bcd}
9	4077.7 $\pm$ 124.0 ^{ab}	41.3 $\pm$ 0.317 ^{bc}	10.1 $\pm$ 0.153 ^{abcd}	6.3 $\pm$ 0.376 ^{abc}	57.0 $\pm$ 3.060 ^{abc}	2.5 $\pm$ 0.130 ^{abc}	18.3 $\pm$ 0.333 ^{abc}	83.0 $\pm$ 1.73 ^{bcd}
10	4055.3 $\pm$ 130.0 ^{ab}	39.7 $\pm$ 0.317 ^{bc}	10.1 $\pm$ 0.219 ^{abcd}	4.9 $\pm$ 0.346 ^d	58.7 $\pm$ 4.670 ^{ab}	2.5 $\pm$ 0.198 ^{abc}	17.7 $\pm$ 0.667 ^{abc}	81.7 $\pm$ 1.20 ^{bcd}
11	4219.7 $\pm$ 149.0 ^a	44.7 $\pm$ 1.580 ^{ab}	9.3 $\pm$ 0.484 ^{abcd}	5.5 $\pm$ 0.260 ^{cd}	57.0 $\pm$ 2.520 ^{abc}	2.7 $\pm$ 0.091 ^{ab}	16.3 $\pm$ 0.667 ^{bc}	80.7 $\pm$ 2.96 ^{bcd}
12	4311.3 $\pm$ 178.0 ^a	36.7 $\pm$ 1.140 ^c	10.1 $\pm$ 0.493 ^{abcd}	5.4 $\pm$ 0.318 ^{cd}	59.7 $\pm$ 3.930 ^a	2.3 $\pm$ 0.101 ^{bc}	20.0 $\pm$ 0.000 ^a	79.7 $\pm$ 2.67 ^{bcd}
13	3558.0 $\pm$ 423.0 ^{ab}	41.3 $\pm$ 1.140 ^{bc}	10.8 $\pm$ 0.120 ^{ab}	6.1 $\pm$ 0.240 ^{abcd}	61.3 $\pm$ 0.882 ^a	2.7 $\pm$ 0.104 ^{ab}	20.0 $\pm$ 1.000 ^a	85.7 $\pm$ 4.70 ^{bc}
14	4372.0 $\pm$ 260.0 ^a	49.0 $\pm$ 0.754 ^a	10.1 $\pm$ 0.176 ^{abcd}	5.6 $\pm$ 0.265 ^{bcd}	57.0 $\pm$ 2.310 ^{abc}	3.0 $\pm$ 0.112 ^a	17.3 $\pm$ 0.333 ^{abc}	80.3 $\pm$ 1.45 ^{bcd}
15	4364.0 $\pm$ 380.0 ^a	41.3 $\pm$ 0.317 ^{bc}	10.3 $\pm$ 0.569 ^{abc}	6.1 $\pm$ 0.306 ^{abcd}	53.0 $\pm$ 3.460 ^{abc}	2.3 $\pm$ 0.177 ^{bc}	16.3 $\pm$ 0.333 ^{bc}	80.3 $\pm$ 2.67 ^{bcd}
16	3550.0 $\pm$ 409.0 ^{ab}	42.0 $\pm$ 1.450 ^{abc}	10.9 $\pm$ 0.318 ^a	6.8 $\pm$ 0.208 ^{ab}	59.3 $\pm$ 4.910 ^a	2.6 $\pm$ 0.200 ^{abc}	17.7 $\pm$ 0.333 ^{abc}	81.3 $\pm$ 6.03 ^{bcd}

Note: different letters in each column indicate significant difference between treatments by Tukey's test at $P < 0.05$.

نکته: حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها با آزمون توکی در سطح احتمال $P < 0.05$ است.

سنبله را به خود اختصاص دادند. وزن دانه در سنبله در ژنوتیپ‌های ۱۵ بیشترین و در ژنوتیپ‌های ۱ و ۵ کمترین مقدار بود. ژنوتیپ ۱۶ بیشترین و ژنوتیپ ۱ کمترین تعداد سنبله را داشتند. ارتفاع بوته در ژنوتیپ ۴ بیشترین و در ژنوتیپ ۱۰ کمترین مقدار بود (جدول ۶).

مقایسه میانگین شاخص‌های عملکردی ژنوتیپ‌های گندم بهاره در سال ۱۳۹۸ در جدول ۶ ارائه شده است (جدول ۶). همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد از نظر عملکرد دانه، ژنوتیپ ۳ بیشترین و ژنوتیپ ۴ کمترین میزان عملکرد دانه را داشتند. اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ وزن هزار دانه و طول ریشک مشاهده نشد. بیشترین طول سنبله در ژنوتیپ‌های ۱۵ و کمترین آن در ژنوتیپ ۵ به دست آمد. ژنوتیپ ۱۶ بیشترین و ژنوتیپ‌های ۷ کمترین تعداد دانه در

جدول ۶- مقایسه میانگین ($\pm$ SE) برخی از شاخص‌های زراعی ۱۶ ژنوتیپ گندم دیم معتدل بهاره در منطقه خرم آباد در سال ۱۳۹۸

Table 6- Mean comparison ($\pm$ SE) of important agronomic indexes of 16 dry spring wheat genotypes in Khorramabad temperate region in 2019

No. of genotypes	Yield (kg h ⁻¹)	1000-grain weight (g)	Spike length (cm)	Awn length (cm)	Number of grain per spike	Grain weight per spike (g)	Number of spikelet	Plant height (cm)
1	1333.3 $\pm$ 238 ^{ab}	37.0 $\pm$ 3.66 ^{ab}	8.0 $\pm$ 0.622 ^{abc}	5.4 $\pm$ 0.247 ^a	29.5 $\pm$ 1.36 ^{cd}	1.1 $\pm$ 0.102 ^{cd}	14.3 $\pm$ 0.629 ^c	79.8 $\pm$ 4.09 ^{bc}
2	1420.0 $\pm$ 319 ^{ab}	42.7 $\pm$ 2.93 ^a	8.3 $\pm$ 0.497 ^{abc}	4.6 $\pm$ 0.272 ^a	37.5 $\pm$ 3.11 ^{abcd}	1.3 $\pm$ 0.158 ^{abcd}	16.0 $\pm$ 0.913 ^{abc}	83.3 $\pm$ 2.66 ^{bc}
3	1472.5 $\pm$ 208 ^a	40.0 $\pm$ 1.23 ^{ab}	8.3 $\pm$ 0.305 ^{abc}	5.5 $\pm$ 0.178 ^a	39.3 $\pm$ 2.23 ^{abc}	1.7 $\pm$ 0.127 ^{ab}	16.8 $\pm$ 1.03 ^{abc}	89.0 $\pm$ 2.80 ^b
4	1028.8 $\pm$ 102 ^b	40.3 $\pm$ 2.30 ^{ab}	8.6 $\pm$ 0.471 ^{abc}	5.8 $\pm$ 0.383 ^a	37.0 $\pm$ 3.57 ^{bcd}	1.6 $\pm$ 0.074 ^{abcd}	18.3 $\pm$ 1.25 ^{ab}	104.8 $\pm$ 2.02 ^a
5	1291.3 $\pm$ 56.0 ^{ab}	36.8 $\pm$ 1.13 ^{ab}	7.0 $\pm$ 0.441 ^c	5.2 $\pm$ 0.421 ^a	32.7 $\pm$ 2.96 ^{bcd}	1.08 $\pm$ 0.088 ^d	15.5 $\pm$ 0.645 ^{bc}	83.3 $\pm$ 3.84 ^{bc}
6	1203.3 $\pm$ 170 ^{ab}	35.0 $\pm$ 1.77 ^{ab}	7.4 $\pm$ 0.332 ^{bc}	5.3 $\pm$ 0.225 ^a	37.0 $\pm$ 2.18 ^{bcd}	1.2 $\pm$ 0.061 ^{bcd}	16.8 $\pm$ 1.18 ^{abc}	81.8 $\pm$ 1.34 ^{bc}
7	1086.7 $\pm$ 293 ^{ab}	39.8 $\pm$ 0.612 ^{ab}	7.8 $\pm$ 0.561 ^{abc}	5.3 $\pm$ 0.391 ^a	25.7 $\pm$ 1.99 ^d	1.1 $\pm$ 0.088 ^{cd}	15.0 $\pm$ 0.707 ^{bc}	81.5 $\pm$ 4.29 ^{bc}
8	1160.0 $\pm$ 325 ^{ab}	36.3 $\pm$ 2.52 ^{ab}	8.4 $\pm$ 0.670 ^{abc}	5.8 $\pm$ 0.357 ^a	40.7 $\pm$ 2.50 ^{abc}	1.3 $\pm$ 0.114 ^{abcd}	16.0 $\pm$ 1.41 ^{abc}	82.5 $\pm$ 1.68 ^{bc}
9	1176.3 $\pm$ 75.3 ^{ab}	35.0 $\pm$ 1.28 ^{ab}	7.3 $\pm$ 0.263 ^c	5.3 $\pm$ 0.186 ^a	35.0 $\pm$ 3.84 ^{bcd}	1.3 $\pm$ 0.164 ^{abcd}	16.5 $\pm$ 0.645 ^{abc}	82.5 $\pm$ 4.32 ^{bc}
10	1210.0 $\pm$ 165 ^{ab}	32.3 $\pm$ 0.802 ^b	8.1 $\pm$ 0.555 ^{abc}	5.2 $\pm$ 0.306 ^a	37.8 $\pm$ 3.15 ^{abcd}	1.2 $\pm$ 0.109 ^{bcd}	16.8 $\pm$ 0.750 ^{abc}	73.3 $\pm$ 4.00 ^c
11	1363.3 $\pm$ 324 ^{ab}	35.8 $\pm$ 1.22 ^{ab}	7.3 $\pm$ 0.302 ^c	5.3 $\pm$ 0.217 ^a	37.5 $\pm$ 1.45 ^{abcd}	1.4 $\pm$ 0.07 ^{abcd}	16.3 $\pm$ 0.250 ^{abc}	86.0 $\pm$ 0.405 ^{bc}
12	1161.7 $\pm$ 318 ^{ab}	36.3 $\pm$ 3.41 ^{ab}	7.3 $\pm$ 0.913 ^c	5.7 $\pm$ 0.447 ^a	35.5 $\pm$ 1.57 ^{abcd}	1.2 $\pm$ 0.156 ^{bcd}	17.3 $\pm$ 0.854 ^{abc}	77.3 $\pm$ 1.86 ^{bc}
13	1135.0 $\pm$ 244 ^{ab}	34.7 $\pm$ 4.33 ^{ab}	7.9 $\pm$ 0.447 ^{abc}	4.7 $\pm$ 0.304 ^a	29.0 $\pm$ 4.22 ^{cd}	1.1 $\pm$ 0.094 ^{bcd}	16.8 $\pm$ 0.250 ^{abc}	80.3 $\pm$ 2.16 ^{bc}
14	1365.0 $\pm$ 69.6 ^{abc}	38.5 $\pm$ 1.59 ^{ab}	7.9 $\pm$ 0.373 ^{abc}	5.3 $\pm$ 0.398 ^a	39.3 $\pm$ 2.59 ^{abc}	1.4 $\pm$ 0.128 ^{abcd}	15.3 $\pm$ 0.250 ^{bc}	80.0 $\pm$ 1.38 ^{bc}
15	1287.5 $\pm$ 104 ^{ab}	37.8 $\pm$ 2.13 ^{ab}	9.3 $\pm$ 0.503 ^a	6.0 $\pm$ 0.448 ^a	49.3 $\pm$ 4.86 ^a	1.9 $\pm$ 0.208 ^a	17.5 $\pm$ 0.645 ^{abc}	84.8 $\pm$ 3.22 ^{bc}
16	1191.3 $\pm$ 71.8 ^{ab}	34.7 $\pm$ 2.41 ^{ab}	9.1 $\pm$ 0.875 ^{ab}	5.3 $\pm$ 0.229 ^a	44.0 $\pm$ 6.32 ^{ab}	1.67 $\pm$ 0.277 ^{abc}	19.0 $\pm$ 1.50 ^a	83.3 $\pm$ 0.687 ^{bc}

Note: different letters in each column indicate significant difference between treatments by Tukey's test at $P < 0.05$.

نکته: حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها با آزمون توکی در سطح احتمال $P < 0.05$ است.

بیشترین و ژنوتیپ ۹ کمترین تراکم جمعیت تریپس را با اختلاف معنادار دارا بودند. نتایج سال ۱۳۹۸ نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۷ به ترتیب بیشترین و کمترین جمعیت تریپس را با اختلاف معنادار داشتند (شکل ۱).

بررسی نتایج تجزیه واریانس جمعیت تریپس گندم روی ۱۶ ژنوتیپ گندم دیم در شهرستان خرم آباد ایستگاه سراب چنگایی در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر تراکم جمعیت این آفت اختلاف آماری مشاهده شد (جدول ۷). مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در سال ۱۳۹۷ نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۱۶

جدول ۷- تجزیه واریانس جمعیت تریپس گندم (*Haplothrips tritici*) (پوره و بالغ) روی

۱۶ ژنوتیپ گندم دیم بهاره در منطقه معتدل شهرستان خرم آباد ایستگاه سراب چنگایی

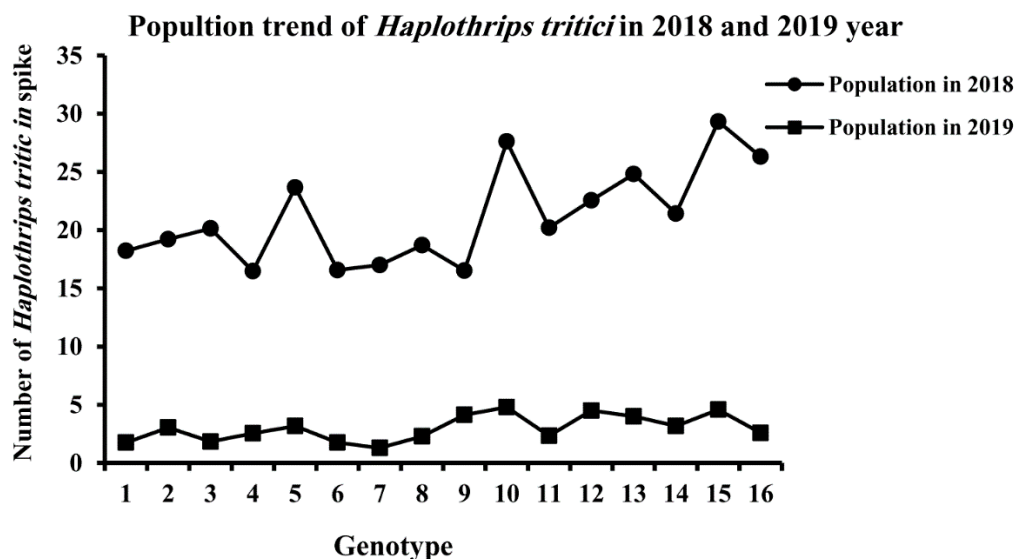
در دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 7- Analysis of variance for *Haplothrips tritici* (nymph and adult) population density on 16 dry spring wheat genotypes in Khorramabad temperate region in 2018 and 2019

S.O.V	df	Mean of squares	
		2017	2018
Block	2	0.03 ^{ns}	0.23 ^{**}
Treatment (T)	15	0.13 ^{**}	0.14 ^{**}
Error of treatment	30	0.04	0.09
Date of sampling (D)	5	3.18 ^{**}	3.42 ^{**}
T×D	75	0.09 ^{**}	0.08 [*]
Error of date	10	0.03	0.05
Error	128	0.03	0.05
CV		15.04	44.23

**: significant at 1%; *: significant at 5%; ns: non-significant.

***: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪، **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، ns: بدون اختلاف معنی‌دار



شکل ۱- میانگین جمعیت تریپس گندم *Haplothrips tritici* روی ۱۶ ژنوتیپ گندم دیم در منطقه خرم آباد در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸
 Figure 1- Mean population density of *Haplothrips tritici* on 16 dry wheat genotypes in Khorramabad temperate region in 2018 and 2019

بحث

ژنوتیپ‌ها به تریپس با گزارش‌های دیگر پژوهشگران هم‌راستا است که در آن‌ها سطوح متفاوتی از حساسیت به تریپس در ارقام مختلف گندم گزارش شده است. برای نمونه، ارقامی مانند شتر دندان و روشن تراکم پوره کمتری داشتند، درحالی‌که ارقامی چون M-78-20 و برکت حساس‌تر بودند (Bagheri & Afuni, 2010). همچنین تحقیقات چرنج (Czencz, 1992) نشان داد که ویژگی‌هایی مانند عمق شیار دانه در میزان استقرار تریپس مؤثر بود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، تفاوت در تراکم و تحمل ژنوتیپ‌های گندم نسبت به آفت تریپس احتمالاً ناشی از تفاوت‌های ریخت‌شناختی بین ژنوتیپ‌ها است؛ هرچند خصوصیات ریخت‌شناختی در این پژوهش به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری نشد. این تفسیر با یافته‌های پژوهش‌های پیشین از جمله باقری و همکاران (Bagheri & Afuni, 2010) و چرنج (Czencz, 1992) هم‌راستا است که نقش ویژگی‌های ساختاری سنبله و دانه را در میزان استقرار و خسارت تریپس گزارش کرده‌اند.

در بررسی حاضر، زمان اوج جمعیت تریپس در هر دو سال مشابه بود، اما تراکم کلی جمعیت در سال دوم به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. میانگین جمعیت تریپس در سال اول بین ۱۲/۳۹ تا ۲۴/۷۵ عدد در هر خوشه بود، درحالی‌که این میزان در سال دوم بین ۱/۲۹ تا ۴/۷۹ عدد در خوشه کاهش یافت. با استناد به داده‌های هواشناسی خرم‌آباد در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸، این کاهش می‌تواند به علت افزایش بارندگی و کاهش دمای میانگین در سال دوم باشد. یافته‌های اوزیشلی (Özsisli, 2011) نیز در پژوهشی دوساله، کاهش جمعیت

در بررسی انجام‌شده روی ۱۶ ژنوتیپ گندم دیم بهاره، تفاوت‌های معنی‌داری از نظر سطح تحمل به آفت تریپس گندم مشاهده شد. در سال اول (۱۳۹۷)، بیشترین میانگین جمعیت تریپس مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۳، ۱۵، ۱۶ و ۵ بود. در این میان، ژنوتیپ ۵ با کمترین عملکرد و کوتاه‌ترین طول سنبله، حساس‌ترین ژنوتیپ شناخته شد، درحالی‌که ژنوتیپ ۱۵ با وجود جمعیت بالای تریپس، بیشترین عملکرد، طول سنبله و تعداد سنبله را به خود اختصاص داد که نشان‌دهنده تحمل بالای این ژنوتیپ در برابر این آفت است. در سال دوم (۱۳۹۸)، بیشترین تراکم تریپس روی ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۵، ۱۲ و ۹ مشاهده شد، با این‌حال عملکرد نهایی تفاوت معنی‌داری نداشت، اما ژنوتیپ ۱۰ کمترین وزن هزار دانه و ژنوتیپ ۱۲ کمترین طول سنبله را داشتند، این یافته‌ها نشان می‌دهند که این ویژگی‌های ریخت‌شناختی گیاه می‌تواند بر جمعیت آفت تأثیرگذار باشد. در همین سال، کمترین جمعیت تریپس روی ژنوتیپ‌های ۷، ۶ و ۳ مشاهده شد و ژنوتیپ ۳ بیشترین عملکرد، وزن هزار دانه و طول سنبله را نیز نشان داد. نکته مهم آن است که علی‌رغم تأثیر قابل توجه شرایط محیطی بر جمعیت تریپس، در هر دو سال، ژنوتیپ‌های ۱۰ و ۱۵ همواره دارای بیشترین تراکم تریپس بودند، ولی همچنان عملکرد بالایی را حفظ کردند. این موضوع گویای آن است که این دو ژنوتیپ دارای درجاتی از مقاومت یا تحمل در برابر تریپس گندم هستند. مطابق یافته‌های پژوهش‌های پیشین، این تفاوت‌ها در تحمل

تریپس را در سال دوم تأیید کرده و نشان داد که تراکم جمعیت در سال اول به مراتب بالاتر بوده است. مطابق با نتایج سینگ و همکاران (Singh et al., 2021)، بارندگی به صورت معنی داری بر بقاء و زاد و ولد تریپس تأثیرگذار است و افزایش رطوبت معمولاً باعث کاهش جمعیت آن می‌شود.

جمعیت تریپس تحت تأثیر عوامل زیستی و غیرزیستی متعددی از جمله دما، سن گیاه و مقاومت ژنتیکی قرار دارد. یافته‌های تحقیقاتی نشان می‌دهند که جمعیت تریپس با افزایش دما افزایش یافته و با ورود گیاه به مراحل انتهایی رشد، کاهش می‌یابد (Workneh et al., 2024). برخی مطالعات، اثر دماهای حداقل و حداکثر روزانه را در نوسانات جمعیت تریپس نشان دادند، و همچنین جمعیت‌های بیشتری از تریپس در شرایط آبیاری نسبت به خشک مشاهده شد (Ahmed et al., 2019).

ویژگی‌های ریخت‌شناختی گیاه، به‌ویژه ساختار سنبله (طول و تراکم) و ویژگی‌های سطح دانه، می‌توانند در جذب تریپس نقش داشته باشند. اگرچه در این پژوهش رابطه آماری دقیقی بین این صفات اندازه‌گیری شده با تراکم آفت به‌طور مستقیم محاسبه نشده است، اما این فرضیه براساس شواهد گسترده در ادبیات علمی مطرح می‌شود. مطالعات پیشین به صراحت بر اهمیت ژنتیک مقاومت به تریپس در گندم با استفاده از تنوع طبیعی تأکید کرده‌اند و نشان داده‌اند که ویژگی‌های ریخت‌شناختی گیاه می‌توانند به عنوان عوامل ایجاد مقاومت در برابر گونه‌های مختلف تریپس عمل کنند (Arif et al., 2022).

در هر دو سال آزمایش، ژنوتیپ ۱۵ با داشتن بیشترین طول سنبله و ریشک، بالاترین تراکم تریپس را نیز داشت و در عین حال، از نظر عملکرد در رده بالا قرار گرفت. این موضوع نشان می‌دهد که سنبله‌های بلندتر ممکن است شرایط میکروکلیمایی مطلوب‌تری برای تریپس فراهم کنند. در عین حال، ریشک‌های بلند می‌توانند نقش حفاظتی در برابر دشمنان طبیعی تریپس ایفا کنند، به‌طوری که با ایجاد پناهگاه‌های فیزیکی موجب کاهش اثربخشی عوامل مهار زیستی آفت شوند. این ویژگی‌ها می‌توانند تریپس را در برابر حمله شکارگرها یا پارازیتوئیدها محافظت کرده و پایداری جمعیت آن را افزایش دهند. صفات ریخت‌شناختی سنبله در تخم‌گذاری و بازدارندگی جمعیت آفت تأثیرگذار است (Gharalari et al., 2009). در بررسی‌هایی نشان داده شده که طول برگ‌های بلندتر می‌تواند منجر به افزایش جمعیت

تریپس *Scirtothrips dorsalis* شود، زیرا در این شرایط ممکن است پناهگاه و فرصت‌های تغذیه بهتری برای آفت فراهم شود (Mondal & Mondal, 2023). همچنین در ارقام انبه، تریپس *Frankliniella intonsa* روی برگ‌های بزرگ‌تر رشد می‌کند (Ding et al., 2019). در محصول پیاز (*Allium cepa* L)، ویژگی‌های ریخت‌شناختی آن، از جمله اندازه پیاز، با جمعیت تریپس هم بستگی داشت، به‌طوری که گیاهان بزرگ‌تر ممکن است که مورد هجوم آفات بیشتری واقع شوند (Chandrakantbhai, 2011). گیاهان بلندتر ممکن است که میکروکلیمای گیاه را بهبود بخشند و بر میزان رطوبت و دما تأثیر بگذارند، که از عوامل کلیدی مؤثر برای بقاء و تولیدمثل و افزایش جمعیت تریپس هستند (Janu et al., 2017).

در نهایت، اگرچه تریپس گندم آفت کلیدی و درجه یک گندم نیست، با این حال باید توجه داشت که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و افزایش دمای جهانی، احتمال تبدیل شدن تریپس گندم به آفتی با خسارت اقتصادی جدی وجود دارد. در چنین شرایطی، با توجه به ناکارآمدی نسبی مدیریت شیمیایی، استفاده از ژنوتیپ‌های مقاوم و به‌کارگیری راهبردهای تلفیقی مدیریت آفات، ضروری خواهد بود.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان بهاره از نظر تحمل به تریپس گندم تفاوت معنی‌داری وجود دارد. ژنوتیپ ۱۵ (KACHU) با وجود تراکم بالای آفت، عملکرد مطلوبی داشت و به عنوان ژنوتیپی متحمل شناخته شد. همچنین صفات مورفولوژیکی مانند طول سنبله و ریشک در جذب تریپس مؤثر بودند، اما لزوماً باعث کاهش عملکرد نشدند. در مجموع، استفاده از ژنوتیپ‌های متحمل همراه با مدیریت تلفیقی آفات می‌تواند راهکاری مؤثر برای کاهش خسارت و دستیابی به کشاورزی پایدار باشد.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از یک پروژه تحقیقاتی است که با حمایت مالی مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور انجام شده است که بدینوسیله از حمایت‌های آن مؤسسه تقدیر و تشکر می‌شود.

References

- Ahmed, A. M. M., Radi, A. A. F. M., & Sánchez, F. J. S. (2019). Population dynamic of aphids and thrips on certain bread wheat cultivars in relation to yield, genotypic preference and factors regulating their fluctuation under drought and irrigation conditions. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22(3). <https://doi.org/10.56369/tsaes.2674>
- Alavi, J., Strassen, R. Z., & Bagherani, N. (2007). Thrips (Thysanoptera) species associated with wheat and barley in Golestan province, Iran. *Journal of Entomological Society of Iran*, 27(1), 1-28.

- Arif, M. A. R., Waheed, M. Q., Lohwasser, U., Shokat, S., Alqudah, A. M., Volkmar, C., & Börner, A. (2022). Genetic insight into the insect resistance in bread wheat exploiting the untapped natural diversity. *Frontiers in Genetics*, 13, 828905. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.828905>
- Azmayesh Fard, P., & Faridi, B. (1991). Evaluation of damage rate and population density of wheat thrips on three wheat and two barley lines in Karaj and Zanjan. Proceedings of the First Iranian Crop Production and Breeding Congress, Iran. p. 65, (in Persian).
- Bagheri, M. R., & Afuni, D. (2010). Response of fifteen irrigated wheat cultivars and advanced lines to thrips (*Haplothrips tritici* K.). *Journal of Seedling and Seed*, 26(2), 219-231, (in Persian)
- Bationo, A., Fening, J. O., & Kwaw, A. (2018). Assessment of soil fertility status and integrated soil fertility management in Ghana. *Improving the Profitability, Sustainability and Efficiency of Nutrients Through Site Specific Fertilizer Recommendations in West Africa Agro-Ecosystems*, 1, 93-138. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58789-9_7
- Bielza, P., Torres, V., & Lacasa, A. (1996). Quantitative and qualitative incidence of *Haplothrips tritici* Kurd. (Thysanoptora: Phlaeothripidae) in wheat production. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas*, 22, 277-288.
- Chandrakantbhai, P. H. (2011). Population dynamics, varietal susceptibility and management of thrips (*Thrips tabaci* lindeman) in onion (*Allium cepa* linnaeus). Doctoral Dissertation, Anand Agricultural University, India. <https://doi.org/10.2478/pjen-2018-0021>
- Czencz, K. (1992). A comparative investigation of the infestation of some winter wheat types by *Haplothrips tritici* Kurd. (Thysan., Phlaeothripidae). *Journal of Applied Entomology*, 113(1-5), 209-213. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1992.tb00655.x>
- Davachi, A. (1951). Injurious Insects of Iran, Hoppers and the other Injurious Insects of Cereals. Publication of Tehran University, Tehran, Iran. 252 pp, (in Persian)
- Dent, D. (2000). Host plant resistance. In *Insect Pest Management*. pp. 123-179. Wallingford UK: CABI. <https://doi.org/10.1079/9780851993409.0123>
- DePauw, R. M., Knox, R. E., Thomas, J. B., Smith, M., Clarke, J. M., Clarke, F. R., & El-Wakeil, N., Gaafar, N., & Volkmar, C. (2010). Susceptibility of spring wheat to infestation with wheat blossom midges and thrips. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 117(6), 261-267. <https://doi.org/10.1007/bf03356371>
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., & Huey, R. B. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361, 916-919. doi:10.1126/science. aat3466. <https://doi.org/10.1126/science.aat3466>
- Ding, C. X., Shi, M. Z., Li, J. Y., Yang, H. L., Zheng, L. Z., Fu, J. W., & You, M. S. (2019). Population dynamics of thrips infesting variety of mango cultivars. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 34(8), 947-951.
- Gagnon, A. È., Fortier, A. M., & Audette, C. (2024). Biological control and habitat management for the control of onion thrips, *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae), in onion production in Quebec, Canada. *Insects*, 15(4), 232. <https://doi.org/10.3390/insects15040232>
- Gharalari, A. H., Smith, M. A. H., Fox, S. L., & Lamb, R. J. (2009). The relationship between morphological traits of the spring wheat spike and oviposition deterrence to orange wheat blossom midge. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 132(2), 182-190. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2009.00873.x>
- Janu, A., Dahiya, K. K., & Jakhar, P. (2017). Population dynamics of thrips, *Thrips tabaci* Lindemann in American cotton (*Gossypium hirsutum*) *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7), 203-209. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.024>
- Khanjani, M. (2005). Pests of Iranian Crops. Hamedan, Iran: Bu-Ali Sina University Press. pp. 175-176.
- Kozulina, N. S., Vasilenko, A. A., & Shmeleva, Z. N. (2019). The development of the environmentally safe method for disinfection and biostimulation of spring wheat seeds using electro-magnetic field of super-high frequency. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 315(2), 022051. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/2/022051>
- Kozulina, N. S., Vasilenko, A. V., Vasilenko, A. A., & Shmeleva, Z. N. (2021). Effective protection of grain crops from pests. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677(4), 042014. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042014>
- Krasilovets, Y. (1980). Resistance of wheats to *Haplothrips tritici* K. *Seleksiya I Semenovodstvo Ukrainian*, 45, 58-64.
- Krasilovets, Y. (1981). The role of individual measures in the integrated protection of wheat against thrips. Vilnius, Vsesoyunzoe Entomologicheskoe Obshchestvo. USSR. pp. 101-103.
- Krasilovets, Y., & Rabinovich, S. (1979). Resistance of wheat and triticale varieties to *Haplothrips tritici*. *Seleksiya I Semenovodstvo Ukrainian SSR*, 42, 81-84.
- Larsson, H. (2005). Economic damage by *Limothrips denticornis* in rye, Triticale and winter barley. *Journal of Applied Entomology*, 129, 386-392. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2005.00986.x>
- Lewis, T. (1997). Major crops infested by thrips with main symptoms and predominant injurious species. Thrips as Crop Pests, CAB International, Wallingford, UK. pp. 675-709.
- Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980.

Science, 333(6042), 616-620. <https://doi.org/10.1126/science.1204531>

Malschi, D., & Dumitru, M. (1992). The dynamics of the specific harmful entomofauna of the wheat agrobiocoenosis in the central Transylvania from 1981 to 1990. *Probleme de Protectia Plantelor*, 20(3-4), 237-249.

Mandal, L., & Mondal, P. (2023). Impact of weather parameters on population fluctuation of Chilli thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 14(2), 207-214. <https://doi.org/10.23910/1.2023.3296>

Mikhailova, N., & Shurovenkov, Y. (1971). The evaluation of interactions between plants and insects and resistance in wheat. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologia*, 13(3), 442-451.

Nouri Qanbalani, Q., Hosseini, M., & Yaghamai, F. (1995). Plant Resistance to Insects. Mashhad Jihad University Publications, Mashhad, Iran. 262 pp.

Palumbo, J. C. (2000). Management of Aphids and Thrips on Leafy Vegetables. University of Arizona, College of Agriculture and Life Sciences, Cooperative Extension, Tucson, Arizona. <http://cals.arizona>

Pimentel, D. (2005). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environment, Development and Sustainability*, 7, 229-252. <https://doi.org/10.1007/s10668-005-7314-2>

Reji, G., Chander, S., & Aggarwal, P. K. (2008). Simulating rice stem borer, *Scirpophaga incertulas* Wlk., damage for developing decision support tools. *Crop Protection*, 27(8), 1194-1199. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.02.005>

Shewry, P. R. (2009). Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60(6), 1537-1553.

Roshandel, S., & Rajabi, G. (1994). Final report on the project to determine species of economic importance and other host plants in Chaharmahal and Bakhtiari. Plant Pests and Diseases Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural Research Center. <https://doi.org/10.18869/acadpub.ijae.4.14.39>

Singh, S., Kataria, S. K., Pathania, M., & Singh, P. (2021). Population dynamics of thrips *Thrips tabaci* Lindeman in Bt cotton. *Indian Journal of Entomology*, 83(e20239). <https://doi.org/10.5958/0974-8172.2021.00079.1>

Slafer, G. A., Foulkes, M. J., Reynolds, M. P., Murchie, E. H., Carmo-Silva, E., Flavell, R., & Griffiths, S. (2023). A 'wiring diagram' for sink strength traits impacting wheat yield potential. *Journal of Experimental Botany*, 74(1), 40-71. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac415>

Workneh, F., Ehrlich, B., Herron, B., Chinnaiah, S., Gautam, S., Gadhave, K. R., & Rush, C. M. (2024). Quantifying seasonal thrips population dynamics in relation to temperature and wheat senescence. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 172(5), 446-453. <https://doi.org/10.1111/eea.13428>

Özsisli, T. (2011). Population densities of wheat thrips, *Haplothrips tritici* Kurdjumov (Thysanoptera: Phlaeothripidae), on different wheat and barley cultivars in the province of Kahramanmaraş, Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 10(36), 7063-7070. <https://doi.org/10.23902/trkjinat.1008271>

Bioecology of Elm Leaf Beetle (*Xanthogaleruca luteola* (Col.: Chrysomelidae)) in Kermanshah

M. R. Paydar¹, A. A. Zamani^{1*}, A. Jamshidi¹

1- Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

(*- Corresponding author's Email: azamani@razi.ac.ir)Received: 23-08-2025
Revised: 31-12-2025
Accepted: 03-02-2026
Available Online: 21-03-2026**How to cite this article:**Paydar, M. R., Zamani, A. A., & Jamshidi, A. (2026). Bioecology of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* (Col.: Chrysomelidae), in Kermanshah. *Iranian Plant Protection Research*, 40(1), 457-468. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/JPP.2026.95058.1248>

Introduction

The elm trees (*Ulmus* spp.) hold significant ecological, aesthetic, and economic importance in urban landscapes and natural forests. Renowned for their broad, dense canopies, elm trees contribute substantially to improving air quality, providing shade, and enhancing the visual appeal of green spaces. Beyond their ornamental value, elm wood is durable and semi-hard, comparable to beech and walnut, and is used in furniture making, veneer production, shipbuilding, and automotive manufacturing. Moreover, urban elm populations support biodiversity by providing habitat and food for various insects and birds. However, elm trees are subjected to biotic stresses, among which the elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* (Müller) (Coleoptera: Chrysomelidae), is a primary pest causing extensive defoliation and weakening of trees. The elm leaf beetle is an important pest of elm trees, causing significant damage by feeding on leaves, which reduces photosynthesis and weakens the trees. Given the impact of elm trees on urban green spaces, their role in reducing citizen stress, and their functions in air softening and shade provision, necessary measures should be taken to preserve them. This study investigated the infestation level of elm trees and the impact of environmental factors on the pest population in Kermanshah city, Iran.

Materials and Methods

Sampling of different life stages (eggs, larvae, and adults) was conducted every three days on 30 selected elm trees across 13 urban areas from March to December 2023. Population fluctuations were analyzed in relation to temperature and relative humidity. Spatial distribution patterns were determined using Taylor's power law and Iwao's regression methods.

Results and Discussion

The results showed that *X. luteola* has three distinct generations during the growing season under the climatic conditions of Kermanshah. Peak adult populations for each generation were observed on May 16 (2.67 ± 0.30), July 3 (3.00 ± 0.52), and August 28 (2.77 ± 0.31). Temperature had a direct and significant positive effect only on egg population, while humidity had a non-significant negative effect on egg and adult populations. The spatial distribution pattern was characterized using Taylor's power law and Iwao's index. Based on comparison of coefficients of determination (R^2), Taylor's model provided a better fit to the data, and the spatial distribution was random for eggs, first-instar larvae, second-instar larvae, and adults, but aggregated for third-instar larvae. The three distinct population peaks observed across different life stages confirm that temperature variations



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

<https://doi.org/10.22067/JPP.2026.95058.1248>

significantly impact population growth, especially during the egg-laying stage. The determination of precise peak population timing for different life stages across three generations provides valuable information for implementing timely and targeted control measures in integrated pest management (IPM) programs.

Conclusion

The results of this study emphasize the critical importance of monitoring the population of the elm leaf beetle for effective pest management and help determine the optimal timing for implementing control measures. This study, through examining population fluctuations and environmental factors affecting different life stages of the elm leaf beetle in Kermanshah city, highlights the essential need for a comprehensive understanding of this pest's population dynamics. Identifying distinct population peaks in each life stage offers valuable opportunities for precise and timely pest control interventions. This detailed bio-ecological knowledge is crucial for developing effective IPM programs aimed at reducing pesticide usage, minimizing economic losses, and enhancing the health and sustainability of urban green spaces. Ultimately, the success of sustainably managing this pest depends on continuous, precise population monitoring and the thorough analysis of influential environmental factors.

Keywords: Humidity, Population fluctuation, Sampling, Spatial distribution, Temperature

بیواکولوژی سوسک برگ‌خوار نارون (*Xanthogaleruca luteola* (Col.: Chrysomelidae))

در شهر کرمانشاه

محمدرضا پایدار^۱ - عباسعلی زمانی^{۱*} - آرزو جمشیدی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۴

چکیده

سوسک برگ‌خوار نارون (*Xanthogaleruca luteola* (Müller) (Col.: Chrysomelidae))، آفت مهم درختان نارون، *Ulmus* spp. است که در اثر تغذیه از برگ‌های نارون باعث خسارات قابل توجهی از جمله کاهش فتوسنتز و ضعف درختان می‌شود. در این تحقیق، میزان آلودگی درختان نارون به سوسک برگ‌خوار نارون و تأثیر عوامل محیطی بر جمعیت این آفت در شهر کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری از مراحل مختلف زیستی آفت شامل تخم، لارو و حشره کامل، روی ۳۰ درخت انتخابی، هر سه روز یک‌بار در ۱۳ منطقه مختلف شهری صورت گرفت. نمونه‌برداری از مراحل مختلف زیستی سوسک، از اسفندماه ۱۴۰۱ تا آذر ۱۴۰۲ انجام شد و نوسانات جمعیتی آفت مذکور در ارتباط با شرایط دمایی و رطوبتی مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین جهت تعیین الگوی توزیع فضایی مراحل مختلف زیستی آفت، از روش‌های رگرسیونی تیلور و آیوائو استفاده شد. نتایج پایش جمعیت سوسک برگ‌خوار نارون نشان داد که این آفت در شرایط اقلیمی شهر کرمانشاه دارای سه نسل مجزا در طول فصل رشد است. اوج‌های جمعیتی حشرات کامل برای هر نسل به ترتیب در تاریخ‌های ۲۶ اردیبهشت ($0/30 \pm 2/67$)، ۱۲ تیر ($0/52 \pm 3/00$) و ۶ شهریور ($0/31 \pm 2/77$) مشاهده شد. همچنین اگرچه رابطه تغییرات جمعیت در تمام مراحل زندگی با متغیر دما از نوع مستقیم و مثبت بود، ولی تنها در مرحله تخم، این رابطه از نظر آماری معنی‌دار بود. از سوی دیگر، رطوبت به‌عنوان یک عامل محیطی تأثیر منفی بر جمعیت تخم‌ها و حشرات بالغ داشت و با افزایش رطوبت، جمعیت این مراحل کاهش یافت. الگوی توزیع فضایی سوسک برگ‌خوار با استفاده از قانون تیلور و شاخص آیوائو مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج روش تیلور که از دقت بالاتری برخوردار بود، توزیع فضایی برای مراحل تخم، لاروهای سنین یک و دو و حشرات کامل از نوع تصادفی و برای لاروهای سن سه از نوع تجمعی تعیین شد. نتایج این مطالعه، زمان‌بندی دقیق اوج جمعیت مراحل مختلف زندگی آفت در سه نسل مختلف را مشخص نمود که برای تعیین زمان مناسب کنترل در مراحل حساس زندگی آفت در هر نسل، می‌تواند مورد استفاده کاربردی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: توزیع فضایی، دما، رطوبت، نمونه‌برداری، نوسانات جمعیت

مقدمه

جهت حفظ و نگهداری آن‌ها انجام شود (Safari et al., 2019). بیش از ۱۵ گونه از این درختان به‌علت داشتن چوب نیمه‌سخت، در صنایع مختلف از جمله روکش، مبلمان و صنایع چوبی، کشتی‌سازی و صنعت خودرو مورد استفاده قرار می‌گیرند و در گروه چوب‌های مرغوب مانند راش، *Fagus orientalis* Lipsky و گردو، *Juglans regia* L. قرار دارند (Nilofari, 1984; Hejazi, 1985).

با این وجود، درختان نارون در معرض تهدیدات متعددی قرار دارند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، سوسک برگ‌خوار نارون (*Xanthogaleruca luteola* (Müller) (Col. Chrysomelidae)) است. این آفت با تغذیه شدید خود موجب آسیب جدی به پوشش برگ و کاهش عملکرد فتوسنتزی درخت می‌شود. بررسی‌های انجام‌شده

گونه‌های نارون (*Ulmus* spp.) از جمله درختان پهن‌برگی هستند که به‌علت دارا بودن قابلیت‌های زینتی و صنعتی از دیرباز مورد توجه قرار گرفته‌اند (Hajjaliloo et al., 2015). با توجه به تأثیر درختان نارون در زیبایی فضاهای سبز شهری، تصفیه هوا از آلاینده‌ها، ایجاد سایه و افزایش کیفیت زیست‌محیطی، اقدامات لازم باید در

۱- گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی،

کرمانشاه، ایران

(Email: azamani@razi.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

نشان می‌دهد که مرحله لاروی این آفت بیش‌ترین خسارت را به درخت وارد می‌کند. لاروها با تغذیه از پارانشیم برگ سبب کاهش سطح فتوسنتز و اسکلتی و توری شدن برگ‌ها می‌شوند (Kiarasi et al., 2018). این آفت در اغلب نقاط کشور، خسارت شدیدی به درختان نارون وارد می‌سازد و علاوه بر برگ‌زدایی و تغییرات ظاهری موجب اختلال در فیزیولوژی درختان و کاهش مقاومت در برابر سایر آفات و تنش‌های محیطی و کاهش کیفیت چوب می‌گردد (Arbab et al., 2001 & Hall et al., 1987).

مشکلات مهار و مدیریت سوسک برگ‌خوار نارون عمدتاً به‌دلیل زیست‌شناسی پیچیده، چندنسلی بودن و توانایی این آفت در تطابق با شرایط محیطی مختلف ایجاد شده است. این آفت دارای چندین نسل در سال می‌باشد که سبب افزایش سریع جمعیت و خسارت‌های گسترده به درختان نارون می‌گردد، به‌ویژه نسل بهاره که خسارت شدیدی ایجاد می‌کند. همچنین مقاومت نسبی این حشره به برخی آفت‌کش‌های شیمیایی و فعالیت بالای دشمنان طبیعی از جمله پارازیتوئیدها باعث می‌شود که مهار آن نیازمند برنامه‌های مدیریتی تلفیقی و مستمر باشد (Arbab et al., 2001; Safari, 2019). زنبور پارازیتوئید (*Tetrastichus gallerucae* (Fonscolombe))، یک عامل مهار زیستی مؤثر برای سوسک برگ‌خوار نارون است که با پارازیت کردن تخم‌های این آفت، نقش کلیدی در مدیریت پایدار جمعیت آن روی درختان نارون ایفا می‌کند (Zohdi & Talebi, 2011). لازمه تدوین صحیح برنامه مدیریت تلفیقی هر آفت، داشتن آگاهی کامل از زیست‌شناسی، بوم‌شناسی، آستانه زیان اقتصادی و دینامیس جمعیت آن است (Liebhold et al., 2006). پایش مستمر تغییرات جمعیت سوسک برگ‌خوار نارون سبب شناسایی مناطق آلوده شهری می‌شود؛ در نتیجه می‌توان مدیریت مؤثری روی این آفت داشت و با مشاهده اولین علائم حضور سوسک برگ‌خوار نارون می‌توان اقدام به مهار از طریق روش‌های مدیریت تلفیقی آفت کرد و از وارد شدن خسارت به درختان و فضای سبز شهری جلوگیری کرد (Dreistadt, 2016).

تحقیقات ارباب و همکاران (Arbab et al., 2003) نشان داد که این حشره در ایران و در (سایر مناطق گرمسیری دنیا، دارای سه نسل و در مناطق معتدل دارای دو نسل در سال می‌باشد و همچنین نشان داده شده است که در شهر قزوین، این حشره دارای چهار نسل کامل در سال است. طبق تحقیقات خلیلی ماهانی و همکاران (Khalili Mahani et al., 2004)، تعداد تخم‌هایی که سوسک برگ‌خوار نارون ماده می‌گذارد، تحت تأثیر ویژگی‌هایی چون طول دوره لاروی سنین دوم و سوم، طول عمر حشرات نر و طول دوره پیش از تخم‌ریزی قرار گرفت که البته این ویژگی‌ها، در میزبان‌های مختلف متفاوت بودند.

همچنین نتایج بررسی باروری و جدول زندگی سوسک برگ‌خوار نارون روی چهار گونه میزبان درخت نارون چتری، *Ulmus minor* (Trautv.) 'Umbraculifera'، نارون وسک، *Ulmus minor* Mill.، نارون مجنون، *Ulmus minor* 'Pendula' Boom، و درخت داغداغان، *Celtis australis* L.، در شرایط آزمایشگاهی نشان داد که در هر دو فصل بهار و تابستان، نرخ خالص تولیدمثل و نرخ ذاتی رشد این آفت روی نارون وسک بیشتر از سایر میزبان‌های مورد بررسی بوده است. براساس تحقیقات میرکریمی و همکاران (Mirkarimi et al., 2006)، نسل بهاره سوسک برگ‌خوار نارون خسارت شدیدی ایجاد کرد، ولی نسل تابستانه، به‌دلیل شرایط فصلی و پارازیتسم شدید زنبورها و مگس‌های پارازیتوئید، خسارت چندانی نداشت. در بلغارستان دو نسل کامل (Pedigo & Wagner, 1989)، در استرالیا یک نسل (Dreistadt & Dahlsten, 1990)، در روسیه دو نسل (Kalguzhnaya, 1995)، در شیلی چهار نسل (Huerta et al., 2011) و در اسپانیا تعداد نسل‌ها با توجه به شرایط اقلیمی مختلف، از یک تا چهار نسل گزارش شده است (Rodrigo et al., 2019). زیست‌شناسی سوسک برگ‌خوار نارون در منطقه کردستان عراق نیز مورد مطالعه قرار گرفت و تعداد سه نسل در سال برای این حشره شناسایی شد (Mustafa, 2020).

تا کنون مطالعه‌ای در مورد زیست‌شناسی سوسک برگ‌خوار نارون در فضاهای سبز شهر کرمانشاه انجام نشده است و این تحقیق برای اولین بار در این منطقه صورت گرفته است. با توجه به گسترش سوسک برگ‌خوار نارون در فضای سبز شهر کرمانشاه، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی نوسانات جمعیت و تعداد نسل آفت، تعیین نوع پراکنش فضایی آفت و شناسایی دشمنان طبیعی آن انجام شد.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی نوسانات جمعیت سوسک برگ‌خوار نارون، نمونه برداری از مراحل مختلف زیستی آفت هر سه روز یک بار در قسمت‌های مختلف شهر کرمانشاه انجام شد. نمونه‌برداری‌ها از اسفند سال ۱۴۰۱ آغاز و تا آذر ۱۴۰۲ ادامه داشت. بازدیدهای ابتدایی هر فصل به‌منظور تعیین زمان شروع فعالیت حشرات زمستان‌گذران انجام شد تا زمان دقیق آغاز فعالیت آفت مشخص شود. برای این منظور، ۱۳ منطقه از کرمانشاه به‌عنوان مناطق نمونه‌برداری انتخاب گردید که اطلاعات مربوط به این مناطق در جدول ۱ ارائه شده است. از بین این ۱۳ منطقه، به‌طور تصادفی هر سه روز یک بار شش منطقه انتخاب و در هر دوره نمونه‌برداری، ۳۰ درخت نارون مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- اطلاعات جغرافیایی و مشخصات مناطق نمونه‌برداری شده در شهر کرمانشاه

Table 1- Geographical coordinates and characteristics of sampling locations in Kermanshah city

Region name	Geographic coordinate
Ferdowsi Square, City Park (Azadegan)	N3796590.6, E687659.6
Lashgar	N3797079.2, E689828.8
Kianshahr	N3797058.7, E689746.4
Elahiyeh	N3804670.5, E691011.2
Tawon	N3804201.4, E690733.9
Pardis	N3797388.2, E687849.2
Taghbostan	N3808453.8, E695346.3
Kuhistan Park	N3807029.1, E695347.3
Golestan	N3801651.6, E689090.6*
Ershad	N3802226.1, E690998.4
Zafar Blvd.	N3803010.6, E690771.1
Anahita	N3807605.7, E691638.7
Sajjad Blvd.	N3798033.5, E685113.3

$$m^* = \alpha + \bar{x}\beta \quad \text{معادله (۳)}$$

$$m^* = \bar{x} + \left(\frac{s^2}{\bar{x}}\right) - 1 \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن‌ها، α : نشان‌دهنده تمایل افراد جمعیت به تجمع (در صورت مثبت بودن) یا دافعه بین افراد (در صورت منفی بودن) است و β : نشان‌دهنده نوع پراکنش جمعیت است که همانند مقادیر b قانون توان تیلور برای تعیین نوع توزیع فضایی تفسیر می‌شود (Krebs, 1999).

آزمون معنی‌دار بودن اختلاف شیب خط رگرسیون محاسبه‌شده (شاخص b تیلور و β آیوآو) با عدد یک به کمک آماره t بررسی می‌گردد.

$$t = \frac{|\text{slope} - 1|}{SE_{\text{slope}}} \quad \text{معادله (۵)}$$

که در آن slope : شیب خط رگرسیون برآوردشده (مقادیر b یا β) و SE_{slope} : خطای استاندارد شیب خط رگرسیون است. مقدار t محاسبه‌شده با t جدول با درجه آزادی $n-2$ مقایسه و اگر قدرمطلق مقدار t محاسبه‌شده از t جدول بزرگ‌تر باشد، اختلاف مقادیر b تیلور و β آیوآو با عدد یک معنی‌دار و پراکنش فضایی آفت تجمعی یا یکنواخت خواهد بود، ولی اگر اختلاف با عدد یک معنی‌دار نباشد، پراکنش از نوع تصادفی خواهد بود (Feng & Nowierski, 1992). پس از تعیین نوع توزیع فضایی براساس هر یک از شاخص‌ها، تعداد نمونه‌برداری بهینه (N_{opt}) با استفاده از ضرایب رگرسیونی Taylor's power law (معادله ۶) و Iwao's patchiness method (معادله ۷) محاسبه گردید.

$$N_{opt} = \left(\frac{t\alpha/2}{D}\right)^2 2a\bar{x}^{(b-2)} \quad \text{معادله (۶)}$$

$$N_{opt} = \left(\frac{t\alpha/2}{D}\right)^2 2\left(\frac{\alpha+1}{\bar{x}} + \beta - 1\right) \quad \text{معادله (۷)}$$

که در آن‌ها، D : معادل میزان خطای قابل قبول بوده و بیانگر نسبت ثابت و مطلوب میانگین است. به عبارت دیگر، اگر مقدار $D=0.25$ باشد، نشان می‌دهد که ۹۵ درصد احتمال دارد که میانگین

در فرآیند بررسی درخت‌های نارون، تعداد ۳۰ درخت نارون از نواحی مختلف شهر به صورت تصادفی انتخاب شد و روی هر درخت و در قسمت میانی تاج آن، در هر یک از چهار جهت اصلی، یک سرشاخه به طول ۲۰ سانتی‌متر انتخاب و با دقت مورد بررسی قرار گرفت و تعداد تخم، لاروهای سنین یک تا سه، شفیره و حشرات کامل روی آن‌ها شمارش و ثبت گردید. هر سرشاخه ۲۰ سانتی‌متری، به عنوان یک واحد نمونه‌برداری در نظر گرفته شد. به منظور مشاهده بهتر و شمارش دقیق، از یک ذره‌بین استفاده گردید.

برای تعیین الگوی توزیع فضایی مراحل مختلف زیستی آفت، از روش رگرسیونی تیلور و آیوآو استفاده شد. در روش تیلور، داده‌های مربوط به هر تاریخ نمونه‌برداری به طور جداگانه در نظر گرفته شده و میانگین و واریانس آن‌ها محاسبه گردید. طبق این روش، بین واریانس جمعیت (S^2) و میانگین تراکم جمعیت ($\bar{x}$) معادله ۱ برقرار است.

$$S^2 = a\bar{x}^b \quad \text{معادله (۱)}$$

برای تبدیل معادله ۱ به یک رابطه خطی و محاسبه ضرایب a و b ، دو طرف معادله فوق در لگاریتم ضرب می‌گردد و معادله ۲ به دست خواهد آمد.

$$\text{Log}(s^2) = \log(a) + b \log(\bar{x}) \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، a : عرض از مبدأ که به اندازه نمونه بستگی دارد، b : شیب خط که نشان‌دهنده نوع الگوی توزیع فضایی آفت است که طبق قانون توان تیلور به شرح ذیل تفسیر می‌شود: اگر مقدار b برابر با ۱ باشد، توزیع فضایی تصادفی است؛ اگر بزرگ‌تر از ۱ باشد، توزیع فضایی تجمعی و اگر کمتر از ۱ باشد، توزیع فضایی یکنواخت است (Arlando & Torres, 2005).

شاخص آیوآو در حقیقت شیب رابطه رگرسیونی بین میانگین ازدحام لویید m^* و میانگین جمعیت ($\bar{x}$) است که طبق معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه می‌گردد.

جمعیت آن‌ها ملایم‌تر و نسبتاً پایدارتر از مراحل تخم و لارو بود. در مجموع، سه اوج ظهور حشرات کامل، در روزهای ۲۶ اردیبهشت، ۱۲ تیر و ۶ شهریور مشاهده شد. بیشترین جمعیت حشرات کامل در کل فصل، در روز ۶ شهریور با میانگین $2/77 \pm 0/31$ حشره به‌ازای هر واحد نمونه‌برداری به دست آمد.

اثر دما و رطوبت بر نوسانات جمعیت سوسک برگ‌خوار نارون

رابطه نوسانات جمعیت مراحل زیستی سوسک برگ‌خوار نارون با تغییرات دما و رطوبت نسبی روزانه محیط، با استفاده از مدل رگرسیون چندگانه بررسی شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که اگرچه رابطه تغییرات جمعیت در تمام مراحل زندگی با متغیر دما از نوع مستقیم بود، ولی تنها در مرحله تخم این رابطه از نظر آماری معنی‌دار شد ($P = 0.003$) و در سایر مراحل، دما اثر معنی‌داری روی تغییرات جمعیت نداشت. در مورد رطوبت نسبی، تغییرات جمعیت در تمام مراحل زیستی به‌جز مرحله تخم، رابطه عکس با تغییرات رطوبت نسبی روزانه داشت، ولی در هیچ یک از موارد این رابطه از نظر آماری معنی‌دار نبود.

تعیین الگوی توزیع فضایی

برای تعیین الگوی توزیع فضایی سوسک برگ‌خوار نارون، از قانون توان تیلور و شاخص آیوانو استفاده شد. دلیل استفاده از این دو روش آن است که این شاخص‌ها براساس داده‌های حاصل از چندین مرحله نمونه‌برداری به دست می‌آیند و به‌عنوان روش‌های رگرسیونی با دقت بالا شناخته می‌شوند. این تکنیک‌ها به‌خوبی می‌توانند الگوهای پراکنش و تجمع آفت را در محیط مورد بررسی تشخیص دهند و اطلاعات مفیدی درباره تراکم و توزیع فضایی آن ارائه دهند.

قانون توان تیلور یک رابطه آماری است که برای تعیین الگوی توزیع فضایی جمعیت موجودات زنده از جمله آفات استفاده می‌شود. این قانون به‌طور گسترده در بوم‌شناسی و علوم کشاورزی برای تحلیل پراکنش و توزیع فضایی گونه‌ها به کار گرفته می‌شود. در واقع، قانون توان تیلور نشان می‌دهد که چگونه واریانس (پراکندگی) یک جمعیت نسبت به میانگین تراکم آن تغییر می‌کند. در جدول ۳ آماره‌های رگرسیونی به‌دست‌آمده براساس قانون توان تیلور برای مراحل مختلف زیستی سوسک برگ‌خوار نارون ارائه شده است. بر این اساس، مقادیر شیب خط برای مراحل لارو سن سه و مجموع مراحل نابالغ، به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر از یک هستند، که نشان‌دهنده الگوی تجمعی در این مراحل است. این بدان معنا است که جمعیت آفت در این مراحل تمایل به تجمع در نقاط خاص دارد. برای سایر مراحل زندگی، شیب خط رگرسیون تفاوت معنی‌داری با یک نشان ندادند و بیانگر وجود

نمونه، ۲۵ درصد بالاتر یا پایین‌تر از میانگین واقعی جامعه باشد (Southwood & Henderson, 2009).

به‌منظور بررسی ارتباط بین تغییرات جمعیت سوسک برگ‌خوار نارون و متغیرهای میانگین دما و رطوبت نسبی روزانه، از مدل رگرسیون چندگانه استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج

نوسانات جمعیت مراحل زیستی مختلف سوسک برگ‌خوار

نارون در شهر کرمانشاه

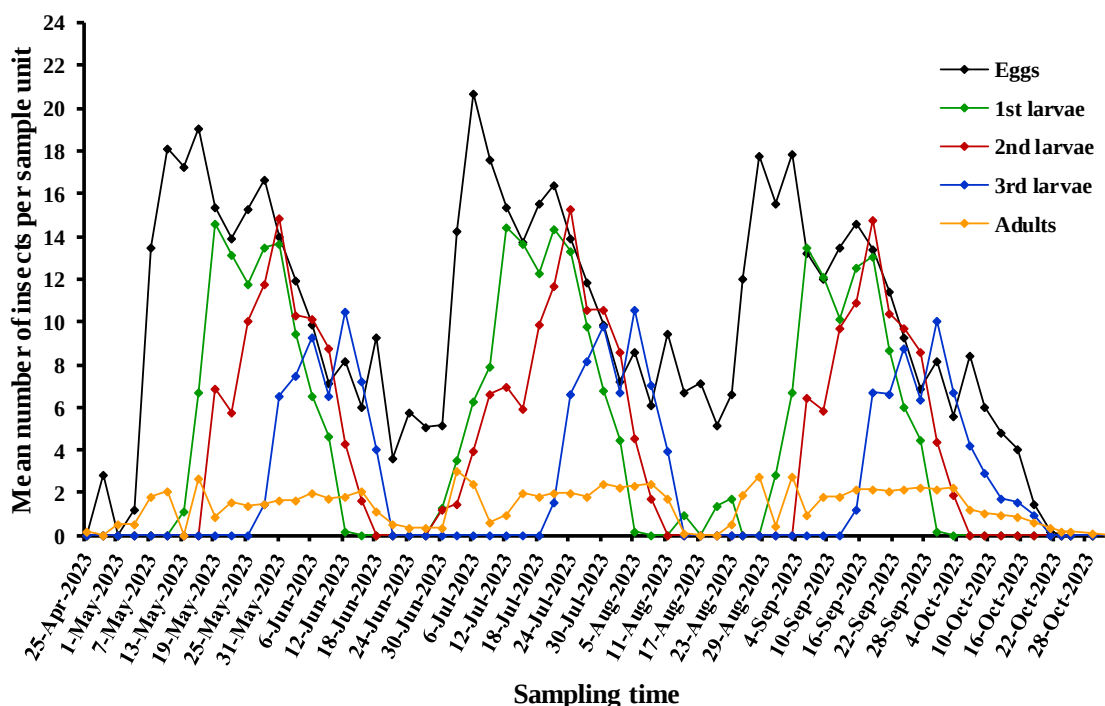
طی یک برنامه نمونه‌برداری منظم، از اوایل اسفند ۱۴۰۱ تا آخر آذر ۱۴۰۲، نوسانات جمعیت سوسک برگ‌خوار نارون به‌طور منظم هر سه روز یک بار بررسی شد و نتایج آن در شکل ۱ نشان داده شده است. به‌طور مشخص، سه اوج (پیک) جمعیتی در مراحل مختلف زیستی این حشره مشاهده شد. نخستین دسته‌جات تخم در اوایل اردیبهشت در برخی از نقاط نمونه‌برداری شده مشاهده گردید که نشان‌دهنده آغاز فعالیت آفت در فصل جدید است. بیشترین میزان تخم‌ریزی در روز ۲۶ اردیبهشت مشاهده شد، زمانی که تعداد تخم به ۱۹ عدد در هر واحد نمونه‌برداری رسید، کاهش میزان تخم‌ریزی آغاز گردید. دومین اوج تراکم تخم‌ها در روز ۱۶ تیر مشاهده شد که در این زمان به‌طور میانگین $2/47 \pm 20/73$ تخم در هر واحد نمونه‌برداری به ثبت رسید که بالاترین مقدار در طول فصل بود و سومین اوج تخم‌ریزی نیز در ۱۲ شهریور رخ داد و به این ترتیب سه دوره تخم‌ریزی مشخص برای سوسک برگ‌خوار نارون در طول فصل ثبت گردید (شکل ۱).

بررسی نوسانات جمعیت در مراحل لاروی، که بیشترین میزان آسیب را به درختان وارد می‌کنند، نشان داد که لاروهای سن یک، سه اوج جمعیتی در روزهای ۲۹ اردیبهشت، ۲۱ تیر و ۱۵ شهریور داشتند. بالاترین جمعیت لاروهای سن یک با میانگین $1/25 \pm 14/60$ لارو در هر واحد نمونه‌برداری در روز ۲۹ اردیبهشت مشاهده شد. برای لاروهای سن دو نیز الگوی مشابه تخم ثبت شد؛ سه اوج مشخص در تاریخ‌های ۱۰ خرداد، ۲ مرداد و ۲۷ شهریور تشخیص داده شد. اوج جمعیت لاروهای سن سه که مرحله نهایی لاروی قبل از شفیرگی محسوب می‌شود، به‌ترتیب در روزهای ۲۲ خرداد، ۱۴ مرداد و ۸ مهر به ثبت رسید. این الگوی نسبتاً منظم و پیوسته در نوسانات جمعیت آفت، نشان‌دهنده وجود یک روند قابل پیش‌بینی در تطابق آن با شرایط اقلیمی و محیطی منطقه کرمانشاه است.

روند نوسانات جمعیت حشرات بالغ *X. luteola*، نسبت به مراحل تخم و لاروی تفاوت داشت و زمان‌های اوج تراکم جمعیت آن‌ها برخلاف مراحل قبل، چندان متمایز از زمان‌های دیگر نبود و نوسانات

برگ‌خوار نارون را توصیف کرده است. ضمن اینکه با توجه به مقادیر P_{value} برای تمام مراحل زیستی، رابطه رگرسیونی بین لگاریتم واریانس و لگاریتم میانگین معنی‌دار بود.

توزیع تصادفی برای این مراحل است. با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۳، مقادیر ضریب تبیین (R^2) برای تمام مراحل (۰/۷۱۷ - ۰/۹۲۸) به یک نزدیک بودند که نشان می‌دهد، قانون توان تیلور به‌خوبی الگوی توزیع فضایی سوسک



شکل ۱- نوسانات جمعیت مراحل زیستی سوسک برگ‌خوار نارون (*Xanthogaleruca luteola*) در ماه‌های مختلف سال ۱۴۰۲
Figure 1- Population fluctuation of different life stages of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola*, across various months in 2023

جدول ۲- نتایج بررسی رابطه نوسانات جمعیت مراحل زیستی سوسک برگ‌خوار نارون (*Xanthogaleruca luteola*)، با تغییرات میانگین دما و رطوبت نسبی روزانه با استفاده از روش رگرسیون چندگانه

Table 2- Multiple regression analysis of population fluctuations of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola*, in relation to average daily temperature and humidity

Life stage	Relative humidity		Temperature		Regression	
	Coefficient	Pvalue	Coefficient	Pvalue	r	Pvalue
Egg	0.013 ± 0.060	0.825	0.414 ± 0.135	0.003	0.452	0.001
Larva 1	-0.004 ± 0.061	0.944	0.212 ± 0.138	0.131	0.265	0.104
Larva 2	-0.005 ± 0.055	0.925	0.193 ± 0.123	0.121	0.274	0.089
Larva 3	-0.023 ± 0.041	0.581	0.028 ± 0.093	0.761	0.137	0.555
Adult	-0.012 ± 0.010	0.209	0.023 ± 0.022	0.295	0.35	0.018

ضرایب β با عدد یک تفاوت معنی‌داری نداشتند و نشان می‌دهد که الگوی توزیع فضایی برای تمام مراحل از نوع تصادفی بود. با بررسی نتایج آماره t_{β} نیز مشخص است که همه مقادیر از مقادیر جدول کوچک‌تر بودند و بنابراین به لحاظ آماری، توزیع فضایی برای همه مراحل از نوع تصادفی بود (جدول ۴).

نتایج مربوط به تحلیل توزیع فضایی مراحل مختلف زیستی سوسک برگ‌خوار نارون با استفاده از شاخص آیوانو در جدول ۴ ارائه شده است. ضریب بتا برای مراحل مختلف زیستی به‌ترتیب برای مراحل تخم، لارو سن ۱، لارو سن ۲، لارو سن ۳، حشره کامل و مجموع مراحل نابالغ برابر با ۰/۸۸۴، ۰/۹۵۱، ۰/۸۴۶، ۰/۹۷۱، ۰/۹۸۸ و ۰/۱۴ به دست آمد. به‌طور کلی، در تمام مراحل زیستی، مقادیر

جدول ۳- آماره‌های رگرسیونی به‌دست‌آمده براساس قانون توان تیلور برای مراحل مختلف زیستی سوسک برگ‌خوار نارون

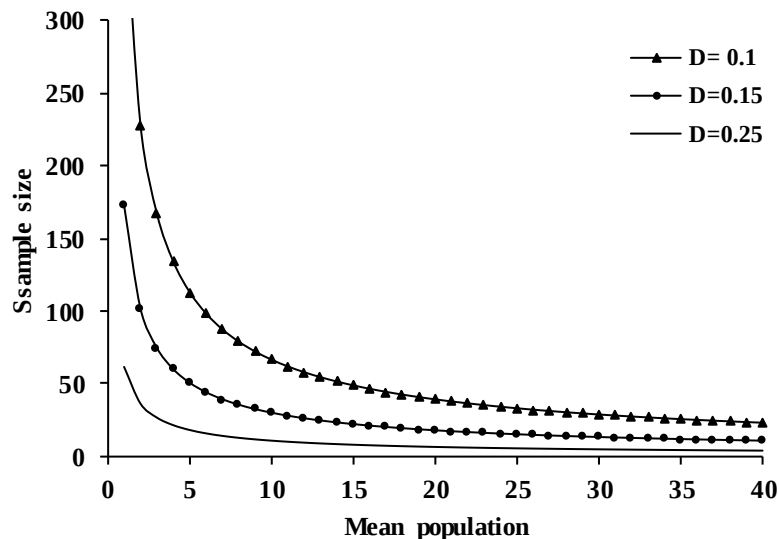
Table 3- Taylor's power law regression analysis for spatial distribution patterns of elm leaf beetle life stages

Life stage	Intercept $\pm$ SE (Confidence interval 95%)	b $\pm$ SE (Confidence interval 95%)	t _{table} ($\alpha=0.05$)	t _b (df)	R ²	P _{value}	Spatial distribution
Egg	0.840 $\pm$ 0.103 (0.634-1.046)	0.919 $\pm$ 0.103 (0.713-1.125)	2.004	0.786 (58)	0.583	0.000**	Random
Larvae1	0.618 $\pm$ 0.096 (0.423 $\pm$ 0.813)	1.005 $\pm$ 0.109 (0.784 $\pm$ 1.227)	2.029	0.055 (38)	0.701	0.000**	Random
Larvae2	0.764 $\pm$ 0.090 (0.580 $\pm$ 0.948)	0.854 $\pm$ 0.104 (0.643 $\pm$ 1.066)	2.037	1.403 (34)	0.679	0.000**	Random
Larvae3	0.479 $\pm$ 0.041 (0.395 $\pm$ 0.563)	1.163 $\pm$ 0.053 (1.054 $\pm$ 1.273)	2.052	3.075 (29)	0.946	0.000**	Cumulative
Adult	-0.002 $\pm$ 0.034 (-0.070 $\pm$ 0.066)	0.943 $\pm$ 0.076 (0.790 $\pm$ 1.096)	2.001	0.750 (61)	0.717	0.000**	Random
Total immature stages	0.475 $\pm$ 0.093 (0.288 $\pm$ 0.661)	1.187 $\pm$ 0.083 (1.020 $\pm$ 1.354)	2.023	2.947 (49)	0.843	0.000**	Cumulative

جدول ۴- آماره‌های رگرسیونی به‌دست‌آمده براساس شاخص آیواتو برای مراحل مختلف زیستی سوسک برگ‌خوار نارون

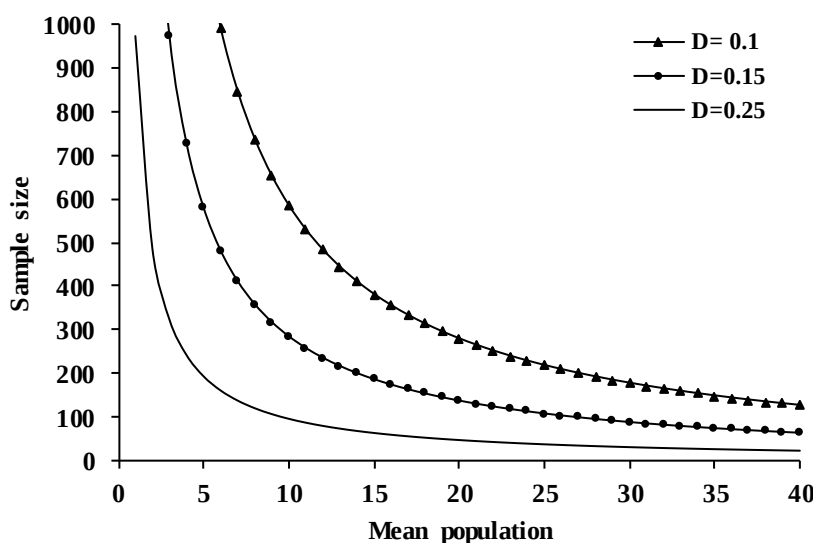
Table 4- Iwao's patchiness regression analysis for spatial distribution patterns of elm leaf beetle life stages

Life stage	Intercept $\pm$ SE (Confidence interval 95%)	$\beta \pm$ SE (Confidence interval 95%)	t _{table} ($\alpha=0.05$)	t _p (df)	R ²	P _{value}	Spatial distribution
Egg	7.273 $\pm$ 1.424 (4.421 $\pm$ 10.125)	0.884 $\pm$ 0.122 (0.640 $\pm$ 1.128)	2.004	0.950 (58)	0.480	0.000**	Random
Larvae1	4.596 $\pm$ 0.663 (3.252 $\pm$ 5.940)	0.915 $\pm$ 0.072 (0.770 $\pm$ 1.060)	2.029	0.680 (38)	0.824	0.000**	Random
Larvae2	4.862 $\pm$ 0.803 (3.226 $\pm$ 6.497)	0.864 $\pm$ 0.092 (0.677 $\pm$ 1.052)	2.037	1.770 (34)	0.739	0.000**	Random
Larvae3	2.864 $\pm$ 0.427 (1.987 $\pm$ 3.741)	1.021 $\pm$ 0.066 (0.887 $\pm$ 1.156)	2.052	0.402 (29)	0.868	0.000**	Random
Adult	0.202 $\pm$ 0.186 (0.170 $\pm$ 0.575)	0.988 $\pm$ 0.113 (0.763 $\pm$ 1.213)	2.001	0.106 (61)	0.562	0.000**	Random
Total immature stages	4.304 $\pm$ 0.593 (3.111 $\pm$ 5.496)	1.002 $\pm$ 0.032 (0.937 $\pm$ 1.068)	2.023	0.437 (49)	0.954	0.000**	Random



شکل ۲- ارتباط بین تعداد نمونه بهینه و میانگین تراکم جمعیت مجموع مراحل زیستی سوسک برگ‌خوار نارون با استفاده از روش رگرسیونی تیلور در سال ۱۴۰۲

Figure 2- Relationship between the optimal sample size and the average population density of all life stages of the elm leaf beetle using the Taylor regression method in 2023



شکل ۳- ارتباط بین تعداد نمونه بهینه و میانگین تراکم جمعیت مجموع مراحل زیستی سوسک برگ‌خوار نارون با استفاده از روش رگرسیونی آیوانو در سال ۱۴۰۲

Figure 3- Relationship between the optimum sample size and the average population density of all life stages of the elm leaf beetle using the Iwao regression method in 2023

به‌عنوان مثال، در سطح دقت $D=0.1$ ، اگر میانگین تراکم جمعیت سوسک برگ‌خوار در یک واحد نمونه‌برداری ۵ باشد، روش تیلور تعداد نمونه را حدود ۱۱۳ برآورد می‌کند، درحالی‌که روش آیوانو برای همین شرایط، تعداد نمونه را بیش از ۱۰۰۰ نمونه تخمین می‌زند. برای سطح دقت $D=0.25$ ، برای میانگین تراکم جمعیت ۵، تعداد نمونه بهینه با استفاده از روش‌های تیلور و آیوانو به ترتیب ۱۹ و ۱۹۲ نمونه برآورد می‌شود. بر این اساس، روش تیلور امکان برنامه‌ریزی بهینه در نمونه‌برداری را فراهم می‌آورد تا ضمن حفظ دقت مطلوب، از اتلاف منابع و زمان جلوگیری شود.

بحث

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که سوسک برگ‌خوار نارون، در شرایط اقلیمی شهر کرمانشاه دارای سه نسل مشخص با تراکم جمعیتی نسبتاً یکنواخت است. تعداد نسل سوسک برگ‌خوار نارون در مناطق مختلف جهان، بسته به شرایط اقلیمی، بین دو تا چهار نسل در سال گزارش شده است (Dreistadt & Arbab et al., 2003; Dahlsten, 1990; Huerta et al., 2011; Rodrigo et al., 2019; Mustafa, 2020). این تنوع، بیانگر پاسخ بیولوژیک متفاوت آفت به متغیرهای اقلیمی، به‌ویژه دما و طول فصل رشد در هر منطقه است. وجود سه نسل از آفت در کرمانشاه، با گزارش منطقه هم‌اقلیم شمال عراق (Mustafa, 2020) مطابقت دارد. مشاهده تعداد نسل کمتر در مناطق معتدل‌تر و نسل‌های بیشتر در مناطق با فصل رشد طولانی‌تر و گرم‌تر، نقش تعیین‌کننده اقلیم منطقه در پویایی جمعیت

در مواردی که نتایج حاصل از روش‌های تیلور و آیوانو در تعیین الگوی توزیع فضایی آفت متفاوت هستند، مقدار ضریب تبیین (R^2)، به‌عنوان معیار ارزیابی دقت برازش مدل به داده‌ها اهمیت می‌یابد و در شرایط وجود تناقض بین نتایج دو روش، برای تشخیص الگوی پراکنش فضایی آفت، اولویت با استفاده از روشی است که ضریب تبیین بالاتری دارد. با توجه به مقایسه مقدار R^2 در مدل‌های تیلور و آیوانو برای حشرات کامل مدل تیلور ($R^2=0.717$) و برای مجموع مراحل نابالغ، مدل آیوانو ($R^2=0.954$) داده‌ها را بهتر برازش کردند. منحنی‌های مربوط به تعداد نمونه بهینه و میانگین تراکم مجموع مراحل زیستی سوسک برگ‌خوار نارون در سه سطح دقت ۱۰، ۱۵ و ۲۵ درصد با استفاده از ضرایب روش‌های رگرسیونی قانون توان تیلور و شاخص آیوانو در شکل‌های ۲ و ۳ نمایش داده شده است. نمودارهای مربوط به تعیین تعداد نمونه نشان می‌دهند که در تراکم‌های یکسان از جمعیت آفت، روش رگرسیونی قانون توان تیلور، تعداد نمونه کمتری را در مقایسه با روش آیوانو برآورد می‌کند. در هر دو نمودار مشخص است که با افزایش میانگین تراکم جمعیت، تعداد نمونه‌های لازم برای دستیابی به دقت‌های مختلف (۱۰، ۱۵ و ۲۵ درصد) کاهش می‌یابد. این روند بیانگر آن است که هرچه تراکم جمعیت بالاتر باشد، نمونه‌برداری با حجم کمتر نیز قادر به برآورد دقیق‌تر پراکندگی جمعیت خواهد بود. همان‌گونه که مشخص است، با استفاده از روش رگرسیون قانون توان تیلور در تمام سطوح دقت، تعداد نمونه‌های کمتری نسبت به روش آیوانو مورد نیاز است و نشان می‌دهد که این روش برای برآورد تعداد نمونه، کارآمدتر از روش آیوانو است.

این آفت را به‌وضوح نشان می‌دهد. تفاوت در تعداد نسل‌ها نه یک تناقض، بلکه بازتابی از سازگاری این گونه با طیف وسیعی از زیستگاه‌ها است که ضرورت درک آن برای برنامه‌ریزی مدیریت منطقه‌ای آفت را بیشتر نشان می‌دهد. ویژگی خاص آفت در مطالعه حاضر، یکنواختی نسبی در تراکم جمعیت بین نسل‌های مختلف است که با بسیاری از گزارش‌های قبلی متفاوت است، زیرا درحالی‌که مطالعات میرکریمی و همکاران (Mirkarimi et al., 2006) کاهش تدریجی تراکم در نسل‌های بعدی را نشان دادند، در این تحقیق، نسل‌های دوم و سوم، تقریباً با همان شدت نسل اول ظاهر شدند، پدیده‌ای که می‌تواند ناشی از شرایط اقلیمی نسبتاً پایدار منطقه کرمانشاه در طول فصل رشد، کیفیت و در دسترس بودن مداوم میزبان (درختان نارون)، تعادل خاص در جمعیت دشمنان طبیعی و سازگاری فیزیولوژیک جمعیت محلی این آفت با شرایط منطقه باشد. این یافته‌ها، اهمیت مطالعات منطقه‌ای در مدیریت آفات را برجسته می‌سازد و نشان می‌دهد که الگوی زیستی و جمعیتی یک آفت تا چه حد می‌تواند در مناطق مختلف، متفاوت باشد. این روند تقریباً یکنواخت تغییرات جمعیت نسل‌های مختلف سوسک برگ‌خوار نارون در شهر کرمانشاه، لزوم اجرای برنامه‌های نظارت و مهار مستمر در طول فصل را آشکار می‌سازد.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که دما تأثیر مستقیم اما متفاوتی بر مراحل مختلف زندگی سوسک برگ‌خوار نارون دارد. درحالی‌که تأثیر دما بر مرحله تخم از نظر آماری معنی‌دار بود، برای مراحل لاروی و حشرات بالغ اثر معنی‌دار دما به اثبات نرسید. این تفاوت را می‌توان با در نظر گرفتن تفاوت‌های اساسی در بوم‌شناسی و فیزیولوژی این مراحل توضیح داد. مرحله تخم، به‌عنوان یک ساختار ثابت و غیرمتحرک، برای نمو جنینی و تفریح به‌شدت و به‌طور مستقیم به درجه حرارت وابسته است (Bale et al., 2002). در مقابل، مرحله لاروی، در معرض طیف وسیعی از عوامل تنظیم‌کننده جمعیت قرار دارد. پس از تفریح تخم، جمعیت اولیه لاروها بلافاصله تحت تأثیر عواملی مانند شکارگری، پارازیتسم، رقابت درون‌گونه‌ای بر سر منابع غذایی و بیماری‌ها قرار می‌گیرد. این عوامل می‌توانند اثر افزایشی اولیه دما بر تعداد تخم را به‌سرعت خنثی یا پنهان کنند، به‌طوری‌که نوسانات نهایی جمعیت لاروها، از یک رابطه خطی ساده با دما پیروی نمی‌کند و بیشتر تحت تأثیر این عوامل زیستی پیچیده قرار می‌گیرد. علاوه بر این، تحرک لاروها نسبت به تخم‌های ثابت، می‌تواند منجر به پراکنش فضایی متفاوت و واریانس بالاتر در داده‌های نمونه‌برداری شود که خود می‌تواند توان آماری برای تشخیص یک رابطه خطی ساده را کاهش دهد. در مورد رطوبت نسبی، اگرچه نتایج ما رابطه معکوسی را نشان داد، اما این رابطه از نظر آماری معنی‌دار نبود. براساس نظریه هافمن و همکاران (Hoffmann et al., 2003)، رطوبت نسبی تأثیر غیرخطی و پیچیده‌ای بر فیزیولوژی و اکولوژی

حشرات دارد. این نظریه پیش‌بینی می‌کند که اثرات رطوبت بر شاخص‌های زیستی حشرات عمدتاً در شرایط حدی (رطوبت بسیار بالا یا بسیار پایین) بروز می‌کند و در محدوده میانی رطوبت، تأثیرات آن معمولاً کم‌اهمیت‌تر و گاه غیرقابل تشخیص است. این الگو احتمالاً ناشی از سازوکارهای تطابقی و فیزیولوژیک است که به حشرات اجازه می‌دهد که در محدوده وسیعی از شرایط رطوبتی به حیات خود ادامه دهند. این نظریه توضیح می‌دهد که چرا در بسیاری از مطالعات میدانی (از جمله تحقیق حاضر)، روابط معنی‌داری بین رطوبت نسبی و تغییرات جمعیت حشرات در شرایط نرمال مشاهده نمی‌شود. یافته‌های ما با مطالعات دویج و همکاران (Deutsch et al., 2008) که نشان دادند دما به‌عنوان عامل غالب بر رشد جمعیت حشرات عمل می‌کند، همسو است. این محققان با استفاده از روش‌های آماری پیشرفته تأیید کردند که اثر دما معمولاً قوی‌تر از رطوبت ظاهر می‌شود. با این حال، نتایج ما در برخی موارد با مطالعات دیگر تفاوت دارد که این موضوع را می‌توان با نظریه کینگسالور و همکاران (Kingsolver et al., 2011) توجیه کرد. براساس این نظریه، پاسخ حشرات به عوامل محیطی به‌شدت تحت تأثیر سازگاری‌های محلی قرار دارد. این یافته‌ها به‌طور کلی نشان می‌دهد که روابط بین عوامل محیطی و دینامیسم جمعیت حشرات معمولاً ساده و خطی نیست و به عوامل متعددی مانند سازگاری‌های جمعیت محلی، تعامل پیچیده بین عوامل محیطی، مرحله زندگی حشره و شرایط خاص منطقه مورد مطالعه وابسته است. این پیچیدگی‌ها، ضرورت انجام مطالعات جداگانه روی آفات در مناطق مختلف را برای درک بهتر روابط اکوفیزیولوژیک، به‌خوبی نشان می‌دهد.

نتایج این مطالعه که با استفاده از دو روش تی‌تور و آی‌واو به بررسی توزیع فضایی سوسک برگ‌خوار نارون پرداخته است، نشان می‌دهد که اکثر مراحل زندگی این آفت (تخم، لاروهای سنین یک و دو، و حشرات کامل) از الگوی توزیع تصادفی پیروی می‌کنند، درحالی‌که لاروهای سن سه با توجه به دقت بالاتر مدل تی‌تور، الگوی تجمعی را نشان دادند. این یافته‌ها با مطالعات ساوت وود و هندرسون (Southwood & Henderson, 2009) هم‌خوانی دارد که توزیع تصادفی را در غیاب عوامل محدودکننده شدید محیطی برای بسیاری از حشرات گزارش کرده‌اند. تفاوت در الگوی توزیع لاروهای سن سه ممکن است ناشی از عوامل متعددی باشد، از جمله تغییر رفتار تغذیه‌ای در مراحل مختلف لاروی، افزایش تحرک لاروهای مسن‌تر، واکنش متفاوت به عوامل محیطی و تأثیر دشمنان طبیعی. در مقایسه دو روش تحلیلی، مدل تی‌تور برای تخمین تعداد نمونه بهینه در سطوح دقت مختلف کارایی بیشتری نشان داد که با یافته‌های کلاسیک تی‌تور (Taylor, 1961) و مطالعات ناکمن (Nachman, 1981) مطابقت دارد. اهمیت این نتایج از جنبه کاربردی در طراحی برنامه‌های مدیریت آفات، همان‌طور که کربس (Krebs, 1999) تأکید کرده است، بسیار

درک جامع‌تری از اکولوژی این آفت به دست آید.

نتیجه‌گیری

این مطالعه با بررسی نوسانات جمعیت و عوامل مؤثر بر مراحل مختلف زیستی سوسک برگ‌خوار نارون در شهر کرمانشاه، اهمیت شناخت دقیق رفتار جمعیتی این آفت و تأثیر شرایط محیطی را برجسته می‌کند. یافته‌ها نشان داد که تغییرات دما تأثیر قابل توجهی بر افزایش جمعیت، به‌ویژه در مرحله تخم‌ریزی داشت. مشخص شدن زمان‌های اوج جمعیتی برای هر مرحله زیستی، فرصت مناسبی را برای انجام اقدامات کنترلی هدفمند فراهم می‌آورد. این اطلاعات زیستی و بوم‌شناختی می‌تواند به طراحی برنامه‌های مدیریت تلفیقی مؤثر، با حداقل مصرف آفت‌کش‌ها و کاهش خسارت‌های اقتصادی آفت کمک کند و حفظ سلامت و کیفیت فضای سبز شهری را تسهیل نماید. پایش مستمر و دقیق جمعیت آفت، همراه با تحلیل عوامل محیطی، از ضروریات موفقیت در مدیریت پایدار این آفت است.

حیاتی است، چرا که شناخت دقیق الگوی پراکنش، امکان اجرای روش‌های مهار هدفمندتر و صرفه‌جویی در منابع را فراهم می‌آورد. در پهنه‌های شهری که الگوی کشت نارون در فضای سبز یکپارچه نیست، تعداد بالای درختان نارون می‌تواند زمینه‌ساز حضور آفت باشد، اما الگوی تجمع آن بیشتر تحت تأثیر ویژگی‌های زیستی آفت، کیفیت میزبان، حضور دشمنان طبیعی و شرایط محیطی است. از دیدگاه عملیاتی، محاسبه تعداد نمونه بهینه با استفاده از این روش‌ها در مدیریت تلفیقی آفات، این امکان را می‌دهد تا برنامه‌های پایش آفات براساس اصول علمی طراحی شود. به‌عنوان مثال، در سطح دقت ۲۵ درصد، مدل تیلور تعداد نمونه کمتری نسبت به روش آیواو پیشنهاد می‌دهد که این امر منجر به صرفه‌جویی قابل توجه در زمان و هزینه می‌شود. این موضوع به‌ویژه در شرایطی که نیاز به پایش سریع و کارآمد جمعیت آفت وجود دارد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنجاکه مدل تیلور براساس نتایج مطالعه حاضر از دقت و کارایی بیشتری برخوردار است، می‌تواند مبنای علمی برای برنامه‌ریزی نمونه‌برداری و مدیریت این آفت در منطقه کرمانشاه باشد. هرچند پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده، تأثیر عوامل دیگری مانند ساختار فضایی میزبان و دشمنان طبیعی نیز مورد بررسی قرار گیرد تا

References

- Arbab, A., Jalali Sendi, J., & Sahragard, A. (2001). On the biology of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* (Col.: Chrysomelidae) in laboratory conditions. *Journal of Entomological Society of Iran*, 21(2), 73-85. (In Persian with English abstract)
- Arbab, A., Jalali Sendi, J., & Sahragard, A. (2003). Some aspects of bioecology of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* Mull. (Col.: Chrysomelidae) in Qazvin urban area. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 34(4), 847-854. (In Persian with English abstract)
- Arlando, P. S., & Torres, L. M. (2005). Spatial distribution and sampling of *Thaumetopoea pityocampa* (Lep.: Thaumetopoeidae) populations on pinus pinstar. *Forest Ecology and Management*, 210(1-3), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.041>
- Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J. C., Farrar, J., & Good, J. E. (2002). Herbivory in global climate change research: Direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8(1), 1-16. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x>
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C., & Martin, P. R. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(18), 6668-6672. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709472105>
- Dreistadt, S. H. (2016). Pests of Landscape Trees and Shrubs: An Integrated Pest Management Guide. UCANR Publications, Oakland, California, USA. 448 pages.
- Dreistadt, S. H., & Dahlsten, D. L. (1990). Relationships of temperature to elm leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) development and damage in the field. *Journal of Economic Entomology*, 83(3), 837-841. <https://doi.org/10.1093/jee/83.3.837>
- Feng, M. G., & Nowierski, R. M. (1992). Spatial distribution and sampling plans for four species cereal aphid (Hom.: Aphididae) infesting spring wheat in southwestern Idaho. *Journal of Economic Entomology*, 85(3), 830-837. <https://doi.org/10.1007/BF02372427>
- Hajjaliloo, S., Moruj, G., & Sadeghi Namghi, H. (2015). Studying the population and life cycle of the elm leaf-eating beetle *Xanthogaleruca luteola* (Col.: Chrysomelidae) in Mashhad region. The First Conference on the Sustainable Development of Urban Green Space, Yesterday, Today, Tomorrow. Tabriz. (In Persian)
- Hall, R. W., Townsend, A. M., & Barger, J. H. (1987). Suitability of thirteen different host species for elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Environmental Horticulture*, 5(3), 143-145. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-5.3.143>
- Hejazi, R. (1985). Wood Science and Wood Industry. Tehran University Press, Tehran, Iran. 326 pages (In Persian).

- Hoffmann, A. A., Hallas, R. J., Dean, J. A., & Schiffer, M. (2003). Low potential for climatic stress adaptation in a rainforest *Drosophila* species. *Science*, 301(5629), 100-102. <https://doi.org/10.1126/science.1084296>
- Huerta, A., Chiffelle, I., Puga, K., Azúa, F., Jimenez, R., & Araya, J. E. (2011). Life cycle of *Xanthogaleruca luteola* (Coleoptera: Chrysomelidae) in Santiago, Chile, and sex fenotype differentiation of adults. *Boletín de Sanidad Vegetal de Plagas*, 37, 57-64.
- Kalguzhnaya, N. (1995). *Galerucella luteola* (Col.: Chrysomelidae) as a pest of plantations of trees in the Southern Eryeni Hills. *Entomologi-Cheskone Obozrenie*, 14(1), 45-51. <https://doi.org/10.5555/19961102526>
- Khalili Mahani, M., Seydoleslami, H., & Hatami, B. (2004). Studying the life tables and fertility of the elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* Müller (Chrysomelidae.: Col) on four different hosts in laboratory conditions. *Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources*, 8(3), 209-216. (In Persian)
- Kiarasi, M., Arbab, A., Sheikhigharjan, A., Moradi, M., & Mohammadipour, A. (2018). Investigation on the efficacy of chemical control of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* Mull. by trunk injection. *Journal Pesticides in Plant Protection Sciences*, 5(1), 32-42. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/JPPPS.2018.120587>
- Kingsolver, J. G., Arthur Woods, H., Buckley, L. B., Potter, K. A., MacLean, H. J., & Higgins, J. K. (2011). Complex life cycles and the responses of insects to climate change. *Integrative and Comparative Biology*, 51(5), 719-732. <https://doi.org/10.1093/icb/ucr015>
- Krebs, C. J. (1999). *Ecological Methodology*. 2nd Edition. Benjamin Cummings, Menlo Park, California, USA, 624 pages.
- Liebold, A. M., Johnson, D. M., & Bjornstad, O. N. (2006). Geographic variation in density-dependent dynamics impacts the synchronizing effect of dispersal and regional stochasticity. *Population Ecology*, 48, 131-138. <https://doi.org/10.1007/s10144-005-0248-6>
- Mirkarimi, A., Esmaili, M., & Azmaeshfared, P. (2006). *Agricultural Entomology (insects, mites, rodents and harmful molluscs) and Their Control*. Tehran University Printing and Publishing Institute, Tehran, Iran. 528 pages (In Persian).
- Mustafa, R. A. (2020). Biology of elm leaf beetles *Xanthogaleruca luteola* (Coleoptera: Chrysomelidae) in Kurdistan region-Iraq. *Journal of Biodivers Endanger Species*, 8(1), 4. <https://doi.org/10.24105/2332-2543.2020.8.238>
- Nachman, G. (1981). A mathematical model of the functional relationship between density and spatial distribution of a population. *Journal of Animal Ecology*, 50(2), 453-460. <https://doi.org/10.2307/4066>
- Nilofari, P. (1984). *Encyclopedia of Commercial Timbers of the World*, Tehran University Press, Tehran, Iran. 412 pages (In Persian).
- Pedigo, B., & Wagner, M. R. (1989). *Introduction to Forest and Shade Tree Insects*, Academic Press. Minnesota, USA. 639 pages.
- Rodrigo, E., Bosch, A. M. S., Xamaní, P., & Laborda, R. (2019). Life cycle, parasitism and damage of *Xanthogaleruca luteola* (Muller) in Valencia (SE Spain): A preliminary study. *Urban Forestry & Urban Greening*, 46, 126474. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126474>
- Safari, S., Alipoor, N., & Galini, M. (2019). Biology of *Xanthogaleruca luteola* and study on different method for its control in Garmsar region. *Iranian Plant and Biotechnology Quarterly*, 14(3), 29-43. (In Persian)
- Southwood, T. R. E., & Henderson, P. A. (2009). *Ecological Methods*. John Wiley & Sons. Oxford, United Kingdom. 592 pages.
- Taylor, L. R. (1961). Aggregation, variance and the mean. *Nature*, 189(4766), 732-735. <https://doi.org/10.1038/189732a0>
- Zohdi, H., & Talebi, A. (2011). Study on some biological characteristics of *Tetrastichus gallerucae* (Hym., Eulophidae), important parasitoid of elm leaf beetle eggs in Kerman, Iran. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 44(11), 1076-1080. <https://doi.org/10.1080/03235401003755338>

Plant Interactions with Viruses and Viroids: A Review of the Regulatory Roles of Secondary Metabolites and Phytohormones

M. Sadeghi Nichkoochi¹, Z. Moradi^{1*}

1- Department of Plant Pathology, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(*- Corresponding author's Email: z.moradi@sanru.ac.ir)

Received: 06-07-2025

Revised: 04-12-2025

Accepted: 09-12-2025

Available Online: 21-03-2026

How to cite this article:Sadeghi Nichkoochi, M., & Moradi, Z. (2026). Plant interactions with viruses and viroids: A review of the regulatory roles of secondary metabolites and phytohormones. *Iranian Plant Protection Research*, 40(1), 469-492. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JPP.2025.94261.1239>

Introduction

Throughout the course of evolution, plants have developed remarkably sophisticated biological mechanisms that enable them to respond dynamically and effectively to a wide array of environmental and biotic stressors. Among the most formidable challenges plants face are infections by pathogenic agents, particularly viruses and viroids, which pose significant threats to plant health, productivity, and agricultural sustainability worldwide. Despite fundamental differences in their structure and mode of action, both viruses and viroids profoundly disrupt host physiological and molecular processes, leading to detrimental impacts on plant growth and defense systems.

Materials and Methods

This review synthesizes current knowledge on the complex interactions among viruses, viroids, and their plant hosts, focusing on the molecular crosstalk that governs secondary metabolite biosynthesis and phytohormonal regulation during infection. The information presented herein was compiled through a systematic review and analysis of relevant scientific literature, focusing on recent advancements and foundational studies in plant-pathogen interactions, molecular biology, and biochemistry. The goal was to provide a comprehensive overview of the defense mechanisms plants employ against viral and viroid infections.

Results and Discussion

Plant viruses, as obligate intracellular parasites, invade host cells and hijack cellular machinery to facilitate their replication and spread. This intrusion perturbs the host's metabolic networks, altering the expression of genes involved in the biosynthesis of secondary metabolites such as alkaloids, terpenoids, and phenylpropanoids—compounds integral to plant defense. These metabolites not only serve as direct antimicrobial agents but also act as crucial modulators of signaling pathways that orchestrate defense responses and maintain cellular homeostasis. Moreover, viruses target and manipulate key plant hormonal signaling pathways involving salicylic acid, ethylene, abscisic acid, and methyl jasmonate. These phytohormones function as key regulators that modulate the delicate balance between growth and defense. Disruption of their signaling cascades manifests in a spectrum of pathological symptoms including stunted growth, chlorosis, necrosis,



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

<https://doi.org/10.22067/JPP.2025.94261.1239>

wilting, and characteristic mosaic leaf patterns, all of which reflect the profound physiological stress inflicted by viral invasion. In contrast, viroids—small, circular, non-coding RNA molecules—lack the capacity to encode proteins yet exert their pathogenicity through more subtle, yet no less consequential, mechanisms. By interfering with host gene expression and regulatory networks, viroids indirectly modulate the biosynthesis of defense-related metabolites and hormonal pathways. Although the mechanistic nuances of viroid pathogenicity differ from those of viruses, the resultant physiological disruptions and yield losses underscore their significance as persistent plant pathogens. Viroids—small, circular, non-coding RNAs—exert pathogenic effects through subtler mechanisms. Recent studies demonstrate that viroid infections can alter the transcriptional regulation of key biosynthetic genes involved in the production of phenylpropanoids (including flavonoids and other phenolic compounds) and alkaloids—secondary metabolites that contribute significantly to structural defense, oxidative stress mitigation, and pathogen inhibition. These effects are often mediated through complex epigenetic mechanisms or RNA-based gene silencing pathways, leading to changes in enzymatic activity such as phenylalanine ammonia-lyase (PAL), chalcone synthase (CHS), and other enzymes central to the phenylpropanoid and alkaloid biosynthetic routes. Such metabolic shifts not only influence the plant's basal immunity but also fine-tune the dynamic equilibrium between stress tolerance and physiological performance. Central to plant immunity are phytohormones, which play multifaceted roles in modulating immune responses. Notably, gibberellins and brassinosteroids exhibit dualistic functions, influencing both growth modulation and host susceptibility or resistance, whereas salicylic acid and jasmonates predominantly act as defense inducers, activating complex immune signaling networks. Ethylene's role is more context-dependent; it may either amplify or attenuate defense responses contingent upon the specific virus involved and the physiological state of the host plant. Recent advances have illuminated the crucial involvement of certain phytohormones—such as salicylic acid, jasmonates, and brassinosteroids—in counteracting viroid infections. These hormones enhance host defenses by triggering signal transduction pathways that activate defense gene expression, thereby strengthening resistance mechanisms. This emerging evidence highlights the intricate and multilayered nature of plant immunity, underscoring the importance of hormonal regulation in maintaining a balanced and effective defense system. A hallmark of the plant's antiviral defense is the induction of ethylene biosynthesis and activation of salicylic acid-dependent signaling pathways, culminating in systemic acquired resistance (SAR). SAR represents a long-lasting, broad-spectrum immune response that restricts pathogen proliferation beyond the initial infection site, thereby bolstering systemic immunity and fortifying plant resilience against secondary infections. Complementing these hormonal defenses, secondary metabolites serve as a critical line of defense, executing antiviral functions through diverse mechanisms including inhibition of viral replication, suppression of viral protein activity, and mitigation of oxidative damage.

Conclusions

The synergistic interplay between hormonal signaling and secondary metabolite production constitutes a cohesive and robust molecular defense network, the comprehensive understanding of which holds tremendous potential for the development of innovative strategies in plant disease management. This review synthesizes current knowledge on the complex interactions among viruses, viroids, and their plant hosts, focusing on the molecular crosstalk that governs secondary metabolite biosynthesis and phytohormonal regulation during infection. By elucidating these sophisticated regulatory networks, this work offers valuable insights and practical perspectives for leveraging this understanding in plant breeding programs and sustainable agriculture. The ultimate goal is to enhance crop resistance, improve yield stability, and contribute meaningfully to global food security in the face of escalating biotic stresses.

Keywords: Phytohormones, Plant defense response, Secondary metabolites, Viral and viroid agents

برهم کنش گیاه با ویروس‌ها و ویروئیدها: مروری بر نقش تنظیمی متابولیت‌های ثانویه و فیتوهورمون‌ها

محدثه صادقی نیچکوهی^۱ - زهره مرادی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۸

چکیده

در مسیر تکامل، گیاهان با بهره‌گیری از سازوکارهای زیستی پیچیده، توانایی پاسخ‌دهی به انواع تنش‌های محیطی و زیستی را کسب کرده‌اند. ویروس‌ها و ویروئیدها از مهم‌ترین این عوامل هستند و هر یک با مکانیسم متفاوت، رشد و سلامت گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. ویروس‌ها به‌عنوان انگل‌های اجباری درون سلولی، با نفوذ به سلول‌های گیاهی، شبکه‌های متابولیکی و بیان ژن‌های دخیل در سنتز متابولیت‌های ثانویه دفاعی از جمله آلکالوئیدها، ترپنوئیدها و فنیل پروپانوئیدها را مختل می‌کنند. این ترکیبات نه تنها عوامل ضد میکروبی مستقیم هستند، بلکه مسیرهای پیام‌رسانی دفاعی را نیز تنظیم می‌کنند. ویروس‌ها همچنین مسیرهای پیام‌رسانی هورمونی مرتبط با اسید سالیسیلیک، اتیلن، اسید آسبیزیک و متیل جاسمونات را هدف قرار داده و موجب بروز علائمی مانند کوتولگی، کلروز، نکروز، پژمردگی و موزاییک برگی می‌شوند. در مقابل، ویروئیدها به‌رغم نداشتن ظرفیت کدکنندگی، با اختلال در بیان ژن‌های میزبان و مسیرهای تنظیمی، به‌طور غیرمستقیم بر سنتز متابولیت‌های دفاعی اثر می‌گذارند. شواهد نشان می‌دهد که ویروئیدها می‌توانند بیان ژن‌های دخیل در مسیرهای بیوسنتز فنیل پروپانوئیدها (از جمله ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها)، و آلکالوئیدها را تحت تأثیر قرار دهند. این تغییرات معمولاً از طریق تنظیمات اپی‌ژنتیکی یا مکانیزم‌های RNA interference رخ می‌دهد و در نهایت تعادل میان ایمنی سلولی و عملکرد فیزیولوژیکی را تغییر می‌دهد. فیتوهورمون‌ها نقش کلیدی در تعدیل پاسخ‌های ایمنی ایفا می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که جیبرلین‌ها و براسینوئیدها دارای عملکرد دوگانه در تنظیم رشد و حساسیت میزبان هستند، در حالی که اسید سالیسیلیک و جاسمونات‌ها غالباً به‌عنوان القاکننده‌های دفاعی شناخته می‌شوند. نقش اتیلن بسته به نوع بیمارگر و شرایط فیزیولوژیکی گیاه می‌تواند منجر به تقویت یا تضعیف پاسخ دفاعی شود. مطالعات نشان داده‌اند که در پاسخ به آلودگی‌های ویروئیدی نیز، فیتوهورمون‌هایی مانند اسید سالیسیلیک، جاسمونات‌ها و براسینوئیدها با فعال‌سازی ژن‌های دفاعی، در تنظیم پاسخ ایمنی گیاه نقش دارند. یکی از پاسخ‌های کلیدی گیاه به آلودگی‌های ویروسی، افزایش تولید اتیلن و فعال‌سازی مسیرهای وابسته به اسید سالیسیلیک است که مقاومت سیستمیک اکتسابی (Systemic acquired resistance) را القا کرده و گسترش بیمارگر را محدود می‌سازد. متابولیت‌های ثانویه به‌عنوان خط دفاعی دوم، از طریق مهار تکثیر ویروس، کاهش فعالیت پروتئین‌های ویروسی و مقابله با آسیب اکسیداتیو، نقش مکملی در تقویت دفاع گیاه ایفا می‌کنند. برهم‌کنش میان فیتوهورمون‌ها و متابولیت‌های ثانویه، نشان‌دهنده شبکه‌ای منسجم، چندلایه و انعطاف‌پذیر از تنظیمات مولکولی است که شناخت عمیق‌تر آن می‌تواند راه را برای توسعه راهکارهای نوین در مدیریت و پیشگیری بیماری‌های ویروسی و ویروئیدی هموار کند. این مقاله مروری، به تبیین این تعاملات پرداخته و چشم‌اندازهایی کاربردی برای به‌نژادی و کشاورزی پایدار ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی: پاسخ دفاعی گیاه، ترکیبات ثانویه، عوامل ویروسی و ویروئیدی، هورمون‌های گیاهی

۱- گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

(Email: z.moradi@sanru.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/JPP.2025.94261.1239>

مقدمه

گیاهان به‌عنوان موجودات اتوتروف، همواره در معرض تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار دارند که عملکردهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آن‌ها را مختل می‌کند. در میان تنش‌های زیستی، ویروس‌های گیاهی به‌عنوان بیمارگرهای بیوتروف اجباری، یکی از مهم‌ترین تهدیدها برای سلامت گیاه و امنیت غذایی محسوب می‌شوند. این ویروس‌ها با برهم زدن هموستاز سلولی، علائمی مانند کوتولگی، نکروز، اختلال در رشد و تغییرات مورفولوژیکی نظیر تشکیل گال و فیلودی ایجاد می‌کنند. در پاسخ به این تهدیدها، گیاهان در طول تکامل، مکانیسم‌های پیچیده‌ای در سطوح ژنومی، سلولی و متابولیکی توسعه داده‌اند که به فعال‌سازی مسیرهای دفاعی از جمله تجمع متابولیت‌های ثانویه و تنظیم سامانه‌های پیام‌رسانی هورمونی، منجر می‌شود (Srivastava et al., 2018; Yang et al., 2024). در این زمینه، متابولیت‌های ثانویه و فیتوهورمون‌ها به‌عنوان اجزای کلیدی سامانه‌های دفاعی گیاه، نقش مکمل و هم‌افزا در مقابله با تنش‌های زیستی ایفا می‌کنند. متابولیت‌های ثانویه، ترکیبات آلی با وزن مولکولی پایین هستند که عمدتاً در پاسخ به حمله بیمارگرها یا تغییرات محیطی سنتز می‌شوند. یکی از مهم‌ترین این ترکیبات، فینیل پروپانویدها هستند که از مسیر فینیل آلانین تولید می‌شوند و نقش کلیدی در دفاع گیاه ایفا می‌کنند (Dixon & Paiva, 1995). این ترکیبات نه‌تنها دارای خاصیت ضد میکروبی هستند، بلکه در فرآیندهای پیام‌رسانی دفاعی و جذب حشرات گرده‌افشان نیز مشارکت دارند. در کنار این ترکیبات، هورمون‌های گیاهی به‌عنوان مولکول‌های پیام‌دهنده، نقش محوری در هماهنگی پاسخ‌های دفاعی گیاه دارند. این ترکیبات که در بخش‌های مختلف گیاه و در غلظت‌های بسیار کم تولید می‌شوند، در سازگاری با تنش‌های محیطی از جمله آلودگی‌های ویروسی نقش حیاتی ایفا می‌کنند. برخلاف جانوران که تولید هورمون در آن‌ها در غدد خاصی انجام می‌شود، تمامی سلول‌های گیاهی قادر به سنتز هورمون‌ها هستند که این ویژگی موجب افزایش انعطاف‌پذیری دفاعی گیاه می‌شود. همچنین، سامانه‌های تشخیص و انتقال پیام در گیاهان برای شناسایی سریع بیمارگرها و فعال‌سازی پاسخ‌های دفاعی به‌خوبی تکامل یافته‌اند. اسید سالیسیلیک (Salicylic acid, SA) از جمله هورمون‌های کلیدی است که در القای مقاومت سیستمیک اکتسابی (Systemic acquired resistance, SAR) علیه بیمارگرها نقش دارد (Durrant & Dong, 2004). در مقابل، جاسمونات (Jasmonate, JA) و اتیلن (Ethylene, ET) در ایجاد مسیرهای جایگزین دفاعی مؤثرند که معمولاً علیه عوامل نکروتروف و آسیب‌های مکانیکی فعال می‌شوند (Pieterse et al., 2012). علاوه بر این، براسینواستروئیدها

(Brassinosteroid, BR) با تحریک پاسخ‌های ذاتی علیه بیوتروف‌ها، مسیری مستقل از SAR وابسته به اسید سالیسیلیک ایجاد می‌کنند (Nakashita et al., 2003). سایر فیتوهورمون‌ها مانند اسید آبسزیک (Abscisic acid, ABA)، جبرلین‌ها (Gibberellin, GA)، اکسین‌ها (Auxins, IAA) و سیتوکینین‌ها (Cytokinin, CK) نیز در سال‌های اخیر به‌عنوان تنظیم‌گرهای دفاعی شناخته شده‌اند. این هورمون‌ها از طریق تعدیل انتقال پیام، تأثیر بر رشد ساختار گیاه و تعامل با سایر مسیرهای دفاعی، نقش مهمی در تنظیم جامع پاسخ‌های دفاعی ایفا می‌کنند (Robert-Seilanian et al., 2011). در واقع، شبکه‌ی پیام‌رسانی هورمونی اغلب به‌صورت خطی عمل نمی‌کند، بلکه از طریق تعاملات پیچیده‌ی متقابل، فرآیندهای رشدی و دفاعی را به‌طور هم‌زمان مدیریت می‌کند (Jia et al., 2013). اگرچه بیشتر پژوهش‌ها بر ویروس‌های RNA دار تمرکز داشته‌اند، ویروئیدها نیز به‌عنوان RNA‌های کوچک غیرکدکننده، می‌توانند پاسخ‌های شبه‌دفاعی را در گیاه القا کنند. با وجود نبود ظرفیت کدکنندگی، این عناصر ژنتیکی با تأثیرگذاری بر بیان ژن‌ها و فرآیندهای تنظیمی میزبان، در مکانیسم‌های دفاعی گیاهان نقش دارند. برهم‌کنش ویروس‌ها با مسیرهای پیام‌رسانی هورمونی گیاهان، اغلب به سرکوب یا تغییر در پاسخ‌های دفاعی منجر می‌شود. بسیاری از ویروس‌ها با دستکاری این مسیرها، توانایی ایمنی میزبان را تضعیف کرده و شرایط لازم برای بقای خود را فراهم می‌کنند (Jameson & Clark, 2002; Wu et al., 2019). این دستکاری‌ها به بروز اختلالاتی در متابولیسم گیاه می‌انجامد که شامل کاهش عملکرد فتوسنتزی، تغییر در بیوسنتز پروتئین و اسیدهای نوکلئیک، تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و بازآرایی ساختارهای سلولی نظیر دیواره و غشاهای درون سلولی است (Anikina et al., 2023). این اختلالات می‌توانند بسته به نوع بیمارگر و شرایط فیزیولوژیکی گیاه، به القای مقاومت سیستمیک یا تشدید حساسیت منجر شوند. مطالعه‌ی این تعاملات، نه‌تنها به درک دقیق‌تر مکانیسم‌های دفاعی گیاه کمک می‌کند، بلکه بستر لازم را برای اصلاح ژنتیکی یا بیوشیمیایی گیاهان به‌منظور تولید متابولیت‌های ثانویه با ارزش دارویی و توسعه مقاومت به بیماری‌های ویروسی فراهم می‌آورد (Mishra et al., 2020). در این راستا، مهندسی متابولیک با هدف بازآرایی مسیرهای هورمونی و افزایش تولید ترکیبات دفاعی، به‌عنوان یک رویکرد نوین در مدیریت بیماری‌های ویروسی مورد توجه قرار گرفته است. افزون بر ویروس‌ها، ویروئیدها نیز با وجود RNA غیرکدکننده، از طریق اثرگذاری بر بیان ژن‌های میزبان، موجب اختلال در سازمان‌دهی سلولی، ساختار دیواره سلولی و کلروپلاست‌ها، و همچنین تنظیم مسیرهای متابولیکی می‌شوند. شواهد حاصل از مطالعات ریزآرایه، ترانسکریپتومیکس و متابولومیکس و همچنین تحلیل سطوح فیتوهورمون‌ها نشان می‌دهند

که آلودگی ویروئیدی باعث تغییرات گسترده در اغلب مسیرهای هورمونی می‌شود (b; Kappagantu Milanović et al., 2019 a, 2016; López-Gresa et al., 2017; et al.). این یافته‌ها نقش ویروئیدها را به عنوان محرک‌های تنظیمی مهم در تعاملات گیاه-بیمارگر برجسته می‌سازند.

مرتبط با بیمارگرها (Pathogen-Associated Molecular Patterns) توسط گیرنده‌های الگوشناس سطح سلول (Recognition Receptors) است (Böhm et al., 2014). سطح دوم، ایمنی القاشده توسط اثرگرها (Effector-triggered immunity, ETI)، بر پایه شناسایی مستقیم افکتورهای ویروسی توسط پروتئین‌های مقاومت داخل سلولی (R proteins) عمل کرده و پاسخ دفاعی قوی‌تری را فعال می‌سازد (Dangl & Jones, 2001). یکی از عناصر کلیدی در این برهم‌کنش‌ها، شبکه تنظیمی هورمون‌های گیاهی (Phytohormone regulatory network) است (Alazem & Lin, 2015). آلودگی ویروسی می‌تواند موجب بازآرایی گسترده در این شبکه شود و مسیر تعامل ویروس و میزبان را به شدت تحت تأثیر قرار دهد (Alazem & Lin, 2017). در این میان، اسید سالیسیلیک به عنوان تقویت‌کننده اصلی پاسخ‌های ضدویروسی شناخته می‌شود، در حالی که جاسمونات معمولاً تأثیری بازدارنده دارد (Yang et al., 2012). همچنین، اسید آبسزیک بسته به شرایط فیزیولوژیک و نوع بافت، می‌تواند نقش دوگانه‌ای در تحریک یا سرکوب پاسخ‌های دفاعی ایفا کند (Alazem & Lin, 2015).

گیرنده‌های مقاومت درون سلولی (پروتئین‌های R) اجزای کلیدی ایمنی گیاه در برابر ویروس‌ها هستند. علاوه بر ژن‌های مقاومت غالب R، ژن‌های مغلوب نیز می‌توانند در ایجاد مقاومت ضدویروسی نقش داشته باشند (Mizumoto et al., 2014). موفقیت ویروس در ایجاد آلودگی سیستمیک به تکثیر ژنوم، انتقال سلول به سلول و جابه‌جایی آوندی بستگی دارد و اختلال در هر یک از این مراحل به نفع گیاه است. نخستین ژن R شناسایی‌شده، ژن N در توتون (*Nicotiana tabacum*) علیه ویروس موزاییک توتون (*Tobamovirus tabaci*) بود. پس از آن، ژن‌های متعددی با نقش ضدویروسی در گیاهان شناسایی شدند؛ از جمله Sw-5 در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) علیه ویروس پژمردگی لکه‌ای گوجه‌فرنگی (*Orthotospovirus tomatomaculæ*, TSWV) (Brommonschenkel et al., 2000)، ژن I در لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) علیه ویروس موزاییک معمولی لوبیا (*Potyvirus phaseovulgaris*)، Rx1 و Rx2 در سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) علیه ویروس X سیب‌زمینی (*Potexvirus ecspotati*) (Bendahmane et al., 1999)، RTM1 و RTM2 در آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) علیه ویروس خراشک توتون (*Potyvirus nicotianainsculpentis*, TEV) و RCY1 علیه ویروس موزاییک خیار (*Cucumovirus CMV*, CMV) (Whitham et al., 2006). اغلب این ژن‌ها به خانواده LRR-NBS تعلق دارند. پروتئین N به عنوان نمونه‌ای کلاسیک از گیرنده‌های LRR-NBS-

ویروس‌ها و راهبردهای بیماری‌زایی در گیاهان

ویروس‌های گیاهی به عنوان بیمارگرهای اجباری درون سلولی، برای تکثیر موفق در گیاه میزبان، باید بر سامانه‌های دفاعی پیچیده آن غلبه کنند (Kumar & Gnanasekaran, 2024). بررسی این تعاملات نیازمند شناخت دقیق مکانیسم‌های بیماری‌زایی ویروس و راهبردهای دفاعی گیاه است. در این راستا، دو مدل اصلی برای تبیین بیماری‌زایی ویروسی پیشنهاد شده است. مدل رقابت منابع (Resource competition model) بر این فرض استوار است که ویروس‌ها با بهره‌برداری از منابع ژنتیکی و متابولیکی محدود، مانند ATP، اسیدهای آمینه و نوکلئوتیدها، تعادل متابولیکی میزبان را بر هم می‌زنند (Hyodo & Okuno, 2020). در این مدل، ویروس با تسلط بر ماشین‌های رونویسی و ترجمه سلول، موجب اختلال در هموستاز سلولی می‌شود. مطالعات سینتیکی نشان داده‌اند که این رقابت پویا بوده و غلظت ویروس ابتدا به سرعت افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. در مقابل، مدل تعامل اختصاصی (Specific interaction model) بر تعاملات مولکولی ویژه میان عوامل ویروسی و اجزای سلولی میزبان تأکید دارد و شدت و تنوع علائم بیماری در گونه‌های مختلف گیاهی را بر اساس ویژگی‌های اختصاصی تعامل ویروس با میزبان تبیین می‌کند (Culver & Padmanabhan, 2007). برای مقابله با سامانه ایمنی میزبان، ویروس‌ها راهبردهای پیچیده‌ای را تکامل داده‌اند (Calvino et al., 2014). این راهبردها شامل فرار از شناسایی (Immune evasion)، سرکوب پیام‌رسانی دفاعی (Defense signaling suppression)، بهره‌برداری از مسیرهای سلولی مانند مسیر یوبیکوئیتین-پروتازوم و اتوفاژی (Autophagy)، و دخالت در سیستم RNAi (RNA interference) است که منجر به بازبرنامه‌ریزی اجزای ایمنی گیاه می‌شود (Wang et al., 2012; Nicaise & Candresse, 2017; Wu et al., 2019). مسیرهای هدف مهم این ویروس‌ها، سامانه یوبیکوئیتین است که نقش کلیدی در تنظیم پایداری، استقرار و فعالیت پروتئین‌ها دارد. اختلال در این مسیر توسط ویروس‌ها می‌تواند موجب تضعیف پاسخ‌های دفاعی گیاه شود. در پاسخ، گیاهان از یک سیستم ایمنی دو لایه (Two-layered immune system) بهره می‌گیرند (Dangl & Jones, 2001). سطح اول، ایمنی القاشده توسط الگوها (Pattern-

با تمرکز بر شناسایی نقاط آسیب‌پذیر در چرخه زندگی ویروس و بهره‌برداری از تنوع مقاومت طبیعی در میزبان، زمینه را برای ارائه راهکارهای مؤثرتر مدیریت بیماری‌های ویروسی فراهم کند.

نقش دفاعی متابولیت‌های ثانویه و مسیرهای بیوسنتزی آنها

علاوه بر سیستم‌های ایمنی وابسته به پروتئین‌های R، تولید متابولیت‌های ثانویه نیز نقش مهمی در دفاع گیاهان علیه ویروس‌ها و ویروئیدها ایفا می‌کند. متابولیت‌های ثانویه گیاهی ترکیبات آلی هستند که با وجود عدم مشارکت مستقیم در فرآیندهای رشد و نمو، نقشی حیاتی در مکانیسم‌های دفاعی گیاه در برابر بیمارگرها و تنش‌های محیطی ایفا می‌کنند (Yang et al., 2024; Srivastava et al., 2018). این ترکیبات همچنین در تطابق گیاه با شرایط محیطی مختلف نقش مؤثری دارند (Kabera et al., 2014). با این حال، غلظت بالای متابولیت‌های ثانویه می‌تواند ضمن افزایش مقاومت، رشد و تولیدمثل گیاه را نیز مهار کند (Siemens et al., 2002). مطالعات آزمایشگاهی نشان داده‌اند که بسیاری از این ترکیبات قادرند با پروتئین‌های ویروسی تعامل برقرار کنند. به‌ویژه برخی ترکیبات فنولی و ترپنوئیدی ممکن است به‌عنوان مهارکننده‌های پروتئاز اصلی (Mpro) و پروتئین S ویروس عمل نمایند؛ موضوعی که بر اهمیت متابولیت‌های ثانویه در مقاومت گیاهان در برابر آلودگی‌های ویروسی تأکید دارد. از نظر ترکیب شیمیایی، ساختار مولکولی و مسیرهای بیوسنتزی، متابولیت‌های ثانویه به سه گروه عمده تقسیم می‌شوند: ترپن‌ها و ترپنوئیدها، ترکیبات فنلی (از جمله فلاونوئیدها و پلی‌فنول‌ها) و ترکیبات حاوی نیتروژن و گوگرد مانند آلکالوئیدها و گلوکوزینولات‌ها (Kabera et al., 2014). بیوسنتز این ترکیبات با تبدیل پیش‌سازهای حاصل از متابولیسم اولیه (مانند کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب) به محصولات نهایی صورت می‌گیرد (شکل ۱). انرژی مورد نیاز این مسیرها از طریق گلیکولیز و چرخه اسید سیتریک تأمین می‌شود. آنزیم‌های اختصاصی، این پیش‌سازها را به ترکیبات واسطه یا نهایی تبدیل می‌کنند. فنیل‌پروپانوئیدها عمدتاً به صورت گلیکوزیده‌شده در سلول‌های گیاهی وجود دارند و شکل آزاد آن‌ها نسبتاً نادر است (Vogt & Jones, 2000). گلوکوزیل‌اسیون موجب کاهش واکنش‌پذیری شیمیایی و افزایش حلالیت در آب می‌شود، که این ویژگی‌ها انتقال و ذخیره‌سازی این ترکیبات را تسهیل می‌کند (Li et al., 2001). علاوه بر این، فرآیند نقش مهمی در سم‌زدایی فنیل‌پروپانوئیدها دارد. گلوکوزیدهای 4-O-D-مونولیگنول به‌عنوان حامل مونومرهای لیگنین عمل کرده و در پاسخ به حمله بیمارگرها، موجب افزایش لیگنین‌سازی در دیواره سلولی می‌شوند (Whetten et al., 1998). همچنین، استرهای

TIR، از طریق برهم‌کنش مستقیم با دامنه‌های تکثیر TMV، مقاومت را القا می‌کند (Ueda et al., 2006). اما این فرآیند به حضور پروتئین کمکی NRIP1 نیز نیاز دارد که پس از انتقال به هسته، برهم‌کنش بین N و آنزیم ویروسی را تسهیل می‌کند (Muyskens & Guillemain, 2008). به‌طور مشابه، در مقاومت وابسته به Rx نیز عملکرد مؤثر گیرنده به توزیع نوکلئو-سیتوپلاسمی آن بستگی دارد. فعال‌سازی پاسخ ایمنی از طریق گیرنده‌های R، معمولاً با فعال‌سازی سریع MAPK‌ها و همکاری چابرون‌های مولکولی همراه است که پایداری این گیرنده‌ها را تنظیم می‌کنند (Altman et al., 2022). این مکانیسم‌های پیچیده و چندلایه بیانگر آن هستند که سیستم ایمنی گیاه علیه ویروس‌ها به شدت تخصص‌یافته و بر شبکه‌ای از تعاملات مولکولی مبتنی است که در آن پروتئین‌های R نقش محوری ایفا می‌کنند.

ویروئیدها و راهبردهای بیماری‌زایی در گیاهان

ویروئیدها به عنوان کوچک‌ترین عوامل بیماری‌زای شناخته‌شده، از مولکول‌های RNA حلقوی تک رشته‌ای غیرکدکننده با اندازه ۳۴۶ تا ۴۰۱ نوکلئوتید تشکیل شده‌اند. این عوامل بیماری‌زا که کاملاً وابسته به دستگاه رونویسی میزبان هستند، در دو خانواده اصلی *Avsunviroidae* و *Pospiviroidae* طبقه‌بندی می‌شوند (Di Serio et al., 2014). ویروئید غده دوکی سیب‌زمینی (*Pospiviroid fusituberis*, PSTVd) به عنوان اولین ویروئید شناسایی شده، طیف وسیعی از میزبان‌ها را در خانواده‌های مختلف گیاهی آلوده می‌کند (Flores et al., 2021). علائم بیماری ناشی از ویروئیدها شامل اختلالات رشد، ناهنجاری‌های مورفولوژیک و تغییرات بافتی است که شدت آن به میزبان، توالی ویروئید و شرایط محیطی بستگی دارد (Kovalskaya & Hammond, 2014). مکانیسم‌های بیماری‌زایی ویروئیدها شامل دو مسیر اصلی است: تأثیر مستقیم RNA ویروئید بر مولکول‌های کلیدی سلول میزبان و تولید RNA‌های کوچک ویروئیدی (srRNAs) که در مسیر خاموشی RNA گیاه نقش دارند (Flores et al., 2005). این فرآیندها باعث اختلال در بیان ژن‌های گیاهی و ظهور علائم بیماری می‌شوند و نشان می‌دهند که ویروئیدها، با وجود نداشتن پروتئین‌های اختصاصی، از طریق RNA خود و مشتقات آن می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر فیزیولوژی گیاه میزبان داشته باشند. درک جامع این مکانیسم‌ها نه تنها از نظر تئوری اهمیت دارد، بلکه از نظر عملی نیز نقش مهمی در مدیریت بیماری‌های گیاهی ایفا می‌کند (Wang, 2015). توسعه گیاهان تراریخته مقاوم (Transgenic resistant plants)، طراحی ترکیبات ضدویروسی نوین (Antiviral compounds) و بهینه‌سازی روش‌های کنترل زیستی (Biological control methods) همگی به شناخت دقیق این برهم‌کنش‌ها وابسته‌اند (Devi et al., 2025). مطالعات آینده باید

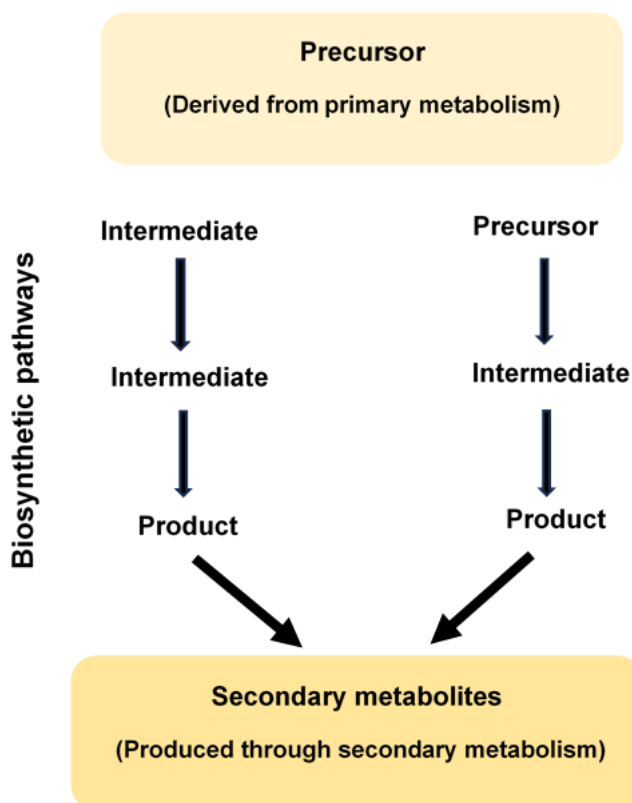
یون کلسیم، فعال‌سازی مسیر کیناز MAP (MAPK)، تجمع اسید سالیسیلیک، و بازبرنامه‌ریزی گسترده‌ی رونویسی ژن‌ها است (Calil & Fontes, 2017). یکی از واکنش‌های کلیدی در این فرآیند، فعال‌سازی پروتئین‌های مقاومت (R protein) است که منجر به بروز واکنش فوق حساسیت (Hypersensitive reaction, HR) می‌شود. این پاسخ شامل مرگ برنامه‌ریزی‌شده‌ی سلول‌های آلوده به منظور محدودسازی بیمارگر در ناحیه‌ی آلودگی است. علاوه بر این، HR با القای SAR در بافت‌های غیرآلوده گیاه همراه است، که منجر به افزایش سطح مقاومت در سراسر گیاه در برابر حملات بعدی می‌گردد.

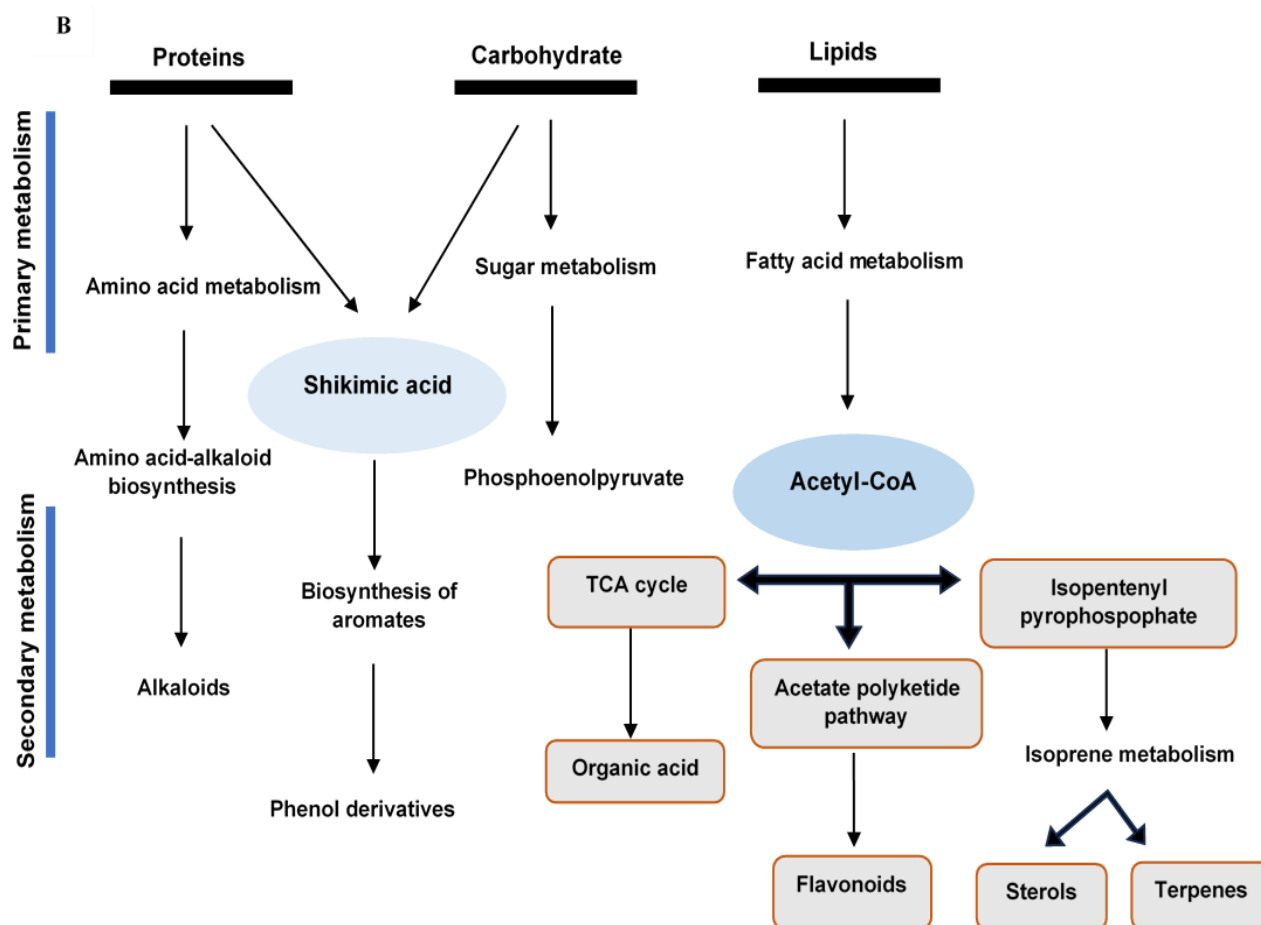
گلوکوزیدی اسیدهای هیدروکسی‌سینامیک در انتقال مشتقات سینامات به دیواره سلولی نقش دارند. این مسیرها در تنظیم سطوح ترکیبات پیام‌دهنده‌ای چون اسید سالیسیلیک نیز نقش دارند؛ به‌گونه‌ای که با تبدیل فرم‌های فعال به غیرفعال، موجب تعدیل پاسخ‌های دفاعی گیاه می‌شوند (Hennig et al., 1993).

پاسخ‌های دفاعی گیاهان در مواجهه با بیمارگرها

در تعامل میان گیاه و بیمارگر، مجموعه‌ای از پاسخ‌های ایمنی فعال می‌شود که شامل تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، ترشح

A





شکل ۱- (A) نمایش شماتیک از فرآیند شکل‌گیری متابولیت‌های ثانویه، که طی آن پیش‌سازها (سوبستراها) با دخالت آنزیم‌های بیوسنتزی به ترکیبات نهایی تبدیل می‌شوند. (B) مسیرهای بیوسنتزی مرتبط با تولید گروه‌های اصلی متابولیت‌های ثانویه به‌همراه پیش‌سازهای آن‌ها. این مسیرها عمدتاً از ترکیبات حاصل از متابولیسم اولیه مانند اسیدهای آمینه، کربوهیدرات‌ها و لیپیدها سرچشمه می‌گیرند. این تصویر با اقتباس و ویرایش از [Ferdes \(2018\)](#) آماده شده است. در این میان، اسید شیکیمیک به‌عنوان یک واسطه کلیدی در مسیر متابولیسم اسیدهای آمینه ایفای نقش می‌کند، و ترکیب استیل-CoA نیز در بیوسنتز ترپن‌ها، فلاونوئیدها و برخی اسیدهای آلی نقش دارد؛ گروهی از ترکیبات که به‌عنوان شاخه‌ای مستقل از متابولیت‌های ثانویه شناخته می‌شوند.

Figure 1- (A) A schematic representation of the biosynthesis of secondary metabolites, in which precursors (substrates) are converted into final products through the action of specific biosynthetic enzymes. (B) Major biosynthetic pathways and their corresponding precursors involved in the formation of key classes of secondary metabolites. These pathways are primarily derived from primary metabolites, including amino acids, carbohydrates, and lipids. The figure is adapted and modified from [Ferdes \(2018\)](#). Shikimic acid functions as a central intermediate in amino acid metabolism, while acetyl-CoA contributes to the biosynthesis of terpenes, flavonoids, and certain organic acids, forming a distinct group of secondary metabolites.

عمدتاً گونه‌های مختلف مرکبات را تحت تأثیر قرار می‌دهد ([Moreno et al., 2008](#))، ویروس پیچیدگی زرد برگ گوجه‌فرنگی (*Begomovirus coheni*) نیز در بسیاری از کشورها باعث آلودگی گوجه‌فرنگی و سایر محصولات می‌شود و بیماری تونگرو برنج یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد برنج در سطح جهانی به‌شمار می‌رود ([Hamidun et al., 2014](#)). با وجود آنکه تنظیم متابولیت‌های ثانویه تحت تأثیر عوامل زیستی و غیرزیستی متعددی قرار دارد، نقش ویروس‌های گیاهی در این فرآیند کمتر بررسی شده است. با این حال، شواهد روزافزون نشان می‌دهد که آلودگی‌های ویروسی می‌توانند با القای مسیرهای بیوسنتزی خاص، به‌طور چشم‌گیری سطح تجمع این

مکانیسم و پیامد آلودگی ویروسی و ویروئیدی بر متابولیت‌های ثانویه گیاهی

بسیاری از ویروس‌های گیاهی دارای دامنه میزبانی گسترده‌ای هستند. به‌عنوان نمونه، TMV می‌تواند طیف وسیعی از گونه‌های گیاهی از جمله توتون، گوجه‌فرنگی و سایر اعضای خانواده بادمجانیان را آلوده کند ([Scholthof, 2004](#)). CMV با دامنه میزبانی وسیع‌تری نسبت به سایر ویروس‌های گیاهی، قادر به آلوده‌سازی بیش از ۱۳۰۰ گونه در بیش از ۱۰۰ خانواده گیاهی است ([Dabiri et al., 2020](#)). در مقابل، ویروس تریستزای مرکبات (*Closterovirus tristezae*)

آنتی‌سنس ژن togt (یک گلیکوزیل ترانسفراز القاشونده توسط اسید سالیسیلیک و بیمارگر)، کاهش تجمع این دو ترکیب در پاسخ به آلودگی با TMV مشاهده شده است، که این کاهش با افت مقاومت گیاه به ویروس همراه بوده و نقش ضدویروسی اسکوپولتین را تأیید می‌کند (Chong et al., 2002). همچنین، سطح اسکوپولتین در برگ‌های توتون تا روز پنجم پس از آلودگی با TMV به‌طور معناداری افزایش یافت (Costet et al., 2002). خشخاش (Papaver somniferum) به‌عنوان منبعی غنی از آلکالوئیدهای دارویی، تحت تأثیر ویروس موزاییک خشخاش (Umbravirus papaveri, OPMV) قرار می‌گیرد. این ویروس که حضور مداومی جمعیت‌های خشخاش دارد، موجب تنظیم ژنوتیپ‌وابسته‌ی متابولیت‌های ثانویه در این گیاه می‌شود. در ژنوتیپ IM، پنج آلکالوئید اصلی شامل پاپاورین، تبائین، ناکوتین، کدئین و مورفین در پاسخ به OPMV افزایش می‌یابد، هرچند که در رقم P. somniferum var. Sampada سطح تبائین کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، در رقم P. somniferum var. Shweta، آلودگی کوتاه‌مدت با همین ویروس سبب افزایش هم‌زمان تمام این آلکالوئیدها می‌شود (bZaim et al., 2014a). در گیاه دارویی گل-ساعتی خوراکی (Passiflora edulis)، آلودگی با CMV منجر به افزایش قابل توجه ۲۶-۲۸ درصدی پلی‌فنول‌ها و ۴۸-۵۸ درصدی فلاونوئیدها در برگ‌ها و میوه‌ها می‌شود (Lan et al., 2020). همچنین، آلودگی با ویروس موزاییک تلوسما (Potyvirus telosmae) موجب افزایش چشم‌گیر محتوای فنل کل در میوه شده و سطح مقاومت گیاه در برابر عوامل ویروسی را ارتقا می‌دهد (Chen et al., 2018). مطالعه‌ای دیگر در زعفران (Crocus sativus) نشان داد که آلودگی با ویروس نهفته زعفران (Potyvirus croci) تأثیر مستقیم بر ترکیب شیمیایی ادویه حاصل از آن دارد. این ویروس از طریق تغییر در غلظت و نسبت ترکیباتی نظیر کروستین، استرهای آن، پیکروکروستین، سافرانال و کمفرول‌ها بر کیفیت نهایی محصول اثرگذار است (Parizad et al., 2019). شواهد نشان می‌دهد که ویروئیدها نیز قادرند مسیرهای بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهند (جدول ۱). برای مثال، PSTVd در گوجه‌فرنگی با ایجاد تغییرات متابولیکی، موجب بروز نشانه‌های فیزیولوژیکی مختلفی در گیاه می‌شود. بررسی‌ها نشان داده‌اند که این ویروئید موجب افزایش سطح متابولیت‌هایی چون زانتسه‌ومونل (chalcone)، اکینوکسیستیک اسید (تری‌ترپنوئید)، کلروژنیک اسید و روزمارینیک اسید (اسیدهای فنولیک) و ایندول-۳-کاربینول (آلکالوئید ایندولی) می‌شود. همچنین ترکیبات دیگری مانند پورفیرین‌ها، آلکالوئیدهای استروئیدی، مشتقات تربیتوفان و گلیکوزیدهای فلاونوئیدی (شامل مشتقات کامفرول) نیز تحت تأثیر

ترکیبات را تغییر دهند (جدول ۱) (Jiang et al., 2025). به‌عنوان نمونه، در گیاه *Arabidopsis thaliana*، بروز آلودگی ویروسی با افزایش سنتز ترکیب دفاعی کامالکسین (Camalexin) همراه بوده که در مقابله با بیمارگرها نقشی کلیدی ایفا می‌کند. بررسی اکوتیپ Enkheim-2 این گونه که به ویروس موزاییک گل‌کلم *Caulimovirus tessellobrassicae* (CaMV) آلوده شده بود، حاکی از افزایش قابل ملاحظه سطح کامالکسین طی ۱۴ روز پس از آلودگی بود؛ در حالی که این ترکیب در اکوتیپ Col-0 تحت همین شرایط قابل شناسایی نبود (Callaway et al., 1996). آلودگی برگ‌های گیاه *Arabidopsis thaliana* با ویروس چرم‌کیدی شلغم *Betacarmovirus brassicae*، موجب افزایش چشم‌گیر تا ۲۰ برابر در سطح تجمع کامالکسین طی تنها دو روز پس از آلودگی می‌گردد (Dempsey et al., 1997). از سوی دیگر، آنتی‌اکسیدان‌های تولیدشده در گیاه رازک (*Humulus lupulus* L.)، به‌عنوان منابع ارزشمند در صنعت کشاورزی و غذایی، تحت تأثیر عوامل ویروسی مختلف قرار دارند. به‌ویژه، ویروس موزاییک رازک (*Carlavirus humuli*) و ویروس نهفته رازک (*Carlavirus latenshumuli*) و همچنین دو استرین I و A از ویروس لکه‌حلقه‌ای نکروتیک هسته-دارها (*Ilarvirus PNRSV*)، به‌طور قابل توجهی بر پروفایل متابولیت‌های ثانویه رازک از جمله اسیدهای تلخ α و β ، ترکیبات پلی‌فنولی و روغن‌های ضروری تأثیرگذارند (Jelínek et al., 2012; Pethybridge et al., 2002). ویروس مرتبط با پیچیدگی برگ مو ۳ (*Ampelovirus trivitis*) سبب افزایش تولید فلاونول‌هایی نظیر میریستین، کامفرول و مشتقات کوئرستین، همچنین اسیدهای هیدروکسی‌سینامیک از جمله مشتقات اسید کافئیک در رقم سفید *Malvasia de Banyalbufar* از گونه *Vitis vinifera* می‌گردد (Montero et al., 2016). از جمله ویروس‌های دارای DNA تأثیرگذار بر متابولیسم ثانویه می‌توان به ویروس مرتبط با لکه قرمز مو (*Grabovirus vitis*) اشاره کرد. این ویروس یکی از عوامل تهدیدکننده کیفیت میوه در صنایع فرآوری انگور به شمار می‌رود و آلودگی ناشی از آن موجب سرکوب مسیر بیوسنتزی فنیل‌پروپانوئید و مشتقات آن در گیاه *Vitis vinifera* می‌گردد؛ به‌ویژه، کاهش چشم‌گیری در سنتز فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌هایی نظیر petunidin-3-O-glucoside, malvidin-3-O-glucoside, pelargonidin-3-O-glucoside, delphinidin-3-O-glucoside و cyanidin-3-O-glucoside (Blanco-Ulate et al., 2017) گزارش شده است. از سوی دیگر، ترکیباتی همچون اسکوپولتین (Scopolin) و گلوکوزید آن، اسکوپولین (Scopolin)، به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه مهم با نقش دفاعی در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی شناخته می‌شوند. در گیاهان توتون تراریخته دارای بیان

قرار گرفته‌اند. این ترکیبات عمدتاً در تنظیم پاسخ‌های دفاعی، آنتی‌اکسیدانی و فیزیولوژیکی گیاه مشارکت دارند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که PSTVd از طریق بازآرایی مسیرهای متابولیکی، نقش مهمی در تنظیم مکانیسم‌های دفاعی و حساسیت میزبان ایفا می‌کند (Tang et al., 2024). آلودگی هم‌زمان ویروئید ترک‌خوردگی پوست مرکبات (Cocadviroid rimocitri, CBCVD) و ویروئید نهفته رازک (Cocadviroid latenshumuli, HLVD) در گیاه رازک منجر به بازآرایی گسترده در الگوی بیان ژن‌ها، به‌ویژه در مسیرهایی نظیر فنیل‌پروپانویید، بیوسنتز فلاونوئیدها و متابولیسم ترپنوئیدها شده است. این تغییرات ترنس‌کریپتومی با افزایش یا کاهش در تولید متابولیت‌های ثانویه نظیر فلاونوئیدها، اسیدهای فنولیک و ترپنوئیدها همراه است؛ ترکیباتی که در پاسخ‌های دفاعی گیاه نسبت به عوامل بیماری‌زا نقش کلیدی دارند. همچنین، این اختلال در بیان ژن‌ها با علائمی چون کوتولگی، کلروز و اختلال در فتوسنتز در گیاه رازک همراه بوده‌اند (Štajner et al., 2019). ویروئید لکه‌آفتابی آووکادو (Avsunviroid albamaculaperseae, ASBVd) با تأثیر بر متابولیسم لیپیدها و مسیرهای مرتبط با رسیدن میوه، موجب تغییراتی در ویژگی‌های فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای میوه آووکادو (Persea americana) (مثل تسریع در نرم شدن بافت، کاهش محتوای چربی و تغییر رنگ پوست) می‌شود. احتمالاً این تغییرات با اختلال در بیوسنتز فلاونوئیدها به‌ویژه آنتوسیانین‌ها مرتبط است (Vallejo-Pérez et al., 2015). ویروئید پوست پینه‌ای سیب (Apscaviroid cicatricimale, ASSVd) نیز از طریق تغییر در متابولیسم برگ موجب کاهش رشد رویشی در نهال‌های سیب شده است. تجزیه متابولومی برگ‌های آلوده نشان داده که این ویروئید مسیرهای بیوسنتز فنیل‌پروپانوییدها، ایزوفلاونوئیدها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای آمینه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تغییراتی مانند کاهش کومارین، افزایش L-2-آمینوبوتیریک اسید و D-زایلوز، به همراه کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز و پراکسیداز و کاهش فتوسنتز حاکی از تنظیم مجدد سیستم دفاعی گیاه هستند (Li et al., 2023). HLVD با وجود عدم بروز علائم ظاهری در گیاه میزبان، تأثیر قابل توجهی بر بیان ژن‌های مسیرهای بیوسنتزی و محتوای متابولیت‌های ثانویه در میوه‌های رازک دارد. در اثر این ویروئید کاهش معناداری در میزان اسیدهای تلخ α (تا ۳۴٪) و ترکیب زانتوهمول (تا ۲۳٪) مشاهده شده است که با کاهش بیان ژن‌های کلیدی نظیر humulone synthase (HS1, HS2) و OMT1 مرتبط هستند. همچنین، تغییرات متعددی در ترکیب اسانس‌های فرار شامل افزایش مونوترپن‌ها و کاهش سزکویی‌ترین‌ها مشاهده شده که با تغییر بیان ژن‌های مسیرهای ترپنوئیدی مانند FPPS، MTS2 و

TPS9 همراه بوده‌اند. در سطح تنظیمی، کاهش بیان فاکتورهای نسخه‌برداری MYB و bHLH و افزایش فرم تغییر یافته‌ی ژن TFIIIA-7ZF که باعث اختلال در ساخت پروتئین‌ها و تنظیم مسیرهای متابولیکی می‌شود، بیانگر آنست که آلودگی HLVD مسیرهای متابولیت‌های دفاعی مانند فلاونوئیدها، فنل‌پروپانوییدها و ترپن‌ها را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Patzak et al., 2021). مطالعه‌ای روی گیاه *Dendrobium officinale* نشان داده است که آلودگی به ویروئید دندروبیوم (*Apscaviroid dendrobii*) موجب کاهش معنادار فلاونوئیدها و آلکالوئیدها و افزایش اسیدهای فنولیک در بافت ساقه این گیاه دارویی می‌شود. این تغییرات علاوه‌بر کاهش کیفیت دارویی گیاه، ممکن است موجب تضعیف سیستم ایمنی آن در برابر ویروئیدها نیز گردد (Li et al., 2022). به نظر می‌رسد ویروئیدها با اختلال در مسیرهای خاموشی RNA، بیان ژن‌های دخیل در سنتز متابولیت‌های دفاعی مانند فنیل‌پروپانوییدها (شامل فلاونوئیدها) و آلکالوئیدها را تنظیم می‌کنند (Devi et al., 2025). این یافته‌ها بیانگر آن هستند که ویروئیدها نه تنها به‌عنوان بیمارگرهای مخرب عمل می‌کنند، بلکه می‌توانند به‌طور فعال در بازبرنامه‌ریزی متابولیت‌های ثانویه گیاهان مشارکت داشته باشند. درک بهتر از این برهم‌کنش‌ها می‌تواند مبنایی برای توسعه راهکارهای زیستی نوین در مدیریت بیماری‌های گیاهی و بهبود تولید ترکیبات دارویی باشد. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از محرک‌های زیستی مانند کیتوزان و نانوذرات آن می‌تواند سطح ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها را در گیاهان آلوده به ویروس‌ها افزایش داده و سیستم ایمنی گیاه را تقویت کند (Rostami Angasi et al., 20212024 Abdelkhalek et al., 2021). این یافته‌ها نقش بالقوه این ترکیبات در تقویت سازوکارهای دفاعی گیاه در برابر ویروس‌ها را برجسته می‌سازد.

برهمکنش هورمون‌های گیاهی در پاسخ به آلودگی‌های ویروسی و ویروئیدها

هورمون‌های گیاهی که به‌طور گسترده در تنظیم رشد نقش دارند، در دفاع علیه بیمارگرهای ویروسی و ویروئیدی نیز مشارکت دارند (Grant & Jones, 2009). این هورمون‌ها در پاسخ به آلودگی، مسیرهای پیام‌رسانی شامل فسفوریلاسیون پروتئین‌ها، فعال‌سازی ژن‌های دفاعی و تولید فیتوالکسین‌ها را تحریک می‌کنند (Alazem & Lin, 2015).

جدول ۱- متابولیت‌های ثانویه‌ای که تحت تأثیر برهم‌کنش ویروس‌ها و ویروئیدها با گیاه قرار می‌گیرند

Table 1. Secondary metabolites affected by plant interactions with viruses and viroids

Virus species	Host	Secondary metabolites/metabolism	References
<i>Caulimovirus tessellobrassicae</i>	<i>Arabidopsis thaliana</i>	Camalexin	Callaway <i>et al.</i> , 1996
<i>Cucumovirus CMV</i>	<i>Passiflora edulis</i>	Polyphenols, flavonoids	(Lan <i>et al.</i> , 2020)
<i>Ampelovirus trivitis</i>	<i>Vitis vinifera</i>	Flavonol derivatives (myricetin, kaempferol, and quercetin) and hydroxycinnamic acids, including those based on caffeic acid	(Montero <i>et al.</i> , 2016)
<i>Grablovirus vitis</i>	<i>Vitis vinifera</i>	Pathways involved in flavonoid and anthocyanin biosynthesis—including malvidin-3-O-glucoside, petunidin-3-O-glucoside, delphinidin-3-O-glucoside, pelargonidin-3-O-glucoside, and cyanidin-3-O-glucoside—along with phenylpropanoid and isoflavonoid metabolism	(Blanco-Ulate <i>et al.</i> , 2017)
Co-infection of <i>Carlavirus latenshumuli</i> and <i>Carlavirus humuli</i>	<i>Humulus lupulus</i>	Polyphenols, α - and β -bitter acids, essential oils	(Pethybridge <i>et al.</i> , 2002; Jelinek <i>et al.</i> , 2012)
<i>Potyvirus yituberosi</i>	<i>Solanum tuberosum</i>	Glycolysis, TCA cycle, oxidative phosphorylation	Kogovšek <i>et al.</i> 2016
<i>Ilarvirus PNRSV</i> — <i>PNRSV-A</i> and <i>PNRSV-I</i> strains	<i>Humulus lupulus</i>	α - and β -bitter acids, polyphenols, essential oils	(Pethybridge <i>et al.</i> , 2002; Jelinek <i>et al.</i> , 2012)
<i>Phytoreovirus alphaoryzae</i>	<i>Oryza sativa</i>	S-adenosyl-L-methionine (SAM), SAM metabolism and ethylene biosynthesis	(Zhao <i>et al.</i> 2017)
<i>Potyvirus croci</i>	<i>Crocus sativus</i>	Picrocrocin, safranal, crocetin, kaempferols, and esters	(Parizad <i>et al.</i> , 2019)
<i>Potyvirus sacchari</i>	<i>Zea mays</i>	Glycolytic intermediates, malate, mROS	(Jiang <i>et al.</i> 2023)
<i>Potyvirus telosmae</i>	<i>Passiflora edulis</i>	Phenols	(Chen <i>et al.</i> , 2018)
<i>Tobamovirus tabaci</i>	<i>Nicotiana tabacum</i>	Scopoletin and its glycosylated derivative, scopolin	(Chong <i>et al.</i> , 2002; Costet <i>et al.</i> , 2002)
<i>Tombusvirus lycopersici</i>	<i>Nicotiana benthamiana</i>	Sterols, Phospholipids	(Sharma <i>et al.</i> 2010; 2011)
<i>Betacarmovirus brassicae</i>	<i>Arabidopsis thaliana</i>	Camalexin	Dempsey <i>et al.</i> , 1997
Cucurbit chlorotic yellows virus*	<i>Cucumis sativus</i>	Flavonoids, lipids, amino acids	(Zhang <i>et al.</i> , 2022)
<i>Umbravirus papaveri</i>	<i>Papaver somniferum</i> var. <i>Sampada</i>	Thebaine, morphine, Alkaloids-papaverine, codeine, narcotine	(Zaim <i>et al.</i> , 2014a; b)
<i>Avsunviroid albamaculaperseae</i>	<i>Persea americana</i>	Lipid metabolism, ripening-associated pathways	(Vallejo-Pérez <i>et al.</i> , 2015)
<i>Apscaviroid cicatricimali</i>	<i>Malus domestica</i>	Isoflavonoids, Phenylpropanoids, Carbohydrate and amino acid metabolism (L-2-aminobutyric acid, 6"-O-malonyldaidzin, D-xylose, Coumarin)	(Li <i>et al.</i> , 2023)
<i>Apscaviroid dendrobii</i>	<i>Dendrobium officinale</i>	Flavonoids, Alkaloids, Phenolic acids	(Li <i>et al.</i> , 2022)
<i>Cocadviroid latenshumuli</i>	<i>Humulus lupulus</i>	Alpha-bitter acids, xanthohumol, essential oils (terpenes)	(Patzak <i>et al.</i> , 2021)
Co-infection of <i>Cocadviroid rimocitri</i> and <i>Cocadviroid latenshumuli</i>	<i>Humulus lupulus</i>	Flavonoids, phenolic acids, and terpenoids	(Štajner <i>et al.</i> , 2019)
<i>Pospiviroid fusituberis</i>	<i>Solanum lycopersicum</i>	Xanthohumol (chalcone), echinocystic acid (triterpenoid), chlorogenic acid, rosmarinic acid (phenolic acids), indole-3-carbinol (indole alkaloid), porphyrins, steroidal alkaloids, tryptophan derivatives, flavonoid glycosides (kaempferol derivatives)	(Tang <i>et al.</i> , 2024)

*نام این ویروس هنوز توسط ICTV (کمیته بین‌المللی طبقه‌بندی ویروس‌ها) تعیین نشده است

*The species name of this virus has not yet been assigned by ICTV

حالی که تراکم ویروس در نواحی سبز روشن بیشتر بوده است (Whenham et al., 1985). این افزایش با فعال‌سازی مکانیسم‌هایی نظیر رسوب کالوز در پلاسمودسماتا و تقویت خاموشی ژنی مبتنی بر RNA همراه است (Yu et al., 2020). اسیدآبسیزیک با القای رسوب کالوز، حرکت سلولی ویروس را محدود کرده و با تنظیم ژن‌های کدکننده پروتئین‌های آرگونات (AGO)، Dicer-like (DCL) و RNA-dependent RNA polymerase (RdRp)، مسیر خاموش‌سازی RNA را تقویت می‌کند (Rezzonico et al., 1998; Alazem et al., 2019). نقش دفاعی اسیدآبسیزیک در گیاهان مختلف و در برابر ویروس‌های گوناگون تأیید شده است: در *Nicotiana benthamiana* و *Arabidopsis thaliana* آلوده به ویروس موزاییک بامبو (Potexvirus bambusae, BaMV)، افزایش اسیدآبسیزیک با فعال‌سازی مسیرهای دفاعی و تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیکی همراه بوده و نقش سازگارکننده‌ای در برابر تنش ویروسی ایفا نمود (Alazem et al., 2017). در برنج آلوده به ویروس کوتولگی رگه‌سیاه برنج (*Fijivirus alporayae*, RBSDV)، کاهش بیان ژن‌های بیوسنتز اسیدآبسیزیک (مانند *OsNCED3* و *OsABA8ox*) و گیرنده‌های آن (مانند *OsPYL1* و *OsPYL5*) باعث افزایش حساسیت به آلودگی شده است (Xie et al., 2018). بیان بیش از حد تنظیم‌کننده‌های منفی مسیر مانند *OsABIL1* و *OsABIL2* نیز همین اثر را داشته‌اند. در رقم مقاوم L29 سویا (*Glycine max*)، آلودگی با سویه غیربیماری‌زای G5H ویروس موزاییک سویا (*Potyvirus glycitessellati*) باعث القای سریع ژن‌های اسیدآبسیزیک شده است (Alazem et al., 2018). در آلودگی با CMV، TMV، ویروس بدون علائم لیلیوم (*Carlavirus lili*) و ویروس جغجغه توتون (*Tobravirus tabaci*)، اسیدآبسیزیک به افزایش تحمل به خشکی در گیاهانی نظیر توتون (*Nicotiana tabacum*)، چغندر (*Beta vulgaris*) و برنج (*Oryza sativa*) کمک کرده است. این اثر از طریق افزایش اسمولیت‌ها، تقویت آنتی‌اکسیدانی و تنظیم مثبت مسیر اسیدآبسیزیک حاصل می‌شود (Chinestra et al., 2010; Xu et al., 2008). در آلودگی‌هایی مانند mal de Río Cuarto virus (*Fijivirus cuartoense*, MRCV) در گندم (Haro et al., 2019)، ویروس آبله آلو (*Potyvirus plumpoxi*) در هلو (Dehkordi et al., 2018) و BaMV در گیاهان مدل *Nicotiana benthamiana* و *Arabidopsis thaliana* (Alazem et al., 2014, 2017)، نیز افزایش سطح اسیدآبسیزیک گزارش شده است. علاوه بر مکانیسم‌هایی چون رسوب کالوز در پلاسمودسماتا، شواهد حاکی از وجود مسیرهای مستقل اسیدآبسیزیک در دفاع ضدویروسی است. در پژوهش‌هایی روی BaMV، حتی در شرایط کاهش بیان کالوز سنتاز، اسیدآبسیزیک موجب القای مقاومت شده

آلودگی ویروسی موجب فعال‌سازی مسیرهای پیچیده پیام‌دهی شامل فسفوریلاسیون پروتئین‌ها، تولید مولکول‌های ثانویه، تقویت دیواره سلولی و تجمع ترکیبات دفاعی مانند فیتوالکسین‌ها می‌شود. ویروس‌ها با تغییر در سطوح هورمونی، مسیرهای دفاعی گیاه را تعدیل می‌کنند. این تغییرات ممکن است به صورت گسترده در سراسر گیاه گسترش یابد یا مانند برخی ویروس‌های مرتبط با کوتولگی زرد جو (Barley yellow dwarf)، به بافت‌های خاصی نظیر آبکش محدود باقی بماند (Sakamoto et al., 2018). آلودگی‌های ویرویدی نیز با اختلال در بیان ژن‌های کلیدی، مسیرهای هورمونی مختلفی از جمله پاسخ به تنش، ساختار دیواره سلولی، کلروپلاست و متابولیسم پروتئین را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Zheng et al., Itaya et al., 2002; Więsyk et al., 2017). این اختلالات می‌توانند تعادل هورمونی را برهم زده و به تسهیل بیماری‌زایی کمک کنند. برای تحلیل دقیق این تغییرات، از روش‌هایی نظیر ELISA، HPLC و طیف‌سنجی جرمی (MS) استفاده می‌شود (Jameson & Clarke, 2002). مطالعات نشان می‌دهند که ویروس‌ها با دو مکانیسم کلیدی بر مسیرهای هورمونی اثر می‌گذارند: اول، ایجاد اختلال هم‌زمان در مسیرهای هورمونی آنتاگونیست (Alazem & Lin, 2015)؛ دوم، دخالت در سیستم یوبیکوئیتین-پروتئازوم (Ubiquitin-Proteasome System) برای تخریب انتخابی پروتئین‌های دفاعی میزبان (Tahmasebi, 2021; Alcaide-Loridan & Jupin, 2012). این سیستم همچنین در مدیریت تنش‌های محیطی و تنظیم جذب عناصر غذایی حیاتی مانند آهن و فسفر نقش دارد (Xu et al., 2024; Mackinnon & Stone, 2022). همچنین، لیگازهایی مانند SDIR1 و PUB22 با هدف‌گیری پروتئین‌های مهارکننده پاسخ به خشکی و کاهش تجمع آن‌ها از طریق یوبیکوئیتیناسیون، در تقویت مسیرهای پیام‌رسانی مرتبط با تحمل تنش آبی نقش دارند (Xu et al., 2024).

نقش اسید آبسیزیک (ABA)

اسیدآبسیزیک به‌عنوان یکی از هورمون‌های کلیدی در پاسخ‌های تنش‌زا، نقش دوگانه‌ای در مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زا دارد. اگرچه نقش آن در مقاومت به قارچ‌ها و باکتری‌ها به خوبی شناخته شده، اما در برابر ویروس‌ها عملکردی پیچیده و چندوجهی دارد. آلودگی‌های ویروسی با تغییر در سطح اسیدآبسیزیک و برهم‌زدن تعادل میان سایر مسیرهای دفاعی هورمونی از جمله اسید سالیسیلیک، جاسمونات و اتیلن، موجب تعدیل پاسخ‌های ایمنی گیاه می‌شوند (Alazem & Lin, 2017). مطالعات متعددی افزایش سطح اسیدآبسیزیک در گیاهان آلوده به ویروس‌ها را به‌عنوان بخشی از پاسخ دفاعی گزارش کرده‌اند. در آلودگی با TMV، سطح اسیدآبسیزیک در نواحی سبز تیره برگ‌ها ۳ تا ۴ برابر افزایش یافته، در

می‌شوند (Sridhar *et al.*, 1978; Fazio, 1981). برخی ویروس‌ها از طریق بیان پروتئین‌هایی مانند AL2/C2 (در جمینی ویروس‌ها) عملکرد آنزیم‌هایی مانند آدنوزین کیناز (ADK) را مهار کرده و پاسخ‌های وابسته به سیتوکینین را دستکاری می‌کنند (Balijsi *et al.*, 2010). برخی ویروس‌ها نیز با تغییر مسیرهای پیوندی شدن سیتوکینین‌ها، به‌ویژه از طریق گلوکوزیلایسیون و ریپوزیلایسیون ترکیباتی مانند زآتین، تعادل بین فرم‌های فعال و غیرفعال این هورمون را بر هم زده و شرایط متابولیکی مناسب‌تری برای تکثیر خود ایجاد می‌کنند (Dermastia *et al.*, 1995). سیتوکینین‌ها از طریق مکانیسم‌هایی چون القای SAR، افزایش بیان ژن‌های مرتبط با اسید سالیسیلیک و پروتئین‌های بیماری‌زایی (PR) و مهار آنزیم S - آدنوزیل هوموسیستتین هیدرولاز (SAHH)، می‌توانند مقاومت گیاهان را در برابر ویروس‌ها افزایش دهند (Choi *et al.*, 2010). این هورمون‌ها با ایفای نقش در شبکه‌های دفاعی و تنظیمی، در مرکز تعاملات گیاه-ویروس قرار دارند و مطالعه بیشتر آن‌ها می‌تواند زمینه‌ساز راهبردهای نوین در مدیریت بیماری‌های ویروسی باشد.

نقش اکسین (IAA)

اکسین به‌عنوان یکی از هورمون‌های کلیدی رشد، نقش مهمی در تنظیم پاسخ گیاه به آلودگی‌های ویروسی و ویروئیدی ایفا می‌کند. ویروس‌ها و ویروئیدها با دستکاری مسیر پیام‌رسانی اکسین، روند بیماری‌زایی را تسهیل می‌کنند (Alazem & Lin, 2015). در برخی موارد، آلودگی ویروسی با افزایش سطح اکسین همراه است؛ مانند آلودگی ذرت و گندم به MRCV (Abdala de Haro *et al.*, 2019)؛ پروتئین‌های ویروسی با تعامل مستقیم با اجزای مسیر اکسین، از جمله پروتئین‌های Aux/IAA، پیام‌رسانی این هورمون را مختل می‌کنند؛ برای مثال، پروتئین تکثیری در TMV و P2 ویروس کوتولگی برنج (*Phytoreovirus alphaoryzae*, RDV) چنین نقشی دارند (Jin *et al.*, Padmanabhan *et al.*, 2008). همچنین، برخی ویروس‌ها با فعال‌سازی یا مهار ARF‌ها مانند OsARF17، اثرات متفاوتی بر مقاومت یا حساسیت گیاه ایجاد می‌کنند؛ به‌عنوان مثال، پروتئین‌های P2 از RSV و P8 از ویروس کوتولگی رگه سیاه جنوبی برنج (*Fijivirus boryzae*) با مهار OsARF17 موجب تسهیل آلودگی می‌شوند (Zhang *et al.*, 2019). همچنین، برخی ویروس‌ها با تأثیر بر متابولیسم اکسین از طریق پراکسیدازها، سطح این هورمون را کاهش یا افزایش می‌دهند، همانند ویروس برگ قاشقی سیب‌زمینی (*Potyvirus*)، ویروس A سیب‌زمینی (*Potyvirus*)، ویروس موزاییک شبدر سفید (*Potexvirus trifolii*)، و ویروس موزاییک شبنم (*WCIMV*) (Muletarova *et al.*, 1995; Clarke *et al.*, 2002).

است (Alazem *et al.*, 2014). نقش تنظیمی اسیدآبسیزیک در فعال‌سازی مسیر خاموش‌سازی RNA نیز گزارش شده است، به‌ویژه از طریق تنظیم بیان ژن‌های خانواده AGO (Alazem *et al.*, 2019). در گیاهان تیمار شده با اسیدآبسیزیک یا آلوده به BaMV، افزایش AGO1، AGO2 و AGO3، عدم تغییر AGO7 و کاهش AGO4 و AGO10 مشاهده شده است؛ الگویی که پیچیدگی تعامل بین اعضای AGO و نقش کلیدی اسیدآبسیزیک در تنظیم آن‌ها را نشان می‌دهد. در موتانت‌های دچار کمبود اسیدآبسیزیک، تجمع پروتئین‌های AGO کافی نیست و موتانت‌های ago (به جز ago10) حساسیت بیشتری به BaMV نشان می‌دهند. جالب آنکه موتانت ago1-27 برخلاف انتظار، کاهش تجمع ویروس را نشان داد که احتمالاً ناشی از افزایش جبرانی AGO2، AGO3 و AGO4 می‌باشد (Alazem *et al.*, 2019). این یافته‌ها بیانگر پیچیدگی تعامل بین اعضای خانواده AGO و نقش تنظیمی اسیدآبسیزیک هستند. مقایسه اسیدآبسیزیک با سایر هورمون‌ها نشان می‌دهد که اسیدآبسیزیک از مکانیسم‌هایی متفاوت با اسید سالیسیلیک پیروی می‌کند. اسید سالیسیلیک عمدتاً ژن‌های مقاومت وابسته به R و برخی اجزای مسیر RNAi را تنظیم می‌کند (Alamillo *et al.*, 2006)، اما اسیدآبسیزیک مستقیماً بر بیان اعضای AGO اثرگذار است (Baebler *et al.*, 2014). این تفاوت‌ها بیانگر وجود شبکه‌های دفاعی مستقل و چندلایه در گیاه برای مقابله با ویروس‌ها است.

نقش سیتوکینین‌ها (CKs)

سیتوکینین‌ها به‌عنوان فیتوهورمون‌هایی چندکاره، در تنظیم رشد، تقسیم سلولی و پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش حیاتی ایفا می‌کنند (Kieber & Schaller, 2018). شواهد فزاینده‌ای نشان می‌دهد که آن‌ها همچنین در تنظیم دفاع گیاه در برابر ویروس‌ها از طریق تعامل با سایر مسیرهای پیام‌رسانی مانند اسید سالیسیلیک و جاسمونات دخیل‌اند (Alazem & Lin, 2015). آلودگی‌های ویروسی می‌توانند سطح سیتوکینین‌های درون‌زا را با تغییر بیان ژن‌های دخیل در بیوسنتز (IPTs، ایزوپنتنیل ترانسفرازها)، کاتابولیسم (CKXs)، سیتوکینین اکسیدازها و پیوندی شدن (Conjugation) آن‌ها، به‌طور معناداری تغییر دهند (Vitti *et al.*, Jameson & Clarke, 2002). به‌عنوان نمونه، ویروس لکه حلقوی توتون (*Nepovirus nicotianae*) موجب کاهش زآتین و ریپوزید زآتین در توتون و لوبیا می‌شود (Kuriger & Agrios, 1979; Tavantzis *et al.*, 1979). TSWV نیز تعادل آبی و سطح سیتوکینین را در گیاه مختل می‌کند (Thompson *et al.*, 1983). برعکس، ویروس‌هایی مانند تونگروی برنج (*Tungrovirus oryzae*, RTBV) و موزاییک طلایی لوبیا (*Begomovirus costai*) باعث افزایش فعالیت شبه‌سیتوکینینی

نقش اتیلین (ET)

اتیلین هورمونی چندکاره در گیاه است که رشد، پیری و دفاع را تنظیم می‌کند. آلودگی‌های ویروسی معمولاً با برهم‌زدن هموستاز اتیلین، به گسترش خود کمک می‌کنند. افزایش سطح اتیلین در نتیجه فعال شدن مسیر بیوسنتز آن به‌ویژه از طریق افزایش بیان ژن‌های ACC سنتاز (ACS) و ACC اکسیداز—(ACO) با علائمی چون نکروز، کلروز، اختلال در رشد و القای HR همراه است (Jameson & Chaudhry et al., 1998; Knoester et al., Clarke, 2002, 1995). برای نمونه، TMV و CMV باعث افزایش تجمع ACC و فعالیت آنزیم‌های مرتبط با اتیلین می‌شوند. RDV نیز از طریق القای بیان S-آدنوزیل-L-متیونین سنتاز (SAMS)، تولید اتیلین را تشدید کرده و حساسیت گیاه به آلودگی را افزایش می‌دهد (Zhao et al., 2017). از سوی دیگر، اتیلین می‌تواند پاسخ‌های دفاعی را فعال سازد؛ از جمله با القای بیان ژن‌هایی مانند PR-1 و مهارکننده‌های پروتئاز نوع II از طریق تجمع ACC (Ohtsubo et al., 1999). با این حال، برخی ویروس‌ها مانند CaMV با استفاده از پروتئین P6 مسیر پیام‌رسانی اتیلین را سرکوب کرده و همزمان سامانه خاموش‌سازی ژنی پس از رونویسی (PTGS) را نیز مهار می‌کنند (Geri et al., 2004). همچنین ویروس موزاییک شلغم (*Potyvirus rapae*) نیز با تعدیل پاسخ اتیلنی، حساسیت میزبان را افزایش می‌دهد (Casteel et al., 2015). این یافته‌ها ماهیت دوگانه‌ی اتیلین را در تعامل با ویروس‌ها نشان می‌دهند؛ به‌گونه‌ای که بسته به نوع ویروس و شرایط میزبان، اتیلین می‌تواند در تعادل میان رشد، دفاع و پیشرفت بیماری نقش‌های متفاوتی ایفا کند.

نقش جاسمونات‌ها (JAs)

جاسمونات‌ها هورمون‌هایی مشتق از اسیدهای چرب هستند که از مسیر اکنداکانوئیدی و پیش‌ساز α -لینولنیک اسید سنتز می‌شوند و نقش کلیدی در تنظیم رشد، پیری و پاسخ‌های گیاه به تنش‌های زیستی ایفا می‌کنند (Wasternack & Hause, 2013). آلودگی‌های ویروسی و ویروئیدی می‌توانند سطح جاسمونات را تغییر داده و مسیرهای دفاعی وابسته به آن را فعال کنند. در تعاملات گیاه-ویروس، افزایش جاسمونات در بافت‌های خاص گزارش شده است؛ از جمله افزایش آن در مریستم‌های سیب‌زمینی آلوده به ویروس M سیب‌زمینی (*Carlavirus misolani*, PVM) (Ravnikar et al., 1990)، یا تغییرات در برخی از اندام‌ها در آلودگی به ویروس Y سیب-زمینی (*Potyvirus yituberosi*, PVY) (Petrović et al., 1997). در توتون آلوده به TMV، فعالیت فسفولیپاز A2 (PLA2) و تجمع ۱۲-اکسوفیتودیانوئیک اسید (OPDA-۱۲) با القای HR همراه است (Dhondt et al., 2000). ارقام سیب‌زمینی مقاوم به PVY توانایی تولید جاسمونات بالاتری دارند و پاسخ دفاعی قوی‌تری از خود نشان

در گیاه مدل آراییدوپسیس، تنظیم سطح اکسین می‌تواند آثار آلودگی را تعدیل کند؛ به‌طوری‌که کاربرد خارجی اکسین در موتانت *vid1* موجب کاهش علائم ویروس روشنی رگبرگ شلغم (*Tobamovirus rapae*) می‌شود (Sheng et al., 1998). مطالعات متعددی تغییرات اکسین و بیان ژن‌های مرتبط با آن را در پی آلودگی‌های ویروئیدی بررسی کرده‌اند. بطور مثال، در گوجه‌فرنگی آلوده به PSTVd، افزایش بیان ژن *trpB* (سنتز پیش‌ساز IAA) و کاهش بیان ژن *IBR1* (تبدیل IBA به IAA) گزارش شده است (Owens et al., 2012, 2018a). تحلیل‌های متابولومیک نیز افزایش سطح اکسین در گوجه‌فرنگی و کاهش آن در خیار آلوده به ویروئید کوتولگی رازک (*Hostuviroid impedihumuli*, HSVd) را نشان می‌دهند (Milanović, 2018). همچنین، افزایش بیان ژن‌های هیدرولاز مانند IAR3، نشان‌دهنده آزادسازی اکسین از ترکیبات پیوندی ذخیره‌ای در گیاهان آلوده است (Xia et al., 2017, 2019b). به‌طور کلی، ویروس‌ها و ویروئیدها با تغییر بیان ژن‌ها، تنظیم *miRNA*ها و اختلال در مسیرهای هورمونی، رشد و نمو گیاه میزبان را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

نقش جیبرلین‌ها (GAs)

جیبرلین‌ها هورمون‌های کلیدی رشد هستند که ویروس‌های گیاهی با هدف قرار دادن مسیرهای خاص آن‌ها، متابولیسم و پیام‌رسانی‌شان را مختل کرده و رشد و فیزیولوژی میزبان را تغییر می‌دهند. به‌عنوان نمونه، ویروس‌های مرتبط با بیماری کوتولگی زرد در جو و RTBV در برنج، موجب کاهش سطح جیبرلین‌های فعال می‌شوند (Russell & Kimmins, 1971; Sridhar et al., 1978). در خیار آلوده به CMV نیز کاهش GA_1 و GA_3 گزارش شده است. پروتئین P2 از ویروس RDV با مهار آنزیم *ent-kaurene oxidase* در مسیر بیوسنتز GA_1 ، باعث کاهش سطح GA_1 و بروز علائم کوتولگی می‌شود؛ این علائم با کاربرد خارجی GA_3 قابل بهبود هستند (Zhu et al., 2005). همچنین، در آراییدوپسیس، پروتئین *Fny-2b* ویروس CMV با سرکوب *amiR159* باعث افزایش بیان ژن‌های MYB33/65 و اختلال در رشد می‌شود (Du et al., 2014). در سیب‌زمینی نیز *miR167* و *phasRNA931*، بیان ژن‌های *GA20-oxidase* و *GA3-oxidase* را در شرایط آلودگی تنظیم می‌کنند (Kriznik et al., 2017). پاسخ گیاه به آلودگی ویروسی گاهی متناقض است؛ برای مثال، در هلوئی آلوده به PPV، سطح GA_3 افزایش ولی GA_4 کاهش می‌یابد، در حالی که در پایه‌های آلوده، پیوند رقم Garrigues منجر به کاهش GA_3 می‌شود (Dehkordi et al., 2018).

می‌دهند (Kovač *et al.*, 2009). در لوبیا آلوده به WCIMV، افزایش سطح جاسمونات در بافت‌های آلوده مشاهده شده است (Clarke *et al.*, 2000). با این حال، افزایش جاسمونات همیشه منجر به پاسخ محافظتی نمی‌شود؛ به‌ویژه در جبینی‌ویروس‌ها که پروتئین C2 با اختلال در عملکرد کمپلکس SCF (از طریق اتصال به سیگنالوزوم COP9)، مسیر جاسمونات را به نفع ویروس تغییر می‌دهد (Lozano-Durán *et al.*, 2011). همچنین، خاموشی (کاهش فعالیت) کینازهای WIPK و SIPK در توتون باعث افزایش مقاومت گیاه به TMV می‌شود (Kobayashi *et al.*, 2010). در آلودگی‌های ویروئیدی، مسیر بیوستنز جاسمونات (AOC، LOX) و پیام‌رسانی آن (JAZ، MYC2) در گوجه‌فرنگی آلوده به PSTVd فعال می‌شود (Zheng *et al.*, 2017Więsyk *et al.*, 2018). مطالعات متابولومیک نیز تجمع پیش‌سازهایی مانند cis-OPDA را تأیید کرده‌اند (Milanović, 2018). این پاسخ، وابسته به نوع ویروئید و میزبان است؛ به‌طور مثال، در HSPvD مسیر جاسمونات فعال شده اما در CBCVd کاهش بیان LOX گزارش شده است (Pokorn *et al.*, 2017). مسیر جاسمونات از طریق کمپلکس JAZ-COI1-SCF و فعال‌سازی فاکتورهای MYC2، بیان ژن‌های دفاعی مانند PR را تنظیم می‌کند (Devoto *et al.*, 2005). تعامل جاسمونات با اسید سالیسیلیک نیز پیچیده بوده و در مواردی از جمله افزایش MPK4 در PSTVd، تنظیم متقابل این دو مسیر دیده می‌شود (Petersen *et al.*, 2000). در نهایت، فعال‌شدن مسیر جاسمونات می‌تواند با علائمی مانند کوتولگی و ناباروری مرتبط باشد (Yang *et al.*, 2012)، اما نقش آن فراتر از ایجاد علائم بوده و به تنظیم دقیق پاسخ‌های دفاعی بستگی دارد. این پاسخ‌ها اغلب به اندام خاصی محدود هستند؛ مثلاً در سیب‌زمینی آلوده به PSTVd افزایش جاسمونات در برگ‌ها دیده شده اما در غده‌ها دیده نشده است (Milanović *et al.*, 2019b).

نقش اسید سالیسیلیک (SA)

اسید سالیسیلیک یک فیتوهورمون فنلی است که از مسیر بیوستنزی بنزوئیک اسید سنتز شده و نقش محوری در پاسخ‌های دفاعی گیاهان علیه ویروس‌ها ایفا می‌کند (Agarwal *et al.*, 2020). اسید سالیسیلیک به‌عنوان مولکول پیام‌رسان، شبکه‌های دفاعی مانند SAR، دفاع وابسته به ژن‌های مقاومتی R و دفاع پایه را فعال می‌کند. پیام‌رسانی اسید سالیسیلیک موجب القای پروتئین‌های PR، رسوب کالوز، HR و تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شود (Collum & Culver, 2016). کاهش سطح اسید سالیسیلیک می‌تواند پاسخ دفاعی گیاه را تضعیف و حساسیت آن به ویروس‌ها را افزایش دهد. به‌عنوان مثال، در گیاه توتون آلوده به TMV، افزایش سطح اسید سالیسیلیک و متابولیت‌های آن از طریق فعال‌سازی آنزیم

نقش براسینواستروئیدها (BRs)

براسینواستروئیدها، فیتوهورمون‌هایی با ساختار استروئیدی هستند که در تنظیم رشد، نمو و پاسخ به تنش‌های زیستی گیاهان نقش دارند. پیام‌رسانی براسینواستروئید از طریق گیرنده‌هایی مانند BRI1 و BAK1 آغاز شده و با فعال‌سازی فاکتورهای رونویسی BZR1 و BES1، به تنظیم بیان ژن‌های متعددی از جمله ژن‌های دفاعی منجر می‌شود (Guo *et al.*, 2013Belkhadir & Jaillais, 2015).

(al., 2019b). همچنین شباهت علائم ویروئیدی با فنوتیپ موتانت‌های BR - مانند کوتلگی، پیچ‌خوردگی برگ و کاهش باروری - فرضیه دخالت براسینواستروئیدها در بیماری‌زایی ویروئیدها را تقویت می‌کند (Clouse et al., 1996). در مجموع، نقش براسینواستروئیدها در تعامل با ویروس‌ها و ویروئیدها بسته به شرایط و گونه گیاهی متغیر است و نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد.

نتیجه‌گیری کلی

آلودگی‌های ویروسی و ویروئیدی تأثیر قابل‌توجهی بر مسیرهای بیوسنتزی فیتوهورمون‌ها و تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارند. ویروئیدها با اختلال در بیان ژن‌های میزبان و تغییر مسیرهای پیام‌رسانی هورمونی مانند اسید سالیسیلیک، جاسمونات، براسینواستروئید و اکسین، علاوه بر تأثیر بر هورمون‌ها، تولید متابولیت‌های ثانویه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. هرچند مکانیسم‌های دقیق مولکولی آن‌ها هنوز به‌طور کامل شناخته نشده و نیازمند تحقیقات بیشتر است. از سوی دیگر، ویروس‌ها با تغییر سیستم ایمنی گیاه، مسیرهای سنتز هورمونی و تولید متابولیت‌هایی نظیر آلکالوئیدها، فنول‌ها، فلاونوئیدها و ترپن‌ها را تنظیم می‌کنند که ممکن است بخشی از پاسخ دفاعی گیاه یا سازوکار ویروس برای تسهیل آلودگی باشد. پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های ترانسکریپتومیکس و متابولومیکس، فرصت‌های ارزشمندی برای شناسایی ژن‌ها و مسیرهای مرتبط با تنظیم هورمونی و متابولیتی فراهم کرده‌اند. درک عمیق‌تر از این تعاملات می‌تواند به طراحی راهکارهای اصلاحی مؤثر در جهت افزایش مقاومت گیاهان در برابر ویروس‌ها و ویروئیدها منجر شود. بنابراین، مطالعات آینده باید تمرکز بیشتری بر شبکه تعاملات میان فیتوهورمون‌ها، متابولیت‌های ثانویه و این بیمارگرها داشته باشند تا راهبردهای کارآمدتری برای مدیریت بیماری‌های ناشی از آنها توسعه یابد.

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که براسینواستروئیدها می‌توانند نقش دوگانه‌ای در تعامل با ویروس‌ها داشته باشند. از یک سو، تیمار گیاه با براسینولید (BL) مقاومت به ویروس‌هایی نظیر TMV در توتون و CMV در آرابیدوپسیس را افزایش می‌دهد (Nakashita et al., 2003; Zhang et al., 2015). این اثر حفاظتی از طریق افزایش بیان ژن‌های دفاعی، تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی (شامل آنزیم‌هایی مانند SOD، POD، CAT و APX) و القای ROS (نظیر H_2O_2) در برگ‌های دور از محل تیمار اعمال می‌شود (Deng et al., 2016b). از سوی دیگر، در برخی شرایط، براسینواستروئیدها ممکن است موجب افزایش حساسیت گیاه به ویروس شوند. برای نمونه، در برنج آلوده به RBSDV، براسینواستروئید با مهار مسیر جاسمونات، حساسیت گیاه را افزایش می‌دهد (He et al., 2017). همچنین، ویروس SPLCV-JS از پروتئین C4 برای تعامل با AtBIN2 در مسیر براسینواستروئید بهره می‌برد که باعث فعال‌سازی این مسیر و تسهیل تکثیر ویروس می‌شود (Bi et al., 2017). در مورد ویروئیدها نیز شواهدی از نقش براسینواستروئیدها در فعال‌سازی دفاع مستقل از مسیرهای اسید سالیسیلیک و جاسمونات وجود دارد (Nakashita et al., 2003). در گوجه‌فرنگی آلوده به PSTVd، تغییرات ترانسکریپتومی در ژن‌های مرتبط با بیوسنتز یا متابولیسم براسینواستروئید مانند DWF1، BR6ox1 و CYP734A1 گزارش شده است (Więsyk et al., 2018). در خیار آلوده به HSVd نیز افزایش بیان BAS1 مشاهده شده است (Xia et al., 2017). با این حال، در گوجه‌فرنگی آلوده به PSTVd، با وجود تغییر در بیان ژن‌های مرتبط با بیوسنتز BRها، سطح هورمون کاستاسترون (Castasterone)، یکی از انواع براسینواستروئیدها، تغییری نداشته است (Milanović, 2018). پاسخ گیاه به ویروئیدها در سطح گونه و رقم نیز متفاوت است. برای مثال، در رقم Safari سیب‌زمینی کاهش بیان DWF1 (Katsarou et al., 2016) و در رقم Désirée افزایش بیان DWF4 و ROT3 دیده شده است (Milanović et al., 2016).

References

- Abdala, G., Milrad, S., Vigliocco, A., Lorenzo, E., Pharis, R., & Wanner, G. (1999). Hyperauxinity in diseased leaves affected by Mal de Rio Cuarto Virus (MRCV). *Biocell*, 23(1), 13–18.
- Abdelkhalek, A., Qari, S. H., Abu-Saied, M. A. A.-R., Khalil, A. M., Younes, H. A., Nehela, Y., & Behiry, S. I. (2021). Chitosan nanoparticles inactivate alfalfa mosaic virus replication and boost innate immunity in *Nicotiana glutinosa* plants. *Plants*, 10, 2701. <https://doi.org/10.3390/plants10122701>
- Agarwal, N., Srivastava, R., Verma, A., Rai, K. M., Singh, B., & Verma, P. C. (2020). Unravelling cotton nonexpressor of pathogenesis-related 1 (NPR1)-like genes family: Evolutionary analysis and putative role in fiber development and defense pathway. *Plants*, 9(8), 999. <https://doi.org/10.3390/plants9080999>
- Alamillo, J. M., Saénz, P., & García, J. A. (2006). Salicylic acid-mediated and RNA-silencing defense mechanisms cooperate in the restriction of systemic spread of plum pox virus in tobacco. *Plant Journal*, 48, 217–227. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2006.02861.x>
- Alazem, M., Lin, K. Y., & Lin, N. S. (2014). The abscisic acid pathway has multifaceted effects on the accumulation of Bamboo mosaic virus. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 27(2), 177–189.

<https://doi.org/10.1094/MPMI-08-13-0216-R>

Alazem, M., & Lin, N. S. (2015). Roles of plant hormones in the regulation of host-virus interactions. *Molecular Plant Pathology*, 16(5), 529–540. <https://doi.org/10.1111/mpp.12204>

Alazem, M., & Lin, N. S. (2017). Antiviral roles of abscisic acid in plants. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1760. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01760>

Alazem, M., He, M. H., Moffett, P., & Lin, N. S. (2017). Abscisic acid induces resistance against Bamboo mosaic virus through argonaute2 and 3. *Plant Physiology*, 174(1), 339–355. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00015>

Alazem, M., Tseng, K.-C., Chang, W.-C., Seo, J.-K., & Kim, K.-H. (2018). Elements involved in the Rsv3-mediated extreme resistance against an avirulent strain of soybean mosaic virus. *Viruses*, 10(11), 581. <https://doi.org/10.3390/v10110581>

Alazem, M., Kim, K. H., & Lin, N. S. (2019). Effects of abscisic acid and salicylic acid on gene expression in the antiviral RNA silencing pathway in Arabidopsis. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(10), 2538. <https://doi.org/10.3390/ijms20102538>

Alcaide-Loridan, C., & Jupin, I. (2012). Ubiquitin and plant viruses, let's play together! *Plant Physiology*, 160(1), 72–82. <https://doi.org/10.1104/pp.112.201905>

Altman, A., Shennan, S., & Odling-Smee, J. (2022). Ornamental plant domestication by aesthetics-driven human cultural niche construction. *Trends in Plant Science*, 27(2), 124–138. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.09.004>

Anikina, I., Kamarova, A., Issayeva, K., Issakhanova, S., Mustafayeva, N., Insebayeva, M., Mukhamedzhanova, A., Khan, S.M., Ahmad, Z., Lho, L.H., Han, H., Raposo, A. (2023). Plant protection from virus: A review of different approaches. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1163270. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1163270>

Asadi Jaefari, S., Maleki, M., & Gholamnejad, J. (2022). The effect of salicylic acid and jasmonic acid on disease symptoms and defense genes expression in a greenhouse cucumber infected with CMV. *Genetic Engineering and Biosafety Journal*, 10(2): 206-224. (in Persian with English abstract) <https://dorl.net/dor/20.1001.1.25885073.1400.10.2.2.4>

Baebler, Š., Witek, K., Petek, M., Stare, K., Tušek-Žnidarič, M., Pompe-Novak, M., Renaut, J., Szajko, K., Strzelczyk-Żyta, D., Marczewski, W., Morgiewicz, K., Gruden, K., & Hennig, J. (2014). Salicylic acid is an indispensable component of the Ny-1 resistance-gene-mediated response against Potato virus Y infection in potato. *Journal of Experimental Botany*, 65(4), 1095–1109. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert447>

Baliji, S., Lacatus, G., & Sunter, G. (2010). The interaction between geminivirus pathogenicity proteins and adenosine kinase leads to increased expression of primary cytokinin-responsive genes. *Virology*, 402(2), 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2010.03.023>

Belkhadir, Y., & Jaillais, Y. (2015). The molecular circuitry of brassinosteroid signaling. *New Phytologist*, 206(2), 522–540. <https://doi.org/10.1111/nph.13269>

Bellés, J. M., Garro, R., Fayos, J., Navarro, P., Primo, J., & Conejero, V. (1999). Gentisic acid as a pathogen-inducible signal, additional to salicylic acid for activation of plant defenses in tomato. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 12(3), 227–235. <https://doi.org/10.1094/MPMI.1999.12.3.227>

Bendahmane, A., Kanyuka, K., & Baulcombe, D. C. (1999). The Rx gene from potato controls separate virus resistance and cell death responses. *The Plant Cell*, 11(5), 781–791. <https://doi.org/10.1105/tpc.11.5.781>

Bi, H., Fan, W., & Zhang, P. (2017). C4 protein of sweet potato leaf curl virus regulates brassinosteroid signaling pathway through interaction with AtBIN2 and affects male fertility in Arabidopsis. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1689. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01689>

Blanco-Ulate, B., Hopfer, H., Figueroa-Balderas, R., Ye, Z., Rivero, R. M., Albacete, A., Pérez-Alfocea, F., Koyama, R., Anderson, M.M., Smith, R.J., Ebeler, S.E., & Cantu, D. (2017). Red blotch disease alters grape berry development and metabolism by interfering with the transcriptional and hormonal regulation of ripening. *Journal of Experimental Botany*, 68(5), 1225–1238. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw506>

Böhm, H., Albert, I., Fan, L., Reinhard, A., & Nürnberger, T. (2014). Immune receptor complexes at the plant cell surface. *Current Opinion in Plant Biology*, 20, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2014.04.008>

Brommonschenkel, S. H., Frary, A., Frary, A., & Tanksley, S. D. (2000). The broad-spectrum tospovirus resistance gene Sw-5 of tomato is a homolog of the root-knot nematode resistance gene Mi. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 13(10), 1130–1138. <https://doi.org/10.1094/MPMI.2000.13.10.1130>

Calil, I. P., & Fontes, E. P. B. (2017). Plant immunity against viruses: Antiviral immune receptors in focus. *Annals of Botany*, 119(5), 711–723. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw200>

Callaway, A., Liu, W., Andrianov, V., Stenzler, L., Zhao, J., Wettlaufer, S., Jayakumar, P., & Howell, S. H. (1996). Characterization of cauliflower mosaic virus (CaMV) resistance in virus-resistant ecotypes of Arabidopsis. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 9(9), 810–818. <https://doi.org/10.1094/MPMI-9-0810>

Casteel, C. L., De Alwis, M., Bak, A., Dong, H., Whitham, S. A., & Jander, G. (2015). Disruption of ethylene responses by turnip mosaic virus mediates suppression of plant defense against the green peach aphid vector. *Plant Physiology*, 169(1), 209–218. <https://doi.org/10.1104/pp.15.00332>

Chaudhry, Z., Yoshioka, T., Satoh, S., Hase, S., & Ehara, Y. (1998). Stimulated ethylene production in tobacco

- (*Nicotiana tabacum* L. cv. Ky 57) leaves infected systemically with cucumber mosaic virus yellow strain. *Plant Science*, 131(2), 123–130. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(97\)00257-4](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(97)00257-4)
- Chen, S., Yu, N., Yang, S., Zhong, B., & Lan, H. (2018). Identification of *Telasma* mosaic virus infection in *Passiflora edulis* and its impact on phytochemical contents. *Virology Journal*, 15, 168. <https://doi.org/10.1186/s12985-018-1084-6>
- Chinestra, S. C., Facchinetti, C., Curvetto, N. R., & Marinangeli, P. A. (2010). Detection and frequency of lily viruses in Argentina. *Plant Disease*, 94(10), 1188–1194. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-09-0419>
- Choi, J., Huh, S. U., Kojima, M., Sakakibara, H., Paek, K. H., & Hwang, I. (2010). The cytokinin-activated transcription factor ARR2 promotes plant immunity via TGA3/NPR1-dependent salicylic acid signaling in *Arabidopsis*. *Developmental Cell*, 19(2), 284–295. <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2010.07.011>
- Chong, J., Baltz, R., Schmitt, C., Befar, R., Fritig, B., & Saindrenan, P. (2002). Downregulation of a pathogen-responsive tobacco UDP-Glc:phenylpropanoid glucosyltransferase reduces scopoletin glucoside accumulation, enhances oxidative stress, and weakens virus resistance. *Plant Cell*, 14(5), 1093–1107. <https://doi.org/10.1105/tpc.010436>
- Clarke, S. F., Guy, P. L., Jameson, P. E., Schmierer, D., & Burritt, D. J. (2000). Influence of white clover mosaic potyvirus infection on the endogenous levels of jasmonic acid and related compounds in *Phaseolus vulgaris* L. seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 156(4), 433–437. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(00\)80155-8](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80155-8)
- Clarke, S. F., Guy, P. L., Burritt, D. J., & Jameson, P. E. (2002). Changes in the activities of antioxidant enzymes in response to virus infection and hormone treatment. *Physiologia Plantarum*, 114(2), 157–164. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1140201.x>
- Clouse, S. D., Langford, M., & McMorris, T. C. (1996). A brassinosteroid-insensitive mutant in *Arabidopsis thaliana* exhibits multiple defects in growth and development. *Plant Physiology*, 111(3), 671–678. <https://doi.org/10.1104/pp.111.3.671>
- Collum, T. D., & Culver, J. N. (2016). The impact of phytohormones on virus infection and disease. *Current Opinion in Virology*, 17, 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2015.11.003>
- Costet, L., Fritig, B., & Kaufmann, S. (2002). Scopoletin expression in elicitor-treated and tobacco mosaic virus-infected tobacco plants. *Physiologia Plantarum*, 115(2), 228–235. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150208.x>
- Culver, J. N., & Padmanabhan, M. S. (2007). Virus-induced disease: altering host physiology one interaction at a time. *Annual Review of Phytopathology*, 45(1), 221–243. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.45.062806.094422>
- Dabiri, S., Moradi, Z., Mehrvar, M., & Zakiaghl, M. (2020). Analysis of the complete genome sequence of cucumber mosaic virus from Vinca minor and Wisteria sinensis in Iran. *Journal of Plant Pathology*, 102, 1263–1268. <https://doi.org/10.1007/s42161-020-00650-y>
- Dangl, J. L., & Jones, J. D. (2001). Plant pathogens and integrated defence responses to infection. *Nature*, 411(6839), 826–833. <https://doi.org/10.1038/35081161>
- de Haro, L. A., Arellano, S. M., Novák, O., Feil, R., Dumón, A. D., Mattio, M. F., Tarkowská, D., Llauger, G., Strnad, M., Lunn, J.E., Pearce, S., Figueroa, C.M., & del Vas, M. (2019). Mal de Río Cuarto virus infection causes hormone imbalance and sugar accumulation in wheat leaves. *BMC Plant Biology*, 19(1), 112. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1709-y>
- Dehkordi, A. N., Rubio, M., Babaeian, N., Albacete, A., & Martínez-Gómez, P. (2018). Phytohormone signaling of the resistance to Plum pox virus (PPV, sharka disease) induced by almond (*Prunus dulcis* (Miller) Webb) grafting to peach (*P. persica* L. Batsch). *Viruses*, 10(5), 238. <https://doi.org/10.3390/v10050238>
- Dempsey, D. A., Pathirana, M. S., Wobbe, K. K., & Klessig, D. F. (1997). Identification of an *Arabidopsis* locus required for resistance to turnip crinkle virus. *Plant Journal*, 11(2), 301–311. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.1997.11020301.x>
- Deng, X. G., Zhu, T., Peng, X. J., Xi, D. H., Guo, H., Yin, Y., Zhang, D. W., & Lin, H. H. (2016a). Role of brassinosteroid signaling in modulating Tobacco mosaic virus resistance in *Nicotiana benthamiana*. *Scientific Reports*, 6, 20579. <https://doi.org/10.1038/srep20579>
- Deng, X. G., Zhu, T., Zou, L. J., Han, X. Y., Zhou, X., Xi, D. H., Zhang, D. W., & Lin, H. H. (2016b). Orchestration of hydrogen peroxide and nitric oxide in brassinosteroid-mediated systemic virus resistance in *Nicotiana benthamiana*. *Plant Journal*, 85(4), 478–493. <https://doi.org/10.1111/tpj.13120>
- Dermastia, M., Ravnkar, M., & Kovač, M. (1995). Increased cytokinin-9-glucosylation in roots of susceptible *Solanum tuberosum* cultivar infected by potato virus Y. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 8(2), 327–330. <https://doi.org/10.1094/MPMI-8-0327>
- Devi, N., Sharma, V., Kaushik, N. K., Devi, N., Igiraneza, P., Kaushik, A., Nagraik, R., Gupta, S., Kaushal, A., Kala, D., Noorani, S., Dhir, S., Walia Y., (2025). An insight into the viroid-induced immune signaling pathways in plants. *Discoveries in Plants*, 2, 117. <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00191-7>
- Devoto, A., Ellis, C., Magusin, A., Chang, H. S., Chilcott, C., Zhu, T., & Turner, J. G. (2005). Expression profiling reveals COI1 to be a key regulator of genes involved in wound- and methyl jasmonate-induced secondary metabolism, defence, and hormone interactions. *Plant Molecular Biology*, 58, 497–513. <https://doi.org/10.1007/s11103-005-7306-5>

- Dhondt, S., Geoffroy, P., Stelmach, B. A., Legrand, M., & Heitz, T. (2000). Soluble phospholipase A2 activity is induced before oxylipin accumulation in tobacco mosaic virus-infected tobacco leaves and is contributed by patatin-like enzymes. *Plant Journal*, 23(4), 431–440. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.2000.00802.x>
- Di Serio, F., Flores, R., Verhoeven, J. T. J., Li, S. F., Pallás, V., Randles, J. W., Sano, T., Vidalakis, G., & Owens, R. A. (2014). Current status of viroid taxonomy. *Archives of Virology*, 159, 3467–3478. <https://doi.org/10.1007/s00705-014-2200-6>
- Diao, P., Zhang, Q., Sun, H., Ma, W., Cao, A., Yu, R., Wang, J., Niu, Y., & Wuriyangan, H. (2019). miR403a and SA are involved in NbAGO2 mediated antiviral defenses against TMV infection in *Nicotiana benthamiana*. *Genes*, 10(7), 526. <https://doi.org/10.3390/genes10070526>
- Dixon, R. A., & Paiva, N. L. (1995). Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *The Plant Cell*, 7(7), 1085. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1085>
- Du, Z., Chen, A., Chen, W., Westwood, J. H., Baulcombe, D. C., & Carr, J. P. (2014). Using a viral vector to reveal the role of MicroRNA159 in disease symptom induction by a severe strain of Cucumber mosaic virus. *Plant Physiology*, 164(3), 1378–1388. <https://doi.org/10.1104/pp.113.232090>
- Durrant, W.E., & Dong, X. (2004). Systemic acquired resistance. *Annual Review of Phytopathology*, 42, 185–209. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.42.040803.140421>
- Fazio, G. D. (1981). Cytokinin levels in healthy and bean golden mosaic virus (BGMV) infected bean plants (*Phaseolus vulgaris*). *Revista Brasileira de Botânica*, 4(2), 57–61.
- Ferdes, M. (2018). Antimicrobial compounds from plants. In A. Budimir (Ed.), *Fighting Antimicrobial Resistance* (pp. 243–271). IAPC Publishing. <https://doi.org/10.5599/obp.15.15>
- Fernández-Calvino, L., Osorio, S., Hernández, M. L., Hamada, I. B., Del Toro, F. J., Donaire, L. Yu, A., Bustos, R., Fernie, A. R., Martínez-Rivas, J. M., & Llave, C. (2014). Virus-induced alterations in primary metabolism modulate susceptibility to Tobacco rattle virus in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 166(4), 1821–1838. <https://doi.org/10.1104/pp.114.250340>
- Flores, R., Hernández, C., Martínez de Alba, A. E., Daròs, J. A., & Di Serio, F. (2005). Viroids and viroid–host interactions. *Annual Review of Phytopathology*, 43(1), 117–139. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.040204.140243>
- Flores, R., Di Serio, F., Navarro, B., Durán-Vila, N., & Owens, R. A. (2021). Viroids and viroid diseases of plants. In *Studies in viral ecology* (pp. 231–273). Elsevier. <https://doi.org/10.1002/9781119608370.ch7>
- Gális, I., Smith, J. L., & Jameson, P. E. (2004). Salicylic acid–, but not cytokinin-induced, resistance to WCIMV is associated with increased expression of SA-dependent resistance genes in *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Plant Physiology*, 161(4), 459–466. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01255>
- Geri, C., Love, A. J., Cecchini, E., Barrett, S. J., Laird, J., Covey, S. N., & Milner, J. J. (2004). *Arabidopsis* mutants that suppress the phenotype induced by transgene-mediated expression of cauliflower mosaic virus (CaMV) gene VI are less susceptible to CaMV infection and show reduced ethylene sensitivity. *Plant Molecular Biology*, 56(1), 111–124. <https://doi.org/10.1007/s11103-004-2649-x>
- Grant, M. R., & Jones, J. D. G. (2009). Hormone (dis)harmony moulds plant health and disease. *Science*, 324(5928), 750–752. <https://doi.org/10.1126/science.1173771>
- Guo, H., Li, L., Aluru, M., Aluru, S., & Yin, Y. (2013). Mechanisms and networks for brassinosteroid regulated gene expression. *Current Opinion in Plant Biology*, 16(5), 545–553. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2013.08.003>
- Hamidun, B., Dusik, L., Bunawan, S. N., & Amin, N. M. (2014). Rice tungro disease: From identification to disease control. *World Applied Science Journal*, 31, 1221–1226. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2014.31.06.610>
- He, Y., Zhang, H., Sun, Z., Li, J., Hong, G., Zhu, Q., Zhou, X., MacFarlane, S., Yan, F., & Chen, J. (2017). Jasmonic acid-mediated defense suppresses brassinosteroid-mediated susceptibility to Rice black streaked dwarf virus infection in rice. *New Phytologist*, 214(1), 388–399. <https://doi.org/10.1111/nph.14376>
- Hennig, J., Malamy, J., Gryniewicz, G., Indulski, J., & Klessig, D. F. (1993). Interconversion of the salicylic acid signal and its glucoside in tobacco. *The Plant Journal*, 4(4), 593–600. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.1993.04040593.x>
- Hyodo, K., & Okuno, T. (2020). Hijacking of host cellular components as proviral factors by plant-infecting viruses. In J. P. Carr & M. J. Roossinck (Eds.), *Advances in Virus Research* (Vol. 107, pp. 37–86). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.aivir.2020.04.002>
- Itaya, A., Matsuda, Y., Gonzales, R. A., Nelson, R. S., & Ding, B. (2002). Potato spindle tuber viroid strains of different pathogenicity induces and suppresses expression of common and unique genes in infected tomato. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 15(10), 990–999. <https://doi.org/10.1094/MPMI.2002.15.10.990>
- Jameson, P. E., & Clarke, S. F. (2002). Hormone–virus interactions in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 21(3), 205–228. <https://doi.org/10.1080/07352680290000415>
- Jelinek, L., Dolečková, M., Karabin, M., Hudcova, T., Kotlikova, B., & Dostalek, P. (2012). Influence of growing area, plant age, and virus infection on the contents of hop secondary metabolites. *Czech Journal of Food Sciences*, 30(6), 541–547. <https://doi.org/10.17221/50/2012-CJFS>

- Jia, C., Zhang, L., Liu, L., Wang, J., Li, C., & Wang, Q. (2013). Multiple phytohormone signaling pathways modulate susceptibility of tomato plants to *Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici*. *Journal of Experimental Botany*, 64(2), 637–650. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers360>
- Jiang, T., Du, K., Xie, J., Sun, G., Wang, P., Chen, X., Cao, Z., Wang, B., Chao, Q., Li, X., Fan, Z., & Zhou, T. (2023). Activated malate circulation contributes to the manifestation of light-dependent mosaic symptoms. *Cell Reports*, 42(4), 112333. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2023.112333>
- Jiang, T., Hao, T., Chen, W., Li, C., Pang, S., Fu, C., Cheng, J., Zhang, C., Ghorbanpour, M., & Miao, S. (2025). Reprogrammed plant metabolism during viral infections: Mechanisms, pathways and implications. *Molecular Plant Pathology*, 26(2), e70066. <https://doi.org/10.1111/mpp.70066>
- Jin, L., Qin, Q., Wang, Y., Pu, Y., Liu, L., Wen, X., Ji, S., Wu, J., Wei, C., Ding, B., & Li, Y. (2016). Rice dwarf virus P2 protein hijacks auxin signaling by directly targeting the rice OsIAA10 protein, enhancing viral infection and disease development. *PLoS Pathogens*, 12(9), e1005847. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005847>
- Kabera, J. N., Semana, E., Mussa, A. R., & He, X. (2014). Plant secondary metabolites: Biosynthesis, classification, function and pharmacological properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2(7), 377–392.
- Kappagant, M., Bullock, J. M., Nelson, M. E., & Eastwell, K. C. (2017). Hop stunt viroid: Effect on host (*Humulus lupulus*) transcriptome and its interactions with hop powdery mildew (*Podosphaera macularis*). *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 30(10), 842–851. <https://doi.org/10.1094/MPMI-03-17-0071-R>
- Katsarou, K., Wu, Y., Zhang, R., Bonar, N., Morris, J., Hedley, P. E., Bryan, G. J., Kalantidis, K., & Hornyik, C. (2016). Insight on genes affecting tuber development in potato upon potato spindle tuber viroid (PSTVd) infection. *PLoS ONE*, 11(3), e0150711. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150711>
- Kieber, J. J., & Schaller, G. E. (2018). Cytokinin signaling in plant development. *Development*, 145(4), dev149344. <https://doi.org/10.1242/dev.149344>
- Knoester, M., Bol, J. F., van Loon, L. C., & Linthorst, H. J. (1995). Virus-induced gene expression for enzymes of ethylene biosynthesis in hypersensitively reacting tobacco. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 8(1), 177–180. <https://doi.org/10.1094/mpmi-8-0177>
- Kobayashi, M., Seo, S., Hirai, K., Yamamoto-Katou, A., Katou, S., Seto, H., Meshi, T., Mitsuhashi, I., & Ohashi, Y. (2010). Silencing of WIPK and SIPK mitogen-activated protein kinases reduces tobacco mosaic virus accumulation but permits systemic viral movement in tobacco possessing the *N* resistance gene. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 23(8), 1032–1041. <https://doi.org/10.1094/mpmi-23-8-1032>
- Kovač, M., Müller, A., Jarh, D. M., Milavec, M., Dücking, P., & Ravnikar, M. (2009). Multiple hormone analysis indicates involvement of jasmonate signalling in the early defence of potato to potato virus Y NTN. *Biologia Plantarum*, 53(1), 195–199. <https://doi.org/10.1007/s10535-009-0034-y>
- Kovalskaya, N., & Hammond, R. W. (2014). Molecular biology of viroid–host interactions and disease control strategies. *Plant Science*, 228, 48–60. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.05.006>
- Kogovšek, P., Pompe-Novak, M., Petek, M., Fagner, L., Weckwerth, W., & Gruden, K. (2016). Primary metabolism, phenylpropanoids and antioxidant pathways are regulated in potato as a response to Potato Virus Y infection. *PLoS ONE*, 11(1), e0146135. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146135>
- Kriznik, M., Petek, M., Dobnik, D., Ramsak, Z., Baebler, S., Pollmann, S., Kreuze JF, Žel J, & Gruden, K. (2017). Salicylic acid perturbs sRNA-gibberellin regulatory network in immune response of potato to potato virus Y infection. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2192. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02192>
- Kumar, R. V., & Gnanasekaran, P. (2024). Studying plant virus-host interactions: Elucidating the natural resistance mechanism. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1500580. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1500580>
- Kuriger, W., & Agrios, G. (1977). Cytokinin levels and kinetin–virus interactions in tobacco ringspot virus infected cowpea plants. *Phytopathology*, 67, 604–609.
- Lan, H., Lai, B., Zhao, P., Dong, X., Wei, W., Ye, Y., & Wu, Z. (2020). Cucumber mosaic virus infection modulated the phytochemical contents of *Passiflora edulis*. *Microbial Pathogenesis*, 138, 103828. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103828>
- León, J., Shulaev, V., Yalpani, N., Lawton, M. A., & Raskin, I. (1995). Benzoic acid 2-hydroxylase, a soluble oxygenase from tobacco, catalyzes salicylic acid biosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92(22), 10413–10417. <https://doi.org/10.1073/pnas.92.22.10413>
- Li, Y., Baldauf, S., Lim, E. K., & Bowles, D. J. (2001). Phylogenetic analysis of the UDP-glycosyltransferase multigene family of *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Biological Chemistry*, 276, 4338–4343. <https://doi.org/10.1074/jbc.M007447200>
- Li, S., Wu, Z. G., Zhou, Y., Dong, Z. F., Fei, X., Zhou, C. Y., & Li, S. F. (2022). Changes in metabolism modulate induced by viroid infection in the orchid *Dendrobium officinale*. *Virus Research*, 308, 198626. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2021.198626>
- Li, G., Li, J., Zhang, H., Li, J., Jia, L., Zhou, S., Wang, Y., Sun, J., Tan, M., & Shao, J. (2023). ASSVd infection inhibits the vegetative growth of apple trees by affecting leaf metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1137630. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1137630>

- López-Gresa, M. P., Maltese, F., Bellés, J. M., Conejero, V., Kim, H. K., Choi, Y. H., & Verpoorte, R. (2011). Metabolic response of tomato leaves upon different plant–pathogen interactions. *Phytochemical Analysis*, 21(1), 89–94. <https://doi.org/10.1002/pca.1179>
- López-Gresa, M. P., Lisón, P., Yenush, L., Conejero, V., Rodrigo, I., & Bellés, J. M. (2016). Salicylic acid is involved in the basal resistance of tomato plants to citrus exocortis viroid and tomato spotted wilt virus. *PLoS ONE*, 11(11), e0166938. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166938>
- Lozano-Durán, R., Rosas-Díaz, T., Gusmaroli, G., Luna, A. P., Taconnat, L., Deng, X. W., & Bejarano, E. R. (2011). Geminiviruses subvert ubiquitination by altering CSN-mediated derubylation of SCF E3 ligase complexes and inhibit jasmonate signaling in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Cell*, 23(3), 1014–1032. <https://doi.org/10.1105/tpc.110.080267>
- Mackinnon, E., & Stone, S. L. (2022). The ubiquitin proteasome system and nutrient stress response. *Frontiers in Plant Science*, 13, 867419. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.867419>
- Milanović, J. (2018). The role of brassinosteroids and salicylic acid in plant defense response to potato spindle tuber viroid infection (Doctoral dissertation, 119 p.). Faculty of Science, University of Zagreb, Zagreb, Croatia.
- Milanović, J., Oklestkova, J., Novák, O., & Mihaljević, S. (2019a). Effects of potato spindle tuber viroid infection on phytohormone and antioxidant responses in symptomless *Solanum laxum* plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 325–332. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9842-7>
- Milanović, J., Oklestkova, J., Majdandžić, A., Novák, O., & Mihaljević, S. (2019b). Organ-specific differences in endogenous phytohormone and antioxidative responses in potato upon PSTVd infection. *Journal of Plant Physiology*, 232, 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.10.027>
- Mishra, J., Srivastava, R., Trivedi, P. K., & Verma, P. C. (2020). Effect of virus infection on the secondary metabolite production and phytohormone biosynthesis in plants. *3 Biotech*, 10(12), 547. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02541-6>
- Mizumoto, H., Morikawa, Y., Ishibashi, K., Kimura, K., Matsumoto, K., Tokunaga, M., Kiba, A., Ishikawa, M., Okuno, T., & Hikichi, Y. (2014). Functional characterization of the mutations in Pepper mild mottle virus overcoming tomato tm-1-mediated resistance. *Molecular Plant Pathology*, 15(5), 479–487. <https://doi.org/10.1111/mpp.12107>
- Montero, R., Pérez-Bueno, M. L., Barón, M., Florez-Sarasa, I., Tohge, T., Fernie, A. R., El Aououad, H., Flexas, J., & Bota, J. (2016). Alterations in primary and secondary metabolism in *Vitis vinifera* “Malvasía de Banyalbufar” upon infection with *Grapevine leafroll-associated virus 3*. *Physiologia Plantarum*, 157(4), 442–452. <https://doi.org/10.1111/ppl.12440>
- Moreno, P., Ambrós, S., Albiach-Martí, M. R., Guerri, J., & Peña, L. (2008). Citrus tristeza virus: A pathogen that changed the course of the citrus industry. *Molecular Plant Pathology*, 9(2), 251–268. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00455.x>
- Muletarova, S., Stoikova, D., & Ivanov, K. (1995). Changes in the isoenzyme spectrum of peroxidase in potato and tobacco plants inoculated with potato virus A. *Rasteniyeudni Nauki*, 32, 118–120.
- Muyskens, J. B., & Guillemin, K. (2008). Bugs inside bugs: What the fruit fly can teach us about immune and microbial balance in the gut. *Cell Host & Microbe*, 3(3), 117–118. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2008.02.011>
- Nakashita, H., Yasuda, M., Nitta, T., Asami, T., Fujioka, S., Arai, Y., Sekimata, K., Takatsuto, S., Yamaguchi, I., & Yoshida, S. (2003). Brassinosteroid functions in a broad range of disease resistance in tobacco and rice. *Plant Journal*, 33(5), 887–898. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3113.2003.01675.x>
- Nicaise, V., & Candresse, T. (2017). Plum pox virus capsid protein suppresses plant pathogen-associated molecular pattern (PAMP)-triggered immunity. *Molecular Plant Pathology*, 18(6), 878–886. <https://doi.org/10.1111/mpp.12447>
- Ohtsubo, N., Mitsuhashi, I., Koga, M., Seo, S., & Ohashi, Y. (1999). Ethylene promotes the necrotic lesion formation and basic PR gene expression in TMV-infected tobacco. *Plant Cell Physiology*, 40(8), 808–817. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a029609>
- Owens, R. A., Tech, K. B., Shao, J. Y., Sano, T., & Baker, C. J. (2012). Global analysis of tomato gene expression during Potato spindle tuber viroid infection reveals a complex array of changes affecting hormone signaling. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 25(4), 582–598. <https://doi.org/10.1094/MPMI-09-11-0258>
- Padmanabhan, M. S., Kramer, S. R., Wang, X., & Culver, J. N. (2008). Tobacco mosaic virus replicase–auxin/indole acetic acid protein interactions: Reprogramming the auxin response pathway to enhance virus infection. *Journal of Virology*, 82(5), 2477–2485. <https://doi.org/10.1128/JVI.01865-07>
- Parizad, S., Dizadji, A., Koohi Habibi, M., Winter, S., Kalantari, S., Movi, S., Tendero, C. L., Alonso, G. L., & Moratalla-Lopez, N. (2019). The effects of geographical origin and virus infection on the saffron (*Crocus sativus* L.) quality. *Food Chemistry*, 295, 387–394. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.116>
- Patzak, J., Henychová, A., Krofta, K., Svoboda, P., & Malířová, I. (2021). The influence of hop latent viroid (HLVd) infection on gene expression and secondary metabolite contents in hop (*Humulus lupulus* L.) glandular trichomes. *Plants*, 10(11), 2297. <https://doi.org/10.3390/plants10112297>
- Petersen, M., Brodersen, P., Naested, H., Andreasson, E., Lindhart, U., Johansen, B., Nielsen HB, Lacy M, Austin MJ, Parker JE, Sharma SB, Klessig DF, Martienssen R, Mattsson O, Jensen AB, & Mundy, J. (2000). *Arabidopsis* MAP

kinase 4 negatively regulates systemic acquired resistance. *Cell*, 103(7), 1111–1120. [https://doi.org/10.1016/s0092-8674\(00\)00213-0](https://doi.org/10.1016/s0092-8674(00)00213-0)

Pethybridge, S. J., Wilson, C. R., Hay, F. S., Leggett, G. W., & Sherriff, L. J. (2002). Effect of viruses on agronomic and brewing characteristics of four hop (*Humulus lupulus*) cultivars in Australia. *Annals of Applied Biology*, 140(1), 97–105. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00161.x>

Petrovič, N., Miersch, O., Ravnikar, M., & Kovač, M. (1997). Potato virus YNTN alters the distribution and concentration of endogenous jasmonic acid in potato plants grown in vitro. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 50(4), 237–244. <https://doi.org/10.1006/pmpp.1997.0079>

Pieterse, C. M., Van der Does, D., Zamioudis, C., Leon-Reyes, A., & Van Wees, S. C. (2012). Hormonal modulation of plant immunity. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 28, 489–521. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-092910-154055>

Pokorn, T., Radišek, S., Javornik, B., Štajner, N., & Jakše, J. (2017). Development of hop transcriptome to support research into host–viroid interactions. *PLoS ONE*, 12(9), e0184528. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184528>

Ravnikar, M., Gogala, N., Miersch, O., & Bruckner, C. (1990). The correlation between plant growth regulator jasmonic acid and PVM in the potato. *Potato Research*, 33, 144.

Rezzonico, E., Flury, N., Meins, F. Jr., & Befar, R. (1998). Transcriptional down-regulation by abscisic acid of pathogenesis-related beta-1,3-glucanase genes in tobacco cell cultures. *Plant Physiology*, 117(2), 585–592. <https://doi.org/10.1104/pp.117.2.585>

Robert-Seilanianz, A., Grant, M., & Jones, J. D. (2011). Hormone crosstalk in plant disease and defense: More than just jasmonate–salicylate antagonism. *Annual Review of Phytopathology*, 49(1), 317–343. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114447>

Rodriguez, M. C., Conti, G., Zavallo, D., Manacorda, C. A., & Asurmendi, S. (2014). TMV-Cg coat protein stabilizes DELLA proteins and in turn negatively modulates salicylic acid-mediated defense pathway during *Arabidopsis thaliana* viral infection. *BMC Plant Biology*, 14, 210. <https://doi.org/10.1186/s12870-014-0210-x>

Rostami Angasi, R., Moradi, Z., & Nazifi, E. (2024). Changes in phenolic compound levels in maize plants infected with sugarcane mosaic virus treated with chitosan. Proceedings of the 23rd National and 11th International Iranian Biology Congress (IBC), 9–11 September 2024, University of Tehran, Tehran, Iran, p. 84. (in Persian with English abstract)

Russell, S. L., & Kimmins, W. C. (1971). Growth regulators and the effect of barley yellow dwarf virus on barley (*Hordeum vulgare* L.). *Annals of Botany*, 35(5), 1037–1043. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a084539>

Sakamoto, S., Putalun, W., Vimolmangkang, S., Phoolcharoen, W., Shoyama, Y., Tanaka, H., & Morimoto, S. (2018). Enzyme-linked immunosorbent assay for the quantitative/qualitative analysis of plant secondary metabolites. *Journal of Natural Medicines*, 72(1), 32–42. <https://doi.org/10.1007/s11418-017-1144-z>

Scholthof, K.-B. G. (2004). Tobacco mosaic virus: A model system for plant biology. *Annual Review of Phytopathology*, 42, 13–34. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.42.040803.140322>

Sharma, M., Sasvari, Z., & Nagy, P. D. (2010). Inhibition of sterol biosynthesis reduces *Tombusvirus* replication in yeast and plants. *Journal of Virology*, 84(5), 2270–2281. <https://doi.org/10.1128/JVI.02003-09>

Sharma, M., Sasvari, Z., & Nagy, P. D. (2011). Inhibition of phospholipid biosynthesis decreases the activity of the *Tombusvirus* replicase and alters the subcellular localization of replication proteins. *Virology*, 415(1), 141–152. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2011.04.008>

Sheng, J., Lartey, R., Ghoshroy, S., & Citovsky, V. (1998). An *Arabidopsis thaliana* mutant with virus-inducible phenotype. *Virology*, 249(1), 119–128. <https://doi.org/10.1006/viro.1998.9238>

Siemens, D. H., Garner, S. H., Mitchell-Olds, T., & Callaway, R. M. (2002). Cost of defense in the context of plant competition: Brassica rapa may grow and defend. *Ecology*, 83(2), 505–517. <https://doi.org/10.2307/2680031>

Sridhar, R., Mohanty, S. K., & Anjaneyulu, A. (1978). Physiology of rice tungro virus disease: Increased cytokinin activity in tungro-infected rice cultivars. *Physiologia Plantarum*, 43(4), 363–366. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1978.tb01595.x>

Srivastava, R., Rai, K. M., & Srivastava, R. (2018). Plant biosynthetic engineering through transcription regulation: An insight into molecular mechanisms during environmental stress. In Varjani, S. J., Parameswaran, B., Kumar, S., & Khare, S. K. (Eds.), *Biosynthetic technology and environmental challenges* (pp. 51–72). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7434-9_4

Štajner, N., Radišek, S., Mishra, A. K., Nath, V. S., Matoušek, J., & Jakše, J. (2019). Evaluation of disease severity and global transcriptome response induced by Citrus bark cracking viroid, Hop latent viroid, and their co-infection in hop (*Humulus lupulus* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 20(12), 3154. <https://doi.org/10.3390/ijms20133154>

Tahmasebi, A. (2021). The role of ubiquitin in plant–virus interactions. *Plant Pathology Science*, 10(1), 141–152. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.52547/pss.10.1.141>

Tang, W., Tang, Z., Liu, H., Lu, J., Du, Q., Tian, H., & Li, J. (2024). Xanthohumol and echinocystic acid induces PSTVd tolerance in tomato. *Plant Direct*, 8(6), e612. <https://doi.org/10.1002/pld3.612>

- Tavantzis, S. M., Smith, S. H., & Witham, F. H. (1979). The influence of kinetin on tobacco ringspot virus infectivity and the effect of virus infection on the cytokinin activity in intact leaves of *Nicotiana glutinosa* L. *Physiological Plant Pathology*, 14(2), 227–233. [https://doi.org/10.1016/0048-4059\(79\)90010-9](https://doi.org/10.1016/0048-4059(79)90010-9)
- Thompson, G., Martin, M., & Van Staden, J. (1983). Relationship between tomato spotted wilt virus infection and cytokinin content of tomato. *Phytophylactica*, 15(2), 63–66.
- Ueda, H., Yamaguchi, Y., & Sano, H. (2006). Direct interaction between the tobacco mosaic virus helicase domain and the ATP-bound resistance protein, N factor during the hypersensitive response in tobacco plants. *Plant Molecular Biology*, 61, 31–45. <https://doi.org/10.1007/s11103-005-5817-8>
- Vallejo-Pérez, M. R., Téliz-Ortiz, D., Colinas-León, M. T., De La Torre-Almaraz, R., Valdovinos-Ponce, G., Nieto-Ángel, D., & Ochoa-Martínez, D. L. (2015). Alterations induced by Avocado sunblotch viroid in the postharvest physiology and quality of avocado 'Hass' fruit. *Phytoparasitica*, 43(3), 355–364. <https://doi.org/10.1007/s12600-015-0469-y>
- Vitti, A., Nuzzaci, M., Scopa, A., Tataranni, G., Remans, T., Vangronsveld, J., & Sofo, A. (2013). Auxin and cytokinin metabolism and root morphological modifications in *Arabidopsis thaliana* seedlings infected with cucumber mosaic virus (CMV) or exposed to cadmium. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(4), 6889–6902. <https://doi.org/10.3390/ijms14046889>
- Vogt, T., & Jones, P. (2000). Glycosyltransferases in plant natural product synthesis: Characterization of a supergene family. *Trends in Plant Science*, 5(9), 380–386. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(00\)01720-9](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(00)01720-9)
- Wang, X., Goregaoker, S. P., & Culver, J. N. (2009). Interaction of the tobacco mosaic virus replicase protein with a NAC domain transcription factor is associated with the suppression of systemic host defenses. *Journal of Virology*, 83(19), 9720–9730. <https://doi.org/10.1128/jvi.00941-09>
- Wang, X., & Culver, J. N. (2012). DNA binding specificity of ATAF2, a NAC domain transcription factor targeted for degradation by tobacco mosaic virus. *BMC Plant Biology*, 12, 157. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-157>
- Wang, A. (2015). Dissecting the molecular network of virus–plant interactions: The complex roles of host factors. *Annual Review of Phytopathology*, 53(1), 45–66. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120001>
- Wasternack, C., & Hause, B. (2013). Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. An update to the 2007 review in *Annals of Botany*, 111(6), 1021–1058. <https://doi.org/10.1093/aob/mct067>
- Whenham, R. J., Fraser, R. S. S., & Snow, A. (1985). Tobacco mosaic virus-induced increase in abscisic acid concentration in tobacco leaves: intracellular location and relationship to symptom severity and to extent of virus multiplication. *Physiological Plant Pathology*, 26(3), 379–387. [https://doi.org/10.1016/0048-4059\(85\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0048-4059(85)90012-8)
- Whetten, R. W., Mackay, J. J., & Sederoff, R. R. (1998). Recent advances in understanding lignin biosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49, 585–609. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.585>
- Whitham, S. A., Yang, C., & Goodin, M. M. (2006). Global impact: elucidating plant responses to viral infection. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 19(11), 1207–1215. <https://doi.org/10.1094/MPMI-19-1207>
- Więsyk, A., Iwanicka-Nowicka, R., Fogtman, A., Zagórski-Ostoja, W., & Góra-Sochacka, A. (2018). Time-course microarray analysis reveals differences between transcriptional changes in tomato leaves triggered by mild and severe variants of potato spindle tuber viroid. *Viruses*, 10(5), 257. <https://doi.org/10.3390/v10050257>
- Wu, X., Valli, A., García, J. A., Zhou, X., & Cheng, X. (2019). The tug-of-war between plants and viruses: great progress and many remaining questions. *Viruses*, 11(3), 203. <https://doi.org/10.3390/v11030203>
- Xia, C., Li, S., Hou, W., Fan, Z., Xiao, H., Lu, M., Sano, T., & Zhang, Z. (2017). Global transcriptomic changes induced by infection of cucumber (*Cucumis sativus* L.) with mild and severe variants of hop stunt viroid. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2427. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02427>
- Xie, K., Li, L., Zhang, H., Wang, R., Tan, X., He, Y., Hong, G., Li, J., Ming, F., Yao, X., Yan, F., Sun, Z., & Chen, J. (2018). Abscisic acid negatively modulates plant defence against rice black-streaked dwarf virus infection by suppressing the jasmonate pathway and regulating reactive oxygen species levels in rice. *Plant, Cell & Environment*, 41(10), 2504–2514. <https://doi.org/10.1111/pce.13372>
- Xu, P., Chen, F., Mannas, J. P., Feldman, T., Sumner, L. W., & Roossinck, M. J. (2008). Virus infection improves drought tolerance. *New Phytologist*, 180(4), 911–921. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02627.x>
- Xu, J., Liu, H., Zhou, C., Wang, J., Wang, J., Han, Y., Zheng, N., Zhang, M., & Li, X. (2024). The ubiquitin-proteasome system in the plant response to abiotic stress: Potential role in crop resilience improvement. *Plant Science*, 342, 112035. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2024.112035>
- Yang, D. L., Yao, J., Mei, C. S., Tong, X. H., Zeng, L. J., Li, Q., & He, S. Y. (2012). Plant hormone jasmonate prioritizes defense over growth by interfering with the gibberellin signaling cascade. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(19), E1192–E1200. <https://doi.org/10.1073/pnas.1201616109>
- Yang, W., Zhang, L., Yang, Y., Xiang, H., & Yang, P. (2024). Plant secondary metabolites-mediated plant defense against bacteria and fungi pathogens. *Plant Physiology and Biochemistry*, 217, 109224. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.109224>

- Yu, M., Bi, X., Huang, Y., Chen, Y., Wang, J., Zhang, R., Lei, Y., Xia, Z., An, M., & Wu, Y. (2020). Chimeric tobamoviruses with coat protein exchanges modulate symptom expression and defence responses in *Nicotiana tabacum*. *Frontiers in Microbiology*, 11, 587005. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.587005>
- Zaim, M., Lal, R., Verma, R., & Pandey, R. (2014a). Studies on effect of poppy mosaic virus infection on poppy produce and some secondary metabolites. *Acta Horticulturae*, 1036, 151-155. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1036.16>
- Zaim, M., Verma, R. K., Pandey, R., & Lal, R. K. (2014b). Genotype-dependent response of an RNA virus infection on selected pharmaceutically important alkaloids in *Papaver somniferum*. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 20(2), 124-131. <https://doi.org/10.1080/10496475.2013.840817>
- Zhang, D. W., Deng, X. G., Fu, F. Q., & Lin, H. H. (2015). Induction of plant virus defense response by brassinosteroids and brassinosteroid signaling in *Arabidopsis thaliana*. *Planta*, 241(4), 875-885. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2218-8>
- Zhang, H., Tan, X., Li, L., He, Y., Hong, G., Li, J., Lin, L., Cheng, Y., Yan, F., Chen, J., & Sun, Z. (2019). Suppression of auxin signaling promotes rice susceptibility to rice black streaked dwarf virus infection. *Molecular Plant Pathology*, 20(8), 1093-1104. <https://doi.org/10.1111/mpp.12814>
- Zhang, H., Li, L., He, Y., Qin, Q., Chen, C., Wei, Z., Tan, X., Xie, K., Zhang, R., Hong, G., Li, J., Li, J., Yan, C., Yan, F., Li, Y., Chen, J., & Sun, Z. (2020). Distinct modes of manipulation of rice auxin response factor OsARF17 by different plant RNA viruses for infection. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(16), 9112-9121. <https://doi.org/10.1073/pnas.1918254117>
- Zhang, Z., He, H., Yan, M., Zhao, C., Lei, C., Li, J., Yan, F. (2022). Widely targeted analysis of metabolomic changes of *Cucumis sativus* induced by Cucurbit chlorotic yellows virus. *BMC Plant Biology*, 22, 158. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03555-3>
- Zhao, S., Hong, W., Wu, J., Wang, Y., Ji, S., Zhu, S., Wei, C., Zhang, J., & Li, Y. (2017). A viral protein promotes host SAMS1 activity and ethylene production for the benefit of virus infection. *eLife*, 6, e27529. <https://doi.org/10.7554/eLife.27529>
- Zheng, Y., Wang, Y., Ding, B., & Fei, Z. (2017). Comprehensive transcriptome analyses reveal that potato spindle tuber viroid triggers genome-wide changes in alternative splicing, inducible trans-acting activity of phased secondary small interfering RNAs, and immune responses. *Journal of Virology*, 91(11), e01128-17. <https://doi.org/10.1128/JVI.00247-17>
- Zhu, S., Gao, F., Cao, X., Chen, M., Ye, G., Wei, C., & Li, Y. (2005). The rice dwarf virus P2 protein interacts with ent-kaurene oxidases in vivo, leading to reduced biosynthesis of gibberellins and rice dwarf symptoms. *Plant Physiology*, 139(4), 1935-1945. <https://doi.org/10.1104/pp.105.072306>

Research Article

Vol. 40, No. 1, 2026, p. 493-508



Quantifying the Emergence Response of Various Ecotypes of littleseed Canarygrass (*Phalaris minor* Retz.) to Temperature

Gh. Arezoogar¹, A. Soltani^{1*}, A. Siahmarguee¹, F. Ghaderi-Far¹

1- Department of Agronomy, Faculty of Crop Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

(*- Corresponding author's Email: afshin.soltani@gmail.com)

How to cite this article:

Received: 04-10-2025

Revised: 07-01-2026

Accepted: 26-01-2026

Available Online: 21-03-2026

Arezoogar, Gh., Soltani, A., Siahmarguee, A., & Ghaderi-Far, F. (2026). Quantifying the emergence response of various ecotypes of littleseed canarygrass (*Phalaris minor* Retz.) to temperature. *Iranian Plant Protection Research*, 40(1), 493-508. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jpp.2026.95779.1255>

Introduction

Phalaris minor Retz., commonly known as little seed canary grass, is one of the most troublesome and competitive weeds in wheat fields. Due to morphological similarities and growth requirements with wheat, the yield reduction of this crop is reported to be between 28 and 95 percent. Furthermore, the resistance of *P. minor* to herbicides that inhibit PSII, ACCase, and ALS has been documented in Iran as well as in other nations, with research results suggesting that this issue is proliferating swiftly. Therefore, understanding the biology and emergence patterns of *P. minor* is crucial for designing effective integrated weed management strategies. The use of predictive models of seedling emergence is essential for successful management and for reducing the population of resistant biotypes. These models allow farmers and agronomists to anticipate periods of high weed emergence and optimize the timing of cultural, mechanical, and chemical control practices. A precise understanding of plant developmental responses to temperature is a prerequisite for developing accurate models to estimate emergence timing under variable environmental conditions. Despite its significance, data concerning the cardinal temperatures for seedling emergence of various *Phalaris* ecotypes (*Phalaris* spp.) remains insufficient, thereby restricting the effective application of predictive models under field conditions.

Materials and Methods

This study was conducted to investigate and quantify the response of four *Phalaris* ecotypes (Gorgan, Kordkuy, Ziarat, and Kalaleh) to temperature, and to estimate their cardinal temperatures using appropriate mathematical functions. The experiment was carried out across 12 sowing dates (from December 2023 to November 2024, one sowing date per month) in a randomized complete block design (RCBD) with three replications under non-limiting water and nutrient conditions at the Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan. Prior to the experiment, all weeds from the experimental site and its surroundings were completely removed to minimize competition. The soil was then manually tilled with a shovel (surface tillage) and mixed with farmyard manure to provide a soft and suitable seedbed that facilitates uniform seed-soil contact. Before each sowing date, seeds were subjected to appropriate dormancy-breaking treatments to ensure maximum germination potential and were immediately transferred to the field for sowing. Different sowing dates were



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

<https://doi.org/10.22067/jpp.2026.95779.1255>

selected to expose the plants to varying temperature conditions and to examine the effect of temperature on seedling emergence. Emergence was recorded according to the Zadoks scale when the coleoptile or any part of the seedling was visible on the soil surface in 50% of the viable seeds sown. Observations were conducted every other day and daily during the warmer months to accurately capture emergence dynamics under fluctuating environmental conditions. Data analysis was performed using SAS statistical software, while the plotting and analysis of data-related graphs were performed using Microsoft Excel to visualize trends and model fits.

Results and Discussion

Among the models used, the two-segmented and three-segmented models showed similar performance based on statistical indices, with RMSE values of 1.60 and RRMSE values of 14.2%, respectively. The beta model, with an RMSE of 1.94 and an RRMSE of 16.8%, exhibited weaker performance compared with the other two models. However, model fitting results showed that the beta model failed to estimate the base temperature, yielding an unrealistic value of approximately -20 °C. Consequently, in the next step, a constraint was imposed on the base temperature (a range between 0 and 5 °C was selected for the base temperature; however, this constraint also had no effect on model performance and failed to estimate the base temperature and its standard error). Additionally, the three-segmented model was also unable to provide a valid standard error (SE) estimate for the ceiling temperature. As a result, both models were unsuccessful and unsuitable for integrated estimation of cardinal temperatures, and only the two-segmented model proved effective in this regard. Therefore, the two-segmented model was selected as the superior model, and the cardinal temperatures derived from this model should be adopted. The two-segmented model indicated that the base, optimum, and ceiling temperatures were 3.8, 21.8, and 30.2 °C, respectively. The duration required for seedling emergence (expressed as biological days: the number of days to emergence at the optimum temperature) was estimated to be 5.34 days. Statistical analysis showed that, within the framework of the superior model, no significant differences existed among the ecotypes regarding the cardinal temperatures or the biological days required for emergence. Our result showed that high temperature (above 30 °C) could be associated with the absence of emergence on certain sowing dates (from May to August 2024).

Conclusion

The findings showed that different ecotypes of *Phalaris* in Golestan province exhibited a similar response to temperature, indicating ecological stability and high adaptability of *Phalaris* under diverse environmental conditions. Therefore, their management can be carried out using common strategies. Also, further studies are needed to quantify the temperatures that may induce dormancy.

Keywords: Biological day, Cardinal temperatures, Modeling

کمی سازی واکنش سبز شدن اکوتیپ‌های مختلف فالاریس (*Phalaris minor* Retz.) به دما

قدسیه آرزوگر^۱ - افشین سلطانی^{۱*} - آسیه سیاهمرگویی^۱ - فرشید قادری فر^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۶

چکیده

فالاریس (*Phalaris minor* Retz.) یکی از علف‌های هرز مهم و دردرساز مزارع گندم است. بهره‌گیری از مدل‌های پیش‌بینی‌کننده سبز شدن جهت مدیریت موفق و کاهش جمعیت بیوتیپ‌های مقاوم آن حائز اهمیت است. درک دقیق از نحوه واکنش نمو گیاهان به دما، پیش‌شرط توسعه مدل‌های دقیق برآورد زمان سبز شدن در شرایط متغیر محیطی است. این مطالعه، با هدف بررسی و کمی‌سازی واکنش سبز شدن چهار اکوتیپ فالاریس (گرگان، کردکوی، زیارت و کلاله) به دما و به دست آوردن دماهای کاردینال با تابع مناسب در ۱۲ تاریخ کاشت (از آذر ۱۴۰۲ تا آبان ۱۴۰۳؛ هر ماه یک تاریخ کاشت) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در محوطه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. برای تحلیل سرعت نمو از کاشت تا سبز شدن، سه مدل دمایی (توابع بتا، سه‌تکه‌ای و دوتکه‌ای) مورد ارزیابی قرار گرفت که مدل دوتکه‌ای با برآورد دمای پایه ۳/۸، بهینه ۲۱/۸ و سقف ۳۰/۲ درجه سانتی‌گراد، بهترین برازش را نشان داد. همچنین میانگین روزهای بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن در عمق دو سانتی‌متری خاک، ۵/۳۴ روز بود. نتایج نشان داد که در دماهای بالا (بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد)، خواب به بذرها القاء شد. یافته‌ها بیانگر آن بود که اکوتیپ‌های مختلف فالاریس در استان گلستان، واکنش سبز شدن مشابهی به دما دارند که نشان‌دهنده پایداری اکولوژیک و سازگاری بالای فالاریس در این استان است، بنابراین مدیریت آن‌ها می‌تواند با الگوهای مشترک انجام گیرد.

واژه‌های کلیدی: دماهای کاردینال، روز بیولوژیک، مدل‌سازی

مقدمه

فالاریس (*Phalaris minor* Retz.) از علف‌های هرز مهم و خسارت‌زای یک‌ساله مزارع گندم (*Triticum aestivum*) در استان‌های گلستان، مازندران، خوزستان و فارس به شمار می‌رود. (Gherekhloo et al., 2008) این علف‌هرز به دلیل شباهت‌های ریخت‌شناختی و نیازهای رشدی مشابه با گندم، توان رقابتی بالایی داشته (Singh et al., 1999; Abbas et al., 2017) و میزان کاهش عملکرد گندم در اثر تداخل با آن بین ۲۸ تا ۹۵ درصد گزارش شده است (Chhokar & Sharma, 2013; Hussain et al., 2017; Singh et al., 2013). مقاومت فالاریس به علف‌کش‌های بازدارنده PSII، ACCase و ALS در ایران و سایر کشورها به ثبت رسیده و نتایج تحقیقات حاکی از

آن است که این پدیده به سرعت در حال گسترش است (Heap, 2024; Gherekhloo et al., 2021). از این رو، ضرورت اتخاذ راهکارهای مؤثر در قالب مدیریت تلفیقی علف‌های هرز^۲ که بر ترکیبی از روش‌های زراعی، شیمیایی، بیولوژیکی و فناوریانه استوار است و به درک عمیق از ویژگی‌های بیولوژیکی و بوم‌شناختی علف‌های هرز و گیاهان زراعی تأکید دارد (Garcia-Baudin et al., 1990).

علف‌های هرزی که حتی یک روز زودتر از گیاه زراعی سبز می‌شوند، توان رقابتی بیشتری نسبت به آن‌هایی دارند که هم‌زمان با گیاه زراعی سبز می‌شوند (Sardana et al., 2017; Horvath et al., 2023). این رویش زودتر باعث می‌شود که علف‌هرز فرصت بیشتری برای تثبیت خود و جذب منابع داشته باشد و در نتیجه رقیب قوی‌تری در برابر گیاه زراعی باشد (Garcia-Baudin et al., 1990). در مرحله سبز شدن، فرآیندهای فیزیولوژیکی متعددی دخیل هستند که خود شامل سه بخش است: ۱- ایجاد خواب در بذر روی بوته مادری

۱- گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

*- نویسنده مسئول (Email: afshin.soltani@gmail.com)

<https://doi.org/10.22067/jpp.2026.95779.1255>

al., 2002)

اگرچه خواب بذرهای *P. minor* به‌طور عمده در طبقه خواب‌های فیزیولوژیکی جای می‌گیرد (Om et al., 2005)، با این حال استفاده از تیمارهایی مانند خراش‌دهی با اسیدسولفوریک ۹۸ درصد، به‌عنوان روشی مؤثر برای تسریع و یکنواخت‌سازی جوانه‌زنی بذرها در مطالعات علمی رایج است. این روش به دلایل متعددی قابل توجه است: ۱- تخریب جزئی پوسته بذر در اثر خراش‌دهی شیمیایی، نفوذپذیری آن را نسبت به آب و اکسیژن افزایش می‌دهد و آنزیم‌های درون بذر را فعال می‌کند (Nowrouzieh et al., 2024). ۲- شرایط به‌دست‌آمده از این فرآیند می‌تواند موجب افزایش پتانسیل و متابولیسم جنین و تسریع در واکنش‌های متابولیکی پس‌رسی شده و منجر به خروج سریع‌تر بذر از حالت خواب فیزیولوژیکی شود (Baskin & Baskin, 2014). ۳- استفاده از این تیمار به‌ویژه در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی، یکنواختی در جوانه‌زنی را افزایش داده و امکان مقایسه دقیق‌تر داده‌ها را بین تیمارهای مختلف فراهم می‌آورد (Contreras & Ruter, 2009). طبق مطالعه انجام‌شده در اسپانیا با مدل‌های پارامتریک و غیرپارامتریک، دمای کاردینال سبز شدن *P. minor* شامل دمای پایه بین ۱- تا ۱ درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه بین ۹/۸ تا ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف بین ۲۱/۲ تا ۲۳/۴ درجه سانتی‌گراد تخمین زده شد (Sousa-Ortega et al., 2021). همچنین شایان ذکر است که درخشان و همکاران (Derakhshan et al., 2014)، مدل دندان‌مانند را به‌عنوان بهترین مدل برای توصیف روند جوانه‌زنی *P. minor* معرفی کردند و دماهای پایه، بهینه و سقف جوانه‌زنی را به‌ترتیب ۴/۶۹، ۲۲/۶ تا ۲۹/۶۲ و ۳۸/۱۳ درجه سانتی‌گراد اعلام نمودند. مطالعات متعددی به بررسی دماهای کاردینال جوانه‌زنی علف‌های هرز مختلف پرداخته‌اند و برای این منظور از مدل‌های رگرسیونی گوناگون استفاده شده است. به‌عنوان مثال، شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*)، توق معمولی و توق خاردار (*Xanthium strumarium*) و (*X. spinosum*)، نیلوفر وحشی (*Ipomoea purpurea*)، آمبروزیا (*Ambrosia psilostachya*) و ارشته خطایی (*Lapyrodectis holosteroides*) مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Jalili et al., 2024; Ahmadi-Vashvaei et al., 2024; Sadehnejad et al., 2023; Siahmarguee et al., 2022; Deihimfard et al., 2017).

با اینکه مدل‌سازی زمان سبز شدن در علف‌های هرز اهمیت زیادی دارد، اما بیشتر تحقیقات انجام‌شده تاکنون بر گیاهان زراعی متمرکز بوده و در آن‌ها مدل برتر تعیین شده است؛ از جمله در گندم مدل بتا (Wang et al., 2009; Panahi et al., 2014)، نخود (*Cicer arietinum* L.) مدل دندان‌مانند (Torabi & Soltani et al., 2006) و باقلا (*Vicia faba* L.) مدل دوتکه‌ای (Ajam Soltani, 2012)، Norouzi et al., 2007) کلزا (*Brassica napus* L.) مدل

(خواب ذاتی)، ۲- رفع خواب پس از ورود بذر به خاک، ۳- جوانه‌زنی در شرایط مساعد پس از رفع خواب و خروج ریشه‌چه از پوسته بذر، و سپس طولی شدن ریشه‌چه و ساقه‌چه و خروج از سطح خاک. هر یک از این مراحل به شرایط محیطی ویژه‌ای نیازمند هستند. رشد پس از جوانه‌زنی تنها در دامنه مشخصی از دما امکان‌پذیر است و این دامنه براساس ویژگی‌های گونه و وضعیت فیزیولوژیک بذر تغییر می‌کند (Benech-Arnold et al., 2000). دمای محیط به‌عنوان عامل کلیدی رشدونمو گیاه، در محدوده دمای کاردینال می‌تواند رشدونمو را تسهیل یا محدود کند (Soltani, 2009; Baskin & Baskin, 2014). دماهای کاردینال شامل دماهای پایه (T_b)، بهینه (T_o) و سقف (T_c)

، پارامترهای اصلی برای مدل‌سازی فنولوژیک هستند (Bradford, 2002). در دمای پایه یا کمتر از آن، سرعت نسبی نمو برابر با صفر است. با افزایش دما به بالاتر از دمای پایه، سرعت نمو افزایش یافته و در شروع دمای بهینه به بیشترین مقدار خود می‌رسد. در بازه بین شروع دمای بهینه و پایان دامنه دمای بهینه، این سرعت تقریباً ثابت باقی می‌ماند، اما افزایش بیشتر دما منجر به کاهش تدریجی آن شده و در نهایت در دمای سقف، دوباره به صفر می‌رسد. به‌طور کلی، سرعت سبز شدن با افزایش دما تا رسیدن به محدوده بهینه بیشتر شده و پس از آن کاهش می‌یابد (Soltani, 2009).

درک بهتر فرآیند جوانه‌زنی بذر و سبز شدن گیاه در ارتباط با دما و برآورد دماهای کاردینال، می‌تواند در طراحی مدل‌های پیش‌بینی کننده رویش گیاهان و گسترش مدل‌های نمو فنولوژیک، بسیار سودمند باشد (Jame & Cutforth, 2004). همچنین بهره‌گیری از مدل‌های پیش‌بینی کننده جوانه‌زنی و سبز شدن به کشاورزان این امکان را می‌دهد که اوج سبز شدن علف‌های هرز را با دقت بالا پیش‌بینی کنند و با بهینه‌سازی زمان‌بندی مدیریتی به‌ویژه انتخاب بهترین تاریخ کاشت و زمان مناسب کاربرد علف‌کش‌ها در جهت کاهش جمعیت بیوتیپ‌های مقاوم علف‌های هرز و مدیریت موفق آن گام بردارند (Mwale et al., 1994; Soltani, 2009). علاوه بر آن می‌توان اندازه نهایی گیاه و میزان کاهش عملکرد ناشی از رقابت با علف‌های هرز را تخمین زد (Forcella, 1993). بنابراین، انتخاب مدلی مناسب برای کمی‌سازی واکنش سرعت سبز شدن گیاهچه به دما، در تعیین دقیق دماهای کاردینال نقشی کلیدی دارد. همچنین براساس مطالعات انجام شده، دماهای کاردینال بین ارقام و اکوتیپ‌های مختلف یک گونه نیز می‌توانند متفاوت باشند (Jalilian et al., 2004; Saeidnejad et al., 2012; Adam et al., 2007). مطالعه اکوتیپ‌های مختلف یک گونه می‌تواند شناخت دقیقی از سازگاری‌های اکولوژیک و نیازهای رشدی فراهم آورد و مبنای تدوین روش‌های مدیریتی ویژه‌سازی شده برای هر اکوتیپ و تصمیم‌گیری علمی در حوزه کشاورزی پایدار و حفاظت از تنوع زیستی قرار گیرد (Lavorel & Garnier, 2002; Tilman et

بذرهای اکوتیپ های مختلف استان گلستان شامل گرگان، زیارت، کلاله و کردکوی در سال ۱۴۰۲ با موقعیت جغرافیایی مشخص شده در جدول ۱ جمع آوری شدند و تا زمان کاشت در کیسه های کاغذی در دمای اتاق نگهداری گردید. وزن ۱۰۰ دانه هر اکوتیپ نیز با ترازوی دیجیتالی با دقت دو رقم اعشار تعیین گردید.

پیش از کاشت، بذرهای به وسیله خراش دهی با اسیدسولفوریک ۹۸ درصد از حالت خواب خارج شدند (Derakhshan & Gherekhloo, 2015). بدین منظور، بذرهای به مدت دو دقیقه در اسیدسولفوریک، غوطه ور و سپس با آب فراوان شسته شدند. پس از آن، آزمایش جوانه زنی در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد (در آزمایش های انجام شده روی این گونه، دمای بهینه جوانه زنی حدود ۲۰ درجه سانتی گراد گزارش شده است) انجام گردید (Ohadi et al., 2009). نتایج این آزمایش برای اکوتیپ گرگان ۹۰ درصد، کلاله ۹۵ درصد، کردکوی ۹۰ درصد و زیارت ۹۰ درصد بود و گیاهچه های ایجاد شده نیز کاملاً طبیعی و سالم بودند. قبل از هر تاریخ کاشت، بذرهای به روش ذکر شده رفع خواب و بلافاصله جهت کشت به خزانه گلخانه منتقل شدند.

همچنین علف های هرز مکان اجرا و اطراف آن به طور کامل حذف و سپس، زمین محل اجرا به وسیله بیل، خاک ورزی سطحی شده و با کود دامی مخلوط گردید تا خاکی نرم و مناسب برای کشت فراهم شود. در هر یک از سه بلوک مجزا، چهار شیار سطحی به طول یک متر ایجاد شد. هر اکوتیپ در هر تاریخ کاشت، بر روی یک ردیف یک متری و در سه تکرار، با فاصله تقریبی دو سانتی متر روی ردیف کشت گردید. فاصله کرت ها از یکدیگر ۵۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. پس از قرار دادن بذرهای در شیارها، سطح آن ها با مخلوطی از خاک زراعی نرم و پرلیت پوشانده شد. بنابر تحقیقات انجام شده (Rezvani et al., 2021; Kaur et al., 2025)، بهترین جوانه زنی در سطح خاک بود و کشت سطحی انجام گردید. با توجه به شرایط، اقدام به آبیاری شد. انتخاب تاریخ های کاشت مختلف به منظور قرار دادن گیاه در شرایط متفاوت دما و بررسی تأثیر آن بر سبز شدن انجام گرفت. براساس مقیاس زادوکس (Zadoks et al., 1974)، زمانی که کلئوپتیل یا هر بخشی از گیاه در سطح خاک مشاهده شد (در ۵۰ درصد از بذرهای زنده کشت شده)، مرحله سبز شدن ثبت گردید. بررسی و پایش به صورت یک روز در میان و در ماه های گرم سال هر روز انجام گرفت. سرعت سبز شدن از طریق معادله ۱ محاسبه شد (Soltani, 2009).

$$R = \frac{1}{e} \quad (1) \text{ معادله}$$

که در آن: R: سرعت سبز شدن و e: تعداد روز پس از کاشت تا رسیدن به ۵۰ درصد سبز شدن است.

دوتکه ای (Jafari et al., 2011; Lakzaei et al., 2017)، عدس (*Lens culinaris Medik.*) مدل دوتکه ای (Rahban et al., 2018) و همچنین در ارزن معمولی (*Panicum miliaceum L.*) مدل دندان مانند، ارزن دمر و باهی (*Setaria italica L.*) و ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum L.*) مدل بتا (Eshraghi-Nejad et al., 2010).

اگرچه اطلاعاتی در خصوص واکنش دمایی جوانه زنی فالاریس در مطالعات آزمایشگاهی موجود است (Sousa-Ortega et al., 2021; Derakhshan et al., 2014; Rezvani et al., 2021; Derakhshan & Gherekhloo, 2015)، اما داده های معتبر در محیط مزرعه همچنان محدود می باشند. از این رو، مطالعه حاضر با توجه به اهمیت مدیریت صحیح گیاه فالاریس به منظور بررسی و کمی سازی واکنش به دما در مرحله سبز شدن و به دست آوردن دماهای کاردینال با تابع مناسب طراحی و اجرا شد.

مواد و روش ها

این پژوهش طی سال های ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۴ در محوطه پردیس دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در شرایط عدم محدودیت آب و عناصر غذایی در ۱۲ تاریخ کاشت شامل: ۲۲ آذر ۱۴۰۲، ۱۹ دی ۱۴۰۲، ۱۸ بهمن ۱۴۰۲، ۱۹ اسفند ۱۴۰۲، ۱۸ فروردین ۱۴۰۳، ۲۲ اردیبهشت ۱۴۰۳، ۱۹ خرداد ۱۴۰۳، ۲۳ تیر ۱۴۰۳، ۲۲ مرداد ۱۴۰۳، ۱۹ شهریور ۱۴۰۳، ۱۸ مهر ۱۴۰۳ و ۱۹ آبان ۱۴۰۳ و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید؛ به طوری که هر تاریخ کاشت به عنوان یک محیط در نظر گرفته شد. این منطقه در ارتفاع ۱۳ متری از سطح دریا قرار داشته، موقعیت جغرافیایی محل آزمایش در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۸۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی ثبت شده است و مجموع بارندگی سالانه ۴۷۶ میلی متر، میانگین دمای حداقل و حداکثر ۱۳ و ۲۳/۸ درجه سانتی گراد و دامنه تغییرات دمایی سالانه ۱۰/۸ درجه سانتی گراد و میانگین دمای سالانه آن ۱۸/۴ درجه سانتی گراد برآورد شده است. پیش از اجرای آزمایش، نمونه ای از خاک محل کشت از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری تهیه شد و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد سنجش قرار گرفت که شامل درصد اشباع ۴۹/۱، هدایت الکتریکی ۰/۸ میلی موس بر سانتی متر، pH گل اشباع ۷/۷، کربن آلی ۱/۳۱ درصد، نیتروژن کل ۰/۱۳ درصد، فسفر قابل جذب ۴ پی پی ام، پتاسیم قابل جذب ۳۸۰ پی پی ام، رس ۲۸ درصد، سیلت ۶۲ درصد و شن ۱۰ درصد بود و بافت خاک مورد مطالعه در رده سیلتی-رسی لومی^۱ طبقه بندی گردید.

جدول ۱- موقعیت‌های جغرافیایی جمع‌آوری بذور فالاریس و وزن ۱۰۰ دانه آن‌ها

Table 1- Geographical locations of *Phalaris minor* seed collection and their 100-seed weight

Ecotype	Latitude (°N)	Longitude (°E)	100-seed weight (g)
Gorgan	36°49'35.37"	54°22'38.44"	0.15
Ziarat	36°42'23.34"	54°28'43.34"	0.13
Kalaleh	37°21'56.00"	55°29'45.00"	0.19
Kordkuy	36°47'19.00"	54°05'18.00"	0.16

جدول ۲- تابع‌های دوتکه‌ای، بتا و سه‌تکه‌ای به‌منظور برازش و تعیین دماهای کاردینال سبز شدن (Soltani et al., 2006)

Table 2- Two-segmented, beta, and three-segmented functions used to fit and determine the cardinal temperatures for emergence (Soltani et al., 2006)

Models	Mathematical equations
Two-segmented	$f(T) = \frac{T - T_b}{T_o - T_b}$ if $T_b < T \leq T_o$
	$f(T) = 1 - \frac{T_c - T}{T_c - T_o}$ if $T_o < T < T_c$
	$f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$
Beta	$f(T) = \left\{ \left(\frac{T_c - T}{T_c - T_o} \times \frac{T - T_b}{T_o - T_b} \right)^{\frac{T_c - T_o}{T_o - T_b}} \right\}^\alpha$ if $T > T_b$ and $T < T_c$
	$f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$
Three-segmented	$f(T) = \frac{T - T_b}{T_{o1} - T_b}$ if $T_b < T < T_{o1}$
	$f(T) = \frac{T_c - T}{T_c - T_{o2}}$ if $T_{o2} < T < T_c$
	$f(T) = 1$ if $T_{o1} \leq T \leq T_{o2}$
	$f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$

جهت توصیف سرعت نمو از کاشت تا سبز شدن در مقابل دما از معادله ۲ استفاده شد (Soltani, 2009).

$$R = \frac{1}{\epsilon} = \frac{f(t)}{\epsilon_o} \quad \text{معادله (۲)}$$

تابع $f(t)$ که به‌عنوان ضریب ساده‌شده دمایی شناخته می‌شود، مقداری بین صفر (در دمای پایه و دمای سقف) و یک (در دمای بهینه یا دماهای بهینه) دارد. همچنین ϵ_o نمایانگر حداقل تعداد روز از لحظه کاشت تا سبز شدن کامل گیاه در دمای بهینه است که این پارامترها از طریق بهینه‌سازی تکراری^۲ با استفاده از روش PROCNLIN در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ (Soltani, 2009) برآورد می‌شوند. به این ترتیب، سرعت سبز شدن ($\frac{1}{\epsilon}$) نیز با توجه به این تابع تعریف می‌گردد (Panahi et al., 2014). در این روش، مقادیر اولیه پارامترها وارد شده و مقادیر نهایی آن‌ها با استفاده

داده‌های هواشناسی مورد نیاز آزمایش از ایستگاهی در نزدیکی مکان آزمایش تهیه شد. با بهره‌گیری از داده‌های هواشناسی و ثبت دقیق زمان سبز شدن، میزان واحد دمایی^۱ به‌منظور ارزیابی نیازهای حرارتی مرحله سبز شدن محاسبه گردید. برای مدل‌سازی سبز شدن، لازم بود که نوع تابع واکنش به دما مشخص شود (آزمایش با فرض شکسته شدن خواب اولیه انجام شده است) و همچنین دماهای کاردینال (شامل دمای پایه، بهینه و سقف) تعیین گردد. برای توصیف رابطه میان سرعت سبز شدن و دما، از سه نوع تابع دمایی شامل تابع دوتکه‌ای، تابع بتا و تابع سه‌تکه‌ای بهره گرفته شد (Soltani et al., 2006) که معادلات ریاضی آن در جدول ۲ ارائه داده شده است. که در آن‌ها، T : نشان‌دهنده متوسط دمای هوا، T_b : دمای پایه، T_o : دمای بهینه، T_{o1} : دمای شروع دامنه دمای بهینه، T_{o2} : دمای پایان دامنه دمای بهینه و T_c : دمای سقف هستند.

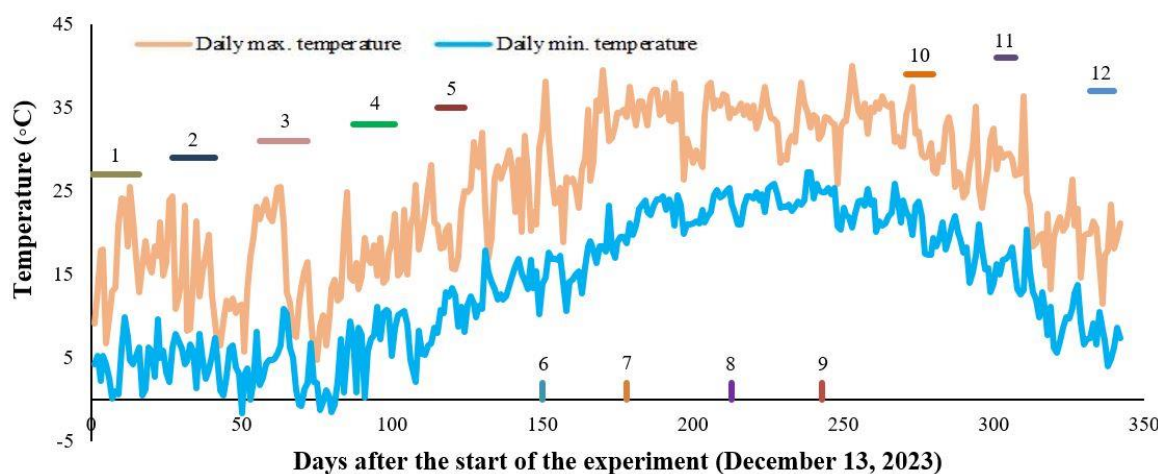
نتایج و بحث

تاریخ وقوع مرحله سبز شدن برای اکوتیپ های فالاریس در **جدول ۳** ثبت شده است. در بین تاریخ های مورد بررسی، در همه اکوتیپ ها، کمترین فاصله زمانی از کاشت تا سبز شدن (بیشترین سرعت سبز شدن)، به تعداد ۶ روز و در تاریخ کاشت مهر ۱۴۰۳ مربوط بود، در حالی که بیشترین مدت زمان تا سبز شدن (کمترین سرعت سبز شدن)، به تعداد ۱۶ روز و در دو تاریخ کاشت آذر و بهمن ۱۴۰۲ ثبت شد.

از روش حداقل مربعات تخمین زده می شود. این فرآیند تکرار می گردد تا زمانی که بهترین برآورد ممکن از پارامترها حاصل شود. انتخاب مدل برتر براساس معیارهایی نظیر خطای معیار (SE) کمتر برای ضرایب مدل، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به تنهایی و به صورت درصدی در میانگین مشاهدات (RRMSE: ریشه میانگین مربعات خطای نسبی) پایین تر صورت گرفت (Panahi et al., 2014). رسم و تحلیل نمودارهای مرتبط با داده ها در محیط نرم افزار Excel انجام شد.

جدول ۳- تاریخ وقوع مرحله سبز شدن برای اکوتیپ های فالاریس

Table 3- Date of emergence stage for <i>Phalaris minor</i> ecotypes				
Sowing date	Gorgan	Kalaleh	Kordkuy	Ziarat
1402.09.22	1402.10.08	1402.10.08	1402.10.08	1402.10.08
1402.10.19	1402.11.04	1402.11.04	1402.11.04	1402.11.04
1402.11.18	1402.12.05	1402.12.05	1402.12.05	1402.12.05
1402.12.19	1403.01.05	1403.01.05	1403.01.05	1403.01.05
1403.01.18	1403.01.28	1403.01.28	1403.01.28	1403.01.28
1403.06.19	1403.06.31	1403.06.29	1403.06.29	1403.06.31
1403.07.18	1403.07.24	1403.07.24	1403.07.24	1403.07.24
1403.08.19	1403.08.28	1403.08.28	1403.08.28	1403.08.28



شکل ۱- تغییرات دمایی در طول آزمایش در تاریخ های کاشت مختلف فالاریس در گرگان

Figure 1- Temperature variations during the experiment across different sowing dates of *Phalaris minor* in Gorgan

۱: تاریخ کاشت ۲۲ آذر ۱۴۰۲، ۲: تاریخ کاشت ۱۹ دی ۱۴۰۲، ۳: تاریخ کاشت ۱۸ بهمن ۱۴۰۲، ۴: تاریخ کاشت ۱۹ اسفند ۱۴۰۲، ۵: تاریخ کاشت ۱۸ فروردین ۱۴۰۳، ۶: تاریخ کاشت ۲۲ اردیبهشت ۱۴۰۳، ۷: تاریخ کاشت ۱۹ خرداد ۱۴۰۳، ۸: تاریخ کاشت ۲۳ تیر ۱۴۰۳، ۹: تاریخ کاشت ۲۲ مرداد ۱۴۰۳، ۱۰: تاریخ کاشت ۱۹ شهریور ۱۴۰۳، ۱۱: تاریخ کاشت ۱۸ مهر ۱۴۰۳، ۱۲: تاریخ کاشت ۱۹ آبان ۱۴۰۳.

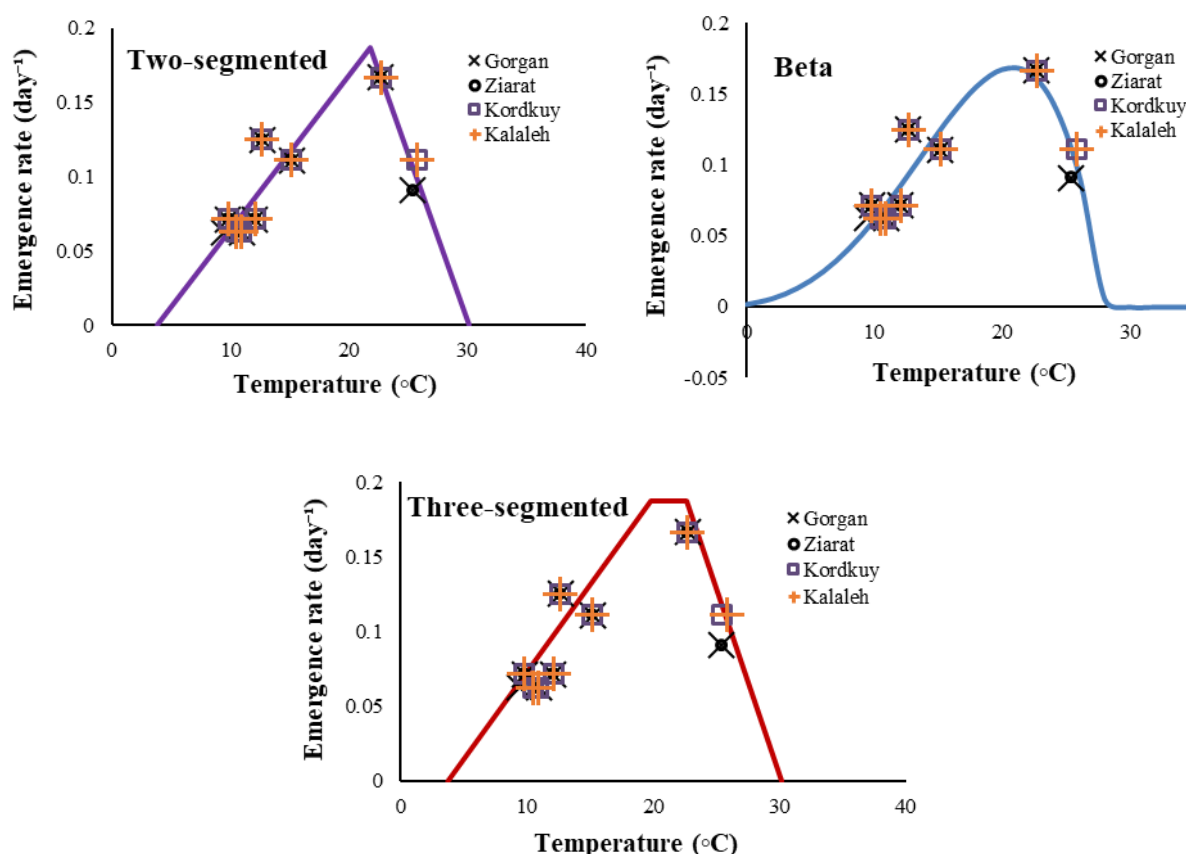
تاریخ های کاشت سبز نشده با خط عمودی مشخص شده اند.

1: December 13, 2023, 2: January 9, 2024, 3: February 7, 2024, 4: March 9, 2024, 5: April 6, 2024, 6: May 11, 2024, 7: June 8, 2024, 8: July 13, 2024, 9: August 12, 2024, 10: September 9, 2024, 11: October 9, 2024, 12: November 9, 2024.

Sowing dates without emergence are indicated with vertical lines.

مدل‌سازی واکنش سرعت نمو از کاشت تا سبز شدن به دما جهت تحلیل کمی واکنش سبز شدن به تغییرات دمایی، از سه نوع تابع دمایی شامل مدل دوتکه‌ای، مدل سه‌تکه‌ای و مدل بتا استفاده شد و مقادیر دماهای کاردینال برای مرحله سبز شدن بذرهای فالاریس از طریق سه مدل مختلف مورد محاسبه قرار گرفت و نتایج آن و اطلاعات مربوط به پارامترهای ارزیابی این مدل‌ها در جدول ۴ جهت مقایسه گزارش شده‌اند. شکل ۲ نیز واکنش سرعت سبز شدن اکوتیپ‌های فالاریس به دما را براساس این سه تابع نشان می‌دهد. از میان مدل‌های مورد استفاده، مدل دوتکه‌ای و مدل سه‌تکه‌ای از نظر شاخص‌های آماری با مقادیر RMSE برابر ۱/۶۰ و RRMSE معادل ۱۴/۲ درصد عملکرد مشابهی داشتند (جدول ۴).

تغییرات دما در طول دوره آزمایش، از زمان کاشت تا سبز شدن در تاریخ‌های مختلف کاشت، در شکل ۱ ارائه شده است. در این بازه زمانی، دمای حداکثر بین ۶/۷ تا ۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد و دمای حداقل بین ۰/۸ تا ۲۳/۹ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. میانگین دمای ثبت‌شده طی این دوره، بسته به شرایط زمانی کاشت، از ۹/۸۳ تا ۲۵/۸ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. کمینه دما معادل ۴/۲۹ درجه در تاریخ کاشت بهمن ۱۴۰۲ و در مقابل، بیشینه دما در تاریخ کاشت شهریور ۱۴۰۳ و برای اکوتیپ‌های کلاله و کردکوی ۳۱/۴۲ درجه سانتی‌گراد و همچنین اکوتیپ گرگان و زیارت ۳۰/۸۴ درجه سانتی‌گراد گزارش شد. در تاریخ‌های کاشت اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد ۱۴۰۳، به دلیل دمای بالای هوا در دوره استقرار اولیه، بذرهای قادر به سبز شدن نبودند و احتمالاً خواب به آن‌ها القاء شد که در ادامه به آن نیز پرداخته می‌شود.



شکل ۲- رابطه عمومی بین دما و سرعت سبز شدن تمامی اکوتیپ‌های فالاریس براساس مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و سه‌تکه‌ای

Figure 2- Relationship between temperature and emergence rate of all *Phalaris minor* ecotypes based on two-segmented, beta, and three-segmented models.

جدول ۴- برآورد دماهای کاردینال و روز بیولوژیک برای سبز شدن ۵۰ درصد اکوتیپ های فالاریس براساس مدل های دوتکه ای، بتا و سه تکه ای، همراه با شاخص های ارزیابی مدل ها (RMSE, RRMSE)

Table 4- Estimation of cardinal temperatures and biological days for 50% germination of *Phalaris minor* ecotypes based on two-segmented, beta, and three-segmented models, along with model evaluation indices (RMSE, RRMSE)

Model	Ecotype	$T_b \pm se$	$T_o \pm se$		$T_c \pm se$	$e_o \pm se$	RMSE (day ⁻¹)	RRMSE (%)
			$T_{o1} \pm se$	$T_{o2} \pm se$				
Two-segmented	Gorgan	3.8±1.62	21.9±0.62		28.6±0.79	5.28±0.43	1.59	13.9
	Kalaleh	3.8±1.62	21.6±0.84		31.99±1.78	5.37±0.39	1.60	14.3
	Kordkuy	3.8±1.62	21.6±0.84		31.99±1.78	5.37±0.39	1.60	14.3
	Ziarat	3.8±1.62	21.9±0.62		28.6±0.78	5.28±0.43	1.59	13.9
	Total	3.8±0.80	21.8±0.36		30.2±0.61	5.34±0.20	1.60	14.2
Beta	Gorgan	0.0±ND*	20.3±0.21		27.5±0.47	5.77±0.33	2.08	17.7
	Kalaleh	0.0±ND*	20.8±0.26		29.1±0.71	5.97±0.32	1.89	16.5
	Kordkuy	0.0±ND*	20.8±0.26		29.1±0.71	5.97±0.32	1.89	16.5
	Ziarat	0.0±ND*	20.3±0.21		27.5±0.47	5.77±0.33	2.08	17.7
	Total	0.0±ND*	20.6±0.12		28.4±0.31	5.95±0.17	1.94	16.8
Three-segmented	Gorgan	3.8±1.62	19.8±1.81	23.1±0.56	28.1*	5.99±0.32	1.59	13.9
	Kalaleh	3.8±1.62	19.8±1.81	23.8±0.60	30*	5.99±0.32	1.60	14.3
	Kordkuy	3.8±1.62	19.8±1.81	23.8±0.60	30*	5.99±0.32	1.60	14.3
	Ziarat	3.8±1.62	19.8±1.81	23.1±0.56	28.1*	5.99±0.32	1.59	13.9
	Total	3.8±0.80	19.8±0.79	22.7±0.20	30.2±0.61	5.34±0.20	1.60	14.2

T_b : دمای پایه، T_o : دمای بهینه، T_{o1} : بهینه تحتانی، T_{o2} : بهینه فوقانی، T_c : دمای سقف، e_o : تعداد روز بیولوژیک برای سبز شدن ۵۰ درصد بذور، SE: خطای معیار،

RMSE: جذر میانگین مربعات خطا، RRMSE: ریشه میانگین مربعات خطای نسبی و ND: عدم برآورد

* در مدل بتا برآورد دمای پایه در محدوده ۲۰- درجه سانتی گراد بود بنابراین محدودیت صفر درجه سانتی گراد اعمال شد و خطای معیار (SE) در خروجی SAS برآورد نشد
*در مدل سه تکه ای برآورد اشتباه معیار دمای سقف مقدور نشد

T_b : base temperature, T_o : optimum temperature, T_{o1} : lower optimum, T_{o2} : upper optimum, T_c : ceiling temperature, e_o : number of biological days for 50% germination, SE: standard error, RMSE: root mean square error, RRMSE: relative root mean square Error and ND: not determined

*In Beta model, the estimated base temperature (T_b) was -20 °C; therefore, a lower limit of 0 °C was imposed, and the standard error (SE) could not be estimated by SAS

*Estimation of the standard error (SE) for the ceiling temperature (T_c) in the three-segmented model was not possible

مذکور در برآورد یکپارچه دماهای کاردینال موفق و مناسب نبودند و فقط مدل دوتکه ای در این امر موفق بود. بنابراین، مدل دوتکه ای به عنوان مدل برتر انتخاب شد و دماهای کاردینال حاصل از این مدل باید مد نظر قرار گیرد. باین حال، برای تکمیل نتایج، برآوردهای هر سه مدل به همراه آماره های برازش ارائه می گردد.

مدل دوتکه ای نشان داد که دمای پایه ۳/۸، دمای بهینه ۲۱/۸ و دمای سقف ۳۰/۲ درجه سانتی گراد می باشند. مدت زمان لازم برای سبز شدن (برحسب روز بیولوژیک: تعداد روز تا سبز شدن در دمای بهینه) توسط این مدل ۵/۳۴ روز برآورد شد. نتایج به دست آمده از آزمون آماری نشان داد که هیچ گونه تفاوت معنی داری بین اکوتیپ ها

مدل بتا نیز با مقادیر RMSE برابر ۱/۹۴ و RRMSE معادل ۱۶/۸ درصد، عملکرد ضعیف تری نسبت به دو مدل دیگر نشان داد. اما نتایج حاصل از برازش مدل ها نشان داد که مدل بتا در برآورد دمای پایه موفق نبود و مقدار غیرمنطقی حدود ۲۰- درجه سانتی گراد را تخمین زد؛ از این رو در مرحله بعدی، محدودیت برای دمای پایه اعمال شد (محدوده ای بین صفر تا پنج درجه سانتی گراد برای دمای پایه انتخاب شد، باین حال این محدودسازی نیز هیچ تأثیری بر عملکرد مدل نداشت و نتوانست دمای پایه و خطای معیار را برآورد کند)، علاوه بر این، مدل سه تکه ای نیز قادر به ارائه برآورد معتبر برای خطای استاندارد (SE) برای دمای سقف نبود (جدول ۴). در نتیجه، دو مدل

در خصوص دماهای کاردینال یا روزهای بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن، در چارچوب مدل برتر، وجود نداشت (جدول ۴).

عدم وجود تفاوت معنی‌دار در دماهای کاردینال بین اکوتیپ‌های مختلف یک گونه، نشان‌دهنده یکنواختی فیزیولوژیکی و سازگاری و تطابق کلی گونه نسبت به شرایط دمایی محیطی است. این موضوع بدین معنا است که گونه در کل ناحیه پراکنش خود، از نظر نیازهای دمایی برای جوانه‌زنی، دارای ثبات بوده و اکوتیپ‌ها تحت فشارهای انتخابی مشابهی قرار گرفته‌اند. این ثبات می‌تواند باعث شود که مدیریت علف‌هرز با توجه به دمای محیط به صورت مشابه در مناطق مختلف اعمال شود و نیازی به راهبردهای مدیریت منطقه‌ای ویژه براساس تفاوت دمایی بین اکوتیپ‌ها نباشد (Saeidnejad et al., 2022; Raeisi Monfared et al., 2022).

بالین حال، مطالعات متعددی وجود تفاوت در دماهای کاردینال (حداقل، بهینه و حداکثر) میان اکوتیپ‌های یک گونه را گزارش کرده‌اند که این تفاوت‌ها عمدتاً به عوامل ژنتیکی و شرایط محیطی محل رویش نسبت داده شده است. به عنوان مثال، اکوتیپ‌های مختلف بارهنگ کبیر (*Plantago major*) واکنش‌های متفاوتی به دما نشان دادند که ناشی از سازگاری ژنتیکی آن‌ها به شرایط اقلیمی مناطق رویش آن‌ها بود (Rabiei et al., 2017). در مطالعه‌ای دیگر، اکوتیپ‌های مختلف خارلته (*Cirsium arvense*) دماهای پایه متفاوتی را نشان دادند که این امر می‌تواند بر توانایی رقابتی و واکنش آن‌ها به روش‌های مدیریت شیمیایی و زراعی اثرگذار باشد (Diyana, 2021).

در مطالعه‌ای که توسط آدامز و کازنر (Adams & Cosner, 2025) به منظور مقایسه دماهای کاردینال شامل دمای پایه، دمای بهینه و دمای سقف، سه گروه ژرمپلاسزم نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) شامل نخود فرنگی خوراکی زمستانه، نخود فرنگی خوراکی بهاره و نخود فرنگی زمستانه اتریشی^۱ انجام شد، نتایج بیانگر آن بود که بین اکوتیپ‌های مختلف (زمستانه و بهاره) تفاوت معناداری در هیچ یک از سه دمای کاردینال وجود نداشت. برخلاف فرضیه اولیه مبنی بر اینکه نخود فرنگی‌های زمستانه باید آستانه‌های دمایی پایین‌تری نسبت به نخود فرنگی‌های بهاره داشته باشند، نتایج نشان داد که هیچ تفاوت معنی‌داری در هیچ یک از سه دمای کاردینال بین نخود فرنگی‌های خوراکی زمستانه و بهاره وجود نداشت. برآورد کلی این دماها برای نخود فرنگی‌های خوراکی شامل دمای پایه، بهینه و سقف به ترتیب حدود ۰/۹۸-، ۲۷/۵ و ۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد بود. در مقایسه، نخود فرنگی زمستانه اتریشی دارای دمای بهینه پایین‌تر (۲۵/۷ درجه سانتی‌گراد) و دمای حداکثر کمتر (۳۶/۱ درجه سانتی‌گراد) نسبت به نخود فرنگی‌های بهاره و زمستانه بود، اما از نظر

دمای پایه تفاوتی بین آن‌ها مشاهده نشد. نتایج برخی پژوهش‌ها نیز بیان می‌کند که تأثیر اکوتیپ‌ها بر دمای پایه کمتر از اثر آن‌ها بر دماهای بهینه و حداکثر است، به گونه‌ای که حتی در حضور تنوع اکوتیپی، برخی پارامترهای کاردینال مانند دمای پایه ممکن است که ثبات بیشتری نشان دهند (Sohrabi et al., 2024). دمای پایه و دمای بهینه برای جوانه‌زنی، از عوامل مهم در تعیین بازه زمانی مناسب برای رشد گیاه و پراکنش آن هستند. دمای پایه پایین باعث می‌شود که گیاه قادر باشد در اوایل فصل رشد و در دماهای کمتر نیز جوانه بزند که این ویژگی، مزیت تهاجمی در مناطق سردسیر و معتدل ایجاد می‌کند. از سوی دیگر، دمای بهینه بالا باعث می‌شود که گیاه در دماهای معتدل تا گرم بهترین جوانه‌زنی و رشد را داشته باشد، که این امر می‌تواند منجر به رقابت شدید با محصولات زراعی در فصل رشد شود (Adam et al., 2007; Tolyat et al., 2014; Chaudhary et al., 2022). این مشخصات دمایی، به پراکنش گسترده‌تر و تهاجم موفق‌تر این گونه در شرایط متنوع اقلیمی کمک می‌کند.

پیش‌بینی زمان سبز شدن در مطالعات رقابت و تداخل بسیار مهم و تعیین‌کننده است. دمای پایه و دمای بهینه جوانه‌زنی گونه‌های *P. minor* تقریباً مشابه و نزدیک دماهای کاردینال گندم، جو (*Hordeum vulgare* L.)، کلزا و نخود است. در مطالعه پناهی و همکاران (Panahi et al., 2014)، واکنش سبز شدن ارقام گندم نسبت به دما با بهره‌گیری از مدل بتا مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج به دست آمده، دماهای کاردینال برای فرآیند سبز شدن گندم شامل دمای پایه معادل ۰/۲۲ درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه برابر با ۲۷/۱۶ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف معادل ۴۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. همچنین تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین ارقام مختلف گندم، از نظر دماهای کاردینال تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین میزان روزهای بیولوژیک لازم برای دستیابی به مرحله سبز شدن در ارقام مورد بررسی ۶/۲ روز بود. در مورد جو (*Hordeum vulgare* L., Var. Sarasari) براساس مطالعه اشراقی نژاد و همکاران (Eshraghi-Nejad et al., 2015)، دماهای کاردینال برای سبز شدن جو با مدل برتر بتا به ترتیب شامل دمای پایه برابر با ۳/۵، دمای بهینه برابر با ۲۵/۷ و دمای سقف برابر با ۳۹/۳ درجه سانتی‌گراد برآورد شدند. همچنین تعداد روزهای بیولوژیکی مورد نیاز از کاشت تا سبز شدن، با استفاده از همین مدل، ۳/۷ روز محاسبه شد. در خصوص کلزا براساس مطالعه لکزایی و همکاران (Lakzaei et al., 2017)، مدل دوتکه‌ای به عنوان بهترین مدل برای توصیف واکنش سرعت سبز شدن کلزا نسبت به دما انتخاب گردید. نتایج حاصل از مدل دوتکه‌ای نشان داد که دماهای کاردینال برای ارقام مختلف کلزا به ترتیب شامل دمای پایه برابر با ۲/۳ درجه سانتی‌گراد (برای مجموع ارقام ۰/۱ درجه سانتی‌گراد)، دمای بهینه برابر با ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد (برای مجموع ارقام ۲۳/۴ درجه سانتی‌گراد) و دمای

تجزیه و تحلیل دلیل عدم سبز شدن بذرها در برخی از

تاریخ های کشت

در راستای تحلیل دقیق عوامل مؤثر بر عدم سبز شدن بذرها در برخی از تاریخ های کاشت (اردیبهشت تا مرداد ۱۴۰۳)، برای آن سه علت احتمالی در نظر گرفته شد: ۱) مشکل در کیفیت بذرها یا تأثیر نامطلوب اسید در فرآیند رفع خواب (احتمال اینکه بذرها دیگر دارای خواب نبودند و فرآیند پس رسی در آن ها رخ داده بود)، ۲) شرایط محیطی، به ویژه کمبود رطوبت مناسب، ۳) مواجهه بذرها با دمای بالای محیط پس از کاشت و القاء خواب ثانویه.

برای بررسی احتمال کیفیت بذر و تأثیر اسید، آزمایش جوانه زنی در دو شرایط مختلف انجام شد:

گروه اول: بذرها (۱۵ عدد) ابتدا به مدت دو دقیقه با اسیدسولفوریک غلیظ تیمار شدند تا خواب آن ها رفع شود، سپس در پتری دیش و درون انکوباتور با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. گروه دوم: بذرها (۱۵ عدد) بدون هیچ گونه تیمار برای رفع خواب، به طور مستقیم در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد آزمایش شدند. نتایج نشان داد که بذرهایی تیمار شده با اسید، زودتر و سریع تر جوانه زدند (به طوری که بعد از سه روز جوانه زنی آغاز شد، درحالی که در تیمار بدون اسید، این فرآیند از روز پنجم و به تدریج رخ داد) و درصد جوانه زنی در آن ها بالاتر و بهینه تر بود. نتایج نشان داد که درصد جوانه زنی بذرها در اکوتیپ گرگان در شرایط تیمار با اسید ۸۰ درصد و در حالت بدون تیمار ۶۵ درصد بود. در اکوتیپ کلاله، تیمار اسیدی موجب افزایش درصد جوانه زنی به ۸۶/۶ درصد شد، درحالی که در شرایط بدون تیمار ۵۰ درصد جوانه زنی مشاهده شد. همچنین درصد جوانه زنی در اکوتیپ کردکوی تحت تیمار اسیدی ۸۰ درصد و بدون تیمار ۶۵ درصد به دست آمد. در اکوتیپ زیارت نیز تیمار اسیدی، جوانه زنی را به ۸۰ درصد افزایش داد، درحالی که بدون تیمار ۶۰ درصد بود (اگرچه در شرایط عدم مصرف اسیدسولفوریک، درصد جوانه زنی بذرهایی فالاریس < ۵۰ بود، اما به دلیل اینکه مقدار بذر ما از هر اکوتیپ کم بود، جهت اطمینان از حصول گیاهچه سالم به مقدار مناسب و افزایش یکنواختی جوانه زنی، نسبت به رفع خواب اقدام شد). این نتایج حاکی از آن است که بذور از کیفیت مناسبی برخوردار بوده و فرآیند رفع خواب به درستی انجام شده است. بنابراین، فرضیه نقص کیفی بذر یا اثر منفی تیمار اسید رد می شود.

برای بررسی فرضیه تأثیر شرایط محیطی و رطوبت، بذرها در تیرماه در مکانی دیگر (در مجاورت بلوک های سیمانی) که به طور کامل از علف های هرز پاکسازی شده بود، کشت شدند. در این محل، خاک با ترکیبی از خاک زراعی نرم و شن (۴۰ درصد) سبک تر شده و رطوبت در حد ظرفیت زراعی حفظ شد. با این حال، بذرها سبز نشدند.

سقف برابر با ۴۰ درجه سانتی گراد است که در این مطالعه به صورت مقدار ثابت در نظر گرفته شد. علاوه بر این، تعداد روزهای بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن ارقام کلزا در عمق کاشت دو سانتی متر، به طور متوسط ۵/۴ روز برآورد شد، درحالی که این مقدار برای مجموع ارقام ۵/۱ روز محاسبه گردید. همچنین ترابی (Torabi, 2004) با استفاده از تابع بتا، دماهای کاردینال سبز شدن نخود را به ترتیب شامل دمای پایه ۴/۸، دمای بهینه ۲۹/۶ و دمای سقف ۳۹ درجه سانتی گراد برآورد کرد و روز بیولوژیک مورد نیاز آن برای سبز شدن را ۵/۶ روز گزارش نمود.

این شباهت در دماهای کاردینال محصولات زراعی ذکر شده (گندم، جو، کلزا و نخود) که فالاریس از علف هرز رایج آن ها است (Gherekhloo et al., 2008)، باعث می شود که فالاریس به طور هم زمان با محصولات اصلی جوانه زده و رشد کند و در نتیجه رقابت شدیدی بر سر منابع آب، نور و عناصر غذایی ایجاد نماید. برای کاهش توان رقابتی این گونه با محصولات زراعی، تنظیم تاریخ کاشت گیاه زراعی یکی از راهکارهای مهم است. کاشت زود هنگام یا دیر هنگام می تواند باعث شود که محصول زراعی جلوتر از علف هرز رشد کند و از منابع بهتر استفاده نماید، بنابراین رقابت کاهش می یابد (Chaudhary et al., 2022). همچنین استفاده از روش های زراعی مانند تناوب زراعی، شخم زدن در زمان مناسب برای کاهش ذخیره بذر در خاک و استفاده ترکیبی از علف کش ها و مدیریت مکانیکی و تکنیک بستر بدون علف هرز^۱، آفتاب دهی خاک^۲ به مدت شش هفته به کنترل بهتر این گونه کمک می کند (Om et al., 2004).

بر اساس نتایج مطالعه انجام شده توسط احمدی و شوابی و همکاران (Ahmadi-Vashvaei et al., 2024)، دمای پایه، دمای بهینه و دمای سقف برای توق خاردار بر پایه مدل دوتکه ای، به ترتیب برابر با ۱/۴۴، ۲۳/۲ و ۵۴/۷ درجه سانتی گراد و برای توق معمولی به ترتیب ۴/۸۰، ۳۴/۶ و ۴۸/۴ درجه سانتی گراد برآورد شد. افزون بر این، جوانه زنی بذرهایی هر دو گونه در دامنه دمایی گسترده ای از ۵ تا ۴۵ درجه سانتی گراد رخ داد. بر این اساس، مؤثرترین زمان برای مدیریت و مهار این علف های هرز، پیش از آغاز گل دهی و در اواخر تابستان پیشنهاد شد.

لازم به ذکر است که اکوتیپ های مورد بررسی در این مطالعه همگی از استان گلستان جمع آوری شده اند. بنابراین، نتایج به دست آمده به ویژه برای برنامه های مدیریتی و پیش بینی الگوی سبز شدن این گونه در شرایط اقلیمی استان گلستان قابل استفاده است. بدیهی است که در صورت بررسی اکوتیپ های متنوع از سایر مناطق کشور، احتمال بروز تفاوت هایی در پاسخ به دما و رفتار سبز شدن وجود خواهد داشت.

- 1- Stale seedbed
- 2- Soil solarization

روزهای با دمای حداکثر بالاتر از ۳۰ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد به‌طور قابل توجهی بالا بود (بین ۱ تا ۱۴ روز). در مقابل، در تاریخ‌های کاشت با دمای پایین‌تر، جوانه‌زنی به‌صورت کامل یا نسبتاً کامل رخ داد. مطابق این الگو به نظر می‌رسد که دمای بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در روزهای ابتدایی پس از کاشت، به احتمال زیاد باعث القاء خواب ثانویه شده و از جوانه‌زنی و سبز شدن بذرهای فالاریس جلوگیری کرده است. با این حال تأیید این فرضیه به بررسی‌های بیشتر نیاز دارد.

این یافته با نتایج مطالعات پیشین هم‌راستا بوده و آن‌ها را تأیید می‌کند. بسیاری از بذرهای گیاهان مناطق معتدل پس از رفع خواب اولیه، در صورت قرار گرفتن در معرض تنش‌های گرمایی، مجدداً وارد حالت خواب ثانویه می‌شوند و فرآیند جوانه‌زنی آن‌ها به تعویق می‌افتد (Baskin and Baskin, 2014). رضوانی و همکاران (Rezvani et al., 2021) بیان نمودند که جوانه‌زنی *P. minor* در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور قابل توجهی کاهش و به ۹/۶ درصد رسید که نشان می‌دهد، دماهای بالا تأثیر منفی بر جوانه‌زنی دارند. نتایج تحقیقات دیگر روی تاج خسروس وحشی (*Amaranthus* spp) و آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) نشان داد که جوانه‌زنی بذرهای این دو گیاه در دمای بالا به‌صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد و دچار ترمو خواب می‌شوند (Steinmaus et al., 2000). (Toh et al., 2008) نتایج فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2015) نشان داد که بیشترین جوانه‌زنی ریحان بنفش و سبز (*Ocimum basilicum*) در دامنه ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد است و در دماهای کمتر از ۱۵ یا بیشتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد که ناشی از کاهش فعالیت متابولیکی در دماهای پایین و القاء خواب ثانویه در دماهای بالا است. در بذر آمبروزیا، جوانه‌زنی در ۴۰ درجه سانتی‌گراد صفر و در ۲۵ درجه سانتی‌گراد بهینه بود. این نشان می‌دهد که دماهای بالا به‌طور کامل مانع جوانه‌زنی می‌شوند، که می‌تواند نشانه‌ای از نوعی خواب یا بازدارندگی ناشی از دما باشد. این کاهش می‌تواند به‌دلیل تغییرات مخرب در پروتئین‌های ضروری در دماهای بالا باشد (Sadeghnezhad et al., 2023). برای *Eupatorium adenophorum* نیز دمای بهینه ۲۵ درجه و بالاتر از ۳۵ درجه محدودکننده گزارش شد (Lu et al., 2008). تحقیقات تأیید می‌کنند که بسیاری از گیاهان، دارای دامنه دمایی بهینه برای جوانه‌زنی در محدوده ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد هستند. خروج از این محدوده موجب کاهش معنی‌دار در کارایی و موفقیت جوانه‌زنی می‌شود (Butler et al., 2014; Fallahi et al., 2015).

رفع خواب ثانویه زمانی رخ می‌دهد که شرایط محیطی به حالت بهینه بازگردد و با تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در بذر همراه است. کاهش هورمون بازدارنده رشد اسیدآبسیزیک (ABA) افزایش

لازم به ذکر است که کاشت‌های بعدی، یعنی تکرار تاریخ کاشت تیرماه و مرداد تا آبان ۱۴۰۳، به‌دلیل ایجاد نقص در سیستم آبیاری گلخانه در تیرماه و از دست رفتن زمان کاشت، در همین محل (بلوک‌های سیمانی) ادامه یافت. این مکان به‌دلیل دسترسی بهتر به آب انتخاب شد، اما تمامی شرایط دیگر مانند مراحل قبل حفظ شد تا حداقل خطای آزمایشی رخ دهد. برای بررسی بیشتر، نمونه‌برداری از محل کاشت بذرهای سبز نشده انجام گردید. بخشی از خاک از ردیف‌های کشت با استفاده از بیلچه برداشته و در ظرفی با کف سوراخ‌دار ریخته شد. سپس، خاک با پاشش آب مرطوب شده و در انکوباتور با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از سه روز، بذرهای اکوتیپ کلاله و گرگان جوانه زدند و سایر بذرهای اکوتیپ کردکوی و زیارت نیز به‌تدریج سبز شدند. این یافته‌ها نقش محدودکننده دمای بالا در محیط کاشت را برجسته کرد.

شواهد تجربی نشان داد که عدم سبز شدن بذرهای تاریخ‌های کاشت اردیبهشت تا مرداد ۱۴۰۳ عمدتاً به‌دلیل دمای بالای هوا در روزهای نخست پس از کاشت بوده است. به نظر می‌رسد که دماهای بالا باعث القاء خواب ثانویه در بذرهای شده و مانع از آغاز فرآیند جوانه‌زنی شده‌اند. به‌عنوان شاهدهی بر این موضوع، در برخی از ردیف‌های کاشت مربوط به این تاریخ‌ها، در اواخر مهرماه (با کاهش دمای محیط)، به‌صورت تصادفی سبز شدن محدود بذرهای مشاهده گردید که وارد مراحل رشدنمون نیز شدند. البته لازم است که در خصوص تأیید این امر، مطالعات جداگانه‌ای انجام گردد. براساس منابع، خواب بذر *P. minor* در دسته خواب‌های فیزیولوژیکی^۱ طبقه‌بندی می‌شود. بذرهای این گونه پس از رسیدن، وارد دوره‌ای از خواب می‌شوند که شکستن آن مستلزم گذر زمان و تأمین شرایط محیطی مناسب از جمله دمای بهینه، رطوبت کافی و دسترسی به اکسیژن است. این فرآیند با پدیده‌ای به‌نام پس‌رسی^۲ همراه است که طی آن، بذر به‌تدریج توانایی جوانه‌زنی را بازیابی می‌کند (Adkins et al., 2002; Om et al., 2005). در شرایط نامساعد محیطی، بذرهایی که از خواب اولیه رها شده‌اند، ممکن است که مجدداً وارد مرحله‌ای از خواب شوند که به آن خواب ثانویه گفته می‌شود. این نوع خواب به‌عنوان یک سازوکار تطبیقی در برابر تنش‌های محیطی (نظیر دمای بالا، خشکی یا کمبود اکسیژن) عمل می‌کند و از جوانه‌زنی بذر در شرایط نامناسب جلوگیری می‌نماید (Bewley et al., 2013). برای بررسی دقیق‌تر این موضوع، جدول ۵ نشان‌دهنده تعداد روزهای با دمای حداکثر بیش از مقادیر معین (۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) در بازه ۱۴ روز پس از کاشت در هر تاریخ کاشت است. براساس داده‌های جدول، در تاریخ‌های کاشت اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد ۱۴۰۳ که جوانه‌زنی رخ نداد، تعداد

- 1- Physiological dormancy
- 2- after-ripening

فعال شده و فرآیندهای متابولیکی لازم برای رشد را تحریک می کند. این فرآیند پیچیده و وابسته به محیط، نقش مهمی در موفقیت استقرار گیاهان در بوم نظام ها دارد (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006; Bewley et al., 2013).

هورمون های محرک جوانه زنی مانند جیبرلین ها (GA) باعث افزایش پتانسیل رشد جنین و فعال سازی رشد محوری به ویژه ریشه چه می شود. همچنین فعالیت آنزیم هایی مانند آلفا-آمیلاز افزایش یافته و نفوذپذیری پوسته بذر به آب و اکسیژن تغییر می کند که شرایط لازم برای جوانه زنی را فراهم می سازد. بیان ژن های مرتبط با جوانه زنی نیز

جدول ۵- فراوانی روزهای با دمای بیشینه بالا (در دامنه ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی گراد) در هر یک از تاریخ های کاشت آزمایش

Table 5- Frequency of days with high maximum temperature (in the range 30-40 °C) for each sowing date in the experiment

November 2024	October 2024	September 2024	August 2024	July 2024	June 2024	May 2024	January, February, March, April 2024	December 2023	Maximum temperature (°C)
0	1	5	13	14	14	2	0	0	30
0	0	4	13	14	14	2	0	0	31
0	0	3	13	14	14	1	0	0	32
0	0	2	12	13	12	1	0	0	33
0	0	2	5	9	11	1	0	0	34
0	0	2	4	6	7	1	0	0	35
0	0	1	3	1	5	1	0	0	36
0	0	1	2	1	3	1	0	0	37
0	0	0	1	0	0	1	0	0	38
0	0	0	1	0	0	0	0	0	39
0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
			*	*	*	*			

* نشان دهنده تاریخ های کاشت که سبز نشده اند می باشد. برای این تاریخ های کاشت، فراوانی دمای حداکثر برای ۱۴ روز پس از کاشت بررسی شده است.

* Indicates sowing dates with no emergence. For these sowing dates, the frequency of maximum temperatures was examined during the 14 days following sowing.

نتیجه گیری

بذرهای فالاریس برابر با ۵/۳۴ روز تعیین شد. براساس نتایج، تفاوت معناداری بین اکوتیپ ها در دماهای کاردینال و روزهای بیولوژیک لازم برای رسیدن از کاشت تا سبز شدن مشاهده نشد. بنابراین، می توان نسخه مدیریتی یکسانی برای اکوتیپ های مختلف فالاریس استان گلستان تدوین کرد. همچنین کمی سازی دماهایی که می توانند باعث القاء خواب شوند به مطالعات بیشتری نیاز دارد.

نتایج مدل سازی زمان سبز شدن در چهار اکوتیپ فالاریس در استان گلستان بیانگر آن بود که مدل دوتکه ای قادر است که به خوبی سرعت سبز شدن را در بازه دمایی مختلف توصیف نماید. طبق تابع دو تکه ای، دمای پایه اکوتیپ ها برابر با ۳/۸ درجه سانتی گراد، دمای بهینه ۲۱/۸ درجه سانتی گراد و دمای سقف ۳۰/۲ درجه سانتی گراد برآورد شد. همچنین روز بیولوژیک لازم برای سبز شدن ۵۰ درصد از

References

- Abbas, T., Nadeem, M. A., Tanveer, A., Matloob, A., Farooq, N., Burgos, N. R., & Chauhan, B. S. (2017). Confirmation of resistance in littleseed canarygrass (*Phalaris minor* Retz.) to accase inhibitors in central Punjab, Pakistan, and alternative herbicides for its management. *Canadian Journal of Plant Science*, 49(4), 1501-1507.
- Adam, N. R., Dierig, D. A., Coffelt, T. A., Wintermeyer, M. J., Mackey, B. E., & Wall, G. W. (2007). Cardinal temperatures for germination and early growth of two *Lesquerella* species. *Industrial Crops and Products*, 25(1), 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.06.001>
- Adams, C. B., & Cosner, J. (2025). Field pea cardinal temperatures, growth and vigor traits of winter and spring-adapted germplasm at germination and seedling stages. *Scientific Reports*, 15, 21759. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06342-w>
- Adkins, S. W., Bellairs, S. M., & Loch, D. S. (2002). Seed dormancy mechanisms in warm-season grass species. *Euphytica*, 126, 13-20. <https://doi.org/10.1023/A:1019623706427>
- Ahmadi Vashvaei, A., Zaefarian, F., Rezvani, M., & Mansouri, I. (2024). Determination of cardinal temperatures and phenological stages of two species of spiny cocklebur (*Xanthium spinosum*) and common cocklebur (*X. strumarium*) based on growing degree-day. *Journal of Crop Production and Processing*, 13(4), 17-32. Isfahan

- University of Technology, Isfahan, Iran. (In Persian with English abstract) <http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.13.4.34444>
- Ajam Norouzi, H., Soltani, A., Majidi, E., & Homaei, M. (2007). Modeling response of emergence to temperature in faba bean under field condition. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(4), 100-111. (In Persian)
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*, Academic Press, San Diego, 680 p.
- Benech-Arnold, R. L., Sanchez, R. A., Forcella, F., Kruk, B. C., & Ghera, C. M. (2000). Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research*, 67, 105-122. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00087-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00087-3)
- Bewley, J. D., Bradford, K., Hilhorst, H., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy* (3rd ed.), Springer, New York, 392 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
- Bradford, K. J. (2002). Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50, 248-260. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0248:AOHTTQ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0248:AOHTTQ]2.0.CO;2)
- Butler, T. J., Celen, A. E., Webb, S. L., Krstic, D., & Interrante, S. M. (2014). Temperature affects the germination of forage legume seeds. *Crop Science*, 54(6), 2846-2853. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.01.0063>
- Chaudhary, A., Chhokar, R. S., & Singh, S. (2022). Integrated weed management in wheat and barley: Global perspective. In P. L. Kashyap, P. C. Sharma, R. P. Singh, & A. K. Singh (Eds.). *New Horizons in Wheat and Barley Research*. Springer. pp. 315-335. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4134-3_20
- Chhokar, R. S., & Sharma, R. K. (2008). Multiple herbicide resistance in littleseed canary grass (*Phalaris minor*): A threat to wheat production in India. *Weed Biology and Management*, 8(2), 112-123. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2008.00283.x>
- Contreras, R. N., & Ruter, J. M. (2009). Sulfuric acid scarification of *Callicarpa americana* L. (Lamiaceae) seeds improves germination. *Native Plants Journal*, 10(3), 283-286.
- Deihimfard, R., Nazari, Sh., & Qorani, Y. (2017). Estimation of cardinal temperatures of *Lepyradiclis holosteoides* using regression models. *Seed Science and Technology*, 6(2), 107-117. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2018.116531>
- Derakhshan, A., & Gharekhloo, J. (2015). Comparison of hydrothermal time models for predicting seed germination of *Phalaris minor* based on normal, Weibull, and Gumbel distributions. *Plant Production Research*, 22(1), 39-58. (In Persian)
- Derakhshan, A., Gharekhloo, J., Vidal, R. A., & De Prado, R. (2014). Quantitative description of the germination of littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) in response to temperature. *Weed Science*, 62(2), 250-257. <https://doi.org/10.1614/WS-D-13-00055.1>
- Diyanat, M. (2021). Intraspecific differences among ecotypes of the weed *Cirsium arvense* L. *Journal of Iranian Plant Protection Research (Agricultural Science and Industries)*, 35(4), 505-517. (In Persian with English abstract)
- Eshraghi Nejad, M., Kamkar, B., & Soltani, A. (2009). Cardinal temperatures and required biological days from sowing to emergence of three millet species (common, foxtail, pearl millet). *Journal of Agricultural Science & Technology*, 3(12), 36-43.
- Eshraghi-Nejad, M., Gharineh, M. H., Bakhshandeh, A., & Soltani, A. (2015). Quantification of barley emergence to temperature. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 3(4), 1473-1478.
- Fallahi, H. R., Mohammadi, M., Aghhavan-Shajari, M., & Ranjbar, F. (2015). Determination of germination cardinal temperatures in two basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars using non-linear regression models. *Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(4), 140-145. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.09.004>
- Finch-Savage, W. E., & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, 171(3), 501-523. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x>
- Forcella, F. (1993). Seedling emergence model for velvetleaf. *Agronomy Journal*, 85, 929-933. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500040026x>
- Garcia-Baudin, J. M., Villarroja, M., Chueca, M. C., & Tadeo, J. L. (1990). Different tolerance of two cultivars of *Triticum turgidum* L. to metribuzin. *Chemosphere*, 21(1-2), 223-230. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(90\)90394-9](https://doi.org/10.1016/0045-6535(90)90394-9)
- Gharekhloo, J., Hassanpour-Bourkheili, S., Hejazirad, P., Golmohammadzadeh, S., Vazquez-Garcia, J. G., & De Prado, R. (2021). Herbicide resistance in *Phalaris* species: A review. *Plants*, 10(10), 2248. <https://doi.org/10.3390/plants10112248>
- Gharekhloo, J., Rashed Mohassel, M. H., Nassiri Mahallati, M., Zand, E., Ghanbari, A., & De Prado, R. (2008). Greenhouse assay to investigate resistance of littleseed canary grass (*Phalaris minor*) to aryloxyphenoxy propionate herbicides. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 6(2), 353-361. (In Persian with English abstract)
- Heap, I. (2024). The international survey of herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.org>
- Horvath, D. P., Clay, S. A., Swanton, C. J., Anderson, J. V., & Chao, W. S. (2023). Weed-induced crop yield loss: A new paradigm and new challenges. *Trends in Plant Science*, 28(5), 567-582. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.12.014>
- Hussain, S., Khaliq, A., Bajwa, A. A., Matloob, A., Areeb, A., Ashraf, U., Hafeez, A., & Imran, M. (2017). Crop

growth and yield losses in wheat due to littleseed canary grass infestation differ with weed densities and changes in environment. *Planta Daninha*, 35, e017162785. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582017350100073>

Jafari, N., Esphehiani, M., & Sabori, A. (2011). Evaluation of nonlinear regression models for description of seedling appearance rate of three canola cultivars to temperature. *Journal of Iranian Crop Sciences*, 42(4), 857-868. (In Persian)

Jalili, A., Izadi Darabandi, E., Rastgoo, M., & Ebrahimi, E. (2024). Effect of temperature and drought stress on germination characteristics and determination of cardinal temperatures of invasive weed Herb-Robert (*Geranium robertianum* L.). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 38(1), 63-77. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/IJWS.2022.359817.1419>

Jalilian, A., Mazaheri, D., Tavakkol Afshari, R., Rahimian, H., Abdollahian Nighabi, M., & Ghohari, J. (2004). Estimation of base temperature, germination and seedling emergence in different temperatures in monogerm sugar beet genotypes. *Journal of Sugar Beet*, 20(2), 97-112. (In Persian)

Jame, Y. W., & Cutforth, H. W. (2004). Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agriculture and Forest Meteorology*, 124, 207-218. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.01.012>

Kaur, G., Bhuker, A., Harish, M. S., & Mor, V. S. (2025). Influence of temperature, light and burial depth on germination and emergence of *Phalaris minor* seeds. *Seed Research*, 53(1), 42-47. <https://doi.org/10.56093/SR.v53i1.7>

Lakzaei, S., Soltani, A., Zeinali, E., Gaderifar, F., & Jafarnodeh, S. (2017). Quantifying response of seedling emergence to temperature in rapeseed (*Brassica napus* L.) under field conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 19(3), 195-207. (In Persian)

Lavorel, S., & Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: Revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, 16(5), 545-556. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x>

Lu, H., Shen, J., Sang, W., Zhang, X., & Lin, J. (2008). Pollen viability, pollination, seed set, and seed germination of Crofton weed (*Eupatorium adenophorum*) in China. *Weed Science*, 56(1), 42-51. <https://doi.org/10.1614/WS-06-210.1>

Mwale, S. S., Azam-Ali, S. N., Clark, J. A., Bradley, R. G., & Chatha, M. R. (1994). Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Seed Science and Technology*, 22, 565-571.

Nowrouzieh, S., Faghani, E., & Roshani, G. (2024). Investigating physical and physiological characteristics of cotton (*G. hirsutum*) seeds during the delinting process at factory. *Iranian Journal of Seed Research*, 10(2), 81-98. <https://doi.org/10.61186/yujs.10.2.81>

Ohadi, S., Mashhadi, H. R., & Tavakol-Afshari, R. (2009). Seasonal changes in germination responses of seeds of the winter annual weed littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) to light. *Weed Science*, 57(6), 613-619. <https://doi.org/10.1614/WS-09-084.1>

Om, H., Kumar, S., & Dhiman, S. (2005). Dormancy and viability of *Phalaris minor* seed in a rice-wheat cropping system. *Weed Research*, 45(2), 129-135. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00439.x>

Om, H., Kumar, S., & Dhiman, S. D. (2004). Biology and management of *Phalaris minor* in rice-wheat system. *Crop Protection*, 23, 1157-1168. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.03.009>

Panahi, M. H., Soltani, E., Kalateh, M., & Arabi, A. N. (2014). Modeling the germination response of wheat cultivars to temperature under field conditions. *Seed Research*, 4(2), 61-70. (In Persian)

Rabiei, A., Nezami, A., Goldani, M., Khajeh-Hosseini, M., & Nassiri Mahallati, M. (2017). Cardinal temperatures for seed germination of six ecotypes of *Plantago major*. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 6(1), 57-68. (In Persian with English abstract).

Raeisi Monfared, A., Yavari, A., & Moradi, N. (2022). Investigation of ecological characteristics and its effect on essential oil yield of some *Salvia santolinifolia* Boiss. ecotypes in Hormozgan province. *Journal of Advanced Researches in Medicinal Plants*, 1(1), 11-24. <https://doi.org/10.30479/ARMP.2022.17927.1004>

Rahban, S., Rasam, Gh. A., Torabi, B., & Khoshnoud Yazdi, A. (2018). Evaluation of linear and nonlinear regression models to describe the response of the emergence of lentil (*Lens culinaris* Medik) to temperature. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 5(2), 23-36. (In Persian). <https://doi.org/10.22124/jms.2018.2908>

Rezvani, M., Nadimi, S., Zaefarian, F., & Chauhan, B. S. (2021). Environmental factors affecting seed germination and seedling emergence of three *Phalaris* species. *Crop Protection*, 148, 105743. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105743>

Sadeghnezhad, N., Alizadeh, H., Rahimian Mashhadi, H., Oveisi, M., & Tokasi, S. (2023). Cardinal temperatures of ambrosia (*Ambrosia psilostachya*) using regression models. *Iranian Journal of Weed Science*, 19(1), 1-10. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/IJWS.2022.359817.1419>

Saeidnejad, A. H., Kati, M., & Pessarakli, M. (2012). Evaluation of cardinal temperatures and germination responses of four ecotypes of *Bunium persicum* under different thermal conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(17), 1266-1271.

Sardana, V., Mahajan, G., Jabran, K., & Chauhan, B. S. (2017). Role of competition in managing weeds: An

introduction to the special issue. *Crop Protection*, 95, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.09.011>

Siahmarguee, A., Taheri, M., Ghaderi-Far, F., & Torabi, B. (2022). Germination ecology of invasive common morning-glory (*Ipomoea purpurea* L.) in Golestan province. *Journal of Plant Production Research*, 29(2), 221-240. (In Persian with English abstract)

Singh, S., Kirkwood, R. C., & Marshall, G. (1999). A review of the biology and control of *Phalaris minor* Retz. (littleseed canarygrass) in wheat. *Crop Protection*, 18(1), 1-16. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(98\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(98)00090-8)

Singh, V., Singh, H., & Raghubanshi, A. S. (2013). Competitive interactions of wheat with *Phalaris minor* or *Rumex dentatus*: A replacement series study. *International Journal of Pest Management*, 59(4), 245-258. <https://doi.org/10.1080/09670874.2013.845320>

Sohrabi, S., Gherekhlou, J., Hassanpour-Bourkheili, S., Soltani, A., & Gonzalez-Andujar, J. L. (2024). Factors influencing the variation of plants' cardinal temperature: A case study in Iran. *Plants*, 13, 2848. <https://doi.org/10.3390/plants13202848>

Soltani, A. (2009). Mathematical Modelling in Field Crops. Jihad-e Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran. 1st ed. 175 pp. (In Persian)

Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., & Sarparast, R. (2006). Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138, 156-167. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.04.004>

Sousa-Ortega, C., Royo-Esnal, A., & Urbano, J. M. (2021). Predicting seedling emergence of three canarygrass (*Phalaris*) species under semi-arid conditions using parametric and non-parametric models. *Agronomy*, 11(5), 893. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050893>

Steinmaus, S. J., Prather, T. S., & Holt, J. S. (2000). Estimation of base temperatures for nine weed species. *Journal of Experimental Botany*, 51(343), 275-286. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.343.275>

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>

Toh, S., Imamura, A., Watanabe, A., Nakabayashi, K., Okamoto, M., Jikumaru, Y., & Kamiya, Y. (2008). High temperature-induced seed dormancy in *Arabidopsis* is mediated by abscisic acid and enhanced by the absence of gibberellins. *Plant Physiology*, 147(3), 1431-1442. <https://doi.org/10.1104/pp.107.113738>

Tolyat, M. A., Tavakkol Afshari, R., Jahansoz, M. R., Nadjafi, F., & Naghdibadi, H. A. (2014). Determination of cardinal germination temperatures of two ecotypes of *Thymus daenensis* subsp. *daenensis*. *Seed Science and Technology*, 42, 28-35. <https://doi.org/10.15258/sst.2014.42.1.03>

Torabi, B. (2004). Prediction of development in chickpea. M.Sc. Thesis. Agricultural Science and Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran. (In Persian)

Torabi, B., & Soltani, A. (2012). Quantifying response of chickpea emergence to air temperature. *Journal of Crop Production and Processing*, 2(6), 109-120. (In Persian with English abstract)

Wang, H., Cutforth, H., McCaig, T., McLeod, G., Brandt, K., Lemke, R., Goddard, T., & Sprout, C. (2009). Predicting the time to 50% seedling emergence in wheat using a Beta model. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 57, 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2009.07.003>

Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>

The Effect of Sesame (*Sesamum indicum* L.) and Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Intercropping on Weeds and Their Methods of Control

Sara Sadat Moazeni¹, Ebrahim Izadi Darbanhi¹ , Kamal Hajmohammadnia Ghalibaf¹ ¹ - Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran* Corresponding Author: e-izadi@um.ac.ir

Received: 07-03- 2023

Revised: 29-08-2023

Accepted: 30-08-2023

Available Online: 21-03-2026

How to cite this article:Moazeni, S. S., Izadi Darbanhi, E., & Hajmohammadnia Ghalibaf, K. (2026). The effect of sesame (*Sesamum indicum* L.) and Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) mixed cropping on weeds and their methods of control. *Iranian Plant Protection Research*, 40(1). (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JPP.2023.80163.1133>

Introduction

Intercropping is a key component of sustainable agriculture that, when properly implemented with suitable crop combinations, can enhance yield, improve economic efficiency, conserve natural resources, and increase resource use efficiency. In addition, intercropping systems play an important role in the ecological management of pests, diseases, and weeds. Previous studies have shown that intercropping can effectively suppress weed growth through improved resource utilization and increased crop competitiveness (Gu et al., 2021; Weerarathne et al., 2017).

In particular, intercropping systems involving legumes and oilseed crops have demonstrated significant advantages, including enhanced system productivity, reduced dependence on nitrogen fertilizers due to biological nitrogen fixation, improved nutrient and water use efficiency, and disruption of pest and disease cycles (Stomph et al., 2020; Maitra et al., 2019). Despite these benefits, the effectiveness of intercropping systems depends on appropriate crop combinations and weed management strategies. Therefore, the present study was conducted to evaluate the effects of bean–sesame intercropping and different weed control methods on weed density and biomass, as well as land equivalent ratio (LER), under Shirvan conditions.

Materials and Methods

This experiment was conducted during the 2019–2020 growing season at the research farm of Hossein Abad village, Shirvan, Iran, as a factorial arrangement (6×3) based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Treatments included six cropping ratios of sesame to bean (100:0, 100:25, 100:50, 100:75, 100:100, and 0:100) at an optimal plant density of 40 plants m^{-2} , and three weed management methods: trifluralin application (960 g a.i. ha^{-1}) incorporated into the soil two weeks before planting, and hand weeding at 35 and 55 days after planting (DAP). Weed sampling was carried out at 35, 55, 60, 70, 80, and 90 DAP using a 0.5 m^2 quadrat. Weed species were identified and counted, and their dry biomass was determined. At the end of the growing season, crop biomass, seed yield, and land equivalent ratio (LER) were measured.

Results and Discussin

Weed biomass and density were significantly affected by weed management practices, cropping ratios, and



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

<https://doi.org/10.22067/JPP.2023.80163.1133>

sampling time. The highest weed biomass (5.94 g m^{-2}) was observed under hand weeding at 35 days after planting (DAP) in the 25:100 bean–sesame intercropping ratio, while the highest weed density ($6.67 \text{ plants m}^{-2}$) occurred in sole bean cropping with hand weeding at 55 DAP. In contrast, the lowest weed biomass (1.08 g m^{-2}) was obtained with trifluralin application in sole bean cropping, confirming the effectiveness of herbicide-based weed control reported in previous studies (Hedayatipour et al., 2013; Daneshvari et al., 2021). Similarly, the lowest weed density (1 plant m^{-2}) was recorded under hand weeding at 55 DAP in the 75:100 ratio and under trifluralin application in the 100:100 ratio. Weed biomass and density increased significantly with delayed sampling time (60 to 90 DAP), indicating progressive weed establishment and intensified competition, which is consistent with findings of Ahmadi et al. (2005). Moreover, reduced weed biomass in higher sesame proportions suggests improved competitive ability of intercropping systems, supporting previous reports that mixed cropping enhances weed suppression through more efficient resource utilization (Gu et al., 2021; Weeraratne et al., 2017).

The highest bean seed yield (280.71 g m^{-2}) and biological yield (765.17 g m^{-2}) were obtained in the 50:100 intercropping ratio, indicating an optimal balance between interspecific competition and complementarity. In contrast, the lowest sesame yield (12.08 g m^{-2}) was observed under hand weeding at 55 DAP in the same ratio, likely due to its lower competitive ability, as also noted in similar mixed cropping systems (Hosseinzadeh et al., 2021). The land equivalent ratio (LER) further confirmed the superiority of intercropping systems, with the highest value (1.80) recorded in the 75:100 ratio under hand weeding at 55 DAP, indicating more efficient use of environmental resources compared to monocropping systems, in agreement with previous studies (Maitra et al., 2019; Stomph et al., 2020).

Conclusion

Based on the findings of this study, intercropping of sesame and bean, particularly at the 75:100 ratio combined with hand weeding at 55 days after planting (DAP), proved to be an effective strategy for weed management under Shirvan conditions. This treatment not only reduced weed density and biomass but also improved land use efficiency, as reflected by higher LER values. The results highlight the potential of integrating optimized intercropping patterns with appropriate weed control timing as a sustainable approach to enhance crop performance while reducing reliance on chemical inputs. Therefore, this system can be recommended as an efficient and environmentally friendly practice for managing weeds in sesame–bean intercropping systems in similar agroecological conditions.

Keywords: Mixcropping ratio, Trifluralin, Weed, Weeding date

بررسی تأثیر کشت مخلوط کنجد (*Sesamum indicum* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) بر علف‌های هرز و روش‌های کنترل آن‌ها

سارا سادات موذنی^۱ - ابراهیم ایزدی دربندی^{۱*} - کمال حاج محمدنیا قالی باف^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کشت مخلوط کنجد و لوبیا چیتی در کنترل علف‌های هرز، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در شیروان انجام شد. تیمارها شامل نسبت‌های مختلف کشت مخلوط افزایشی کنجد و لوبیا چیتی (۱۰۰:۰، ۱۰۰:۱۰۰، ۱۰۰:۷۵، ۱۰۰:۵۰، ۱۰۰:۲۵ و ۰:۱۰۰) و روش‌های کنترل علف‌های هرز، شامل کاربرد علف‌کش تری‌فلورالین (به مقدار ۹۶۰ سی‌سی ماده‌ی مؤثره در هکتار) به صورت مخلوط با خاک دو هفته قبل از کاشت و وجین علف‌های هرز ۳۵ و ۵۵ روز پس از کاشت بودند. نمونه‌برداری از علف‌های هرز ۳۵، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ روز پس از کاشت در سطحی به مساحت نیم متر مربع انجام و پس از شمارش علف‌های هرز به تفکیک جنس و گونه زیست‌توده‌ی خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. زیست‌توده و عملکرد دانه‌ی کنجد و لوبیا چیتی نیز پس از برداشت آن‌ها در انتهای فصل اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بیشترین زیست‌توده (۵/۹۴ گرم در متر مربع) و تراکم (۶/۶۷ بوته در متر مربع) علف‌های هرز در نمونه برداری دوم (۵۰ روز پس از کاشت) به ترتیب مربوط به وجین دستی ۳۵ روز پس از کاشت در نسبت کشت ۱۰۰:۲۵ و وجین دستی ۵۵ روز پس از کاشت در کشت خالص لوبیا بود و کمترین زیست‌توده (۱/۰۸ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار کاربرد تری‌فلورالین در لوبیای خالص و کمترین تراکم (یک بوته در متر مربع) علف‌های هرز نیز به ترتیب مربوط به تیمار وجین ۵۵ روز پس از کاشت در نسبت کشت ۱۰۰:۷۵ و لوبیا و تیمار تری‌فلورالین در نسبت ۱۰۰:۱۰۰ بود. با افزایش زمان نمونه‌برداری از علف‌های هرز از ۶۰ به ۷۰، ۸۰ و ۹۰ روز از تراکم و زیست‌توده آن‌ها کاسته شد. به طوری که ۹۰ روز پس از کاشت، بیشترین زیست‌توده علف‌های هرز (۴/۳۳ گرم در متر مربع) در تیمار وجین دستی ۳۵ روز پس از کاشت در نسبت ۱۰۰:۲۵ و لوبیا حاصل شد و کمترین زیست‌توده علف‌های هرز (میانگین ۱/۱۹ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار وجین دستی، ۵۵ روز پس از کاشت در نسبت ۱۰۰:۱۰۰ کنجد و لوبیا مشاهده شد. با توجه به نتایج این پژوهش نسبت کشت مخلوط ۱۰۰:۷۵ کنجد و لوبیا و وجین علف‌های هرز ۵۵ روز پس از کاشت در شرایط شیروان می‌تواند به عنوان یک گزینه در مدیریت علف‌های هرز نظام کشت مخلوط مذکور مورد توجه باشد.

واژه‌های کلیدی: تاریخ وجین، تری‌فلورالین، علف هرز، نسبت کشت مخلوط

مقدمه

دانه تخمین زده می‌شود (Chauhan, 2020). تلفات عملکرد محصولات ممکن است بسته به مکان مزرعه (شرایط محیطی)، گونه‌های علف هرز موجود، زمان سبز شدن و تراکم علف‌های هرز و نوع گیاهان زراعی یا باغی متفاوت باشد (Ajai, 2021; Chauhan, 2020) نقش علف‌های هرز در خلاء عملکرد محصولات مهم و تعیین کننده است. از این‌رو کنترل آن‌ها از مهمترین برنامه‌های مدیریت گیاهان زراعی و باغی بوده است و در این ارتباط، کاربرد علف‌کش‌ها، کنترل مکانیکی و روش‌های کشت از دیرباز به عنوان مهمترین روش‌های کنترل علف‌های هرز مورد استفاده قرار گرفته‌اند

علف‌های هرز در مزارع یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های زیستی کاهنده تولیدات محصولات کشاورزی در سطح جهانی هستند (Dowling et al., 2021). براساس برآوردهای انجام شده زیان جهانی ناشی از علف‌های هرز در حال حاضر حدود ۲۰۰ میلیون تن

۱- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

* نویسنده مسئول: e-izadi@um.ac.ir

(Ajal, 2021). در بین روش‌های کنترل علف‌های هرز، کنترل شیمیایی به عنوان مهمترین و مؤثرترین روش به شمار می‌رود، اما اثرات منفی آن‌ها بر سلامت انسان و محیط‌زیست، اتخاذ یک رویکرد مبتنی بر کاهش اتکاء به علف‌کش‌ها را غیر قابل اجتناب می‌کند. در این ارتباط مدیریت تلفیقی علف‌های هرز^۱ رهیافتی سازگار با محیط زیست و تعیین‌کننده است (Chauhan, 2020; Colbach et al., 2020). یکی از اجزای مدیریت تلفیقی علف‌های هرز، نظام‌های کشت مخلوط است (Weerathne et al., 2017). کشت مخلوط به عنوان یکی از اجزای کشاورزی پایدار یک روش کشت چند محصولی است که در آن چندین گیاه به طور همزمان در یک مزرعه رشد می‌کنند (Lizarazo et al., 2020). این روش در صورت انجام صحیح و انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب، باعث افزایش عملکرد، بهبود بازده اقتصادی، حفظ منابع طبیعی و افزایش کارایی استفاده از منابع می‌شود (Lizarazo et al., 2020; Nawar et al., 2020).

حبوبات، به خاطر دارا بودن ویژگی‌های تغذیه‌ای، زراعی و محیطی از جمله توان تثبیت زیستی نیتروژن هوا و بهبود حاصلخیزی خاک، ارزشمند بوده و جایگاه خاصی را در نظام‌های کشاورزی جهان دارند. این گیاهان بعد از غلات دومین منبع مهم غذایی انسان و دام به شمار می‌روند؛ با این وجود، گیاهان آسیب‌پذیر در مقابل علف‌های هرز بوده، به طوری که مهار علف‌های هرز به عنوان مهم‌ترین مشکل تولید لوبیا در بسیاری از کشورها از جمله ایران محسوب می‌شود؛ و براساس پژوهش‌های انجام گرفته، عدم مهار علف‌های هرز می‌تواند عملکرد دانه آن‌ها را تا ۹۰ درصد کاهش دهد (Ahmadi et al., 2005). از این رو کنترل علف‌های هرز به عنوان یکی از مهمترین اولویت‌ها و برنامه‌های به زراعی می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش خلاء عملکرد آن داشته باشد و در این ارتباط روش‌های مختلفی برای کنترل آن‌ها به کار می‌رود. در ایران، در بین حبوبات، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) با حدود ۲۲ درصد پروتئین، سطح زیر کشت ۱۰۵ هزار هکتار و تولید سالانه ۲۴۹ هزار تن، از نظر سطح زیر کشت پس از نخود و عدس و از نظر میزان تولید بعد از نخود قرار دارد (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۹).

کنجد (*Sesamum indicum* L.) نیز از قدیمی‌ترین دانه‌های روغنی در جهان، به خصوص مناطق گرم و خشک محسوب می‌شود (Khajepour, 2011). سطح زیر کشت کنجد در ایران ۴۰ هزار هکتار با میانگین عملکرد ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین تولید سالیانه ۲۸ هزار تن می‌باشد (Mulik et al., 1993). این گیاه بدلیل ارزش اقتصادی، کیفیت روغن آن و خصوصیات زراعی و گیاه شناسی ارزشمندی از جمله ریشه عمیق و تحمل بالای آن به خشکی و نیز دانش بومی کشاورزان ایرانی در کشت آن، جایگاه ویژه‌ای در

بوم نظام‌های زراعی ایران به خصوص خراسان رضوی و شمالی دارد. بطوریکه یکی از اجزای اصلی تناوب‌های زراعی محسوب می‌شود که گاهی به صورت مخلوط با لوبیا و نخود هم کشت می‌شود. کنجد به سبب دارا بودن مقادیر بالای روغن، پروتئین و دیگر مواد معدنی مغذی، تبدیل به جزء مهمی در زندگی انسان شده است (Najeeb et al., 2012). باتوجه به مسئله گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی اخیر، در آینده شاهد بروز گرما و خشکسالی در کشور خواهیم بود (Koocheki et al., 2014). از این رو حرکت به سمت کشت و کار گیاهان روغنی مقاوم به گرما و خشکی مانند کنجد می‌تواند گامی مؤثر در تأمین نیاز روغن کشور در آینده به شمار آید و با توجه به اینکه در نظام‌های کشاورزی پایدار، کشت مخلوط یکی از راهکارهای زراعی برای افزایش بهره‌وری از سیستم‌های زراعی محسوب می‌شود، بنابراین انجام مطالعه در زمینه کشت مخلوط نه تنها برای افزایش بهره‌وری از نظام‌های کشت، بلکه به عنوان یک روش امن و پایدار برای محیط زیست به منظور کنترل علف‌های هرز بکار برده می‌شود (Gu et al., 2021). به طوریکه بر اساس گزارش‌های موجود، حبوبات و دانه‌های روغنی در کشت مخلوط می‌توانند به طور معنی داری سرکوب علف‌های هرز را تسهیل کنند (Dowling et al., 2021).

از آنجا که یکی از مزیت‌های عمده‌ی کشت مخلوط، کنترل علف‌های هرز می‌باشد و به لحاظ اکولوژیک علف‌های هرز نیچ‌های خالی و خارج از دسترس گیاهان را اشغال می‌کند و مشکل ساز می‌شوند، لذا این امکان وجود دارد که بتوان با بهره‌گیری از اصول اکولوژیک مرتبط با این نظام، مشکلات ناشی از تداخل علف‌های هرز را کاهش داد. باتوجه به اینکه دو گیاه کنجد و لوبیا از نظر زمان کشت همزمانی قابل قبولی دارند، لذا به نظر می‌رسد کشت مخلوط این دو گیاه ضمن در برداشتن سایر سودمندی‌های ناشی از کشت مخلوط از جمله، بهره‌مندی کنجد از نیتروژن تثبیت شده توسط لوبیا، کاهش آفات و بیماری‌ها، در مدیریت علف‌های هرز آن‌ها هم سودمند باشد. از این رو این پژوهش به منظور بررسی کارایی روش‌های کنترل علف‌های هرز در کشت مخلوط کنجد و لوبیا اجرا شد.

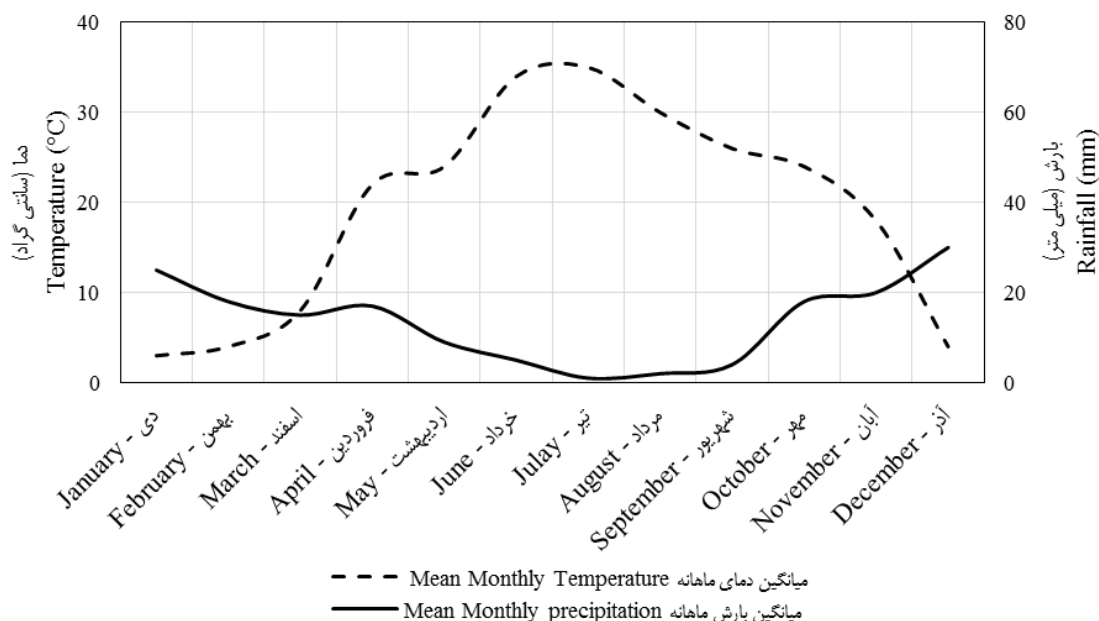
مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی تأثیر کشت مخلوط لوبیا چیتی و کنجد در مدیریت علف‌های هرز و کارایی روش‌های کنترل آن‌ها در کشت مخلوط، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی روستای حسین آباد واقع در شهرستان شیروان اجرا شد. خاک مزرعه از نوع لوم رسی بود. آب و هوای منطقه بر اساس روش آمبرژه سرد و خشک است (شکل ۱).

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل

باتوجه به نسبت کشت آن در مخلوط با لوبیا از پنج سانتی‌متر در نسبت ۱۰۰:۱۰ تا ۱۰ سانتی‌متر در نسبت ۱۰۰:۲۵ متفاوت بود. ابعاد کرت‌های آزمایش ۳ در ۳ متر، فاصله آن‌ها یک ردیف نکاشت (۵۰ سانتی‌متر) و هر کرت شامل شش پشته بود. لوبیا چیتی در طرفین پشته‌ها (خط داغاب) و کنجد در روی پشته‌ها و در عمق دو الی پنج سانتی‌متری خاک به صورت دستی کشت شدند. پس از تثبیت گیاهان در مرحله سه تا چهار برگی، طی دو یا سه نوبت نسبت به تنک کردن و تعیین تراکم مورد نظر در هر یک از تیمارهای کشت مخلوط اقدام شد. در زمان آماده‌سازی اولیه زمین، جهت بهبود حاصلخیزی خاک از کود گاوی پوسیده به مقدار ۳۰ تن در هکتار استفاده شد و در زمان کاشت با توجه به نتایج آزمون خاک، از کود شیمیایی استفاده نشد. کشت به صورت آبی و آبیاری به روش نشتی هر هفت روز تا مرحله گلدهی و پرشدن دانه‌ها انجام شد.

تصادفی در سه تکرار انجام شد و تیمارهای مورد بررسی در آن شامل نسبت‌های مختلف کشت مخلوط افزایشی لوبیا: کنجد (لوبیا چیتی به‌عنوان گیاه اصلی)، (۱۰۰:۰، ۱۰۰:۱۰، ۷۵:۱۰، ۵۰:۱۰، ۲۵:۱۰ و ۰:۱۰۰) در تراکم بهینه لوبیا (۴۰ بوته در متر مربع) و کنجد (۴۰ بوته در متر مربع) و روش‌های کنترل علف‌های هرز در سه سطح شامل کاربرد علف‌کش تری‌فلورالین (EC 48%) (۹۶۰ سی‌سی ماده‌ی مؤثر در هکتار) به صورت مخلوط با خاک دو هفته قبل از کاشت و وجین دستی علف‌های هرز به ترتیب ۳۵ و ۵۵ روز پس از کاشت بودند. برای این منظور پس از انتخاب و آماده‌سازی زمین (استفاده از گاوآهن در آذرماه ۱۳۹۹ و دیسک و لولر در اسفندماه ۱۳۹۹) در زمینی به مساحت ۸۳۲ متر مربع، اقدام به کشت لوبیا چیتی رقم کوشا و کنجد رقم اولتان در تاریخ ۲۴ اردیبهشت ۱۴۰۰ روی ردیف‌ها به فواصل ۵۰ سانتی‌متر شد. فواصل کشت لوبیاچیتی در روی ردیف‌های کشت باتوجه به تراکم آن هشت سانتی‌متر و در کنجد



شکل ۱- منحنی آمبروترمیک ایستگاه تحقیقات کشاورزی روستای حسین آباد شهرستان شیروان
Figure 1- Ambrothermic curve of agricultural research station of Hossein Abad village, Shirvan

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS و SPSS انجام شد. همچنین نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند و مقایسات میانگین با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)^۱ در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نمونه‌برداری از علف‌های هرز، ۳۵ (قبل از تیمار وجین)، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ روز پس از کاشت در سطحی به ابعاد نیم در نیم متر مربع و به مساحت ۲۵/ متر مربع انجام شد و ضمن شناسایی و شمارش هر یک از گونه‌های علف‌های هرز به تفکیک جنس و گونه برای تعیین وزن خشک آن‌ها، درون پاکت‌های کاغذی جداگانه‌ای قرار گرفته و پس از خشکاندن در آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت وزن آن‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و ثبت شد.

1- Least significant difference

نتایج و بحث

علف‌های هرز و صفات جمعیتی

بر اساس نتایج آزمایش، در مزرعه مورد مطالعه ۱۵ گونه علف هرز مشاهده و شناسایی شد که از این تعداد دو گونه باریک‌برگ و ۱۳ گونه پهن‌برگ، هفت گونه یک‌ساله و هشت گونه چندساله بودند. در بین علف‌های هرز موجود، بیشترین تراکم و فراوانی ریزی سیاه (*Solanum nigrum* L.)، سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.)، علف شور (*Salsola kali* L.)، تاج‌خروس رونده (*Amaranthus blitoides* L.) و پنجه مرغی (*Cyndon dactylon* L. Pers.) بود که در بین آن‌ها بیشترین تراکم و فراوانی مربوط به علف‌های هرز خانواده اسفنجیان (*Chenopodiaceae*) بود (جدول ۱).

نتایج نشان از غالبیت علف‌های هرز پهن‌برگ نسبت به باریک برگ داشت که در تطابق با نتایج دلفونته و همکاران (*Elba et al., 2014*)، مرادی و همکاران (*Moradi et al., 2016*) و کوچکی و همکاران (*Koocheki et al., 2015*) بود. در مطالعه‌ای دیگر در کشت مخلوط کنجد و لوبیا چشم بلبلی نیز علف‌های هرز غالب مزرعه، چهار گونه‌ی تاج‌خروس ایستاده (*Amaranthus retroflexus*)، خرفه (*Portulaca oleracea*)، سلمه‌تره (*Chenopodium album*) و تاج‌ریزی سیاه (*Solanum nigrum*) گزارش شده است (*Hosseinzadeh et al., 2021*).

صفات مربوط به علف‌های هرز

زیست‌توده و تراکم علف‌های هرز ۳۵ روز پس از کاشت

نتایج نشان داد که اثر اصلی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط کنجد و لوبیا (در سطح احتمال یک درصد) و اثر متقابل آن با روش‌های کنترل علف‌های هرز (در سطح احتمال پنج درصد) در این مرحله از نمونه‌برداری بر زیست‌توده و تراکم علف‌های هرز معنی‌دار شدند (جدول ۲).

مقایسه میانگین اثر متقابل نسبت‌های کشت مخلوط کنجد و لوبیا و روش‌های کنترل علف‌های هرز نشان داد که بیشترین تراکم علف‌های هرز (۶ بوته در متر مربع) در تیمار وجین ۳۵ روز پس از کاشت در کشت خالص لوبیا بود که با تیمار وجین ۳۵ روز پس از کاشت در نسبت کشت ۱۰۰:۲۵ کنجد و لوبیا و همچنین کشت خالص کنجد با کاربرد تریفلورالین اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۲). بیشترین زیست‌توده‌ی علف‌های هرز (۴/۳۰ گرم در متر مربع) در تیمار وجین علف‌های هرز ۳۵ روز پس از کاشت در کشت خالص لوبیا مشاهده شد که با تیمارهای وجین ۳۵ روز پس از کاشت و کاربرد تری‌فلورالین در نسبت کشت مخلوط ۱۰۰:۲۵ اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۲). کمترین تراکم علف‌های هرز با میانگین ۲/۳۳ بوته در مترمربع مربوط به کاربرد تری‌فلورالین و وجین دستی ۵۵ روز پس

از کاشت در نسبت کشت مخلوط ۱۰۰:۱۰۰ کنجد و لوبیا بود که البته این دو تیمار با یکدیگر و نیز با تیمار وجین دستی ۵۵ روز پس از کاشت در کشت خالص کنجد تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۲). کمترین زیست‌توده علف‌های هرز (۲/۱۳ گرم در متر مربع) در تیمار وجین ۵۵ روز پس از کاشت در کشت خالص کنجد بدست آمد که با تیمار وجین ۳۵ روز پس از کاشت در کشت خالص کنجد و تیمارهای وجین ۳۵ روز و ۵۵ روز پس از کاشت در نسبت کشت مخلوط ۱۰۰:۱۰۰ کنجد و لوبیا و نیز در وجین ۵۵ روز و ۳۵ روز به ترتیب در نسبت کشت مخلوط ۱۰۰:۲۵ و ۱۰۰:۷۵ اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۲). به نظر می‌رسد با توجه به شرایط مزرعه و با توجه به این که نمونه‌برداری علف‌های هرز پیش از تیمارهای وجین (۳۵ و ۵۵ روز پس از کاشت) انجام شده است، لذا بین تیمارهای وجین ۳۵ و ۵۵ روز پس از کاشت کنجد و لوبیا در همه نسبت‌های کشت مخلوط به غیر از نسبت ۱۰۰:۲۵، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بر اساس نتایج آزمایش، با افزایش نسبت کشت مخلوط افزایشی، زیست‌توده و تراکم علف‌های هرز کاهش یافت که به نظر می‌رسد این مورد می‌تواند به علت خاصیت رقابتی و پوشانندگی نسبی کشت مخلوط این دو گیاه در مقایسه با کشت خالص آن‌ها باشد. در این زمینه، کاهش رشد علف‌های هرز در کشت مخلوط ذرت + سویا و ذرت + لوبیا چشم بلبلی نسبت به کشت خالص توسط دیگر محققان گزارش شده است (*Chalka & Nepalia, 2006*).

در کشت مخلوط حبوبات با کنجد نیز کاهش رشد و جمعیت علف‌های هرز مشاهده شده است (*Mehdipour et al., 2019*). در واقع، در کشت مخلوط، کل جمعیت گیاهی و اثر پوشانندگی بیشتر از کشت خالص است. بنابراین می‌توان به مهار علف‌های هرز بیشتری دست یافت (*Ahmadi et al., 2005; Kugbe et al., 2018; Stomph et al., 2020*).

زیست‌توده و تراکم علف‌های هرز ۵۰ روز پس از کاشت

اثرات اصلی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط کنجد و لوبیا و روش‌های کنترل علف‌های هرز و نیز اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز ۵۰ روز پس از کاشت در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نسبت کشت مخلوط کنجد و لوبیا و روش‌های کنترل علف‌های هرز نشان داد که بیشترین تراکم علف‌های هرز (۶/۶۷ بوته در متر مربع) در تیمار وجین ۵۵ روز پس از کاشت در کشت خالص لوبیا مشاهده شد که با تیمار وجین ۳۵ روز پس از کاشت در نسبت کشت مخلوط ۱۰۰:۲۵ کنجد و لوبیا تفاوت معنی‌داری نداشت.

جدول 2. تجزیه واریانس تراکم و زیست توده علفهای هرز در کشت مخلوط لوبیا و کنجد در مراحل مختلف نمونه برداری
Table 2. Analysis of variance of weed density and weed biomass in intercropping of bean and sesame in different stages of sampling

منابع تغییرات (S.O.V.)	درجه آزادی (D.F.)	تراکم علف هرز Weed Density										زیست توده علف هرز Weed Biomass									
		۳۵ روز پس از کاشت	۵۰ روز پس از کاشت	۶۰ روز پس از کاشت	۷۰ روز پس از کاشت	۸۰ روز پس از کاشت	۹۰ روز پس از کاشت	۳۵ روز پس از کاشت	۵۰ روز پس از کاشت	۶۰ روز پس از کاشت	۷۰ روز پس از کاشت	۶۰ روز پس از کاشت	۷۰ روز پس از کاشت	۸۰ روز پس از کاشت	۹۰ روز پس از کاشت	۳۵ روز پس از کاشت	۵۰ روز پس از کاشت	۶۰ روز پس از کاشت	۷۰ روز پس از کاشت	۸۰ روز پس از کاشت	۹۰ روز پس از کاشت
		35 days after planting	50 days after planting	60 days after planting	70 days after planting	80 days after planting	90 days after planting	35 days after planting	50 days after planting	60 days after planting	70 days after planting	60 days after planting	70 days after planting	80 days after planting	90 days after planting	35 days after planting	50 days after planting	60 days after planting	70 days after planting	80 days after planting	90 days after planting
تکرار	2	2.80**	1.35 ^{ns}	0.35 ^{ns}	0.13 ^{ns}	1.55 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.71 ^{ns}	0.73 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.01 ^{ns}						
روش کنترل علف هرز (a)	5	3.13*	4.80**	10.24**	3.18*	3.50**	5.13**	1.72**	4.76**	8.43**	0.04 ^{ns}			1.59**	0.35 ^{ns}						
نسبت کشت مخلوط (b)	2	4.74**	7.53**	6.64**	3.62**	1.54*	8.37**	3.04**	5.38**	3.56**	2.89**			1.93**	4.68**						
Inter cropping ratio a x b	10	1.82*	4.73**	1.73*	3.12**	1.48*	1.73**	0.59*	3.75**	1.62**	1.51**			2.41**	1.35**						
Error	34	0.68	0.51	0.88	0.78	0.67	0.34	0.26	0.30	0.41	0.36			0.20	0.17						
ضریب تغییرات C.V (%)	-	21.39	18.25	28.32	26.29	28.96	23.16	16.13	15.55	23.18	21.42			18.08	15.65						

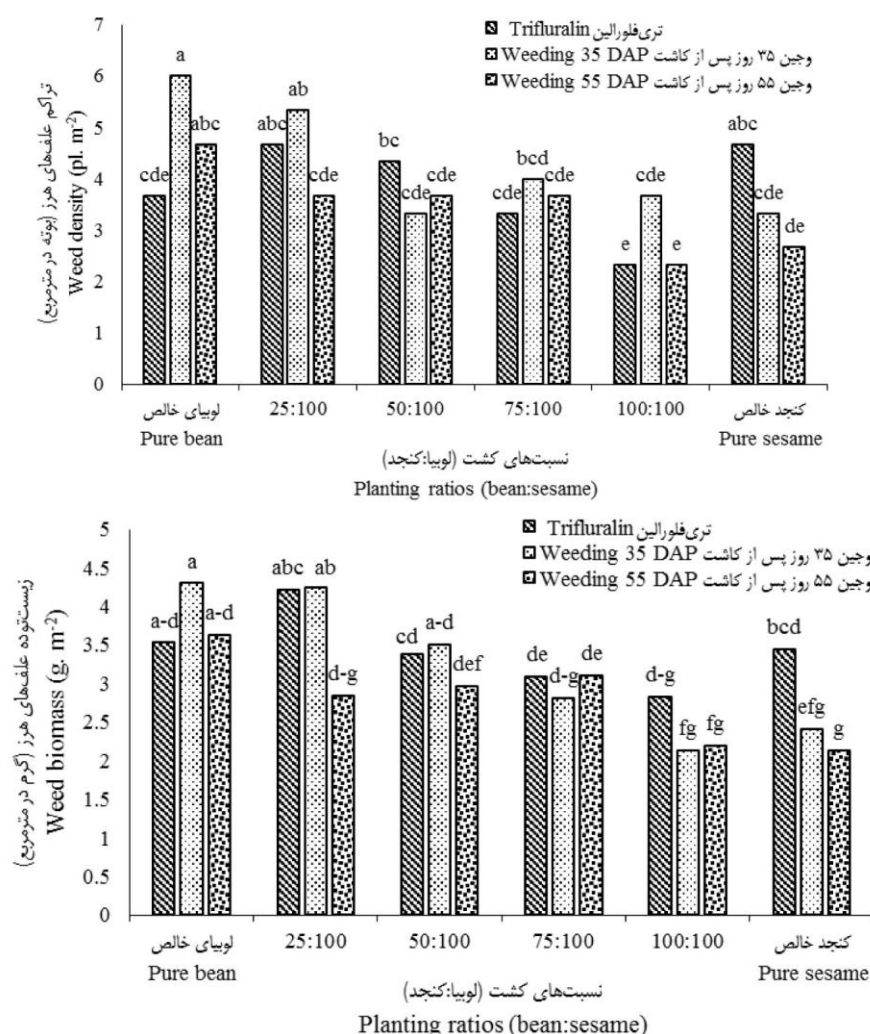
* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد، ns غیر معنی دار
* and ** are significant at the probability level of 5% and 1%, respectively; ns, non-significant

جدول ۱. علف‌های هرز و خصوصیات آن‌ها
Table 1. Weeds and their characteristics

نام علمی Scientific name	خانواده Family	تراکم بوته (بوته در متر مربع) Plant density (plants per square meter)	فراوانی نسبی % Relative frequency %	شکل برگ Leaf shape	چرخه زندگی Life cycle
<i>Solanum nigrum</i> L.	Solanaceae	16	21.62	Broad leaf (پهن برگ)	Annual (یکساله)
<i>Chenopodium album</i> L.	Amaranthaceae	12	16.21	Broad leaf (پهن برگ)	Annual (یکساله)
<i>Salsola kali</i> L.	Amaranthaceae	10	13.51	Broad leaf (پهن برگ)	Annual (یکساله)
<i>Amaranthus blitoides</i> L.	Amaranthaceae	10	13.51	Broad leaf (پهن برگ)	Annual (یکساله)
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Convolvulaceae	2	2.70	Broad leaf (پهن برگ)	Perennial (چندساله)
<i>Peganum harmala</i> L.	Zygophyllaceae	1	1.35	Broad leaf (پهن برگ)	Perennial (چندساله)
<i>Cichorium intybus</i> L.	Asteraceae	3	4.05	Broad leaf (پهن برگ)	Perennial (چندساله)
<i>Malva sylvestris</i> L.	Malvaceae	4	5.40	Broad leaf (پهن برگ)	Perennial (چندساله)
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Brassicaceae	1	1.35	Broad leaf (پهن برگ)	Annual (یکساله)
<i>Acroptilon repens</i> L.	Asteraceae	1	1.35	Broad leaf (پهن برگ)	Perennial (چندساله)
<i>Xanthium spinosum</i> L.	Asteraceae	2	2.70	Broad leaf (پهن برگ)	Annual (یکساله)
<i>Centaurea cyanus</i> L.	Asteraceae	3	4.05	Broad leaf (پهن برگ)	Annual (یکساله)
<i>Hibiscus trionum</i> L.	Malvaceae	1	1.35	Broad leaf (پهن برگ)	Annual (یکساله)
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Poaceae	2	2.70	Narrow leaf (باریک برگ)	Perennial (چندساله)
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Poaceae	6	8.10	Narrow leaf (باریک برگ)	Perennial (چندساله)

در این مرحله ارتفاع کانوپی هر دو جزء مخلوط نسبت به مرحله قبل افزایش داشته است و کانوپی متراکم‌تر شده است. سایر محققان نیز در کشت مخلوط، اثر پوشاندگی بیشتر و سایه‌اندازی گیاهان هم-کاشت بر علف‌های هرز را دلیلی بر کنترل مؤثر علف‌های هرز عنوان کردند (Stomph et al., 2020). فرونشانی مؤثر علف‌های هرز در کشت مخلوط سه‌گانه ذرت، لوبیا چیتی و کدوی تخمه‌کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) (Moradi et al., 2016) و کشت مخلوط دوگانه ماش (*Vigna radiata* L.) و کنجد (Mehdipour et al., 2019) نیز گزارش شده است که با نتایج این تحقیق در تطابق بود.

همچنین، بیشترین زیست‌توده علف‌های هرز (۵/۹۴ گرم در متر مربع) در تیمار وجین ۳۵ روز پس از کاشت در نسبت کشت مخلوط ۲۵:۱۰۰ کنجد و لوبیا حاصل شد که با تیمار وجین دستی ۵۵ روز پس از کاشت در کشت خالص لوبیا اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (شکل ۳). از آنجا که در این مرحله، نمونه‌برداری پیش از تیمار وجین دستی ۵۵ روز پس از کاشت بوده است و نیز با توجه به فلش‌های بعدی ظهور علف‌های هرز در تیمار وجین ۳۵ روز پس از کاشت، نتیجه حاصل دور از انتظار نمی‌باشد. کاهش تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز در نسبت‌های بالای کشت مخلوط کنجد و لوبیا ۱۰۰:۱۰۰، ۷۵:۱۰۰ و ۵۰:۱۰۰ را نیز می‌توان به پوشش کانوپی اجزای کشت مخلوط و ویژگی احتمالی دگرآسیبی آن‌ها نسبت داد. به‌خصوص اینکه



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل نسبت‌های کشت لوبیا و کنجد و روش‌های کنترل علف‌های هرز بر تراکم و زیست توده علف‌های هرز ۳۵ روز پس از کاشت (ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند)

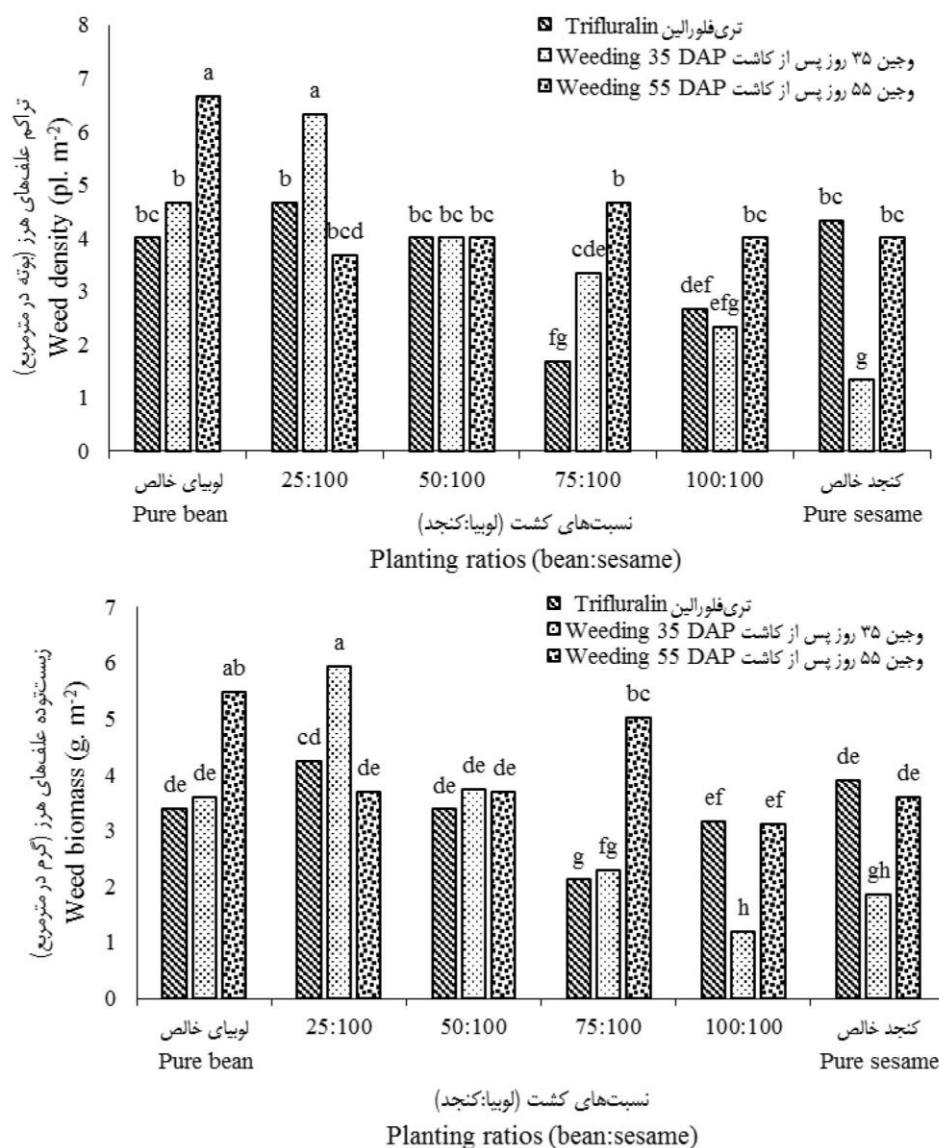
Figure 2- Mean comparison the interaction effect of bean and sesame intercropping ratio and weed control methods on weed density and weed biomass, 35 days after planting (columns with at least one letter in common do not have a significant difference at the 5% probability level)

زیست‌توده و تراکم علف‌های هرز ۶۰ روز پس از کاشت در این مرحله از نمونه‌برداری نیز اثرات اصلی نسبت‌های کشت مخلوط کنجد و لوبیا و روش‌های کنترل علف‌های هرز و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). بطوری که بیشترین تراکم علف‌های هرز (۵/۶۷ بوته در متر مربع) (شکل ۴) و بیشترین زیست-توده علف‌های هرز (۴/۷۶ گرم در متر مربع) در تیمار وجین دستی ۳۵ روز پس از کاشت در نسبت کشت مخلوط ۲۵:۱۰۰ کنجد و لوبیا مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار وجین دستی ۳۵ روز پس از کاشت در کشت خالص لوبیا نداشت. کمترین تراکم علف‌های هرز

۱/۶۷ بوته در متر مربع) با کاربرد تری‌فلورالین در کشت مخلوط کنجد و لوبیا ۱۰۰:۱۰۰ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۳۵ و ۵۵ روز در نسبت ۱۰۰:۱۰۰ کنجد و لوبیا، و وجین ۵۵ روز و کاربرد تری‌فلورالین در کشت خالص کنجد و کشت خالص لوبیا، وجین ۵۵ روز و کاربرد تری‌فلورالین در نسبت ۷۵:۱۰۰ کنجد و لوبیا، نداشت (شکل ۴). با توجه به نتایج حاصل می‌توان این گونه عنوان کرد که در تمام الگوهای کشت، اختلاف معنی‌داری بین وجین دستی و مصرف تری‌فلورالین در کنترل علف‌های هرز وجود نداشت. همچنین، تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز در نسبت کشت مخلوط ۱۰۰:۱۰۰ کنجد و لوبیا کاهش یافت که دلیل آن را می‌توان

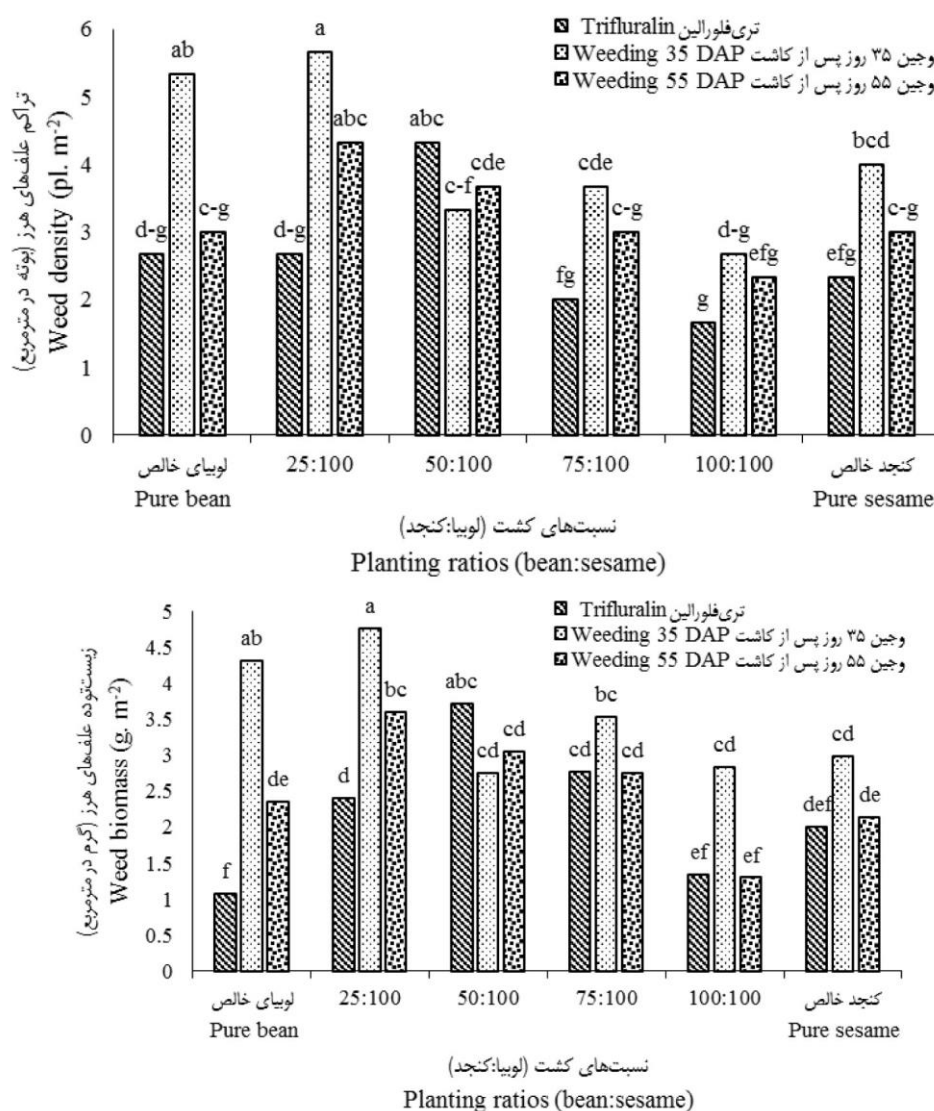
با مطالعه‌ی تأثیر علف‌کش اتال فلورالین و تری‌فلورالین بر علف‌های هرز مزرعه‌ی لوبیا ضمن اشاره به تأثیر قابل قبول تری‌فلورالین در کنترل علف‌های هرز لوبیا، گزارش کردند که نوع علف‌کش و ادوات مورد استفاده برای اختلاط سموم علف‌کش با خاک می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کنترل و مهار علف‌های هرز و عملکرد محصول زراعی داشته باشد.

به تراکم بالای کنجد و لوبیا و اثر پوشاندگی و سایه‌اندازی کانوپی روی خاک و علف‌های هرز و نیز فاصله‌ای که بین وجین ۳۵ روز و ۵۵ روز وجود داشت، نسبت داد. علف‌کش تری‌فلورالین برای کنترل علف‌های هرز پهن برگ در محصولات مهمی مثل لوبیا، عدس، کلزا و سویا در سراسر جهان توصیه شده است (Daneshvari et al., 2021; Karimmojeni et al., 2015; Hedayatipour et al., 2013)



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل نسبت‌های کشت لوبیا و کنجد و روش‌های کنترل علف‌های هرز بر تراکم و زیست توده علف‌های هرز علف‌های هرز ۵۰ روز پس از کاشت (ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند)

Figure 3- Mean comparison the interaction effect of bean and sesame intercropping ratio and weed control methods on weed density and weed biomass, 50 days after planting (columns with at least one letter in common do not have a significant difference at the 5% probability level)



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل نسبت‌های کشت لوبیا و کنجد و روش‌های کنترل علف‌های هرز بر تراکم و زیست توده علف‌های هرز ۶۰ روز پس از کاشت (ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند)

Figure 4- Mean comparison the interaction effect of bean and seasame intercropping ratio and weed control methods on weed density and weed biomass, 60 days after planting (columns with at least one letter in common do not have a significant difference at the 5% probability level)

نداشت. بیشترین زیست‌توده‌ی علف‌های هرز (۳/۹۷ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار وجین دستی ۳۵ روز پس از کاشت در کشت خالص لوبیا بود. کمترین تراکم علف‌های هرز (۱/۳۳ بوته در متر مربع) در تیمار وجین ۵۵ روز پس از کاشت در کشت خالص کنجد و کمترین زیست‌توده‌ی علف‌های هرز (۱/۱۲ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار وجین دستی ۳۵ روز پس از کاشت در کشت مخلوط کنجد و لوبیا با نسبت ۷۵:۱۰۰ مشاهده شد (شکل ۵). این نتایج تأثیر مثبت کشت مخلوط را به همراه تیمارهای وجین دستی در کنترل علف‌های هرز نشان می‌دهد. در واقع به نظر می‌رسد با افزایش نسبت کشت مخلوط

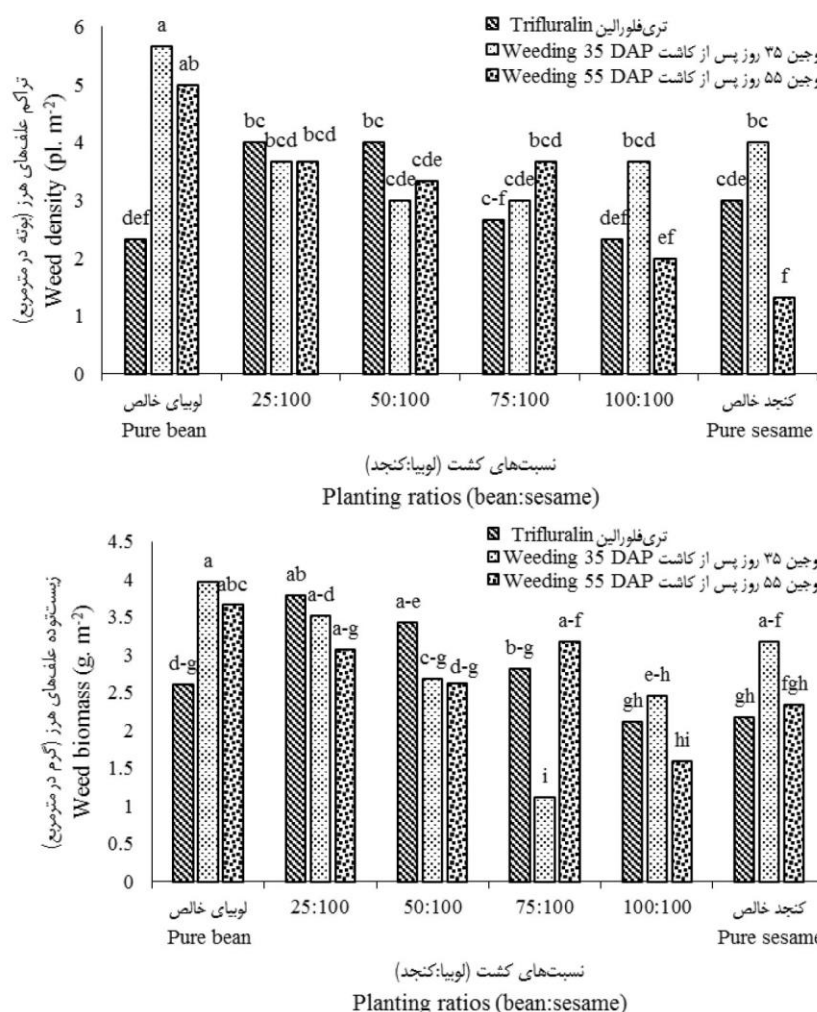
زیست‌توده و تراکم علف‌های هرز ۷۰ روز پس از کاشت

نتایج نشان داد که اثر اصلی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط کنجد و لوبیا و روش‌های کنترل علف‌های هرز و اثر متقابل نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و با روش‌های کنترل علف‌های هرز بر زیست‌توده و تراکم علف‌های هرز در مرحله نمونه‌برداری ۷۰ روز پس از کاشت معنی‌دار شدند (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین تراکم علف‌های هرز (۵/۶۷ بوته در متر مربع) در تیمار وجین ۳۵ روز پس از کاشت در کشت خالص لوبیا حاصل شد که با تیمار وجین دستی ۵۵ روز در کشت خالص لوبیا اختلاف معنی‌داری

Banjaw *et al.*, 2019; Cadoux *et al.*, 2015; Maitra *et al.*, (2019) برای مثال، علیو و امچه (Aliyu & Emechebe, 2006)

کمترین جمعیت علف‌های هرز در کشت لوبیا چشم‌بلبلی در تراکم بالا بین ردیف‌های سورگوم را به این دلیل نسبت دادند که این تیمار دارای کمترین تعداد استریگا (*Striga* spp) در هر کرت بود که می‌توان آن را به اثر بخشی محصول تله لوبیا چشم‌بلبلی در تحریک جوانه زنی بذرهاستریگا نسبت داد. همچنین، بانجاو و همکاران (Banjaw *et al.*, 2019) در کشت مخلوط لوبیا با چای ترش (*Hibiscus sabdariffa*) نشان دادند که افزایش تراکم کاشت لوبیا روند کاهشی در جمعیت علف‌های هرز را به همراه داشت.

و افزایش پوشش سطح زمین با گذر مراحل نمو اجزای کشت مخلوط، کنترل بیشتر علف‌های هرز را به دنبال داشته است. وجین ۵۵ روز پس از کشت در کشت خالص کنجد و نسبت ۱۰۰:۱۰۰ کنجد و لوبیا دارای کمترین میزان تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز بودند (شکل ۵). علت این امر به دلیل تراکم بالای گیاهان که باعث سایه‌اندازی بر علف‌های هرز شده و فاصله وجین با نمونه‌برداری کم بوده و نیز حذف و کنترل فیزیکی علف‌های هرز نیز ۱۵ روز پیش از این مرحله نمونه‌برداری بوده است. سایه‌اندازی، کاهش دسترسی به منابع نور، آب و عناصر، تنوع گیاهی و تراکم بالا در کشت مخلوط از جمله دلایل مهم در کاهش رشد و جمعیت علف‌های هرز می‌باشند که در بسیاری از مطالعات گزارش شده‌اند (Aliyu & Emechebe, 2006;



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل نسبت‌های کشت لوبیا و کنجد و روش‌های کنترل علف‌های هرز بر تراکم و زیست توده علف‌های هرز ۷۰ روز پس از کاشت (ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند)

Figure 5- Mean comparison the interaction effect of bean and sesame intercropping ratio and weed control methods on weed density and weed biomass, 70 days after planting (columns with at least one letter in common do not have a significant difference at the 5% probability level)

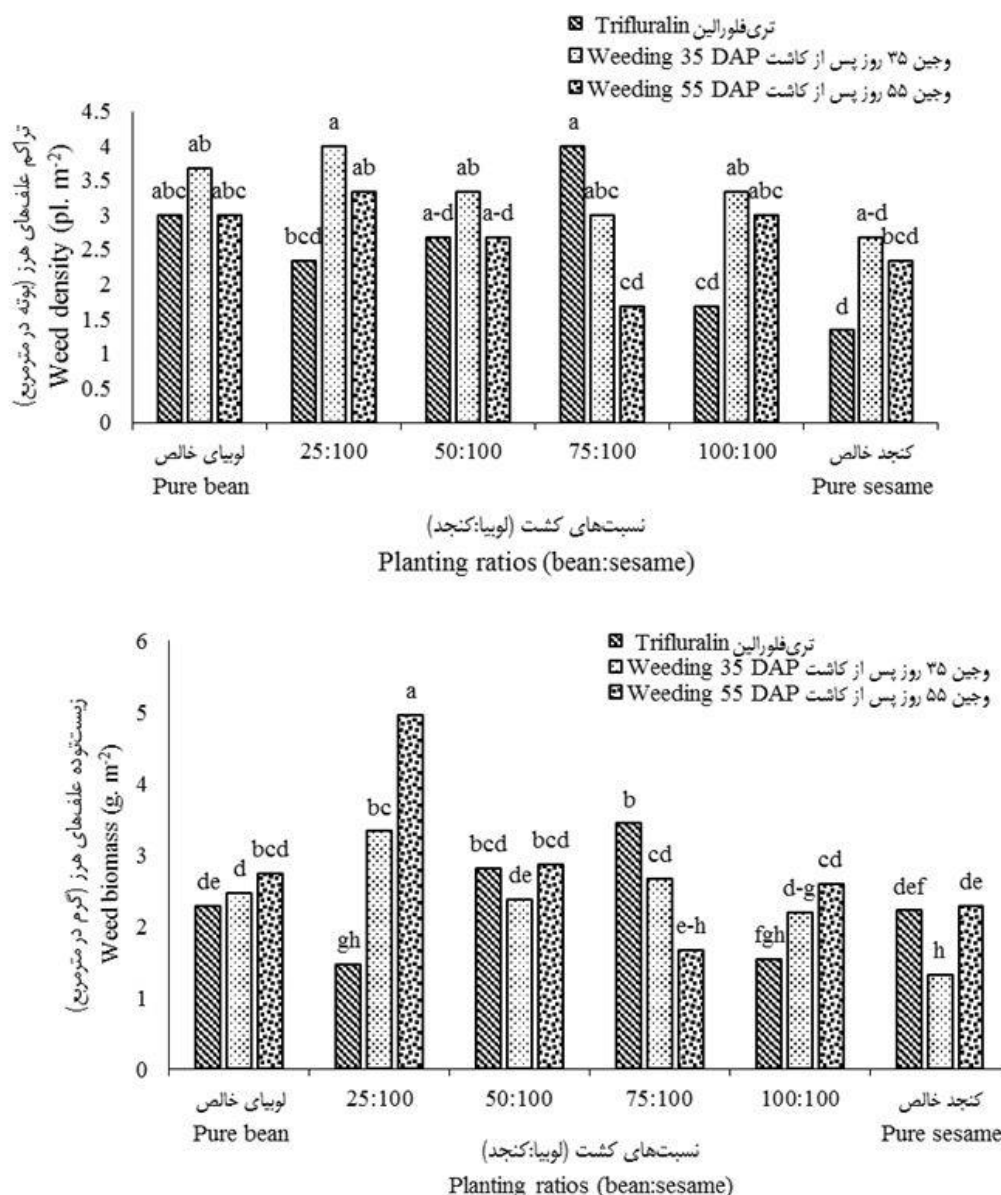
معنی‌دار شدند. اثر اصلی روش‌های کنترل علف‌های هرز، تأثیر معنی‌داری بر تراکم علف‌های هرز در سطح احتمال یک درصد داشت در حالی که در زیست‌توده علف‌های هرز معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نسبت‌های کشت مخلوط کنجد و لوبیا و روش‌های کنترل علف‌های هرز بر تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز نشان داد که بیشترین تراکم علف‌های هرز (۵/۳۳ بوته در متر مربع) در تیمار وجین دستی ۵۵ روز پس از کاشت در کشت مخلوط کنجد و لوبیا با نسبت ۲۵:۱۰۰ مشاهده شد. با افزایش تراکم کنجد در نسبت‌های کشت مخلوط از تراکم علف‌های هرز کاسته شد. کمترین تراکم علف‌های هرز (یک بوته در متر مربع) در تیمار کاربرد تری‌فلورالین در نسبت ۵۰:۱۰۰ کنجد و لوبیا حاصل شد (شکل ۷). بیشترین زیست‌توده علف‌های هرز (۴/۳۳ گرم در متر مربع) در تیمار وجین دستی ۳۵ روز پس از کاشت در نسبت ۲۵:۱۰۰ کنجد و لوبیا حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار وجین دستی ۵۵ روز پس از کاشت در نسبت ۲۵:۱۰۰ کنجد و لوبیا نداشت. کمترین زیست‌توده علف‌های هرز (۱/۱۹ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار وجین دستی ۵۵ روز پس از کاشت در نسبت ۱۰۰:۱۰۰ کنجد و لوبیا بود که تفاوت آماری معنی‌داری با تیمارهای وجین دستی ۳۵ روز در نسبت ۱۰۰:۱۰۰ کنجد و لوبیا، تری‌فلورالین در نسبت ۱۰۰:۱۰۰ کنجد و لوبیا و وجین دستی ۳۵ روز در نسبت ۷۵:۱۰۰ کنجد و لوبیا نداشت (شکل ۷). این امر نشان دهنده این است که در اواخر دوره رشد، با افزایش نسبت کشت مخلوط، ضمن افزایش حجم بوته و افزایش پوشش سطح زمین، قدرت رقابتی کشت مخلوط با علف‌های هرز افزایش یافته است. بر اساس گزارش‌های موجود، حبوبات و دانه‌های روغنی در کشت مخلوط می‌توانند به طور معنی‌داری سرکوب علف‌های هرز را تسهیل کنند (Dowling et al., 2021) و از طرفی به دلیل استفاده مکمل از منابع بین اجزای کشت مخلوط، مخلوط دانه‌های روغنی و حبوبات می‌توانند به راحتی از منابع موجود مانند نور (Lorin et al., 2015)، فضا (Cadoux et al., 2015; Paulsen et al., 2006) و نیتروژن (Sánchez Vallduví & Sarandón, 2011) در مقایسه با تک‌کشتی بهره بیشتری برده و افزایش استفاده از منابع توسط گیاهان مخلوط باعث کاهش دسترسی، سرکوب رشد و کاهش رقابت علف‌های هرز و زیست‌توده (Ilnicki & Enache, 1992)، فراوانی (Lorin et al., 2015) و قدرت تولیدمثلی علف‌های هرز (Sánchez Vallduví & Sarandón, 2011) در مقایسه با علف‌های هرز در حال رشد در تک‌کشتی‌ها می‌شوند.

زیست‌توده و تراکم علف‌های هرز ۸۰ روز پس از کاشت

هشتاد روز پس از کاشت، اثر اصلی روش‌های کنترل علف‌های هرز بر تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲) و اثر اصلی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط کنجد و لوبیا و اثر متقابل آن با روش‌های کنترل علف‌های هرز بر تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز برترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تراکم علف‌های هرز (۴ بوته در متر مربع) در تیمار وجین دستی ۳۵ روز پس از کاشت در کشت مخلوط کنجد و لوبیا با نسبت ۲۵:۱۰۰ حاصل شد. بیشترین زیست‌توده علف‌های هرز (۴/۹۶ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار وجین دستی ۵۵ روز پس از کاشت در کشت مخلوط کنجد و لوبیا با نسبت ۲۵:۱۰۰ بود. کمترین تراکم علف‌های هرز (۱/۳۳ بوته در متر مربع) در تیمار کاربرد تری‌فلورالین در کشت خالص کنجد مشاهده شد (شکل ۶). کمترین زیست‌توده علف‌های هرز (۱/۳۲ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار وجین دستی ۳۵ روز پس از کاشت در کشت خالص کنجد بود که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کاربرد تری‌فلورالین در نسبت ۲۵:۱۰۰ کنجد و لوبیا، کاربرد تری‌فلورالین در نسبت ۱۰۰:۱۰۰ کنجد و لوبیا و وجین دستی ۵۵ روز پس از کاشت در نسبت ۷۵:۱۰۰ کنجد و لوبیا نشان نداد (شکل ۶). با توجه به شرایط مزرعه مورد آزمایش، تیمار وجین ۵۵ روز پس از کاشت در کشت مخلوط کنجد و لوبیا با نسبت ۷۵:۱۰۰ گزینه قابل قبول و مناسبی برای کنترل علف‌های هرز در کشت مخلوط کنجد و لوبیا بود. در این تیمار، تراکم بالای گیاهی در نسبت کشت، پوشش کانوبی و کاهش احتمالی نفوذ نور به لایه‌های پایینی کانوبی و سطح زمین منجر به کاهش رشد علف‌های هرز و کنترل آن‌ها شده است. مشخص شده است که نظام‌های کشت مخلوط حبوبات و دانه‌های روغنی می‌توانند به‌طور قابل توجهی مهار علف‌های هرز را تسهیل کنند (Dowling et al., 2021). سانچز والدووی و ساراندون (Sánchez Vallduví & Sarandón, 2011) گزارش کردند که تراکم بالای بزرک (*Linum usitatissimum* L.) و نیز کشت مخلوط با شبدر قرمز (*Trifolium pretense* L.) قدرت رقابتی محصول را در برابر علف‌های هرز بهبود داد و منجر به کاهش تعداد دانه، وزن دانه و زیست‌توده علف‌های هرز شد که نشان‌دهنده‌ی جذب کمتر منابع محیطی توسط علف هرز می‌باشد.

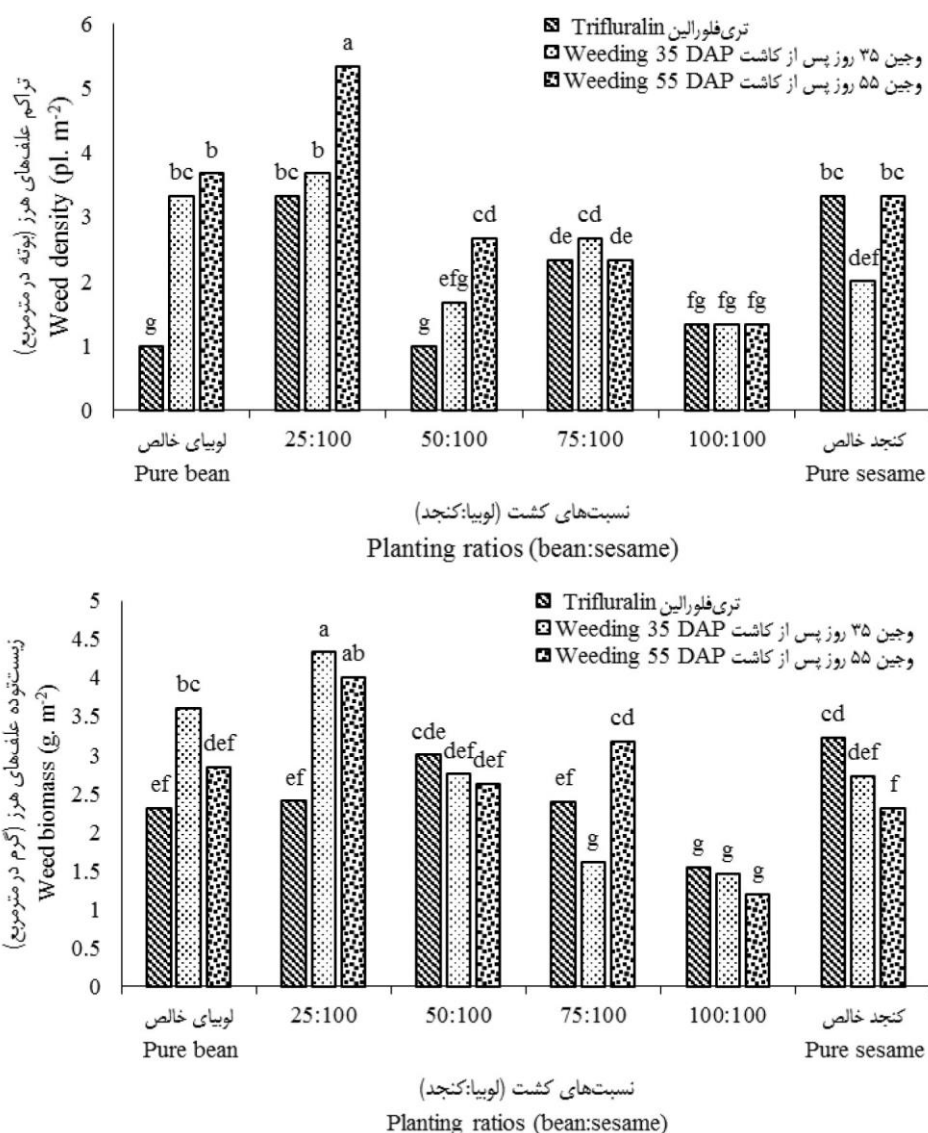
زیست‌توده و تراکم علف‌های هرز ۹۰ روز پس از کاشت

اثر اصلی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط کنجد و لوبیا و اثر متقابل آن با روش‌های کنترل علف‌های هرز بر زیست‌توده و تراکم علف‌های هرز ۹۰ روز پس از کاشت در سطح احتمال یک درصد



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل نسبت‌های کشت لوبیا و کنجد و روش‌های کنترل علف‌های هرز بر تراکم و زیست توده علف‌های هرز ۸۰ روز پس از کاشت (ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند)

Figure 6- Mean comparison the interaction effect of bean and sesame intercropping ratio and weed control methods on weed density and weed biomass, 80 days after planting (columns with at least one letter in common do not have a significant difference at the 5% probability level)



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل نسبت‌های کشت لوبیا و کنجد و روش‌های کنترل علف‌های هرز بر تراکم و زیست توده علف‌های هرز ۹۰ روز پس از کاشت (ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند)

7- Mean comparison the effect of the interaction of bean and sesame intercropping ratio and weed control methods Figure on weed density and weed biomass, 90 days after planting (columns with at least one letter in common do not have a significant difference at the 5% probability level)

نتیجه‌گیری

و کمترین تراکم (یک بوته در متر مربع) علف‌های هرز نیز در تیمار کاربرد تری‌فلورالین و نسبت کشت مخلوط ۵۰:۱۰۰ و کاربرد تری‌فلورالین در کشت خالص لوبیا و مشاهده شد.

با افزایش زمان‌های نمونه‌برداری از علف‌های هرز از ۶۰ به ۷۰ روز و از ۸۰ به ۹۰ روز، تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز روند کاهشی داشت. بطوری که ۹۰ روز پس از کاشت، بیشترین زیست‌توده علف‌های هرز (۴/۳۳ گرم در متر مربع) در تیمار وجین دستی ۳۵ روز پس از کاشت در نسبت ۲۵:۱۰۰ کنجد و لوبیا حاصل شد و کمترین

نتایج نشان داد که بیشترین زیست‌توده علف‌های هرز (۵/۹۴ گرم در متر مربع) در تیمار وجین دستی ۳۵ روز و نسبت کشت ۲۵:۱۰۰ کنجد و لوبیا در نمونه‌برداری ۵۰ روز پس از کاشت بود و بیشترین تراکم (۶/۶۷ بوته در متر مربع) علف‌های هرز در تیمار وجین ۵۵ روز پس از کاشت در کشت خالص لوبیا در همان نمونه‌برداری مشاهده شد. در نمونه‌برداری ۹۰ روز پس از کاشت کمترین زیست‌توده (۱/۰۸ گرم در متر مربع) در تیمار کاربرد تری‌فلورالین در کشت لوبیای خالص

۷۵:۱۰۰ کنجد و لوبیا و وجین علف‌های هرز ۵۵ روز پس از کاشت در شرایط شیروان می‌تواند به عنوان یک گزینه در مدیریت علف‌های هرز نظام کشت مخلوط کنجد و لوبیا مورد توجه باشد.

زیست‌توده علف‌های هرز (۱/۱۹ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار کاربرد علف‌کش تری‌فلورالین وجین دستی ۵۵ روز پس از کاشت و وجین دستی ۳۵ روز پس از کاشت در نسبت ۱۰۰:۱۰۰ و وجین دستی ۳۵ روز پس از کاشت در نسبت کشت مخلوط ۷۵:۱۰۰ کنجد و لوبیا مشاهده شد. با توجه به نتایج این پژوهش نسبت کشت مخلوط

References

- Ahmadi, A., Mohasel, M. R., Meybodi, M. B., & Rostami, M. (2005). Evaluation of the effect of critical period of weed competition on yield, yield components and morpho-physiological traits of bean, Derakhshan cultivar. *Pests and Diseases of Plants*, 1, 31-49. (In Persian with English abstract)
- Ajal, J. (2021). Growth and nitrogen economy of cereal-legume sole-and intercrops, and their effects on weed suppression. Department of Crop Production Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Aliyu, B., & Emechebe, A. (2006). Effect of Intra-and inter-row mixing of sorghum with two varieties of cowpea on host crop yield in a *Striga hermonthica* infested field. *African Journal of Agricultural Research*, 1(2), 024-026.
- Banjaw, D. T., Lulie, B., & Adem, M. W. (2019). Advantage of Intercropping Roselle with Common Bean over Sole Cropping in Ethiopia, 9(12), 1-18. <https://doi.org/10.7176/JNSR/9-12-02>
- Cadoux, S., Sauzet, G., Morison, M. V., Pontet, C., Champolivier, L., Robert, C., Lieven, J., Flénet, F., Mangenot, O., & Fauvin, P. (2015). Intercropping frost-sensitive legume crops with winter oilseed rape reduces weed competition, insect damage, and improves nitrogen use efficiency. *OCL Oilseeds and fats crops and lipids*, 22(3). <https://doi.org/10.1051/ocl/2015014>
- Chalka, M., & Nepalia, V. (2006). Nutrient uptake appraisal of maize intercropped with legumes and associated weeds under the influence of weed control. *Indian Journal of Agricultural Research*, 40(2), 86-91.
- Chauhan, B. S. (2020). Grand challenges in weed management. *Frontiers in Agronomy*, 1, 3. <https://doi.org/10.3389/fagro.2019.00003>
- Colbach, N., Petit, S., Chauvel, B., Deytieu, V., Lechenet, M., Munier-Jolain, N & ,Cordeau, S. (2020). The pitfalls of relating weeds, herbicide use, and crop yield: Don't fall into the trap! a critical review. *Frontiers in Agronomy*, 2, 615470. <https://doi.org/10.3389/fagro.2020.615470>
- Daneshvari, G., Yousefi, A. R., Mohammadi, M., Banibairami, S., Shariati, P., Rahdar, A & ,Kyzas, G. Z. (2021). Controlled-release formulations of trifluralin herbicide by interfacial polymerization as a tool for environmental hazards. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(6), 13866-13877.
- Dowling, A., Sadras, V. O., Roberts, P., Doolette, A ,Zhou, Y., & Denton, M. D. (2021). Legume-oilseed intercropping in mechanised broadacre agriculture—a review. *Field Crops Research*, 260, 107980. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107980>
- Elba, B., Suárez, S. A., Lenardis, A. E., & Poggio, S. L. (2014). Intercropping sunflower and soybean in intensive farming systems: evaluating yield advantage and effect on weed and insect assemblages. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 70, 47-52. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2014.05.002>
- Gu, C., Bastiaans, L., Anten, N. P., Makowski, D., & van Der Werf, W. (2021). Annual intercropping suppresses weeds: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322, 107658. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107658>
- Hedayatipour, A., Lak, M., & Mostafavi Rad, M. (2013). Effect of Trifluralin and Ethalfluralin Herbicides and Tillage Implements on Weeds Control, Seed Yield and Some Agronomic Traits of Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.). *Agricultural engineering*, 36(1), 87-99. (In Persian with English abstract)
- Hosseinzadeh, M., Hoseini, S. M. B., & Alizadeh, H. (2021). Study of sesame (*Sesamum indicum* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) intercropping under weed control and non-control conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(3). (In Persian with English abstract)
- Illicki, R. D., & Enache, A. J. (1992). Subterranean clover living mulch: an alternative method of weed control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 40(1-4), 249-264. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(92\)90096-T](https://doi.org/10.1016/0167-8809(92)90096-T)
- Karimmojeni, H., Yousefi, A. R., Kudsk, P., & Bazrafshan, A. H. (2015). Broadleaf weed control in winter-sown lentil (*Lens culinaris*). *Weed Technology*, 29(1), 56-62. <https://doi.org/10.1614/WT-D-13-00184.1>
- Khajepour, M. R. (2011). *Industrial plants* (Vol. 582). Academic Jihad of Isfahan Industrial Unit. (In Persian)
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Khorram Del, s. (2014). *Iranian agriculture in transition to climate change and global warming* (M. Banayanaval, Ed.).
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Najib Nia, S., Lalehgani, B., & Porsa, H. (2015). Study of pulse crops biodiversity in agroecosystems of Iran. *Iranian legumes research*, 6(2), 19-30. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v1394i2.44408>
- Kugbe, X. J., Yaro, R. N., Soyel, J. K., Kofi, E. S., & Ghaney, P. (2018). Role of intercropping in modern

agriculture and sustainability: A Review. *British Journal of Science*, 16(2).

Lizarazo, C. I., Tuulos, A., Jokela, V., & Mäkelä, P. S. (2020). Sustainable mixed cropping systems for the boreal-nemoral region. *Frontiers in sustainable food systems*, 4, 103. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00103>

Lorin, M., Jeuffroy, M.-H., Butier, A., & Valantin-Morison, M. (2015). Undersowing winter oilseed rape with frost-sensitive legume living mulches to improve weed control. *European Journal of Agronomy*, 71, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.001>

Maitra, S., Palai, J. B., Manasa, P., & Kumar, D. P. (2019). Potential of intercropping system in sustaining crop productivity. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 12(1), 39-45.

Mehdipour, H., Abbasi, R., & Abbasian, A. (2019). Effect of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) Cover Crop Density on Seed Yield and Yield Components of Sesame (*Sesame indicum* L.) and Weed Control. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(2), 255-266. (In Persian with English abstract)

Moradi, P., Asghari, J., Abadi, M., & Samiezadeh, H. (2016). Evaluation of the Beneficial Effects of Triple Intercropping of Maize (*Zea mays* L.), Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 6(19), 177-189. (In Persian with English abstract).

Mulik, S., More, S., Deshpande, S., & Patil, J. (1993). Intercropping for better stability in crop production in dryland watersheds. *Indian Journal of Agronomy*, 38(4), 527-530.

Najeeb, U., Mirza, M., Jilani, G., Mubashir, A., & Zhou, W. (2012). Sesame. *Technological Innovations in Major World Oil Crops, Volume 1: Breeding*, 131-145. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0356-2_5

Nawar, A. I., Salama, H. S., & Khalil, H. E. (2020). Additive intercropping of sunflower and soybean to improve yield and land use efficiency: Effect of thinning interval and nitrogen fertilization. *Chilean journal of agricultural research*, 80(2), 142-152. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000200142>

Paulsen, H. M., Schochow, M., Ulber, B., Kühne, S., & Rahmann, G. (2006). Mixed cropping systems for biological control of weeds and pests in organic oilseed crops. *What will organic farming deliver?*, 215-220.

Sánchez Vallduví, G. E., & Sarandón, S. J. (2011). Effects of changes in flax (*Linum usitatissimum* L.) density and interseeding with red clover (*Trifolium pratense* L.) on the competitive ability of flax against Brassica weeds. *Journal of Sustainable Agriculture*, 35(8), 914-926. <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.611745>

Stomph, T., Dordas, C., Baranger, A., de Rijk, J., Dong, B., Evers, J., Gu, C., Li, L., Simon, J., & Jensen, E. S. (2020). Designing intercrops for high yield, yield stability and efficient use of resources: Are there principles? *Advances in Agronomy*, 160(1), 1-50. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.10.002>

Weerarathne, L., Marambe, B., & Chauhan, B. S. (2017). Does intercropping play a role in alleviating weeds in cassava as a non-chemical tool of weed management?—A review. *Crop Protection*, 95, 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.028>

Contents

Efficacy Comparison of Afidopyropen with Commonly Used Insecticides Against the green peach aphid (<i>Myzus persicae</i> Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) Under Field Condition	433
H. Mosallanejad, Z. Saeidi, A. Joyandeh	
Evaluation of Important Agronomic Indices of 16 Spring Dryland Wheat Genotypes under the Influence of <i>Haplothrips tritici</i> (Kurdjumov) in Field Conditions	445
R. Ghorbani, N. Eini, A. Mohseni Amin, M. Rahmati, S. M. H. Hayatolghybi, M. Asadzade Moghadam	
Bioecology of Elm Leaf Beetle (<i>Xanthogaleruca luteola</i> (Col.: Chrysomelidae)) in Kermanshah	457
M. R. Paydar, A. A. Zamani, A. Jamshidi	
Plant Interactions with Viruses and Viroids: A Review of the Regulatory Roles of Secondary Metabolites and Phytohormones	469
M. Sadeghi Nichkoohi, Z. Moradi	
Quantifying the Emergence Response of Various Ecotypes of littleseed Canarygrass (<i>Phalaris minor</i> Retz.) to Temperature	493
Gh. Arezoogar, A. Soltani, A. Siahmarguee, F. Ghaderi-Far	
The Effect of Sesame (<i>Sesamum indicum</i> L.) and Bean (<i>Phaseolus Vulgaris</i> L.) Intercropping on Weeds and Their Methods of Control	509
Sara Sadat Moazeni, Ebrahim Izadi Darbanhi, Kamal Hajmohammadnia Ghalibaf	

Iranian Plant Protection Research

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol . 40

No. 1

2026

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: Sadeghi Nameghi, H. (Entomology) 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.
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
Mahdikhani Moghadam, E	Plant Pathology	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
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

- Efficacy Comparison of Afidopyropen with Commonly Used Insecticides Against the green peach aphid (*Myzus persicae* Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) Under Field Condition 433**
H. Mosallanejad, Z. Saeidi, A. Joyandeh
- Evaluation of Important Agronomic Indices of 16 Spring Dryland Wheat Genotypes under the Influence of *Haplothrips tritici* (Kurdjumov) in Field Conditions..... 445**
R. Ghorbani, N. Eini, A. Mohseni Amin, M. Rahmati, S. M. H. Hayatolghybi, M. Asadzade Moghadam
- Bioecology of Elm Leaf Beetle (*Xanthogaleruca luteola* (Col.: Chrysomelidae)) in Kermanshah..... 457**
M. R. Paydar, A. A. Zamani, A. Jamshidi
- Plant Interactions with Viruses and Viroids: A Review of the Regulatory Roles of Secondary Metabolites and Phytohormones..... 469**
M. Sadeghi Niehkoobi, Z. Moradi
- Quantifying the Emergence Response of Various Ecotypes of littleseed Canarygrass (*Phalaris minor* Retz.) to Temperature 493**
Gh. Arezoogar, A. Soltani, A. Siahmarguee, F. Ghaderi-Far
- The Effect of Sesame (*Sesamum indicum* L.) and Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Intercropping on Weeds and Their Methods of Control..... 509**
Sara Sadat Moazeni, Ebrahim Izadi Darbanhi, Kamal Hajmohammadnia Ghalibaf