انجمن قارچ شناسی ایران
2010 ۱۳۸۹

نشریه علمی
پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران

جلد ۳۹ شماره ۲
سال ۱۴۰۴

شماره پیاپی: ۶۸

عنوان مقالات

اثرات زیرکشندگی حشره¬کش¬های تیوسیکلام¬هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی جدول زندگی و پیش¬بینی روند جمعیتی سفیدبالک گلخانه، Trialeurodes vaporariorum (Hemiptera: Aleyrodidae)..... ۱۳۵
مه سا عبداله زاده بوانی، فریبا مهرخو، مریم فروزان

برهم‌کنش تغذیه¬ای بین کفشدوزک Adalia bipunctata و شته Myzus persicae پرورش¬یافته روی تیمارهای مختلف کودهای معدنی، آلی و زیستی..... ۱۵۵
مژگان مردانی طلایی، جبرئیل رزمجو، قدیر نوری قنبلانی، مهدی حسن پور، بهرام ناصری

ارزیابی مقدار باقی‌مانده قارچ‌کش‌های جدید داگونیس® ٪۱۲.۵ SC و آفیانس® ٪۱۷ SC در مهار بیماری لکه موجی گوجه‌فرنگی..... ۱۷۱
محسن مروتی، کسری شریفی، وحیده مهدوی

پایداری بذر کنجدشیطانی Cleome viscose (L.) در بانک بذر خاک..... ۱۸۳
سمیه ممشلی، آسیه سیاهمرگویی، فرشید قادری فر

تأثیر نوع و غلظت مویان بر ویژگی قطره و محلول پاشش هالوکسی¬فوپ-آر-متیل و کارایی آن بر جودره (Hordeum spontaneum K. Koch)..... ۲۰۱
زهره یونسی، اکبر علی¬وردی، گودرز احمدوند

مدیریت علف¬های هرز و ویژگی¬های رشدی دو رقم برنج (Oryza sativa L.) تحت شرایط هوازی در شهرستان ساری..... ۲۱۷
سیده شکوفه جعفرنژاد موزیرجی، جاوید قرخلو، سیما سهرابی، آسیه سیاهمرگویی، سعید حسن‌پور بورخیلی

نشریه پژوهش های حفاظت گیاهان ایران

(علوم و صنایع کشاورزی)

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

جلد ۳۹ شماره ۲ بهار ۱٤۰٤

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 (٤ شماره در سال) چاپ و منتشر می شود.

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: رضا ولی زاده — استاد- تغذیه نشخوارکنندگان - دانشگاه فردوسی مشهد

سردبیر: پریسا طاهری — استاد- بیماری شناسی گیاهی- دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیئت تحریریه:

ایزدی دربندی، ابراهیم	استاد- علوم علف های هرز -دانشگاه فردوسی مشهد
اعتصامی، حسن	دانشیار-بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک- دانشگاه تهران
بقائی راوری، ساره	دانشیار- بیماری شناسی گیاهی - دانشگاه فردوسی مشهد
پور جم، ابراهیم	استاد- بیماری شناسی گیاهی - دانشگاه تربیت مدرس تهران
جمالی، سالار	استاد- بیماری شناسی گیاهی- دانشگاه گیلان
حاجی بلند، رقیه	استاد- فیزیولوژی گیاهی - دانشگاه تبریز
حسینی، مجتبی	دانشیار- حشره شناسی کشاورزی - دانشگاه فردوسی مشهد
خداپرست، سید اکبر	استاد- قارچ شناسی- دانشگاه گیلان
راستگو، مهدی	استاد- علوم علف های هرز - دانشگاه فردوسی مشهد
راشد محصل، محمد حسن	استاد- علوم علف های هرز - دانشگاه فردوسی مشهد
شریف نبی، بهرام	استاد- بیماری شناسی گیاهی - دانشگاه صنعتی اصفهان
صابری ریسه، روح اله	استاد- بیماری شناسی گیاهی- دانشگاه ولی عصر رفسنجان
صادقی نامقی، حسین	استاد- حشره شناسی کشاورزی - دانشگاه فردوسی مشهد
صبوری، علیرضا	استاد- حشره شناسی کشاورزی - دانشگاه تهران
کریم مجنی، حسن	دانشیار- تولید وژنتیک گیاهی - دانشگاه صنعتی اصفهان
کریمی، جواد	استاد- حشره شناسی کشاورزی- دانشگاه فردوسی مشهد
مرعشی، سید حسن	استاد - بیوتکنولوژی و به نژادی گیاهی - دانشگاه فردوسی مشهد
مصلی نژاد، هادی	دانشیار پژوهش- موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور
معصومی، حسین	استاد- ویروس شناسی گیاهی - دانشگاه شهید باهنر کرمان
مهرور، محسن	دانشیار- ویروس شناسی گیاهی- دانشگاه فردوسی مشهد
تاراسکو، استاکیو	دانشیار- حشره شناسی -دانشگاه باری آلدومورو- ایتالیا
راشد محصل، آرش	محقق- اکولوژی حشرات - تگزاس
درویس، سیبل	استاد-بیماری شناسی گیاهی -دانشگاه آرتوکلوماردین ترکیه
لهلالی، رشید	دانشیار- آسیب شناسی گیاهی و میکروبیولوژی- مدرسه ملی کشاورزی مکنس، مراکش
ورا کروز، کاسیانا	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: ۱۱۶۳-۹۱۷۷۵

تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۴۶۵۴ **نمابر:** ۰۵۱-۳۸۷۸۷۴۳۰

پست الکترونیکی: jpp1@um.ac.ir **آدرس سایت:** https://jpp.um.ac.ir

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

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌های تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی جدول زندگی و پیش‌بینی روند جمعیتی سفیدبالک گلخانه، *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) ۱۳۵

مه سا عبداله زاده بوانی، فریبا مهرخو، مریم فروزان

برهم‌کنش تغذیه‌ای بین کفشدوزک *Adalia bipunctata* و شته *Myzus persicae* پرورش‌یافته روی تیمارهای مختلف کودهای معدنی، آلی و زیستی ۱۵۵

مژگان مردانی طلایی، جبرئیل رزمجو، قدیر نوری قنبلانی، مهدی حسن پور، بهرام ناصری

ارزیابی مقدار باقی‌مانده قارچ‌کش‌های جدید داگونیس® و آفیانس® در مهار بیماری لکه موجی گوجه‌فرنگی ۱۷۱

محسن مروتی، کسری شریفی، وحیده مهدوی

پایداری بذر کنجدشیطانی (Cleome viscose L.) در بانک بذر خاک ۱۸۳

سمیه ممشلی، آسیه سیاهمرگویی، فرشید قادری فر

تأثیر نوع و غلظت مویان بر ویژگی قطره و محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل و کارایی آن بر جودره (Hordeum spontaneum K. Koch) ۲۰۱

زهره یونسی، اکبر علی‌وردی، گودرز احمدوند

مدیریت علف‌های هرز و ویژگی‌های رشدی دو رقم برنج (Oryza sativa L.) تحت شرایط هوازی در شهرستان ساری ۲۱۷

سیده شکوفه جعفرنژاد موزیرجی، جاوید قرخلو، سیما سهرابی، آسیه سیاهمرگویی، سعید حسن‌پور بورخیلی

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 2, 2025, p. 133-152

Sublethal Effects of Thiocyclam hydrogen oxalate and Spiromesifen on Life Table and Population Projection of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae)

Mahsa Abdollahzadeh-Bovani[1], Fariba Mehrkhou[2*], Maryam Forouzan[3]

1 and 2- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

3- Plant Protection Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran
(*Corresponding author's Email: f.mehrkhou@urmia.ac.ir)

Received: 22-12-2024
Revised: 20-01-2025
Accepted: 25-01-2025
Available Online: 09-07-2025

How to cite this article:
Abdollahzadeh-Bovani, M., Mehrkhou, F., & Forouzan., M. (2025). Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen, on life table and population projection of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Iranian Plant Protection Research*, *39*(2), 133-152. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.2024.91255.1214

Introduction

Greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae) is one of the most serious pests of many horticultural and greenhouse crops that causes quantitative and qualitative damages in the yield of greenhouse products. However, various controlling methods (e.g., agronomic, mechanical, behavioral, and biological) are used for management of greenhouse whitefly pest, but usage of synthetic insecticides is the only easy and cost-effective strategy for dealing with arthropod pests in many crop production systems, which is more common controlling method in Iran. Due to the extensive usage of non-selective insecticides against *T. vaporariorum*, and their side effects on natural enemies, we used in the present study, selective, harmless, and eco-friendly insecticides. In this research, we evaluated the lethal and sublethal efficiency of two insecticides, thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen. Thiocyclam hydrogen oxalate is a broad-spectrum systemic as well as a contact insecticide. It is highly effective against a wide range of insect pests, particularly sucking mouth parts (e. g., aphids, leafhoppers, and whiteflies). Spiromesifen, is known as a non-systemic insecticide which belongs to the spirocyclic pheny substituted tetronic acid class. It is effective against a broad spectrum of pests and it disrupts the biosynthesis of lipids including triglycerides and free fatty acids. Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen were studied by considering the biological properties and life table parameters of *T. vaporariorum*. Our results may improve *T. vaporariorum* control efficiency in greenhouses meanwhile using reduced concentrations of these insecticides, which may be resulted in hindered host resistance to aforementioned insecticides and reduced their residuals on greenhouse crops.

Materials and Methods

The colony of whitefly was collected on ornamental crops (vervain and hollyhocks) at the greenhouse in Department of Horticulture at Urmia University during September 2023. The gathered whitefly population was reared on bean (var. MINA) in plastic pots (15 × 19 cm) under controlled greenhouse conditions (27 ± 2°C, 65% ± 5% RH, and a photoperiod of 16: 8 L: D h).

The dipping method was used for bioassay and life table studies against third instar nymphs of *T.*

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/jpp.2024.91255.1214

vaporariorum. The LC_{50} value of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen insecticides for third instar nymphs of the whitefly were obyained 392.627 and 854.871 ppm, respectively after 24 hours. The obtained LC_{25} concentrations (117.520 and 731.548 ppm), were used to estimate the sub-lethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen on the biological parameters of third instar nymphs of the greenhouse whitefly. To study the sublethal effects of both used insecticides, 50 same-aged of the third instar nymphs of the greenhouse whitefly were selected from the insect colony and then dipped in above mentioned sublethal concentrations of insecticides. The treated nymphs were transferred into petri dishes until the adults were appear. After adult emergence their eggs were used to life table studies. The age stage, two-sex life table method was used to analyze the collected data. We used the bootstrap technique with 100,000 iterations to estimate the variance and standard errors of the biological and population parameters and Sigma Plot software used to draw graphs. The growth of the pest population in a period of 60 days was done with Timing-MsChart software.

Results and Discussion

The present study demonstrated that thiocyclam hydrogen oxalate insecticide showed more acute toxicity on third instar nymphs of the greenhouse whitefly. Moreover, exposure of third instar nymphs to sublethal concentrations (LC_{25}) negatively affected the development, survival, and reproductive characteristics and demographic factors. According to our findings, sublethal concentration of examined insecticides showed a significant increase in pre-adult duration of the pest on thiocyclam hydrogen oxalate treatment compared to spiromesifen and control treatments. The female adult's lifespan/longevity was affected due to the usage of sublethal concentration of mentioned insecticides. The lowest duration of pre-reproductive period (APOP) in control treatment was recorded as 1.33 days, while this parameter increased in treatments exposed to insecticides. Fecundity was reduced significantly in sublethal concentration of the insecticides compared to the control. The highest value of fecundity in control treatment was recorded 11.85 eggs per female and the lowest value in thiocyclam hydrogen oxalate was obtained 1.7 eggs per female. The mean oviposition period of greenhouse whitefly decreased from 4.44 days in control to 1.4 and 1.38 days in LC_{25} concentration of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen, respectively. All biological table parameters (R_0, r and λ) of *T. vaporariorum* treated with sublethal concentration of the used insecticides were significantly affected compared to the control. The sublethal concentration of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen reduced the net reproductive rate (R_0) from 4.21 eggs per female in each generation in the control treatment to 0.29 and 0.54 egg in LC_{25} concentration of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen, respectively. The intrinsic rate of increase (r) in sublethal concentration mention insecticides were recorded 0.0176 and -0.0271(day^{-1}) and in control (0.0525 day^{-1}). Other parameters, such as finite rate of increase (λ) and gross reproductive rate (*GRR*), in spiromesifen and thiocyclam hydrogen oxalate treatments were also significantly lower than the control treatment. The mean generation time (T) of the greenhouse whitefly affected by the LC_{25} concentration of spiromesifen compared to the control treatment.

Conclusions

The overall results demonstrated that both of the used insecticides could be considered as effective insecticides in management of *T. vaporariorum*.

Keywords*:* Biological properties, Greenhouse whitefly, Insecticides, Population growth

پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص. ۱۵۲-۱۳۳

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌های تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی جدول زندگی و پیش‌بینی روند جمعیتی سفیدبالک گلخانه، *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae)

مه سا عبداله زاده بوانی[۱]- فریبا مهرخو[۲*]- مریم فروزان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶

چکیده

سفیدبالک گلخانه، (*Trialeurodes vaporariorum*)، آفتی پلی‌فاژ با تعداد نسل زیاد است و از نظر اقتصادی آفت مهم گیاهان جالیزی و گلخانه‌ای می‌باشد. در این پژوهش، اثر غلظت‌های کشنده و زیرکشنده دو حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات (LC_{25}=۵۸/۷۶ میلی‌گرم ماده موثره بر لیتر) و اسپیرومسیفن (LC_{25}=۱۷۵/۵۷ میلی‌گرم ماده موثره بر لیتر) بر فراسنجه‌های جدول زندگی و پیش‌بینی روند رشد جمعیت *T. vaporariorum* در شرایط آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. روش مورد استفاده در زیست‌سنجی‌ها، غوطه‌ور کردن برگ‌های لوبیا حاوی پوره به مدت ۲۰ ثانیه در ترکیب حشره‌کش‌های مذکور بود. مطالعات جدول زندگی با ۵۰ عدد تخم هم‌سن انجام یافت. تجزیه داده‌ها با استفاده از تئوری جدول زندگی دو جنسی ویژه سن-مرحله رشدی و با استفاده از برنامه TWOSEX-MSChart انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از غلظت زیرکشنده تیوسیکلام هیدروژن اکسالات منجر به طولانی شدن مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه گردید. همچنین، هر دو حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن باعث کاهش طول عمر حشرات کامل و میزان باروری *T. vaporariorum* نسبت به شاهد شد. استفاده از غلظت زیرکشنده حشره-کش‌ها منجر به کاهش فراسنجه‌های رشد جمعیت (r، λ و R_0) سفیدبالک گلخانه گردید. میزان نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ متناهی افزایش جمعیت و نرخ خالص تولیدمثل ترتیب در شاهد، تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن شامل (۰/۰۵۲۵±۰/۰۰۶ بر روز، ۱/۰۵±۰/۰۰۶ بر روز و ۴/۲۱±۰/۷۳ نتاج)، (۰/۰۱۷۶±۰/۰۰۰۴ بر روز، ۰/۹۵±۰/۰۱بر روز و ۰/۲۹±۰/۱۰ نتاج) و (۰/۰۲۷۱±۰/۰۰۰۲ بر روز، ۰/۹۷±۰/۰۰۹ بر روز و ۰/۵۴±۰/۱۱نتاج) به دست آمد. همچنین، نتایج حاصل از پیش‌بینی روند جمعیتی سفیدبالک گلخانه با فراسنجه‌های رشد جمعیت مطابقت داشت. به عنوان مثال، با افزایش مدت زمان یک نسل حشره (T)، در نتاجی که والدین آنها با غلظت زیرکشنده تیوسیکلام هیدروژن اکسالات تیمار شده بودند، سرعت رشد جمعیتی کمتری داشتند. مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که هر دو حشره‌کش مورد استفاده می‌توانند به عنوان حشره‌کش های موثر در مدیریت سفیدبالک گلخانه مدنظر قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: حشره‌کش‌ها، رشد جمعیت، سفید بالک گلخانه، ویژگی های زیستی

مقدمه

با توجه به شرایط دما و رطوبت حاکم بر گلخانه‌ها، آفات زیادی در این محیط فعالیت دارند، سفیدبالک گلخانه یکی از آفات مهم و پلی‌فاژ هست که سبب کاهش کمی و کیفی تولید محصولات گلخانه‌ای می‌شود (Lahiri *et al.*, 2022). پوره‌ها و حشرات کامل این آفت به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به گیاه آسیب می‌رسانند، در خسارت مستقیم، با تغذیه از شیره گیاهی منجر به کلروز، ضعف کلی گیاه میزبان و کاهش شادابی و بهره‌وری گیاه می‌شود (Alegbejo & Banwo, 2005; Colvin *et al.*, 2006; Prijović *et al.*, 2013). در خسارت غیرمستقیم، با دفع عسلک، منجربه رشد قارچ دوده‌ای می‌شود و این بر روند فیزیولوژی گیاه تأثیر می‌گذارد (Bi *et al.*, 2002). همچنین این حشره می‌تواند ناقل ویروس‌های گیاهی همچون ویروس پیچیدگی و زردی برگ گوجه فرنگی (TYLCV)،

۱ و ۲- گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: f.mehrkhou@urmia.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.91255.1214

ویروس زردی دروغی چغندرقند (BPYV) و ویروس موزاییک طلایی لوبیا (BGMV) باشد (Bi *et al*., 2002; Wintermantel *et al*., 2009; Karatolos *et al*., 2010; Reshadat-Salvanagh *et al*., 2024). سفیدبالک دارای دامنه میزبانی وسیع متشکل از ۳۰۰ نوع از ۸۲ خانواده گیاهی است که مهم‌ترین میزبان‌های آن عبارتند از گیاهان خانواده کدوئیان، بادمجانیان، باقلاییان و سبزیجات گلخانه‌ای که از مهم‌ترین آنها می‌توان به گوجه‌فرنگی، خیار و گیاهان زینتی اشاره کرد (Pavela, 2009). بررسی‌ها به‌خوبی نشان می‌دهد که سفیدبالک‌ها در تمام طول سال در گلخانه‌ها فعال هستند (Subba *et al*., 2017). بنابراین یکی از چالش‌های مهم در گلخانه‌ها، کنترل جمعیت سفیدبالک گلخانه می‌باشد (Menke & Gerhard, 2010; Nasruddin *et al*., 2021). روش‌های مختلفی جهت کنترل آفت گلخانه‌ای سفیدبالک وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به روش‌های زراعی، مکانیکی، رفتاری، بیولوژیک و شیمیایی اشاره کرد (Alibakhshi *et al*., 2020). استفاده از حشره‌کش‌ها تنها استراتژی آسان و مقرون به‌صرفه برای مقابله با بندپایان آفت در بسیاری از سیستم‌های تولید محصول به‌شمار می‌رود (Hudson *et al*., 1996). کنترل سفیدبالک‌ها نیز وابسته به استفاده از حشره‌کش‌های شیمیایی می‌باشد (Cuthbertson *et al*., 2012; Basit *et al*., 2013). به‌طوری‌که طی سالهای گذشته جهت کنترل این آفت صرفا از روش‌های شیمیایی استفاده شده است (Zapata *et al*., 2016; Duhan *et al*., 2017). مبارزه شیمیایی با سفیدبالک به‌علت تخم‌گذاری افراد بالغ و رشد و نمو پوره‌ها در سطح زیرین برگ و نیز مقاومت سفیدبالک به تعداد زیادی از حشره‌کش‌ها مشکل می‌باشد (Bi & Toscano, 2007; Heidari *et al*., 2005). به‌ویژه اینکه در سالهای اخیر این آفت در اثر استفاده مداوم و غیر اصولی حشره‌کش‌های شیمیایی حالت طغیانی پیدا کرده و نژادهای مقاوم این آفت در اثر سم‌پاشی‌های غیر اصولی به‌وجود آمده است (Schmuttere, 2002). گزارش‌هایی از بروز مقاومت به حشره‌کش‌های پیرتروئید، کاربامات و ارگانوفسفات از جمله دیمتوات توسط این آفت صورت گرفته است (Menke & Gerhard, 2010). ویژگی‌های زیستی سفیدبالک مانند قدرت تولیدمثلی بالا، تعداد نسل زیاد در سال و چندین‌خوار بودن توانایی این حشره برای بروز مقاومت در برابر حشره‌کش‌ها را افزایش می‌دهد (Bi & Toscano, 2007).

عوارض جانبی مرتبط با مصرف متوالی حشره‌کش‌ها در محیط زیست و موجودات غیر هدف، استفاده از استراتژی کنترل جایگزین و سازگار با محیط زیست را به‌صورت فوری ترویج می‌کند (Kapantaidaki *et al*., 2018; Patra & Kumar Hath, 2022; Mota-Sanchez & Wise, 2023). لذا به‌منظور تعویق در رشد و توسعه مقاومت سفیدبالک گلخانه در برابر حشره‌کش‌های مصرفی، یافتن جایگزین‌هایی که رویکرد موثر و سازگار با محیط زیست داشته باشد ضروری است (Avery *et al*., 2015). مطالعات متعددی پیرامون اثرات جانبی حشره‌کش‌های مختلف روی این حشره انجام شده است (Omer & Leigh, 1995; Simmonds *et al*., 2002; Heidari *et al*., 2005) اگرچه مواردی از اثرات جانبی حشره‌کش‌های بوپروفزین (Kumar & Singh, 2014)، آزادیراختین (Nikakhtar *et al*., 2022)، کالیپسو (Safavi & Bakhshaei, 2017) و آبامکتین (Beheshti *et al*., 2022) بر ویژگی‌های رفتاری، فراسنجه‌های زیستی و تولیدمثلی *T.vaporariorum* وجود دارد، با این‌حال تاکنون اطلاعات جامع و کاملی در خصوص اثرات کشندگی و زیرکشندگی حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی گونه مذکورموجود نمی‌باشد. اسپیرومسیفن یک ترکیب جدید و متعلق به گروه شیمیایی کتونول‌ها است که در سراسر جهان برای کنترل کنه و سفیدبالک روی سبزیجات، میوه‌ها، پنبه و چای استفاده می‌شود. این حشره‌کش روی تمام مراحل رشد کنه‌ها و سفیدبالک موثر بوده و منجر به کنترل طولانی مدت این آفات می‌شود. این حشره‌کش برای حشرات مفید بی‌خطر است (Saidi & Ziaei, 2017). اسپیرومسیفن به‌عنوان یک حشره‌کش و کنه‌کش با عملکرد خاص در مزارع و گلخانه‌ها استفاده می‌شود (Asadi *et al*., 2019; Sarbaz *et al*., 2017). این ترکیب به‌عنوان مهار کننده سنتز لیپید عمل می‌کند و به‌دلیل نحوه اثر آن می‌تواند به‌عنوان یک ترکیب ایمن در مواردی که سفید بالک‌ها به ترکیبات دیگر مقاومت نشان داده‌اند استفاده شود (Rakhshani, 2005; Abdollahzadeh-Bovani *et al*., 2024; Hosseininia *et al*., 2017). حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات حشره‌کشی با منشا بیولوژیک است که دارای خاصیت حشره‌کشی تماسی-گوارشی و سیستمیک خفیف بوده و با مهارکردن گیرنده نیکوتینی استیل کولین در سامانه عصبی مرکزی حشره باعث فلج و در نهایت مرگ حشره می‌شود (Ebneabbasi *et al*., 2023). این حشره‌کش کارآیی قابل قبولی برای کنترل آفاتی نظیر مگس‌های مینوز جالیز (Sheikhigarjan *et al*., 2021)، پروانه مینوز گوجه‌فرنگی، تریپس و سفیدبالک گلخانه دارد (Zawrah *et al*., 2020; Sheikhigarjan *et al*., 2021). از جمله راهکارهایی که در کشاورزی نوین به‌منظور کاهش اثرات نامطلوب آفت‌کش‌های مصرفی در زیست‌بوم‌های مختلف کشاورزی مورد توجه قرارگرفته، استفاده از غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مصرفی است (Erdogan *et al*., 2021). فاکتورهای غیر زنده، نظیر آب و هوا باعث می‌شود موجودات هدف و غیرهدف غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها را در محصولات زراعی دریافت کنند (Dai *et al*., 2021; Guedes *et al*., 2016). باید خاطر نشان کرد که غلظت‌های زیرکشنده می‌تواند منجر به اختلال در ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رفتاری گردد (Desneux *et al*., 2007). بنابراین در این پژوهش، تأثیر غلظت-

هـای کشـنده و زیرکشـنده حشـره‌کـش‌هـای تیوسـیکلام هیـدروژن اکسالات و اسپیرومسـیفن روی ویژگیهـای زیسـتی و فراسـنجه‌هـای جدول زندگی جمعیت سفیدبالک در شرایط گلخانـه‌ای مـورد بررسـی قرار گرفت تا ضمن بررسی کارآیی این حشره‌کش‌ها در تلفات جمعیت سفیدبالک، ارزیابی دقیقی از تأثیر غلظت زیرکشنده آنها روی زنده‌مانی و تولیدمثل و سایر خصوصـیات زیسـتی آن صـورت گیـرد. نتـایج مـا ممکـن اسـت کـارآیی کنتـرل *T. vaporarium* را در گلخانـه‌هـا بـا استفاده از غلظت کاهش یافتـه ایـن حشـره‌کـش‌هـا بهبـود ببخشـد. همچنین ممکن است در مقاومت میزبـان در برابـر حشـره‌کـش‌هـا و کاهش باقیمانده در محصولات گلخانه‌ای نقش داشته و کاربرد بهتر و دقیق‌تری از این حشـره‌کـش‌هـا را در برنامـه‌هـای مـدیریت تلفیقـی سفیدبالک ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

کشت گیاه میزبان، پرورش سفیدبالک گلخانه

پرورش گیاه میزبان و سفیدبالک گلخانه، براسـاس روش عبدالـه زاده بـوانی و همکـاران (Abdollahzadeh-Bovani *et al.*, 2024) صورت گرفت. آزمایش‌ها روی گیاه لوبیا، رقم مینـا (MINA)، انجـام گرفـت، بـه¬طوری‌کـه بـذرها قبـل از کاشـت، در آب خیسـانده و ضدعفونی شدند. کاشت لوبیا در گلدان‌های پلاستیکی به ابعاد ۱۹×۱۵ سانتی‌متر حاوی خاک شن و پیت‌ماس (خاک سبک) بوده و تعـداد ۶-۴ عدد بذر در هر گلدان استفاده گردید. نشـاهای قـوی حفـظ شـده و نشـاهای ضـعیف تنـک شـدند. پـرورش گیاهـان در گلخانـه گـروه گیاهپزشکی دانشگده کشاورزی دانشگاه ارومیه با شرایط نوری ۱۶ : ۸ ساعت روشنایی : تاریکی، دمای ۲±۲۷ درجه سـانتی‌گـراد و رطوبـت نسبی ۵±۶۵ درصد انجام گرفت. گلـدان‌ها بـه¬صـورت یـک روز در میان آبیاری شدند. عملیات داشت به‌طور یکسان برای تمام گلـدان‌هـا اعمال شد. کلنی اولیه و مورد نیاز بـرای پـرورش سـفیدبالک گلخانـه جهت انجام آزمایش‌ها، از روی گیاهـان زینتـی (شـاه‌پسـند و ختمـی) موجود در گلخانه‌های دانشـکده کشـاورزی، بـا اسـتفاده از آسـپیراتور مکنده جمع‌آوری و برای تأیید گونه به مؤسسـه گیاهپزشـکی ارسـال گردید، سپس به داخل قفس‌های چوبی (به ابعاد ۹۰×۶۰× ۵۰ سانتی-متر) حاوی گلدان‌های لوبیا رهاسازی شـدند. جهـت هـم‌سـن سـازی کلنی، حشرات کامل سفیدبالک رهاسازی‌شده به داخل قفـس، بعـد از گذشت ۲۴ ساعت، حشرات کامل از داخل قفس حذف شـدند. بعـد از گذشـت تقریبـی ۲۲ روز (Reshadat-Salvanagh, 2024) جمعیـت زیادی از سفیدبالک روی گیاه ایجاد و کلنی بـا جمعیـت کـافی بـرای انجـام آزمـایش‌هـا فـراهم شـد. کلنـی حشـرات قبـل از اسـتفاده در آزمایش‌ها، حداقل به‌مدت دو تا سه نسل روی گیـاه میزبـان پـرورش داده شدند.

حشره‌کش‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها

تیوسیکلام هیدروژن اکسالات SP50% (پودر قابل حل در آب با نام تجاری اویسکت (Evisect SP 50%) ساخت کشور چین، شرکت آریستا لایف ساینس با دوز توصیه‌شده ۰/۷۵ کیلوگرم در هکتار، دارای اثر تماسی، گوارشی و منشأ آن یک نوع کرم دریایی (*Lumbrinereis heteropoda*) است. اسپیرومسیفن® (Oberon) (SC) ساخت کشور آلمـان از گـروه تترونیـک اسـیدها می‌باشـد کـه فرمولاسـیون ۴۸۰ سوسپانسیون آن، مورد استفاده گرفت (Nourbakhsh, 2019).

زیست‌سنجی

غلظت توصیه‌شده روی برچسب حشره‌کش‌ها، برای حشره‌کـش-های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات (۰/۷۵کیلوگرم در هکتار) و بـرای اسپیرومسـیفن (۰/۴ لیتـر در هکتـار) اسـت (Nourbakhsh, 2019). آزمایش‌های مقدماتی برای تخمین و به دست آوردن غلظت‌های لازم درچهار تکرار انجام شد. برای تعیین غلظـت‌هـا در آزمـون اصـلی، بـا استفاده از فواصل لگاریتمی غلظت‌های بین دو غلظـت بـالا و پـایین، محاسبه و در آزمایش اصلی زیست‌سنجی برای تعیـین LC_{50} و LC_{25} اسـتفاده شـد (Piri Ouchtape *et al.*, 2024). سـپس، بـا تجزیـه پروبیت (Finney, 1971) داده‌های مربوط به LC_{50} و LC_{25} برای هر تیمار با استفاده از نرم‌افزار SPSS محاسبه شد. بنابراین از پنج غلظت و شاهد برای حشره‌کش‌های مورد مطالعـه در آزمـون اصـلی اسـتفاده گردید. غلظت‌های استفاده‌شـده در آزمـون اصـلی بـرای تیوسـیکلام هیدروژن اکسالات ۸۵۰ پی‌پی‌ام و برای اسپیرومسیفن ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام بود. فرو بردن برگ‌های لوبیا حاوی پوره سن سوم در غلظت‌های مورد نظر روش زیست‌سنجی برای انجام آزمایش‌ها بـود (Kapantaidaki *et al.*, 2018). بدین منظور، برگ‌های آلوده به پوره سن سوم انتخاب شده و در هر برگ آلوده، ۱۵ عدد پوره شمارش و حفـظ شـده و بقیـه پوره‌ها یا سایر مراحل زیستی از روی برگ حذف شدند. سـپس بـرگ حاوی پوره، داخل غلظت‌های مورد نظر به‌مـدت ۲۰ ثانیـه فـرو بـرده شده و پس از ۰/۵ ساعت (جهت خشک شدن قطرات حشره‌کش)، به درون تشتک‌های پتری هشت سانتی‌متری منتقل شـدند. بـا پیچیـدن پنبه مرطوب به دور دمبرگ، رطوبت بـرگ در طـول آزمـایش تـأمین گردید. سپس تشتک‌های پتری به اتاقک رشد با دمـای ۱±۲۵ درجـه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد، دوره نوری ۱۶ : ۸ (تـاریکی : روشنایی) منتقل شدند. در این آزمایش، پوره‌هایی که خشـک شـده و یا تغییر رنگ داده بودند، مرده تلقی شد (Nikakhtar *et al.*, 2022). میـزان تلفـات افـراد تیمـارشـده پـس از طـی ۲۴ سـاعت ثبـت شـد (Mahmoodi *et al.*, 2020; Safavi & Bakhshaei, 2017). غلظت زیرکشـنده LC_{25} حشـره‌کـش‌هـا، ۲۴ سـاعت پـس از تیمـار محاسبه و مورد استفاده قرار گرفتند. برای شاهد، برگ‌های لوبیا حاوی

پوره داخل آب مقطر غوطه‌ور شدند. در آزمایش مذبور، برای هر تیمار چهار تکرار در نظر گرفته شد.

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر فراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیتی سفیدبالک

جهت مطالعه اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر فراسنجه‌های زیستی و تولیدمثلی سفیدبالک، به‌ترتیب از غلظت LC_{25} (۱۱۷/۵۲ و ۷۳۱/۵۴۸) به‌دست‌آمده در آزمایش زیست‌سنجی استفاده شد. برای این منظور، ابتدا تعداد ۵۰ عدد پوره سن سوم روی برگ مستقر شده و به داخل غلظت زیرکشنده به مدت ۲۰ ثانیه فروبرده شدند، با ظهور حشرات کامل و رهاسازی آن‌ها روی بوته‌های لوبیا و تخم‌ریزی روی بوته، ۵۰ عدد تخم هم‌سن، به‌عنوان جمعیت اولیه انتخاب و در مطالعات جدول زندگی سفیدبالک مورد بررسی قرار گرفتند. بعد از تفریخ تخم‌ها و ظهور پوره‌های سن اول، به حالت انفرادی به درون ظروف پلاستیکی (ارتفاع چهار و قطر دو سانتی‌متر) حاوی برگ لوبیا عاری از حشره‌کش، منتقل شدند. با پیچیدن پنبه مرطوب، به دور دمبرگ رطوبت برگ تأمین شده و از توری جهت تهویه استفاده شد. پس از ظهور حشرات کامل نسل اول و تفکیک جنسیتی آن‌ها (Shahbazvar *et al.*, 2011; Gerling, 1990)، به‌صورت جفت داخل ظروف پلاستیکی (ارتفاع چهار و قطر دو سانتی‌متر) حاوی برگ لوبیا رهاسازی شدند. بدین ترتیب میزان بقا، مرگ‌ومیر روزانه مراحل نابالغ و طول عمر حشرات کامل، طول دوره‌های قبل، بعد تخم‌ریزی و باروری روزانه تا زمان مرگ همه آن‌ها به‌صورت روزانه ثبت شد. در طول مطالعات جدول زندگی، برگ‌های تازه و عاری از حشره‌کش، هر ۴-۳ روز یک‌بار جایگزین برگ‌های قدیمی شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه داده‌ها برای تخمین مقادیر مختلف LC با استفاده از روش پروبیت نرم‌افزار آماری SPSS انجام گرفت (SPSS 2019). فراسنجه‌های جدول زندگی سفیدبالک با استفاده از تئوری جدول زندگی دوجنسی ویژه سن- مرحله رشدی و با استفاده از نرم‌افزار TWO-SEX MSChart مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند (Chi, 2020 a; Chi, 1988; Chi & Liu, 1985). میانگین، واریانس و خطای معیار فراسنجه‌های زیستی با استفاده از تکنیک بوت‌استرپ و با ۱۰۰۰۰۰ نمونه‌برداری محاسبه گردید. به‌منظور مقایسه داده‌های به‌دست‌آمده از تکنیک بوت‌استرپ جفت‌شده (Paired bootstrap) و نرم‌افزار TWO-SEX MSChart استفاده شد. پیش‌بینی روند رشد جمعیت سفیدبالک در تیمارهای مختلف مورد مطالعه در دوره زمانی ۶۰ روزه با استفاده از نرم‌افزار TIMING-MSChart انجام شد (Chi, 2021b). رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Sigmaplot (Ver. 14.0) انجام شد.

نتایج:

مقادیر غلظت‌های کشنده و زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن، ۲۴ ساعت بعد از تیمار پوره سن سوم سفیدبالک برآورد شد (جدول ۱). مطابق با نتایج، مقدار LC_{50} برای تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن به‌ترتیب ۳۹۲/۶۲۷ و ۸۵۴/۸۷۱ پی‌پی‌ام (۱۹۶/۳۱۳ میلی‌گرم ماده مؤثره بر لیتر و ۲۰۵/۱۶۹ میکرولیتر ماده مؤثره بر لیتر) به دست آمد. این نتایج بیانگر سمیت بیشتر تیوسیکلام هیدروژن اکسالات نسبت به اسپیرومسیفن روی پوره سفیدبالک گلخانه بود.

جدول ۱- اثرکشندگی (LC_{50}) تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بعداز ۲۴ ساعت روی پوره سن سوم سفیدبالک گلخانه

Table 1- Lethal effect (LC_{50}) of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen after 24 hours on the third instar nymph of *Trialerodes vaporariorum*

Insecticides	LC_{25} (ppm)	LC_{50} (ppm)	Slope ± SE Slope	χ^2(df)	No.
Thiocyclam hydrogen oxalate	117.520 (58.76 mg ai.L^{-1}) (47.27-174.79)	392.627(196.313mg ai.L^{-1}) (299.41-535.51)	1.28±0.282	1.375 (3)	300
Spiromesifen	731.548 (175.57 µl ai.L^{-1}) (695.88-760.96)	854.871(205.169 µl ai.L^{-1}) (823.40-893.23)	9.96±1.15	1.476 (3)	300

اثرحشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات واسپیرومسیفن بر طول دوره زیستی سفیدبالک گلخانه

تجزیه آماری داده‌های مربوط به بررسی اثر دو حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی طول دوره زیستی سفیدبالک گلخانه در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که از مقایسه میانگین فراسنجه‌ها مشاهده می‌شود، حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات، طول دوره تخم و پورگی را نسبت به حشره‌کش اسپیرومسیفن و شاهد افزایش داد. همچنین، بیشترین افزایش طول

دوره شفیرگی نیز مربوط به حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات با ۴/۵۷±۰/۲۲ روز می‌باشد. بیشترین و کمترین طول دوره مراحل نابالغ به‌ترتیب مربوط به حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات، شاهد و اسپیرومسیفن بود (جدول ۲). همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که نرخ زنده‌مانی مراحل نابالغ این آفت مربوط به نسل اول که والدین آن‌ها با غلظت LC_{25} تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن تیمار شده بودند، نیز تحت تأثیر قرار گرفتند. به‌طوری‌که حشره‌کش اسپیرومسیفن باعث بیشترین مرگ‌ومیر افراد نابالغ نسبت به تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و شاهد شدند (جدول ۲).

جدول ۲- تأثیر غلظت زیرکشنده (LC_{25}) دو حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر طول دوره مراحل نابالغ و نرخ زنده‌مانی سفیدبالک گلخانه

Table 2- The sublethal concentration (LC_{25}) effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen insecticides on developmental time and survival rate of greenhouse whitefly

Developmental stage	Control	Thiocyclam hydrogen oxalate	Spiromsifen
Egg (days)	5.07±0.1[b*]	6.67±0.15[a]	4.36±0.1[c]
First instar nymph (days)	5.11±0.1[b]	7.39±0.2[a]	4.21±0.1[c]
Second instar nymph (days)	4.97±0.12[a]	4.92±0.16[a]	3.56±0.12[b]
Third instar nymph (days)	4.79±0.14[a]	4.41±0.17[a]	3.65±0.09[b]
Pupa (days)	3.65±0.13[b]	4.57±0.22[a]	3.97±0.11[b]
Pre-adult period (days)	23.52±0.26[b]	27.64±0.44[a]	19.63±0.17[c]
Pre-adult survival rate (%)	0.78±0.04[a]	0.77±0.05[a]	0.71±0.04[a]

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

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

طول دوره مراحل تخم‌گذاری و باروری سفیدبالک گلخانه تحت‌تأثیر غلظت زیرکشندگی حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن

نتایج این تحقیق نشان داد که طول عمر حشرات کامل مربوط به نسل اول که والدین آن‌ها با غلظت LC_{25} اسپیرومسیفن و تیوسیکلام هیدروژن اکسالات تیمار شده بودند نیز تحت‌تأثیر قرار گرفتند. کل دوره زندگی ماده‌ها در هر سه شاهد، اسپیرومسیفن و تیوسیکلام هیدروژن اکسالات دارای طول عمر بیشتری نسبت به نرها بودند (جدول ۳). به‌طوری‌که نتایج به‌دست‌آمده طبق جدول ۳، حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات نسبت به حشره‌کش اسپیرومسیفن و شاهد باعث کاهش طول عمر حشرات کامل نر شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به بررسی طول دوره پیش از تخم‌گذاری، کل دوره پیش از تخم‌گذاری و طول دوره تخم‌گذاری سفیدبالک گلخانه تحت تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، حشره‌کش‌های اسپیرومسیفن و تیوسیکلام هیدروژن اکسالات باعث افزایش طول دوره‌های پیش از تخم‌گذاری (APRP)[1] شد. همچنین هر دو حشره‌کش باعث کاهش دوره تخم‌ریزی نسبت به شاهد شدند و بین تیمارها و شاهد از این لحاظ تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P<0/05$). نتایج مربوط به میزان باروری حشرات کامل F1 بیانگر تأثیر غلظت زیرکشنده بود، به‌طوری‌که ماده‌های حاصل از نسل اول تیمارشده با غلظت زیرکشنده اسپیرومسیفن (۲/۲۵±۰/۳)، تیوسیکلام هیدروژن اکسالات (۱/۷۰±۰/۳۳) و شاهد (۱۱/۸۵±۰/۹۵) تخم در طول عمر خود داشتند (جدول ۳).

فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه تحت تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن

نتایج مقایسه میانگین فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. در این تحقیق، کمترین و بیشترین نرخ خالص تولیدمثلی (R_0) مربوط به تیمار تیوسیکلام هیدروژن اکسالات (۰/۲۹) و شاهد (۴/۲۱) نمف/ به‌ازای هر ماده بود، که حاکی از تأثیر منفی بیشتر این تیمار نسبت به شاهد می‌باشد، اگرچه اختلاف معنی‌داری بین تیمار حشره‌کش‌ها از نظر نرخ خالص تولیدمثلی وجود نداشت. نرخ ناخالص تولیدمثل نیز (GRR) کمترین و بیشترین میزان را به‌ترتیب در تیمارهای تیوسیکلام هیدروژن اکسالات (۰/۵۴) و شاهد (۸/۶۲) نتاج/ به‌ازای هر ماده داشت و بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. مقدار فراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) که یکی از مهم‌ترین فراسنجه‌های رشد جمعیتی

1- Adult pre reproductive period

پایدار می‌باشد، تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش کاهش پیدا کرد. بیش‌ترین مقدار این فراسنجه در شاهد (۰/۰۵۲۵ بر روز) به دست آمد. براساس نتایج حاصل، مقدار فراسنجه نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) تحت تأثیر حشره‌کش‌های مورد آزمایش نسبت به شاهد (۱/۰۵ بر روز)کاهش یافته، به‌طوری‌که در حشره‌کش اسپیرومسیفن (۰/۹۷ بر روز) و در حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات (۰/۹۵ بر روز) مشاهده گردید. نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) بیانگر نسبت افزایش جمعیت پایدار هر روز نسبت به روز قبل می‌باشد، این مقدار نشان می‌دهد که جمعیت هر روز نسبت به روز قبل به چند نسبتی افزایش خواهد یافت. متوسط زمان یک نسل (T)، مدت زمانی است که جمعیت به اندازه نرخ خالص تولیدمثل افزایش می‌یابد. در فراسنجه مدت زمان یک نسل (T) بیشترین مقدار این فراسنجه در تیمار تیوسیکلام هیدروژن اکسالات (۲۹/۰۷ روز) ثبت گردید. براساس نتایج به‌دست‌آمده، حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات باعث افزایش معنی‌داری در مقدار این فراسنجه نسبت به شاهد شد (چهار روز).

جدول ۳- تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر طول عمر حشرات کامل، باروری و طول دوره تخم ریزی سفیدبالک گلخانه

Table 3- The sublethal concentrations (LC_{25}) effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen insecticides on adult longevity, fecundity and reproductive days of greenhous whitifly

Biological stage	Treatments		
	Control	Thiocyclam hydrogen oxalate	Spiromsifen
Male longevity (days)	5.67±0.19[a*]	2.23±0.22[c]	3.17±0.21[b]
Total male longevity (days)	29.42±0.42[a]	29.58±0.56[a]	23.17±0.36[b]
Female longevity (days)	6.3±0.25[a]	3.44±0.17[b]	3.89±0.21[b]
Total female longevity (days)	29.52±0.46[b]	31.5±0.65[a]	23.34±0.3[c]
Adult pre-reproductive period (days)	1.33±0.13[b]	1.5±0.22[ab]	1.79±0.16[a]
Total pre-reproductive period (days)	24.56±0.43[b]	28.3±0.75[a]	21.46±0.29[c]
Reproductive days (days)	4.44±0.26[a]	1.4±0.22[b]	1.38±0.12[b]
Fecundity (eggs/female)	11.85±0.95[a]	1.70±0.33[b]	2.25±0.3[b]

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

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

جدول ٤- تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه

Table 4- The sublethal concentration (LC_{25}) effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen insecticides on population growth parameters of greenhouse whitefly

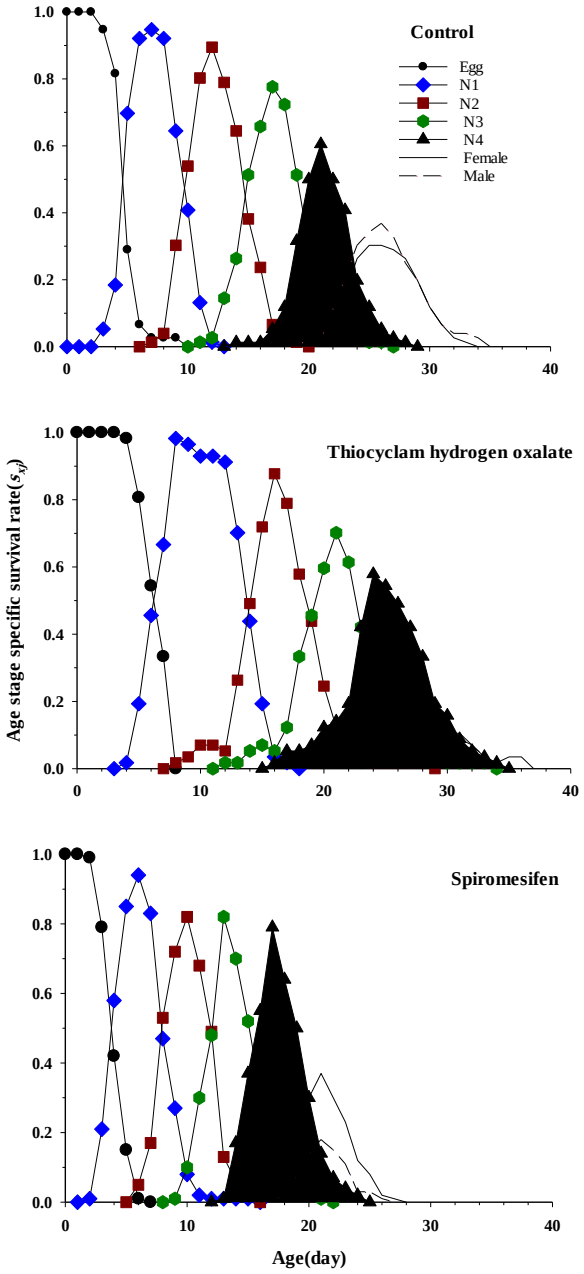
Parameter	Treatment (mean ± standard error)		
	Control	Thiocyclam hydrogen oxalate	Spiromsifen
Net reproductive rate (R_0) (offspring.individual^{-1})	4.21±0.73[a*]	0.29±0.10[b]	0.54±0.11[b]
Gross Reproductive Rate (GRR) (offspring.individual^{-1})	8.62±1.72[a]	0.54±0.17[b]	1.25±0.33[b]
Intrinsic rate of population growth (r) (day^{-1})	0.0525±0.006[a]	0.0176±0.0004[b]	0.0271±0.0002[b]
Finite rate of increase (λ) (day^{-1})	1.05±0.006[a]	0.95±0.01[b]	0.97±0.009[b]
Mean generation time (T) (day)	27.37±0.04[b]	29.07±0.61[a]	22.73±0.33[c]

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

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

منحنی‌های مربوط به نرخ زنده‌مانی ویژه سن- مرحله زیستی سفیدبالک گلخانه (s_{xj}) تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن در شکل ۱ ارائه شده است. این فراسنجه علاوه‌بر توصیف نرخ زنده‌مانی، روند تغییرات نرخ رشد و نمو در میان افراد مختلف را نیز نشان داده و ما را قادر می‌سازد تا بتوانیم مراحل مختلف زیستی را در صورت رشد و نمو انطباق دهیم. در حقیقت تفکیک نرخ زنده‌مانی به مراحل مختلف زیستی از جمله ویژگی‌های استفاده از آنالیز جدول زندگی دوجنسی ویژه سن- مرحله زیستی می‌باشد که در روش‌های سنتی تجزیه داده‌های جدول زندگی وجود ندارد.

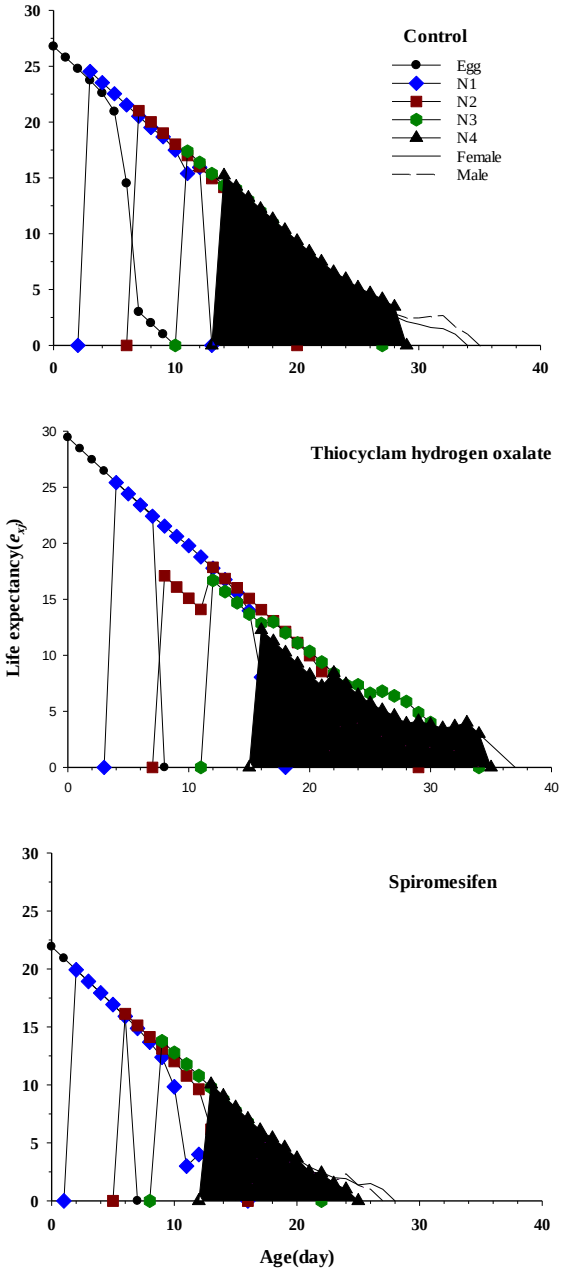
نتایج حاکی از آن است که نرخ بقاء ویژه سنی سفیدبالک گلخانه در زمان ورود به مرحله حشره کامل ماده، با شاهد (۷۸ درصد) و تیمارهای تیوسیکلام هیدروژن اکسالات (۷۷ درصد) و اسپیرومسیفن (۷۱ درصد) بود، به‌طوری‌که کاهش میزان نرخ بقاء مرحله ماده بالغ در غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش نسبت به شاهد مشاهده گردید (شکل ۱).



شکل ۱- اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر نرخ بقاء ویژه سن-مرحله‌ای (s_{xj}) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

Figure 1- Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalat and spiromesifen on age-stage specific survival rate (s_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*

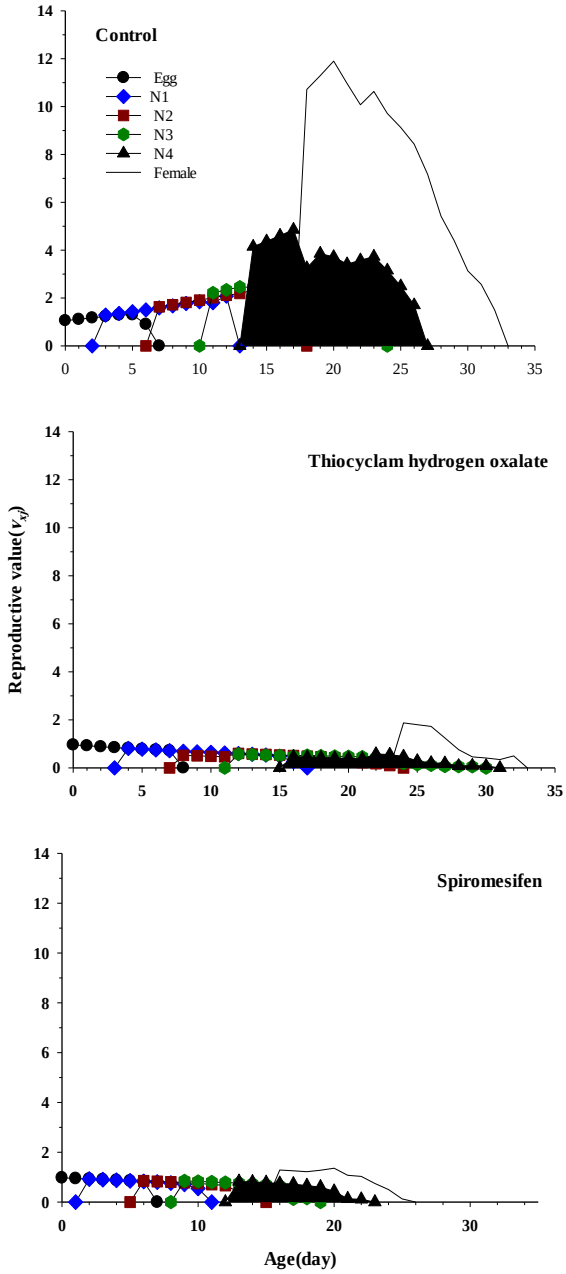
امید به زندگی ویژه سن-مرحله‌ای (e_{xj}) طول عمر پیش‌بینی‌شده سفیدبالک در معرض غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن را نشان می‌دهد (شکل ۲). در شاهد، اولین فرد ماده ۱۰/۹۷ روز امید به زندگی داشت، درحالی‌که در غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روند نزولی داشته و به‌ترتیب به ۵/۹۰ و ۶/۶۹ روز کاهش یافت.



شکل ۲- اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر امید به زندگی سن-مرحله‌ای (e_{xj}) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

Figure 2- Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalat and spiromesifen on life expectancy(*exj*) of *Trialeurodes vaporariorum*

شاخص ارزش تولیدمثل ویژه سن-مرحله رشدی (v_{xj}) میزان سهم هر فرد در ایجاد نسل بعد می‌باشد (شکل ۳). ارزش تولیدمثلی در ماده‌های تیمارشده با غلظت زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش داشته و تحت تأثیر حشره‌کش قرار گرفت. ارزش تولیدمثلی مراحل نابالغ نیز در تیمار زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. با کاهش میزان باروری و زنده‌مانی، به‌تدریج از مقدار این فراسنجه نیز کاسته شده و با رسیدن به مرحله پس از پوره‌زایی، این مقدار به صفر رسید. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، ارزش تولیدمثلی در ماده‌ها در شاهد ۱۱/۹۰ تخم و در ماده های تیمارشده با غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن نسبت به شاهد کاهش یافته و به‌ترتیب به مقادیر ۱/۸۷ و ۱/۳۵ تخم رسید که کاهش چشم‌گیری را نشان داد.

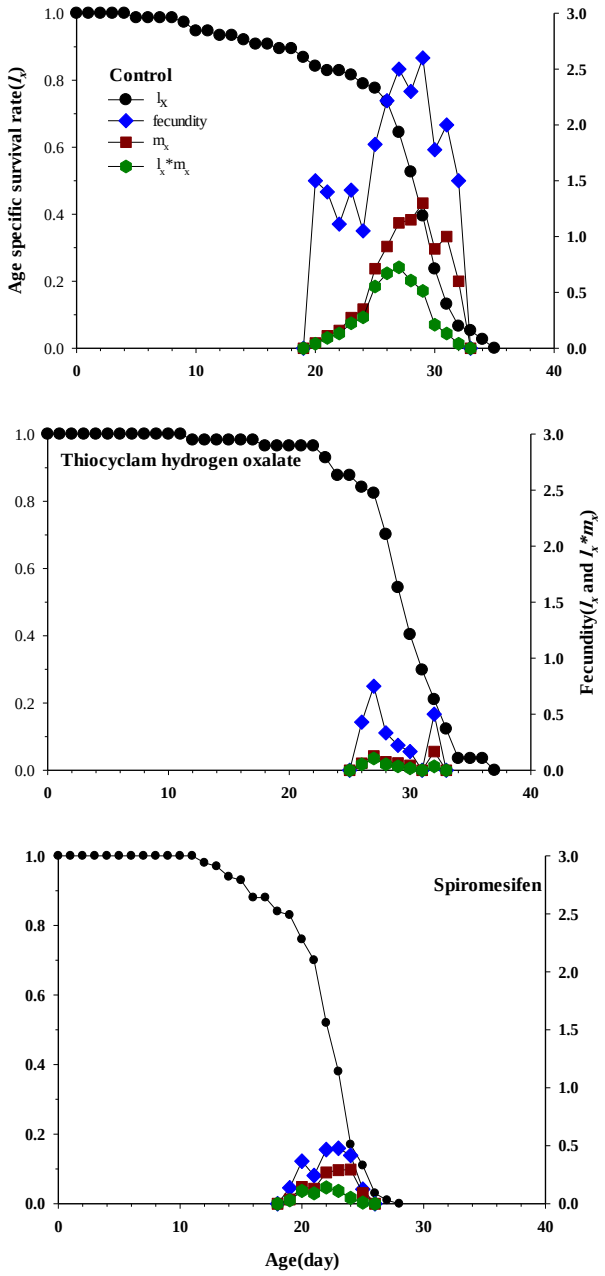


شکل ۳- اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر ارزش تولیدمثلی ویژه سن-مرحله‌ای (v_{xj}) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

Figure 3- Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalat and spiromesifen on age-stage-specific reproductive value (v_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*

بررسی منحنی باروری ویژه سنی (l_xm_x) و باروری ویژه سن-مرحله رشدی (m_x) نشان داد که حشره‌کش‌ها باعث اثرات سوء روی حشرات بالغ سفیدبالک گلخانه شدند و شروع تخم‌ریزی را در آن‌ها نسبت به شاهد به تأخیر انداختند. حشرات کاملی که والدین آن‌ها تحت‌تأثیر حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن قرار گرفتند، با تأخیر وارد مرحله تولیدمثلی شدند (به‌ترتیب ۱/۵ و ۱/۷۹ روز عمر) و این در حالی است که حشرات کاملی که تحت‌تأثیر حشره‌کش قرار نگرفته بود، سریع‌تر از سایر تیمارها وارد

این مرحله از زندگی (۱/۳۳ روز عمر) شدند. نرخ باروری ویژه سن-مرحله رشدی در حشرات ماده (نمف m_x =۱/۳۰) و باروری ویژه سنی حشرات بالغ (نتاج l_xm_x=۰/۷۲) در شاهد نسبت به تیمار حشره‌کش‌ها بیشترین میزان را داشت. کمترین باروری ویژه سنی حشرات بالغ در تیمار تیوسیکلام هیدروژن اکسالات (نتاج l_xm_x=۰/۱) در روز عمر بوده است (شکل ۴).

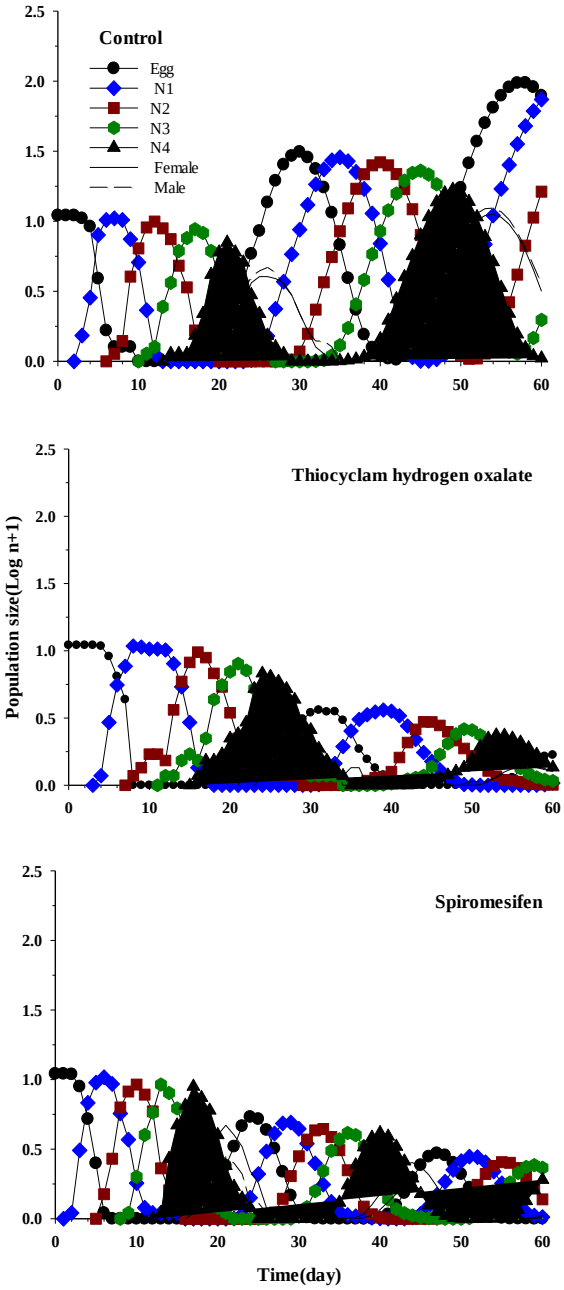


شکل ٤- اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر زنده‌مانی ویژه سنی (l_x)، باروری ویژه سن-مرحله‌ای (m_x) و باروری خالص روزانه (l_xm_x) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

Figure 4- Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalat and spiromesifen on age-specific survival (l_x), age-stage specific fertility (m_x) and age-specific fertility (l_xm_x) of *Trialeurodes vaporariorum*

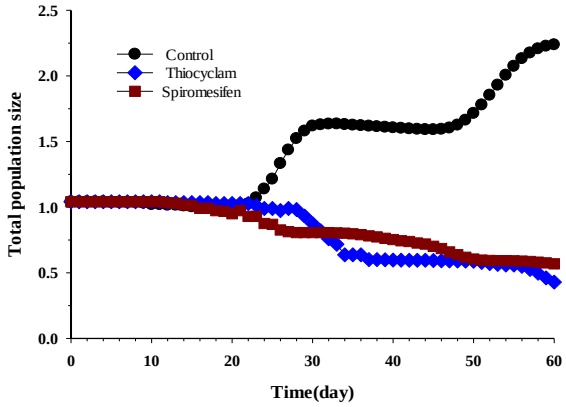
پیش‌بینی رشد جمعیت در هر تیمار با در نظر گرفتن یک بازه زمانی ۶۰ روزه صورت گرفت. کمترین سرعت رشد و نمو مراحل

مختلف رشدی حشره، در تیمار تیوسیکلام هیدروژن اکسالات به‌علت پایین بودن نرخ ذاتی افزایش جمعیت مشاهده شد. بالاترین سرعت رشد و نمو در شاهد ثبت شد (شکل ۵). این مسأله نشان می‌دهد که با کاهش غلظت توصیه‌شده یک حشره‌کش و استفاده از غلظت‌های زیرکشنده می‌توان علاوه‌بر کاهش میزان آفت‌کش مصرفی، از سرعت رشد جمعیت آفات نیز کاست (شکل ۶).



شکل ۵- پیش‌بینی پتانسیل رشد جمعیت و ساختار مرحله سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum* تیمارشده با غلظت LC_{25} حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن در مقایسه با شاهد در طول ۶۰ روز

Figure 5- Projection of population growth potential and stage structure of *Trialeurodes vaporariorum* treated with LC_{25} of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen in comparison with control during 60 days



شکل ٦- رشد جمعیت کل *Trialeurodes vaporariorum* تیمارشده با غلظت LC_{25} حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن در مقایسه با شاهد در طول ٦٠ روز

Figure 6- Population projection of *Trialeurodes vaporariorum* (total stage) treated with $LC_{25}$of thiocyclam hydogen oxalate and spiromesifen in comparison to control treatment during 60 days

بحث

در بسیاری از مطالعات تنها اثرات کشندگی حشره‌کش‌ها روی آفات و دشمنان طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. درحالی‌که اثرات زیرکشندگی در پیش‌بینی اثر حشره‌کش‌ها روی حشره قابل اعتمادتر از اثرات کشندگی است و مطالعه اثرات این غلظت‌ها به‌منظور استفاده منطقی از آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است (Stark & Rangus, 1994;Chen *et al*., 2016). چرا که اغلب حشره‌کش‌ها پس از کاربرد در مزرعه در معرض تجزیه شدن قرار می‌گیرند. بنابراین آفات هدف و غیرهدف در معرض غلظت‌های زیرکشنده این ترکیبات قرار می‌گیرند(Guedes *et al*., 2016; Desneux *et al*., 2005).

در تحقیق حاضر، به‌منظور دستیابی به نتایج جامع‌تر، هر دو اثرات کشندگی و زیرکشندگی حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی پوره سفیدبالک مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان LC_{50} تیوسیکلام هیدروژن اکسالات روی سایر آفات گلخانه‌ای نظیر لارو سن سوم مگس مینوز برگ سبزی *Liriomyza sativae* Blanchard (Forouzan *et al*., 2023) و شب‌پره مینوز گوجه فرنگی *Tuta absoluta* Meyrick (Rezaei *et al*., 2016)، بالاتر از میزان آن روی پوره سن سوم سفیدبالک گلخانه در این تحقیق بود. مقایسه این نتایج، بیانگر حساسیت بیشتر آن در برابر تیوسیکلام هیدروژن اکسالات نسبت به آفات مذکور می‌باشد. همچنین تحقیق حاضر نشان داد که اثرات کشندگی تیوسیکلام هیدروژن اکسالات روی پوره سن سوم سفیدبالک، بیشتر از اسپیرومسیفن بود. مشابه با یافته‌های این تحقیق، اثرات کشندگی بیشتر حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات نسبت به اسپیرومسیفن توسط ابن عباسی و همکاران نیز گزارش شده است(Ebneabbasi *et al*., 2023). میزان LC_{50} اسپیرومسیفن گزارش‌شده در این تحقیق (LC_{50}: 205.169 $mg.L^{-1}$)، بیشتر از میزان آن روی پروتونمف کنه تارتن دولکه‌ای (LC_{50}: 133.4 $mg.L^{-1}$) در تحقیق رجایی و همکاران (Rajaee *et al*., 2022) بود که نشان از حساسیت بیشتر پروتونمف کنه تارتن در برابر اسپیرومسیفن نسبت به پوره سن سوم سفیدبالک می‌باشد. تفاوت در میزان LC_{50} به‌دست‌آمده و حساسیت مراحل مختلف حشرات را می‌توان به اندازه جثه، سن رشدی حشره و تفاوت در ساختار جلد حشرات، روش زیست‌سنجی مورد استفاده و گونه موجود مورد مطالعه ربط داد، به‌طوری‌که حشرات با جثه کوچک‌تر و سن پایین از حساسیت بیشتری نسبت به حشرات درشت جثه برخوردار هستند (Prince & Chandler, 2020).

علاوه‌بر ارزیابی کارآیی حشره‌کش‌ها در کوتاه‌مدت، اثرات زیرکشندگی آن‌ها در بلندمدت نیز در قالب مطالعات سم‌شناسی اکولوژیک با تکیه بر فراسنجه های جدول زندگی و رشد جمعیتی قابل مطالعه می‌باشد (Sedaratian *et al*., 2013). در واقع، برآورد فراسنجه‌های رشد جمعیت و تعیین نحوه تغییر جمعیت حشرات از طریق مطالعه اثر حشره‌کش‌ها بر توانایی تولیدمثلی، یک ضرورت قطعی در مطالعه اثر حشره‌کش‌ها و در نهایت، انتخاب حشره‌کش مناسب می‌باشد. لذا با توجه به اثر حشره‌کش‌ها بر فیزیولوژی و رفتار بندپایان هدف و غیرهدف، ضرورت انجام چنین بررسی‌هایی مشخص می‌شود(Amini Jam & Saber, 2018).

اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های گیاهی و شیمیایی روی *T.vaporariorum* توسط محققان متعددی بررسی شده است (Omer & Leigh, 1995; Simmonds *et al*., 2002; Heidari *et al*., 2005; Reshadat-Salvanagh *et al*., 2024; Sharifiyan

(*et al.*, 2024 a,b). تیمار حشرات با غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌ها باعث می‌شود که در شرایط مزرعه‌ای در طولانی‌مدت، اثرات نامطلوبی نظیر تأخیر در طول دوره رشدی و تولیدمثلی را نشان دهند (Piri Ouchtape *et al.*, 2024). در این پژوهش، اثرات زیرکشندگی دو حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن با استفاده از روش جدول زندگی دو جنسی مورد مطالعه قرار گرفت. در روش دو جنسی که به سنی–مرحله‌ای نیز معروف است علاوه‌بر حشرات ماده، نقش حشرات جنس نر و مراحل رشدی نابالغ نیز در روند تغییرات جمعیتی مورد توجه قرار می‌گیرد (Chi *et al.*, 2020). در تحقیق حاضر، حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات علاوه‌بر تأخیر در رشد و نمو مراحل نابالغ، منجر به کاهش طول عمر حشرات کامل ماده گردید. تأخیر در طول عمر نتاج سفیدبالک گلخانه یکی از اثرات تجمعی غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها است که می‌تواند زمینه را برای در معرض قرارگیری آن‌ها در برابر دشمنان طبیعی فراهم کند و در تقویت تأثیر مهار بیولوژیک علیه آفات مفید باشد. تأخیر در رشد و نمو مراحل نابالغ و کاهش طول عمر حشرات کامل ماده در اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های بیو ۲ و فلونیکامید (Reshadat-Salvanagh *et al.*, 2024) و فرمولاسیون‌های آزادیراختین بر سفیدبالک گلخانه نیز در تحقیق انجام‌یافته توسط نیک‌اختر و همکاران ثبت گردید (Nikakhtar *et al.*, 2022). به‌طور مشابه، در یک مطالعه، طول دوره رشد و نمو مراحل نابالغ Gennadius *Bemisia tabaci* تحت تأثیر غلظت LC_{10} و LC_{25} سیانترانیلی پرول افزایش یافت (Wang *et al.*, 2017). اسپیرومسیفن مورد استفاده در این تحقیق، برخلاف تیوسیکلام هیدروژن اکسالات، باعث کاهش طول دوره رشد و نمو مراحل نابالغ در مقایسه با شاهد گردید. مشابه با یافته‌های این تحقیق، بهشتی و همکاران در نتیجه استفاده از غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های اپیل، ایمیداکلوپراید و آبامکتین کاهش طول دوره رشد و نموی سفیدبالک گلخانه مشاهده گردید (Beheshti *et al.*, 2022). تفاوت مشاهده‌شده بر طول دوره رشد و نمو مراحل نابالغ سفیدبالک در این تحقیق را می‌توان به تفاوت در نحوه اثر دو حشره‌کش ناشی از تفاوت در نوع فرمولاسیون و ساختار شیمیایی آن‌ها نسبت داد (Mahmoodi *et al.*, 2020). در پژوهش حاضر، کل دوره پیش از تخم‌گذاری TPOP همانند سایر مراحل رشدی، تحت تأثیر غلظت زیرکشنده تیوسیکلام هیدروژن اکسالات قرار گرفت، به‌طوری‌که منجر به تأخیر در کل دوره پیش از تخم‌گذاری گردید که هم‌سو با یافته‌های رشادت سلوانق و همکاران در نتیجه استفاده از غلظت زیرکشنده فلونیکامید بود (Reshadat-Salvangh *et al.*, 2024). در یافته‌های تحقیق فروزان و همکاران مقدار TPOP در لاروهای مگس مینوز تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده تیوسیکلام هیدروژن اکسالات نسبت به شاهد افزایش داشت که منطبق با نتایج تحقیق حاضر در نتیجه استفاده از تیوسیکلام هیدروژن اکسالات است (Forouzan *et al.*, 2023). اگرچه استفاده از غلظت زیرکشنده اسپیرومسیفن در این تحقیق باعث کاهش کل دوره پیش از تخم‌گذاری حشرات سفیدبالک گلخانه گردید که با یافته‌های بهشتی و همکاران مطابقت داشت (Beheshti *et al.*, 2022).

استفاده بی‌رویه از حشره‌کش‌ها با تحریک سیستم تولیدمثلی و افزایش باروری منجر به طغیان آفات می‌گردد (Ebneabbasi *et al.*, 2023). مطالعات صورت‌گرفته توسط دسنئوکس و همکاران (Desneux *et al.*, 2007) و هادی و همکاران (Haddi et al., 2016)، بیانگر تأثیر غلظت‌های زیرکشنده بر طغیان آفات می‌باشد، ولی در تحقیق حاضر، باروری تحت تأثیر غلظت‌های زیرکشنده هر دو حشره‌کش در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد این کاهش در حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات بیشتر از اسپیرومسیفن بود. طول دوره تخم‌گذاری حشرات کامل سفیدبالک گلخانه نیز تحت تأثیر غلظت زیرکشنده قرار گرفت، بیشترین مقدار این فراسنجه مربوط به شاهد (۴/۴۴ روز) و کمترین مقدار آن مربوط به اسپیرومسیفن (۱/۳۸ روز) بود و بین تیمارهای حشره‌کش نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. مشابه با یافته‌های تحقیق حاضر، در بررسی صورت‌گرفته توسط نیک‌اختر و همکاران، میزان باروری و طول دوره تخم‌گذاری سفیدبالک تحت‌تأثیر غلظت‌های زیرکشنده سه فرمولاسیون آزادیراختین به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت، به‌طوری‌که باروری افراد ماده در شاهد از ۳۴/۹۴ (تخم به‌ازای هر ماده) به ۲۷/۵۷ ، ۱۵/۲۷ و ۸ (تخم به‌ازای هر ماده) به‌ترتیب در فرمولاسیون‌های کوفا، نیم‌آزال و نیم‌بسیدین کاهش یافت (Nikakhtar *et al.*, 2022). مشابه با یافته‌های تحقیق حاضر، میزان باروری *T. vaporariorum* در غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های بیو۲، فلونیکامید (Reshadat-Salvanagh *et al.*, 2024) و اسانس‌های گیاهی نعناع، پونه و نانوفرمولاسیون‌های آن‌ها (Sharifiyan *et al.*, 2024) کاهش یافت. به‌عبارت دیگر، می‌توان اذعان داشت که در اغلب موارد، غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها در بندپایان اثرات معنی‌داری را با کوتاه کردن طول دوره تخم‌گذاری، کاهش باروری و کاهش نرخ تفریخ اعمال می‌کند (Tan *et al.*, 2012; Lu *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2016).

بررسی‌های صورت‌گرفته در زمینه تأثیر غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی سفیدبالک گلخانه‌ای نشان می‌دهد که این حشره‌کش‌ها علاوه‌بر ویژگی‌های زیستی، فراسنجه‌های جدول زندگی سفیدبالک مانند نرخ خالص تولیدمثل، نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ متناهی افزایش جمعیت و طول دوره یک نسل را به‌طور معناداری تحت تأثیر قرار می‌دهند. محاسبه این فراسنجه‌ها می‌تواند به‌عنوان ابزار کمّی یا شاخص اکولوژیک واکنش آفت را نسبت به حشره‌کش نشان دهد

(Talebi Jahromi, 2012). در این تحقیق، حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن از طریق کاهش در طول عمر و بقاء حشرات کامل و کاهش در تخم‌ریزی (به‌دلیل کوتاه شدن طول عمر) باعث کاهش میزان فراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (*r*)، و در نتیجه باعث کندتر شدن سرعت افزایش جمعیت سفیدبالک شده‌اند (Heidari *et al*., 2005). نتایج این پژوهش نشان داد که اگرچه اختلاف معنی‌داری از نظر فراسنجه نرخ متناهی افزایش جمعیت بین حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن وجود نداشت، ولی حشره‌کش‌های مذکور، نرخ فراسنجه ذکرشده را در نتاج حاصله نسبت به شاهد (۱/۰۵ بر روز) به‌طور معنی‌داری کاهش دادند. به‌طور مشابه، صفوی و بخشایی نشان دادند که غلظت زیرکشنده حشره‌کش کالیپسو مقادیر نرخ ذاتی و متناهی افزایش جمعیت *T. vaporariorum* را کاهش داد، به‌طوری‌که نرخ ذاتی و متناهی افزایش جمعیت به‌ترتیب از ۰/۱۵۱ و ۱/۱۶۵ بر روز در شاهد به ۰/۱۳۷ و ۱/۱۴۹ بر روز در تیمار LC_{30} کالیپسو رسید (Safavi & Bakhshaei, 2017). حساسیت بیشتر سفیدبالک در برابر تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن در مقایسه با حشره‌کش کالیپسو می‌تواند ناشی از سازوکار اثر متفاوت، غلظت حشره‌کش‌ها و حساسیت حشره مورد آزمایش باشد. به‌علاوه نتایج تحقیق حیدری و همکاران نشان داد که حشره‌کش‌های پیری‌پروکسی‌فن، بوپروفزین و فن‌پروپاترین، مقادیر نرخ ذاتی و متناهی افزایش جمعیت *T.vaporariorum* را کاهش دادند (Heidari *et al*., 2005). در بررسی انجام شده توسط شاه محمدی و همکاران، مقدار نرخ متناهی افزایش جمعیت در سفیدبالک گلخانه تیمارشده با غلظت LC_{50} امولسیون‌شونده غلیظ روغن معدنی (EC) در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که هم‌سو با پژوهش حاضر است (Shahmohammadi *et al*., 2022).

متوسط مدت زمان یک نسل *T* در جمعیت سفیدبالک تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن نسبت به شاهد روند متفاوتی را نشان داد. مقدار این فراسنجه در تیمارهای شاهد، تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن به‌ترتیب ۲۷/۳۷، ۲۹/۰۷ و ۲۲/۷۳ روز بود. نتایج تحقیق نیک‌اختر و همکاران هم‌سو با نتایج پژوهش حاضر در به‌کارگیری تیوسیکلام هیدروژن اکسالات بوده، به‌طوری‌که متوسط مدت زمان یک نسل در سفیدبالک گلخانه در نتیجه به‌کارگیری سه فرمولاسیون آزادیراختین در مقایسه با شاهد روند صعودی داشت، درحالی‌که حشره‌کش فنپروپاترین متوسط مدت زمان یک نسل سفیدبالک را از ۲۶/۲ روز به ۲۵/۴ روز کاهش داد (Heidari *et al*., 2005) که با نتایج تحقیق حاضر در مواجهه با اسپیرومسیفن هم‌پوشانی دارد (Nikakhtar *et al*., 2022).

نتیجه‌گیری

یافته‌های حاصل از این تحقیق بیانگر این نکته مهم است که غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن از پتانسیل بیشتری در کاهش رشد جمعیت *T. vaporariorum* برخوردار هستند. نکته قابل توجه اینکه کاربرد غلظت زیرکشنده علاوه‌بر اینکه سبب کاهش پتانسیل رشد جمعیت آفات می‌شود، احتمالاً امکان استفاده از این ترکیبات را در تلفیق با دشمنان طبیعی سفیدبالک گلخانه فراهم آورد، اگرچه بهتر است مطالعاتی در زمینه اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌های مذکور روی دشمنان طبیعی سفیدبالک گلخانه مورد ارزیابی قرار گیرد.

References

1. Abdollahzadeh-Bovani, M., Mehrkhou, F., & Forouzan, M. (2024). Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen on life table and population growth parameters of *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Biological Control of Pests and Plant Diseases*, *12*(1), 111-131. https://doi.org/10.22059/jbioc.2024.376343.343
2. Alegbejo, M.D., & Banwo, O.O. (2005). Hosts of *Bemisia tabaci* Genn. in Northern Nigeria. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, *40*(3-4), 417-422. https://doi.org/10.1556/aphyt.40.2005.3-4.24
3. Alibakhshi, Z., Seddigh, S., & Tafaghodinia, B. (2020). Chemical control optimization of *Trialeurodes vaporariorum* in gerbera commercial greenhouses. *Journal of Crop Protection*, *9*(3), 421-437.
4. Amini Jam, N., & Saber, M. (2018). Sublethal effects of imidacloprid and pymetrozine on the functional response of the aphid parasitoid, *Lysiphlebus fabarum*. *Entomologia Generalis*, *38*(2), 173–190. https://doi.org/10.1127/entomologia/2018/0734
5. Asadi, M., Rafiee–Dastjerdi, H., Nouri–Ganbalani, G., Naseri, B., & Hassanpour, M. (2019). Lethal and sublethal effects of five insecticides on the demography of a parasitoid wasp. *International Journal of Pest Management*, *65*(4), 301–312. https://doi.org/10.1080/09670874.2018.1502899
6. Avery, P.B., Simmonds, M.S., & Nicklin, J. (2015). Comparative growth and efficacy of *Trinidadian* strains of Isaria fumosorosea blastospores for controlling *Trialeurodes vaporariorum* on bean plants. *Journal of Biopesticides*, *8*(1), 01-12. https://doi.org/10.57182/jbiopestic.8.1.1-12
7. Basit, M., Saeed, S., Ahmad, M.,& Sayyed, A.H.(2013). Can resistance in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) be overcome with mixtures of neonicotinoids and insect regulators? *Crop Protection*, *44*, 135–

141.https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.10.021
8. Beheshti, A., Imani, S., Zahdi, H., Tirgari, S., & Abdi Gudarzi, M. (2022). Investigation of the sublethal effects of the insecticides Apel, Abacmetin and Amidachloropride on the life span of different life stages of greenhouse whiteflies (*Trialeurodes vaporariorum*) (Hem.: Aleyrodidae) in laboratory conditions. *Quarterly Entomological Research Specialty* (scientific-research), *14*(1), 27-31. (in Persian).
9. Bi, J.L., Toscano, N.C., & Ballmer, G.R. (2002). Greenhouse and field evaluation of six novel insecticides against the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* on strawberries. *Crop Protection*, *21*, 49-55. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00063-1
10. Bi, J.L., & Toscano, N.C. (2007). Current status of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, susceptibility to neonicotinoid and conventional insecticides on strawberries in southern California. *Pest Management Science*, *63*(8), 747-752. https://doi.org/10.1002/ps.1405
11. Chen, X., Ma, K., Li, F., Lianq, P., Liu, Y., Guo, T., Song, D., Desneux, N., & Gao, X. (2016). Sublethal and transgenerational effects of sulfoxafor on the biological traits of thecotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Ecotoxicology*, *25*, 1841–1848. https://doi.org/10.1007/s10646-016-1732-9
12. Chi, H. (1988). Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, *17*, 26–34. https://doi.org/10.1093/ee/17.1.26
13. Chi, H. (2020). TWOSEX-MSChart: A computer program for age stage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan; available from http://140.120.197.173/ Ecology/Download/TWOSEX-MSChart.rar
14. Chi, H. (2021). TIMING-MSChart: A computer program for the population projection based on age-stage, two-sex life table. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan. [online], Available: http: //140.120.197.173/Ecology
15. Chi, H., & Liu, H. (1985). Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, *24*, 225–240.
16. Colvin, J., Omongo, C.A., Govindappa, M.R., Stevenson, P.C., Maruthi, M.N., Gibson, G., & Muniyappa, V. (2006). Host-plant viral infection effects on arthropod-vector population growth, development and behaviour: Management and epidemiological implications. *Advances in Virus Research*, *67*, 419-452. https://doi.org/10.1016/S0065-3527(06)67011-5
17. Cuthbertson, A.G.S., Buxton, J.H., Blackburn, L.F., Mathers, J.J., Robinson, K.A., Powell, M.E., Fleming, D.A., & Bell, H.A. (2012). Eradicating *Bemisia tabaci* Q biotype on poinsettia plants in the UK. *Crop Protection*, *42*, 42–48. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.08.009
18. Dai, C., Ricupero, M., Wang, Z., Desneux, N., Biondi, A., & Lu, Y. (2021). Transgenerational effects of A neonicotinoid and a novel sulfoximine insecticide on the harlequin ladybird. *Insects*, *12*, 681. https://doi.org/10.3390/insects12080681
19. Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J.M. (2007**).** The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, *52*, 81–106. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440
20. Desneux, N., Fauvergue, X., Dechaume-Moncharmont, F.X., Kerhoas, L., Ballanger, Y., & Kaiser, L. (2005). *Diaeretiella rapae* limits *Myzus persicae* populations after applications of deltamethrin in oilseed rape. *Journal of Economic Entomology*, *98*(1), 9–17. https://doi.org/10.1093/ jee/98.1.9
21. Duhan, J.S., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K., & Duhan, S. (2017). Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnology Reports*, *15*, 11–23. https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.03.002
22. Ebneabbasi, S., Mehrkhou, F., & Fourouzan, M. (2023**).** Lethal and sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalateand flubendimide on the population growth parameters and population projection of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, *43*(3), 219-231. https://doi.org/10.61186/JESI.44.2.71
23. Erdogan, C., SibelVelioglu, A., Gurkan, M.O., Denholm, I., & Moores, G.D. (2021). Detection of resistance to pyrothroid and neonicotinoid insecticide in the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Crop Protection*, *146*, 105661. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105661
24. Finney, D. J. (1971). Probit Analysis. Third ed. Cambridge University Press, London
25. Forouzan, M., & Sheikhi Garjan, A. (2023). Effect of sub lethal concentrations of thiocyclam insecticide on biological parameters of *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae) under laboratory conditions. *Journal of Entomological Society of Iran*, *42*(4), 279-290. https://doi.org/10.52547/jesi.42.4.3
26. Gerling, D. (1990). Whiteflies: Their bionomics, pest status and management. Winborne, Uk, Intercept. 348 pp.
27. Guedes, R.N.C., Smagghe, G., Stark, J.D., & Desneux, N. (2016). Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. *Annual Review of Entomology*, *61*, 43-62. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023646
28. Haddi, K., Mendes, M.V., Barcellos, M.S., Lino-Neto, J., Freitas, H.L., Guedes, R.N.C., & Oliveira, E.E. (2016). Sexual success after stress Imidacloprid-induced hormesis in males of the neotropical stink bug Euschistus heros. *PLoS One*, *11*(6), 1–18. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156616

29. Heidari, A., Moharramipour, S., Poormirza, A.A., & Talebi, A.A. (2005). Effects of pyriproxifen, buprofezin and fenpropathrin on the growth population parameters in *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hom.: Aleyrodidae). *Iranian Journal of Agricultural Science*, *36*(2), 353-361.
30. Hosseininia, A., Khanjani, M., Khoobdel, M., & Javadi, S. (2017). Comparision of the efficiency of the current oils and insecticide compounds in control of greenhouse whitefly, *Trialeurodes Vaporariorum* (Westwood), (Hem.: Aleyrodidae) on rose and their interaction. *Journal of Plant Protection*, *30*(4), 718-726. https://doi.org/10.22067/jpp.v30i4.53965
31. Hudson, L. A., & Ciborowski, J. J. (1996). Teratogenic and genotoxic responses of larval Chironomus salinarius group (Diptera: Chironomidae) to contaminated sediment. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, *15*(8), 1375-1381. https://doi.org/10.1002/etc.5620150817
32. Kapantaidaki, D.E., Sadikoglou, E., Tsakireli, D., Kampanis, V., Stavrakaki, M., Schorn, C., Ilias, A., Riga, M., Tsiamis, G., Nauen, R., Skavids, G., Vontas, J., & Tsagkarakou, A. (2018). Insecticide resistance in *Trialeurodes vaporariorum* population and novel diagnostics for kdr mutation. *Pest Management Science*, *74*(1), 59-69. https://doi.org/10.1002/ps.4674
33. Karatolos, N., Denholm, I., Williamson, M., Nauen, R., & Gorman, K. (2010). Incidence and characterisation of resistance to neonicotinoid insecticides and pymetrozine in the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Management Science*, *66*, 1304-1307. https://doi.org/10.1002/ps.2014
34. Kumar, A., & Singh, R. (2014). Bioefficacy of some insecticides against the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, Westwood (Homoptera: Aleyrodidae) on tomoto. *The Bioscan*, *9*(3), 1073-1076.
35. Kumari, S., Chauhan, U., Kumari, A., & Nadda, G. (2017). Comparative toxicities of novel and conventional acaricides against different stages of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae). *Journalof the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *16*, 191-196. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.06.003
36. Lahiri, S., Smith, H.A., Gireesh, M., Kaur, G., & Montemayor, J.D. (2022). Arthropod pest management in strawberry. *Insects*, *13*(5), 475. https://doi.org/10.3390/insects13050475
37. Lu, Y.H., Zheng, X.S., & Gao, X.W. (2016). Sublethal effects of imidacloprid on the fecundity, longevity, and enzyme activity of *Sitobion avenae* (Fabricius) and *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus). *Bulletin of Entomological Research*, 106, 551–559. https://doi.org/10.1017/S0007485316000286
38. Mahmoodi, L., Mehrkhou, F., Guz, N., Forouzan, M., & Atlihan, R. (2020). Sublethal effects of three insecticides on fitness parameters and population projection of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, *113*(6), 2713-2722. https://doi.org/10.1093/jee/toaa193
39. Menke, S., & Gerhard, D. (2010). Detection of a related difference in efficacy of Azadirachtin treatments for the control of whiteflies on *Gerbera jamesonii* by testing for interactions in generalized linear models. P*est Management Science*, *66*(4), 358-364. https://doi.org/10.1002/ps.1881
40. Mota-Sanchez, D., & Wise, J.C. (2023). Arthropod pesticide resistance database. Retrieved from https://www.pesticideresistance.org/
41. Nasruddin, A., Jumardi, J., & Melina, M. (2021). Population dynamics of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) and its populations on different planting dates and host plant species. *Annals of Agricultural Sciences*, *66*, 109-114. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2021.08.001
42. Nikakhtar, S., Aramideh, S., Mirfakhraei, S., & Forouzan, M. (2022). The effect of sublethal concentration of three commercial formulations of neem including Kofa, NeemAzal and Nimbecidine on the life table parameters of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hem., Aleyrodidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, *42*(4), 313-323. https://doi.org/10.52547/jesi.42.4.6
43. Nourbakhsh, S. (2019). List of pests, diseases and weeds of the most important major agricultural products, pesticides and recommended methods for their control. The Ministry of Agriculture Jihad, 222 p. (in Persian).
44. Omer, A.D., & Leigh, T.F. (1995). Sublethal effects of acephate and biphenate on fecundity, longevity and egg viability in greenhouse whitefly (Hom., Aleyrodidae). *Journal of Applied Entomology*, *119*, 119-125.
45. Patra, B., & Kumar Hath, T. (2022). Insecticide resistance in whiteflies *Bemisia tabaci* (Gennadius): Current global status. In Insecticides – Impact and Benefits of Its Use for Humanity. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.101954
46. Pavela, R. (2009). Larvicidal effects of some Euro-Asiatic plants against *Culex quinquefasciatus* Say larvae (Diptera: Culicidae). Parasitology Research, 105, 887-892. https://doi.org/10.1007/s00436-009-1511-0
47. Piri Ouchtape, M., Mehrkhou, F., & Foorouzan, M. (2024). Lethal and sub-lethal effects of Clothianidin and summer oil on the life table parameters and population trend of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Hem.: Aphididae). *Plant Pest Research*, *13*(4), 17-34. https://www.magiran.com/p2692727
48. Prijović, M.R., Marčić, D., Drobnjaković, T.M., Međo, I.S., & Perić, P. (2013). Life history traits and population growth of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood) on different tomato genotypes. *Pesticides and Phytomedicine/Pesticidi i fitomedicina*, *28*(4), 239-245. https://doi.org/10.2298/PIF1304239P
49. Prince, G., & Chandler, D. (2020). Susceptibility of *Myzus persicae*, *Brevicoryne brassicae* and *Nasonovia ribisnigri* to fungal biopesticides in laboratory and field experiments. *Insects*, *11*(1), 55.

https://doi.org/10.3390/insects11010055
50. Rajaee, F., Ghane-Jahromi, M., Maroofpour, N., & Sedaratian-Jahromi, A. (2022). Sublethal effects of spiromesifen on life table traits of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Acarologia*, *62*(3), 772-785. https://doi.org/10.24349/uja8-5ks2
51. Rakhshani, M. (2005). Principle of Agricultural Toxicology (Pesticides). Farhang Jame Press Center of Tehran, Iran, p. 100-374. (In Persian).
52. Reshadat-Salvanagh, N., Mehrkhou, F., & Fourouzan, M. (2024). Lethal and sublethal effects of Flonicamid and BIo2 on life span and population growth parameters of greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, (Hemiptera: Aleyrodidae). *Phytoparasitica*, *52*, 90. https://doi.org/10.1007/s12600-024-01209-8.
53. Rezaei, Z., Ghane-Jahromi, M., Sedaratian, H., & Sahraeian, H. (2016). Investigation sub-lethal effects of thiocyclam hydrogen-oxalate on reproductive and population growth parameters of *Tuta absoluta* (Lep.:Gelechidae). Proceedings of 22nd Iranian Plant Protection Congress College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (Available: https://sid.ir/paper/937985/en)
54. Safavi, S.A., & Bakhshaei, M. (2017). Biological parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) exposed to lethal and sublethal concentrations of Calypso ®. *Journal of Crop Protection*, *6*(3), 341 - 351 .http://dorl.net/dor/20.1001.1.22519041.2017.6.3.9.9
55. Saidi, Z., & Ziaei, M. (2017). The toxicity of Sivanto ® and Ebron Speed ® insecticides to control sugarcane whitefly, *Nemaskellia andropogonis*, (Hem.: Aleyrodidae) in laboratory conditions. *Plant Pest Research*, *8*(2), 53-65. (in Persian). https://doi.org/10.22124/iprj.2018.2995
56. Salvanagh, N.R., Mehrkhou, F., & Fourozan, M. (2024). Lethal and sublethal effects of Flonicamid and BIo2 on life span and population growth parameters of greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, (Hemiptera: Aleyrodidae). *Phytoparasitica*, *52*(5), 90.
57. Sarbaz, S., Goldasteh, S., Zamani, A.A., Solymannejadiyan, E., & Vafaei Shoushtari, R. (2017). Side effects of spiromesifen and spirodiclofen on life table parameters of the predatory mite, *Neoseiulus californicus* McGregor (Acari: Phytoseiidae). *International Journal of Cardiology*, *43*, 380-386. https://doi.org/10.1080/01647954.2017.1325396
58. Schmuttere, H. (2002). The Neem tree: Source of Unique Natural Products for Integrated Pest Management, Medicine, Industry and Other Purposes (Hardcover), 2nd Edition, Weunheim, Germany: VCH Verlagsgesellschaft, p. 120-138.
59. Sedaratian, A., Fathipour, Y., Talaei-Hassanloui, R., & Jurat-Fuentes, J.L. (2013). Fitness costs of sublethal exposure to *Bacillus thuringiensis* in *Helicoverpa armigera*: A carryover study on offspring. *Journal of Applid Entomology*, *137*, 540-549. https://doi.org/10.1111/jen.12030
60. Shahbazvar, N., Sahragard, A., Hosseini, R., & Hajizadeh, J. (2011). A preliminarily study on adult characters of whiteflies (Hem.: Aleyrodidae). *Entomofauna, Zeitshrift Fur Entomologie*, *32*(30), 413-420.
61.Shahmohammadi Heidari, B., Allahyari, H., & Talebi-Jahromi, Kh. (2022). Effect of mayonnaise and emulsifiable concentrate formulations on population dynamic of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, *53*(1), 131-141. (in persian). https://doi.org/10.22059/IJPPS.2022.339946.1007001
62. Sharifiyan, M., Mehrkhou, F., & Negahban, M. (2024). Lethal and sublethal effects of *Mentha piperita* L. and its nanoeformulation form on the biological and population growth parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) under laboratory conditions. *Journal of Entomological Society of Iran*, *44*(1), 25–41. https://doi.org.10.61186/jesi.44.1.3
63. Sheikhigarjan, A., Najafi, H., Abbasi Azimi, H., & Moradi, M. (2021). The chemical and organic pesticide guide of Iran. Rah Dan Press, Tehran, Iran, p. 525.
64. Simmonds, M.S.J., Manlove, J.D., Blaney, W.M., & Khambay, B.P.S. (2002). Effects of selected botanical insecticides on the behaviour and mortality of the glasshouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* and the parasitoid *Encarsia formosa*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *102*, 39-47. https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2002.00923.x
65. SPSS, Inc. (2019). IBM SPSS statistics for windows, version 26.0 (Vol. 440). IBM Corporation.
66. Stark, J.D., & Rangus, T.M. (1994). Lethal and sublethal effects of the neem insecticide formulation, 'Margosan-O', on the pea aphid. *Pest Management Science*, *41*, 155–160. https://doi.org/10.1002/ps.2780410212
67. Subba, B., Pal, S., Mandal, T., & Ghosh, S.K. (2017). Population dynamics of whitefly (*Bemisia tabaci* Genn.) infesting tomato (Lycopersicon esculentus L.) and their sustainable management using biopesticides. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, *5*(3), 879-883.
68. Talebi Jahromi, Kh. (2012). Pesticide toxicology. University of Tehran Press, Iran. 508 pp.
69. Tan, Y., Biondi, A., Desneux, N., & Gao, X.W. (2012). Assessment of physiological sublethal effectsof imidacloprid on themirid bug *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür). *Ecotoxicology*, *21*, 1989–1997. https://doi.org/10.1007/s10646-012-0933-0
70. Wang, R., Zhang, W., Che, W.N., Qu, C., Li, F.Q., Desneux, N., & Luo, C. (2017). Lethal and sublethal effects of

cyantraniliprole, a new anthranilic diamide insecticide, on *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *MEDcrop Protection*, *91*, 108–113.

71. Wang, R., Zheng, H.X., Qu, C., Wang, Z.H., Kong, Z.Q., & Luo, C. (2016). Lethal and sublethal effectsof a novel cis-nitromethylene neonicotinoid insecticide, cycloxaprid, on *Bemisia tabaci*. *Journal of Crop Protection*, *83*, 15–19. http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2016.01.015
72. Wintermantel, W.M., Hladky, L.L., Cortez, A.A., & Natwick, E.T. (2009). A new expanded host range of cucurbit yellow stunting disorder virus includes three agricultural crops. *Plant Disease*, *93*(7), 685-690. https://doi.org/10.1094/PDIS-93-7-0685
73. Xu, L., Zhao, C.Q., Zhang, Y.N., Liu, Y., & Gu, Z.Y. (2016). Lethal and sublethal effects of sulfoxaflor on the small brown planthopper Laodelphax striatellus. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *19*, 683–689. https://doi.org/10.1016/j.aspen.2016.06.013
74. Zapata, N., Vargas, M., Latorre, E., Roudergue, X., & Ceballos, R. (2016). The essential oil of *Laurelia sempervirens* is toxic to *Trialeurodes vaporariorum* and *Encarsia formosa*. *Industrial Crops and Industrial Crops and Products*, *84*, 418-422. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.030
75. Zawrah, M.F.M., Masry, A.T.E., Noha, L., & Saleh, A.A.A. (2020). Efficiacy of certain insecticides against whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.) infesting tomato plants and their associated predators. *Plant Archives*, *20*(2), 2221-2228.

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 2, 2025, p. 153-167

Nutritional Interaction between Ladybird, *Adalia bipunctata* and Aphid, *Myzus persicae* Reared on Different Treatments of Mineral, Organic and Biological Fertilizers

Mozhgan Mardani-Talaee[1], Jabraeil Razmjou[1*], Ghadir Nouri-Ganblani[1], Mahdi Hassanpour[1], Bahram Naseri[1]

1- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

(*- Corresponding author's Email: razmjou@uma.ac.ir)

Received: 23-02-2025
Revised: 08-04-2025
Accepted: 12-04-2025
Available Online: 09-07-2025

How to cite this article:
Mardani-Talaee, M., Razmjou, J., Nouri-Ganblani, G., Hassanpour, M., & Naseri, B. (2025). Nutritional interaction between ladybird, *Adalia bipunctata* and aphid, *Myzus persicae* reared on different treatments of mineral, organic and biological fertilizers. *Iranian Plant Protection Research*, *39*(2), 153-167. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.2025.92308.1223

Introduction

Plant growth-promoting treatments, including biological, organic and chemical fertilizers, can alter the biochemical composition of plants and affect multitrophic interactions. Beneficial soil microorganisms such as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) can affect plant nutrient quality, secondary metabolites, enzymes, phytohormones and volatile organic compounds (VOCs), which can impact interactions between host plants, insect herbivores and natural enemies. Plant defenses against herbivores can be activated both directly and indirectly. The PGPRs and AMFs can either increase or decrease the resistance of plants to pests. Fertilizers can influence the nutritional quality of plants, which is crucial for host selection by herbivorous insects. Plants treated with zinc have been shown to have a positive effect on sucking insects but a negative effect on chewing herbivores. Organic fertilizers such as vermicompost have proven to be effective in the biocontrol of sucking insects, as they promote vigorous plant growth, alter plant nutrition and strengthen plant defenses. The biochemical composition of plants affects the quality of insect pests and influences the life plan of predators and parasitoids. Quality of the prey, the nutritional value and biochemistry of the host plants influence the abundance and performance of the predators. Nutritional parameters such as consumption index, efficiency of conversion of ingested food (ECI), relative consumption rates (RCR) and relative growth rate (RGR) provide information on predator performance. This study investigates the effects of different plant growth promoting treatments on the nutritional indices of *Adalia bipunctata* L. feeding on *Myzus persicae* (Sulzer), growing on treated *Capsicum annuum* under greenhouse conditions.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/jpp.2025.92308.1223

Materials and Methods

This study was conducted on California Wonder bell pepper plants treated with various fertilizers in a completely randomized design under greenhouse conditions at 25 ± 5 °C, 65 ± 10% RH and natural light. The effects of foliar spraying with zinc sulfate on bell pepper plants, the addition of 30% organic fertilizer from vermicompost and the addition of the biofertilizers *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Glomus intraradices*, *G. intraradices* × *B. subtilis* and *G. intraradices* × *P. fluorescens* to the seedbed of bell pepper plants were investigated. The nutritional index of different larval and adult stages of the two-spotted predatory ladybug beetle *Adalia bipunctata* reared on the green peach aphid, *Myzus persicae*, was studied under laboratory conditions at 25 ± 2 °C, 65 ± 5% RH and 16L:8D hours. The experiments were conducted with 20 replications per treatment, using a completely randomized design, and nutritional indices were calculated using Waldbauer's method. The study used Kolmogorov-Smirnov test for normality, ANOVA for analyzing effects on predatory ladybug feeding indices, Tukey test for significant differences, and Excel for diagram creation. Treatments were categorized into suitable and unsuitable groups using the Ward method in a dendrogram.

Results and Discussion

The highest ECI index of *A. bipunctata* larvae was observed in the *B. subtilis*, zinc sulfate and *P. fluorescens* and the lowest ones was recorded in vermicompost (30%). The ECI index of predator adult significantly increased in *B. subtilis* and *P. fluorescens* treatments and decreased ones in vermicompost (30%). The highest and lowest pupal weights were observed in *B. subtilis* (16.98 mg) and vermicompost (30%; 11.32 mg) treatments, respectively. The results of cluster analysis of different fertilizer treatments based on nutritional indices and pupal weights indicated the existence of two groups, A and B; group A included two subgroups, A_1 and A_2. Subgroup A_1 included vermicompost (30%) treatments, *G. intraradices* × *B. subtilis* and *G. intraradices*, control, and *G. intraradices* × *P. fluorescens*, while subgroup A_2 included zinc sulfate treatment. Group B included bacterial treatments *B. subtilis* and *P. fluorescens*.

Conclusion

This study revealed that host plant quality affects the nutritional fitness of herbivorous insects, which in turn influences predator population dynamics. Pupal weight, a fitness indicator, was positively correlated with fat content. The study highlights the importance of host plant quality in determining fecundity parameters. The results showed that treating the soil with biological fertilizers (*P. fluorescens* and *B. subtilis*) had a positive and significant effect on the parameters of the predatory. The study found that plant growth-promoting treatments affect tri-trophic interactions in bell pepper plants, *M. persicae*, and *A. bipunctata*. High soil fertility improves predator fitness and supports predator growth. Maintaining high fertility is beneficial for integrated pest management, but further field studies are needed.

Keywords: *Bacillus subtilis*, Biological fertilizer, Nutritional indices, *Pseudomonas fluorescens*, Zinc Sulfate

پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص. ۱۶۷-۱۵۳

برهم‌کنش تغذیه‌ای بین کفشدوزک *Adalia bipunctata* و شته *Myzus persicae* پرورش‌یافته روی تیمارهای مختلف کودهای معدنی، آلی و زیستی

مژگان مردانی طلایی[۱]- جبرئیل رزمجو[۱*]- قدیر نوری قنبلانی[۱]- مهدی حسن پور[۱]- بهرام ناصری[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۳

چکیده

فلفل‌دلمه (*Capsicum annuum* L.)، یکی از محصولات جالیزی مهم بومی مکزیک و کشورهای آمریکای جنوبی است. یکی از آفات عمده این گیاه شته سبز هلو (*Myzus persicae* (Sulzer)) با پراکنش جهانی، پلی‌فاژ و چرخه زندگی هولوسیکلیک می‌باشد. از دشمنان طبیعی مهم این گونه شته، کفشدوزک دو نقطه‌ای (*Adalia bipunctata* L.) می‌باشد. این پژوهش روی گیاه فلفل‌دلمه رقم California Wonder تغذیه‌شده با تیمار مختلف محرک رشد گیاه در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه با دمای ۵ ±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۱۰ ±۶۵ درصد و نور طبیعی انجام شد. تأثیر محلول‌پاشی سولفات روی بر گیاه فلفل‌دلمه، افزودن کود آلی ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد و کودهای زیستی *Bacillus subtilis*، *Pseudomonas fluorescens*، *Glomus intraradices*، *G. intraradices* × *B. subtilis* و *G. intraradices* × *P. fluorescens* به بستر بذری گیاه فلفل‌دلمه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. شاخص تغذیه‌ای سنین مختلف لاروی و حشره بالغ کفشدوزک شکارگر دو نقطه‌ای پرورش‌یافته روی شته سبز هلو، در شرایط آزمایشگاهی با دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین شاخص ECI لارو کفشدوزک *A. bipunctata* در تیمارهای *B. subtilis*، سولفات روی و *P. fluorescens* و کمترین مقدار آن در ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد ثبت شد. مقادیر شاخص ECI بالغ شکارگر به‌طور معنی‌داری در تیمارهای *B. subtilis* و *P. fluorescens* افزایش و در تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد کاهش یافت. بیشترین وزن شفیره در تیمار *B. subtilis* (۱۶/۹۸ میلی‌گرم) و کمترین مقدار آن در تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد (۱۱/۳۲ میلی‌گرم) مشاهده شد. نتایج این بررسی نشان داد که تیمار خاک با کودهای زیستی (*P. fluorescens* و *B. subtilis*) روی شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک شکارگر تأثیر مثبت و معنی‌داری داشت. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کودهای زیستی برای تیمار خاک گیاه فلفل‌دلمه‌ای می‌تواند به‌عنوان مکملی برای برنامه مهار بیولوژیک شته سبز هلو (*M. persicae*) مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: سولفات روی، شاخص‌های تغذیه‌ای، کود زیستی، *Bacillus subtilis* ، *Pseudomonas fluorescens*،

مقدمه

در زیست‌بوم‌های طبیعی و کشاورزی، تعامل گیاهان و ریز جانداران خاک تأثیر قابل توجهی بر ساختار خاک، چرخه زیستی و شیمیایی عناصر غذایی، رشد گیاه و سازگاری آن با تغییرات محیط ایفا می‌کنند (Bashan & Levanony, 1990; Megali *et al.*, 2015). از جمله این ریزجانداران خاک، باکتری‌های افزاینده رشد گیاه (PGPR[۲]) و قارچ مایکوریزای آربوسکولار (AMF[۳]) بوده که می‌توانند بر کیفیت تغذیه گیاه، متابولیت‌های ثانویه، آنزیم‌ها، هورمون‌های گیاهی و ترکیبات آلی فرار گیاه تأثیر بگذارند. از سوی دیگر، این ریزجانداران بر فعل و انفعالات بین گیاهان میزبان، حشرات گیاه‌خوار و دشمنان طبیعی تأثیر می‌گذارند (Gadhave *et al.*, 2016).

طی سه دهه گذشته به‌دلیل روشن‌شدن اثرات زیان‌بار مصرف کودهای شیمیایی، کاربرد باکتری‌های خاکزی، به‌ویژه PGPR در

۱- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: razmjou@uma.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jpp.2025.92308.1223

2- Plant Growth-Promoting Rhizobacteria
3- Arbuscular Mycorrhizal Fungi

تغذیه گیاه زراعی در زیست‌بوم‌های کشاورزی پایدار در سراسر جهان افزایش یافته است (Gouda *et al.*, 2018). بنابراین، PGPR می‌توانند با استفاده از فرآیندهای مختلفی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در افزایش رشد و عملکرد گیاه مؤثر باشند. در تحریک مستقیم، این باکتری‌ها رشد گیاه را با تولید ترکیبات مختلف، تسهیل جذب عناصر، تثبیت نیتروژن اتمسفری، حل کردن مواد معدنی مانند فسفات، تولید سیدروفور، و تولید هورمون‌های گیاهی از قبیل اکسین‌ها و جیبرلین‌ها افزایش می‌دهند (Valenzuela-Soto *et al.*, 2010). در تحریک غیرمستقیم، اغلب این باکتری‌ها از طریق فرآیندهای مختلفی همچون مقاومت القائی در گیاه نسبت به عوامل بیماری‌زا، رشد و نمو گیاه را بهبود می‌بخشند (Stella de Freitas *et al.*, 2019). از سوی دیگر، قارچ‌های AMF سبب افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب فسفر و عناصر معدنی از خاک به‌خصوص از منابع غیر قابل دسترس آن‌ها می‌شود (Megali *et al.*, 2015). علاوه‌بر افزایش جذب عناصر غذایی با بهبود روابط آبی گیاه، تولید هورمون های رشد مانند اکسین و سیتوکینین، افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زا و ایجاد خاکدانه‌های پایا و بهبود ساختمان خاک، رشد گیاه را افزایش می‌دهند (Gadhave *et al.*, 2016).

ورمی‌کمپوست نوعی کود آلی است که عناصر غذایی مانند نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر را برای گیاه فراهم می‌سازد و سبب افزایش جوانه‌زنی، رشد گیاه و در نهایت افزایش عملکرد محصول می‌شود (Arancon *et al.*, 2007). همچنین، استفاده از ورمی‌کمپوست در خاک می‌تواند مقاومت گیاه را به برخی از آفات و بیماری‌ها افزایش داده که منجر به کاهش عوامل بیماری‌زای گیاهی و جمعیت آفات می‌شود (Chaoui *et al.*, 2002; Razmjou *et al.*, 2011; Mardani-Talaee *et al.*, 2016 a,b).

عنصر روی، یکی از هفت ریزمغذی و ضروری در تغذیه گیاه است که به‌دلیل تشکیل کمپلکس با عناصر نیتروژن، اکسیژن، گوگرد و فعالیت آنزیم‌هایی مانند الکل‌دهیدروژناز و کربنیک‌آنیدراز در فرآیند فتوسنتز نقش اساسی ایفا می‌کند (Alloway, 2008). همچنین، در ساختار اسید آمینه تریپتوفان (پیش‌ماده هورمون اکسین) و در ساختار پروتئین‌های وابسته به روی در همانندسازی DNA و بیان ژن‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند (Spiegel-Roy & Goldschmidt, 2008). مطالعات نشان داده است که گیاهان تیمارشده با روی تأثیر مثبتی بر پارامترهای رشد جمعیت حشرات مکنده دارند (Mardani-Talaee *et al.*, 2016 a). از سوی دیگر، تأثیر منفی بر تغذیه حشرات جونده دارند (Noret *et al.*, 2007).

فلفل‌دلمه (*Capsicum annuum L.*)، گیاهی یک‌ساله و متعلق به تیره بادمجانیان، یکی از محصولات جالیزی مهم و بومی مکزیک و کشورهای آمریکای جنوبی است (Chavez–Mendoza *et al.*, 2015). این گیاه در معرض حمله آفات و بیماری‌های متعددی قرار دارد که موجب کاهش کیفیت و کمیت این محصول می‌شود. یکی از آفات عمده آن شته سبز هلو (*Myzus persicae* (Sulzer)) با پراکنش جهانی، پلی‌فاژ و چرخه زندگی هولوسیکلیک می‌باشد (Hassanvand *et al.*, 2020). در اثر تغذیه علاوه‌بر پیچیدگی و نکروزه‌شدن برگ‌ها و کاهش رشد گیاهان میزبان، کیفیت محصول کاهش یافته و توانایی بالایی نیز در انتقال بیماری‌های ویروسی دارد (Fenton *et al.*, 2010). برای مهار شته‌ها از حشره‌کش‌های سیستمیک استفاده می‌شود که اثرات زیان‌بار شدیدی بر سلامت انسان و سایر موجودات غیرهدف دارند (Naeem *et al.*, 2018)، لذا استفاده از روش‌های سازگار با محیط زیست در مهار آفت ضروری است؛ امروزه برای کاهش خسارت این آفت برنامه‌های مدیریت تلفیقی مد نظر است که یکی از مهم‌ترین بخش‌های این برنامه، مهار بیولوژیک می‌باشد (Hajek & Eilenberg, 2018). از دشمنان طبیعی مهم شته‌ها، کفشدوزک‌ها می‌باشند، گونه کفشدوزک دونقطه‌ای (*Adalia bipunctata L.*)، از اهمیت خاصی برخوردار است که در کاهش جمعیت شته‌ها مؤثر می‌باشد (Sun *et al.*, 2017; Ricupero *et al.*, 2020). کفشدوزک دو نقطه‌ای بومی آمریکای شمالی بوده و در سراسر مناطق هولآرکتیک، یکی از کفشدوزک‌های رایج درختان باغی می‌باشد (Honěk *et al.*, 2023). این شکارگر همچنین از شکارگرهای چندین‌خوار رایج شته‌ها در اروپا، آسیای مرکزی و امریکای شمالی است که در مناطق پالئارکتیک و نئارکتیک نیز پراکنش دارد (Hodek & Honeck, 1996).

عوامل شیمیایی و تغذیه‌ای موجود در گیاه، میزان مطلوبیت میزبان را برای تغذیه، رشد و نمو و افزایش ایجاد جمعیت حشره تحت تأثیر قرار می‌دهند که از آن جمله می‌توان به نوع، میزان عناصر غذایی، توانایی هضم و جذب غذای خورده‌شده توسط حشره اشاره نمود (Sarkar *et al.*, 2022; El-Refaie *et al.*, 2024). بنابراین، یک برنامه مهار بیولوژیک زمانی کامل خواهد بود که اطلاعات جامع از وضعیت تغذیه‌ای دشمن طبیعی آفت مورد نظر در اختیار باشد؛ در این میان، مطالعه شاخص‌های تغذیه‌ای می‌تواند به‌عنوان معیاری مؤثر انتخاب و بررسی شود. ارزیابی شاخص‌های تغذیه‌ای بخش مهم و بزرگی از بوم‌شناسی تغذیه هستند (Waldbauer, 1968). این شاخص‌ها اطلاعات ارزشمندی در مورد زیست‌شناسی تغذیه یا سازگاری تغذیه حشرات مورد آزمایش برای اهداف گوناگون در اختیار قرار دهد (Scriber & Slansky, 1981).

تحقیقات مختلفی نشان دادند که گونه‌های گیاهی، ارقام مختلف و مواد شیمیایی موجود در گیاهان میزبان بر رفتار و میزان تغذیه حشرات گیاه‌خوار و همچنین دشمنان طبیعی مؤثر می‌باشند (Mardani-Talaee et al., 2024; Ramadan *et al.*, 2022). بنابراین، گیاهان میزبان نه‌تنها روی فعالیت حشرات گیاه‌خوار، بلکه به‌طور مستقیم و غیرمستقیم از طریق تعاملات چندگانه روی

پارازیتوئیدها و شکارگرهای آن‌ها تأثیر می‌گذارند (Mercer & Obrycki, 2021). فعالیت‌های تقویت‌کننده رشد گیاهان با استفاده از کودهای زیستی، شیمیایی و آلی روی مشخصه‌های بوم‌شناسی و تغذیه‌ای حشرات گیاه‌خوار به‌خوبی بررسی شده است (Moon *et al.*, 2013; Alizamani *et al.*, 2020)، امّا اثرات آن‌ها بر مشخصه‌های مهم دشمنان طبیعی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است (Hunter & Price, 1992; Schausberger *et al.*, 2012). در پژوهش قبلی، نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین راندمان تبدیل غذای بلعیده‌شده (ECI[1]) در لاروهای شکارگر *Hippodamia variegata* (Goeze) روی شته‌های تیمارشده با *Bacillus subtilis* و ورمی‌کمپوست بود. از سوی دیگر، بیشترین و کمترین نرخ رشد نسبی (RGR[2]) شکارگر به‌ترتیب در شته‌های تیمار شده با سولفات روی و ورمی‌کمپوست به دست آمد. در نتیجه، سولفات روی و کودهای زیستی شامل PGPR می‌توانند شاخص تغذیه‌ای شکارگرها را افزایش دهند و در مدیریت تلفیقی آفات برمبنای مهار بیولوژیکی مؤثر باشند (Mardani-Talaee *et al.*, 2024). در نتیجه، کودها می‌توانند بر کیفیت تغذیه گیاه مؤثر باشند که برای انتخاب میزبان توسط حشرات گیاه‌خوار بسیار مهم است (Mardani-Talaee *et al.*, 2015; 2017) و همچنین می‌توانند اثرات پایین به بالای مثبتی بر دشمنان طبیعی داشته باشند (Saravanakumar *et al.*, 2008; Gadhave *et al.*, 2016).

مهار بیولوژیک آفات یکی از راهکارهای مؤثر در کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. کیفیت تغذیه‌ای شکار می‌تواند تحت تأثیر نوع و میزان کود مصرفی در گیاه میزبان قرار گیرد و بر نرخ شکار، رشد و بقاء کفشدوزک تأثیرگذار باشد (Obrycki & Kring, 1998). با انتخاب کودهای مناسب، کشاورزان می‌توانند هم عملکرد گیاه را افزایش داده و هم مهار بیولوژیک آفات را بهبود بخشند، این راهبرد منجر به کاهش وابستگی به آفت‌کش‌های شیمیایی، حفظ سلامت محیط زیست و افزایش بهره‌وری کشاورزی پایدار خواهد شد (Barratt *et al.*, 2010). بیشتر پژوهش‌ها بر تأثیر کودها در رشد گیاهان یا آفات تمرکز داشته و تأثیر آن‌ها بر کیفیت تغذیه‌ای دشمنان طبیعی مانند کفشدوزک‌ها کمتر بررسی شده است، کودهای مختلف می‌توانند ترکیب شیمیایی گیاهان را تغییر داده و در نتیجه، تأثیراتی بر تعاملات گیاه، آفات و دشمنان طبیعی داشته باشند (Stella de Freitas *et al.*, 2019; Mardani-Talaee *et al.*, 2024). لذا هدف از پژوهش حاضر، مطالعه شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک دو نقطه پرورش‌یافته روی شته سبز هلو تغذیه‌شده از گیاه فلفل‌دلمه تیمارشده با کودهای مختلف معدنی، آلی و زیستی می‌باشد که نتایج برهم‌کنش بین کیفیت تغذیه‌ای شته سبز هلو و کارآیی تغذیه‌ای کفشدوزک شکارگر دو نقطه‌ای نشان داد که انتخاب نوع کود می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود مهار بیولوژیک آفات داشته باشد. در نتیجه، مدیریت تغذیه گیاهان از طریق کوددهی مناسب می‌تواند راهکاری مؤثر برای افزایش کارآیی دشمنان طبیعی و کاهش نیاز به روش‌های شیمیایی باشد.

مواد و روش‌ها

تهیه تیمارهای کودی مورد نیاز

کود ورمی کمپوست از شرکت پارس کود و سولفات روی از شرکت مرک آلمان تهیه گردید که مقدار خلوص روی آن ۱۰۰ درصد بود. کودهای باکتری PGPR و AMF از مؤسسه آب و خاک کرج تهیه شدند. خاک زراعی مورد نیاز از یک مزرعه سیب زمینی در روستای نیار در سه کیلومتری شمالی اردبیل جمع‌آوری شد.

کشت گیاهان میزبان

بذور فلفل‌دلمه‌ای از شرکت کشت فلات ایرانیان زمین تهیه و در داخل گلدان‌های پلاستیکی به قطر دهانه ۱۵ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر در شرایط گلخانه با دمای ۵ ±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۱۰ ±۶۵ درصد و نور طبیعی کشت شد. آزمایش در گلخانه با هفت تیمار و یک شاهد در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد.

۱- گیاه فلفل‌دلمه‌ای کاشته‌شده در خاک زراعی معمولی به‌علاوه محلول‌پاشی گیاه در مرحله چهار تا شش برگی با سولفات روی به‌میزان یک در هزار

۲- گیاه فلفل‌دلمه‌ای کاشته‌شده در مخلوط خاک زراعی معمولی با ورمی‌کمپوست به نسبت ۳۰ درصد

۳ و ۴- گیاه فلفل‌دلمه‌ای کاشته‌شده در خاک زراعی معمولی و تیمار بذر قبل از کشت با باکترهای شامل *Bacillus subtilis* و *Pseudomonas fluorescens* (به‌ازای هر بذر 1×10^{7} نرخ $CFU.ml^{-3}$)

۵- گیاه فلفل‌دلمه پرورش‌یافته در خاک زراعی معمولی و تیمار بذر قبل از کشت با قارچ *Glomus intraradices* (به‌نسبت پنج گرم به‌ازای هر بذر)

۶ و ۷- گیاه فلفل‌دلمه‌ای پرورش‌یافته در خاک زراعی معمولی و تیمار بذر قبل از کشت بذر با ترکیبی از قارچ و باکتری‌های PGPR با نام‌های *G. intraradices* × *B. subtilis* و *G. intraradices* × *P. fluorescens*.

۸- گیاه فلفل‌دلمه‌ای پرورش‌یافته در خاک زراعی معمولی (بدون

1- Efficiency of Conversion of Ingested food
2- Relative Growth Rate
3- Colony- Forming Units per Milliliter

کوددهی) به‌عنوان شاهد.

پرورش کفشدوزک *A. bipunctata*

در اوسط فصل بهار، کفشدوزک *A. bipunctata* از مزارع و مناطق جنگلی اطراف شهرستان اردبیل جمع‌آوری و در داخل ظروف پلاستیکی به ابعاد ۱۲×۲۰× ۱۵سانتی‌متر و در داخل اتاقک رشد با دمای ۲۵±۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی پرورش داده شد. حشرات کامل کفشدوزک تغذیه شده با شته میزبان با استفاده از قلم‌موی ظریف به‌صورت روزانه به ظروف پرورش جدید منتقل شد. سپس تخم‌های گذاشته‌شده در داخل ظروف و روی برگ‌های گیاهان جمع‌آوری شده و به ظروف پتری با قطر هشت سانتی‌متر منتقل و تا زمان تفریخ در اتاقک رشد نگهداری شدند. پس از تفریخ تخم‌ها، هر لارو به‌طور جداگانه به داخل یک ظرف پتری به قطر هشت سانتی‌متر منتقل و برای تغذیه، شته‌های میزبان در اختیار آن قرار داده شد. ظروف پتری حاوی لارو به‌طور روزانه مورد بازدید قرار گرفت و تعداد کافی شته در اختیار لاروها قرار گرفت. با افزایش سنین لاروی کفشدوزک، تعداد شته‌هایی که در اختیار لاروها قرار گرفت، افزایش داده شد.

مطالعه شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک شکارگر *A. bipunctata*

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک‌های شکارگر تغذیه‌شده با شته سبز هلوی پرورش‌یافته روی گیاه فلفل‌دلمه تیمارشده با تیمارهای مختلف کودی، تعداد ۱۰۰ عدد لارو هم‌سن کفشدوزک شکارگر تازه تفریخ‌شده، انتخاب شد. سپس در پنج گروه ۲۰ تایی تا تبدیل شدن به لاروهای سن دوم روی شته سبز هلو درون ظروف پلاستیکی گرد (قطر ۱۶/۵ و ارتفاع ۷/۵ سانتی‌متر) پرورش داده شدند. پس از ظهور لاروهای سن دوم، ادامه پرورش لاروها به‌صورت انفرادی در داخل ظروف پتری هشت سانتی‌متری انجام شد. شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای کفشدوزک شکارگر تغذیه‌کننده از شته سبز هلو از زمان ظهور لاروهای سن دوم تا دوره پیش‌شفیرگی به‌صورت روزانه ثبت شد. شاخص‌های تغذیه‌ای حشرات کامل کفشدوزک پس از ظهور، به‌مدت هفت روز ثبت شد. بدین منظور، وزن لاروها و حشره کامل قبل و بعد از تغذیه، وزن فضولات تولید شده، وزن غذای داده‌شده و وزن غذای باقی‌مانده به‌طور روزانه تا زمان ظهور پیش‌شفیره تعیین شد. همچنین، بعد از ظهور شفیره، وزن آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین وزن خشک، نمونه‌های دیگری از حشرات، شته مورد آزمایش و لاروها و حشره کامل هم‌زمان با انجام آزمایش‌های اصلی انتخاب و بعد از توزین اولیه به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس تا زمان تثبیت وزن نمونه کاملاً خشکانده شده و وزن خشک آن‌ها به دست آمد. شاخص مصرف (CI[1])، بازدهی تبدیل غذای بلعیده‌شده (ECI)، نرخ رشد نسبی (RGR) و نرخ مصرف نسبی (RCR[2]) با استفاده از معادله‌های (۱) تا (۴) محاسبه شد (Waldbauer, 1968).

$$ECI = (P / E) \times 100 \quad (۱)$$

$$CI = (E / A) \quad (۲)$$

$$RGR = (W_t - W_0) / (T \times W_0) \quad (۳)$$

$$RCR = E / (T \times W_0) \quad (۴)$$

که در آن، E: وزن غذای خورده‌شده (میلی‌گرم)، A: میانگین وزن لاروها/ حشره بالغ در طول دوره (میلی‌گرم)، P: افزایش وزن لاروها/ حشره بالغ (میلی‌گرم)، Wt: وزن نهایی لارو/ حشره بالغ (میلی‌گرم)، W_0: وزن اولیه لاروها/ حشره بالغ (میلی‌گرم) و T: مدت زمان تغذیه (روز) است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

قبل از تجزیه داده‌ها، نخست آزمون نرمال بودن آن‌ها با استفاده از آزمون کلموگوروف- اسمیرنوف[3] انجام شد. نتایج حاصل از اثر تیمارهای مختلف روی شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک شکارگر با استفاده از روش تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA, one way) با نرم‌افزار آماری MINITAB نسخه ۱۶ تجزیه شد. در صورت معنی‌دار شدن اختلاف، میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی (HSD) در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شد. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی تیمارهای مختلف کود با استفاده از روش Ward در قالب دندروگرام با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 16 به گروه‌های مناسب و نامناسب دسته‌بندی شدند.

نتایج و بحث

شاخص‌های تغذیه‌ای مجموع سنین لاروی (سنین سوم و چهارم) کفشدوزک *A. bipunctata*

شاخص‌های تغذیه‌ای مجموع سنین لاروی (سنین سوم و چهارم) کفشدوزک *A. bipunctata* با تغذیه از شته سبز هلو روی گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با کودهای مختلف اختلافات معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان دادند (جدول ۱).

1- Consumption index
2- Relative consumption rates
3- Kolmogorov-Smirnov

جدول ۱- میانگین (± خطای معیار) شاخص‌های تغذیه‌ای مجموع سنین لاروی (سنین سوم و چهارم) کفشدوزک شکارگر، *Adalia bipunctata* پرورش‌یافته روی شته‌های *Myzus persicae* تغذیه‌کننده از گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با کودهای مختلف

Table 1- Mean (± standard error) nutritional indices of total larval ages (third and fourth instars) of predatory ladybugs *Adalia bipunctata* reared on aphids *Myzus persicae* feeding on bell pepper plants treated with different fertilizers

Treatments	ECI (%)	CI	RCR ($mg.mg^{-1}.day^{-1}$)	RGR ($mg.mg^{-1}.day^{-1}$)
Control	31.76 ±1.18 ab*	1.723± 0.112 a	0.323 ±0.085ab	0.122 ±0.003 b
Zinc sulfate	42.19± 2.83 a	1.002 ± 0.032 bc	0.312 ± 0.082 ab	0.175 ± 0.020 a
Vermicompost (30 %)	21.56 ± 1.23b	1.119 ± 0.121b	0.412 ± 0.129 a	0.087 ± 0.001 c
Bacillus subtilis	43.69 ± 2.98a	1.710 ± 0.129 a	0.598 ± 0.121 a	0.189 ± 0.004 a
Pseudomonas fluorescens	40.84± 3.21 a	1.159 ± 0.183 ab	0.176 ±0.011 c	0.111 ±0.011 b
Glomus intraradices	33.12 ± 1.12 ab	1.421 ±0.023 ab	0.197 ±0.021 bc	0.145 ±0.002 ab
G. intraradices× *B. subtilis*	37.21 ± 1.94 ab	0.679 ±0.191 c	0.214 ±0.054 b	0.138 ±0.004 b
G. intraradices× *P. fluorescens*	36.00 ±3.12 ab	0.594 ±0.100 c	0.287 ± 0.096 b	0.123 ± 0.003 b

* حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در مقایسه بین میانگین‌ها است (آزمون HSD و P<۰/۰۱).

* Unsimilar letters in each column indicate a significant difference in the comparison between means (HSD test and P<0.01).

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بیشترین شاخص بازدهی تبدیل غذای بلعیده‌شده به زیست‌توده (ECI) کفشدوزک *A. bipunctata* در تیمارهای باکتری *B. subtilis*، سولفات روی و *P. fluorescens* و کمترین میزان آن در تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد بود (P≤ ۰/۰۱، df= ۷ و ۱۵۹، F= ۸/۲۱). بیشترین میزان شاخص مصرف (CI) لارو سنین سوم و چهارم شکارگر با تغذیه از شته‌های پرورش‌یافته روی شاهد و *B. subtilis* ثبت شد و کمترین میزان آن روی تیمارهای *G. intraradices*× *P. fluorescens* و *G. intraradices*× *B. subtilis* به دست آمد (P≤ ۰/۰۱، df= ۷ و ۱۵۹، F= ۱۰/۱۲). بیشترین شاخص نرخ مصرف نسبی (RCR) لارو سنین سوم و چهارم کفشدوزک شکارگر در تیمارهای *B. subtilis* و ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد و کمترین مقدار آن در تیمار *P. fluorescens* مشاهده شد (P≤ ۰/۰۱، df= ۷ و ۱۵۹، F= ۲۸/۶۷). لارو سن سوم و چهارم *A. bipunctata* روی تیمارهای *B. subtilis* و سولفات روی بیشترین شاخص نرخ رشد نسبی (RGR) و روی تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد کمترین مقدار را نشان داد (P≤ ۰/۰۱، df= ۷ و ۱۵۹، F= ۱۱/۶۷).

شاخص‌های تغذیه‌ای افراد بالغ کفشدوزک *A. bipunctata*

شاخص‌های تغذیه‌ای افراد بالغ کفشدوزک دونقطه‌ای پرورش‌یافته روی شته‌های تغذیه‌کننده از گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با کودهای مختلف، اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۲). نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بیشترین مقادیر شاخص‌های ECI و CI در کفشدوزک بالغ *A. bipunctata* تغذیه شده با شته سبز هلو روی گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با باکتری‌های *B. subtilis* و *P. fluorescens* مشاهده شد. در مقابل، کمترین مقادیر این دو شاخص به طور معنی‌دار در تیمار حاوی ۳۰ درصد ورمی‌کمپوست ثبت شد (P≤ ۰/۰۱، df= ۷ و ۱۵۹، F= ۳۰/۶۹ و P≤ ۰/۰۱، df= ۷ و ۱۵۹، F= ۲۳/۱۱) (جدول ۲). بیشترین شاخص RCR افراد بالغ کفشدوزک *A. bipunctata* در تیمارهای *B. subtilis* و *P. fluorescens* و کمترین مقدار آن در شاهد به دست آمد (P≤ ۰/۰۱، df= ۷ و ۱۵۹، F= ۵۱/۹۱). افراد بالغ کفشدوزک شکارگر در تیمار *B. subtilis* بیشترین شاخص RGR و در شاهد و تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد به‌طور معنی‌داری کمترین مقدار را نشان دادند (P≤ ۰/۰۱، df= ۷ و ۱۵۹، F= ۴۳/۵۲).

وزن شفیره کفشدوزک دو نقطه‌ای *A. bipunctata*

وزن شفیره کفشدوزک شکارگر پرورش‌یافته روی شته‌های تغذیه‌کننده ازگیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با کودهای مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (P≤ ۰/۰۱، df= ۷ و ۱۵۹، F= ۹/۳۲) (شکل ۱). بیشترین وزن شفیره در تیمار *B. subtilis* (۱۶/۹۸ میلی‌گرم) و کمترین مقدار آن در تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد (۱۱/۳۲ میلی‌گرم) مشاهده شد (شکل ۱).

تجزیه خوشه‌ای

شکل ۲ یک مطالعه خوشه‌ای از شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای سنین مختلف کفشدوزک شکارگر پرورش‌یافته روی شته سبز هلو تغذیه‌شده از گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با کودهای مختلف را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل خوشه‌ای از تیمارهای مختلف کود براساس شاخص‌های تغذیه‌ای نشان‌دهنده وجود دو گروه A و B است؛ گروه Aشامل دو زیرگروه A_1 و A_2 می‌باشد. زیرگروه A_1 شامل تیمارهای تلفیقی *G. intraradices* × *P. fluorescens*، *G. intraradices* × *B. subtilis* و سولفات روی می‌شود، درحالی‌که زیرگروه A_2 شامل تیمار *P. fluorescens*، G. intraradices.

شاهد و ورمی‌کمپوست است. گروه B شامل تیمار باکتریایی *B. subtilis* بود (شکل ۲).

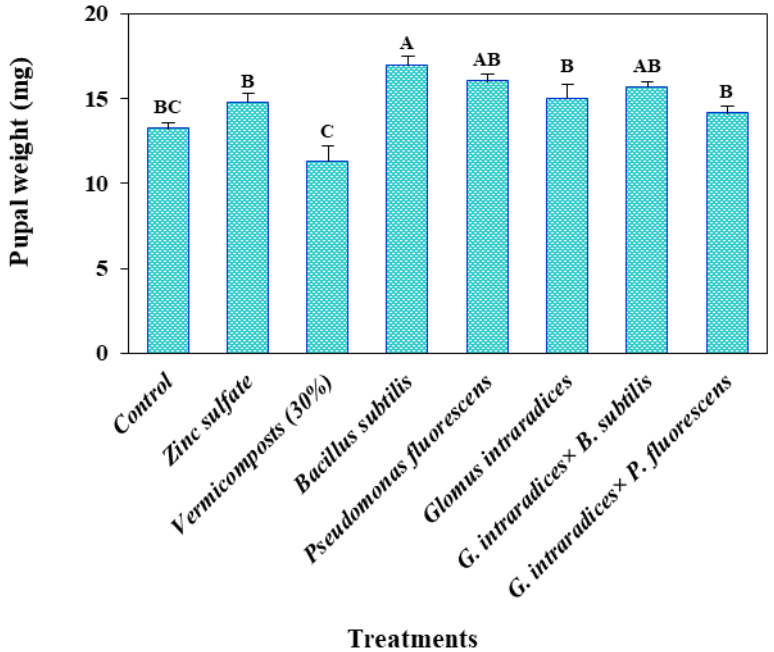
جدول ۲- میانگین (خطای معیار ±) شاخص‌های تغذیه‌ای افراد بالغ کفشدوزک *Adalia bipunctata* پرورش‌یافته روی شته‌های *Myzus persicae* تغذیه‌کننده از گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با کودهای مختلف

Table 2- Mean (± standard error) nutritional indices of adult *Adalia bipunctata* ladybirds reared on aphids *Myzus persicae* feeding on bell pepper plants treated with different fertilizers

Treatments	ECI (%)	CI	RCR ($mg.mg^{-1}.day^{-1}$)	RGR ($mg.mg^{-1}.day^{-1}$)
Control	32.73 ±1.02 ab*	12.54± 0.869 c	0.152 ±0.007c	0.051 ±0.017 d
Zinc sulfate	27.21± 1.32 b	17.35 ± 0.171 b	0.287 ± 0.011 b	0.083 ± 0.037 c
Vermicompost (30 %)	14.53 ± 0.82c	7.60 ± 0.019 d	0.321 ± 0.012 ab	0.067 ± 0.017 d
Bacillus subtilis	58.23 ± 1.12a	24.80 ± 0.032 a	0.599 ± 0.043 a	0.276 ± 0.042 a
Pseudomonas fluorescens	48.19± 1.32 a	22.37 ± 0.184 a	0.411 ±0.006 a	0.174 ±0.021 ab
Glomus intraradices	22.65 ± 0.722 b	19.53 ±0.147 b	0.212 ±0.012 b	0.112 ±0.016 b
G. intraradices× *B. subtilis*	25.35 ± 1.04 b	15.22 ±0.192 c	0.284 ±0.082 b	0.111 ±0.065 b
G. intraradices× *P. fluorescens*	27.71 ±1.09 b	13.35 ±0.156 c	0.199 ± 0.021 bc	0.099 ± 0.032 c

* حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در مقایسه بین میانگین‌ها است (آزمون HSD و P<۰/۰۱).

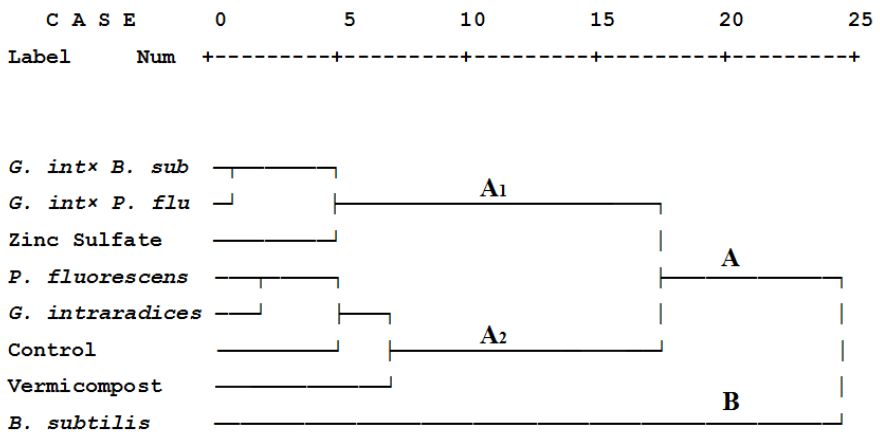
* Unsimilar letters in each column indicate a significant difference in the comparison between means (HSD test and P<0.01).



شکل ۱- وزن شفیره کفشدوزک *Adalia bipunctata* پرورش‌یافته روی شته‌های *Myzus persicae* تغذیه‌کننده از گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با کودهای مختلف

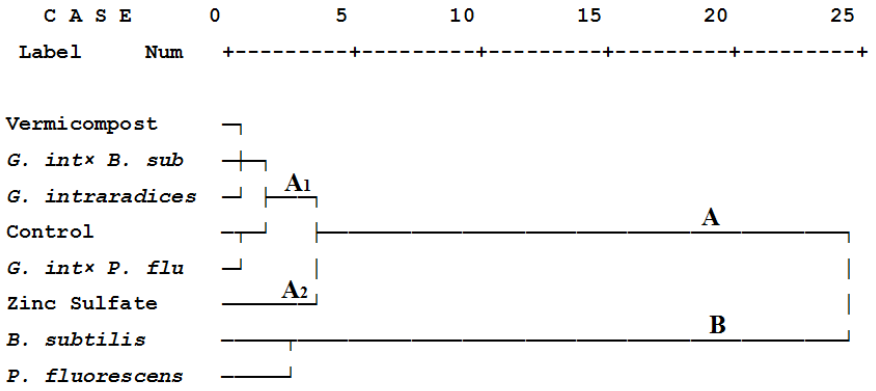
Figure 1- Weight of *Adalia bipunctata* ladybird pupae reared on aphids *Myzus persicae* feeding on bell pepper plants treated with different fertilizers

شکل ۳، یک مطالعه خوشه‌ای از شاخص‌های تغذیه‌ای و وزن شفیره افراد بالغ کفشدوزک شکارگر پرورش‌یافته روی شته سبز هلو تغذیه‌شده از گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با کودهای مختلف را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل خوشه‌ای از تیمارهای مختلف کود براساس شاخص‌های تغذیه‌ای نشان‌دهنده وجود دو گروه A و B است؛ گروه Aشامل دو زیرگروه A_1 وA_2 می‌باشد. زیرگروه A_1 شامل تیمارهای ورمی‌کمپوست، *G. intraradices* × *B. subtilis* و *G. intraradices*، شاهد و *G. intraradices* × *P. fluorescens* می‌باشد، درحالی‌که زیرگروه A_2 شامل تیمار سولفات روی است. گروه B شامل تیمارهای باکتریایی *B. subtilis* و *P. fluorescens* بود (شکل ۳).



شکل ۲- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای براساس شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای سنین مختلف کفشدوزک شکار *Adalia bipunctata* روی تیمارهای مختلف کود در شرایط آزمایشگاه

Figure 2- Dendrogram of cluster analysis based on nutritional indices of larvae of different ages of ladybugs predator *Adalia bipunctata* on different fertilizer treatments in laboratory conditions



شکل ۳- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای براساس شاخص‌های تغذیه‌ای بالغین کفشدوزک شکار *Adalia bipunctata* روی تیمارهای مختلف کود در شرایط آزمایشگاه

Figure 3- Dendrogram of cluster analysis based on nutritional indices of adults of ladybugs predator *Adalia bipunctata* on different fertilizer treatments in laboratory conditions

تیمارهای مختلف کودهای معدنی، آلی و زیستی (محرک رشد گیاه) روی فلفل‌دلمه‌ای به‌طور قابل توجهی بر شاخص‌های تغذیه کفشدوزک شکارگر دونقطه‌ای از طریق طعمه آن (شته سبز هلو) تأثیر گذاشت و تأثیر کیفیت طعمه را بر ویژگی‌های تغذیه‌ای شکارگر مشخص نمود. شاخص‌های تغذیه‌ای برای ارزیابی اثرات کیفیت غذا بر عملکرد بوم‌شناختی دشمنان طبیعی به‌ویژه شکارگرها بسیار مهم است (Mardani-Talaee *et al.*, 2024).

شاخص بازدهی تبدیل غذای بلعیده‌شده به زیست‌توده (ECI) یک معیار کلی برای سنجش توانایی آفات گیاه‌خوار و دشمنان طبیعی در استفاده از غذای خورده‌شده برای نشو و نما است (Singh *et al.*, 2019). افزایش و کاهش ECI را می‌توان به تفاوت در خواص شیمیایی و فیزیولوژیکی غذای مصرف‌شده نسبت داد. در مطالعه حاضر، لاروهای سن سوم و چهارم کفشدوزک دو نقطه‌ای روی تیمار باکتری *B. subtilis*، *P. fluorescens* و سولفات روی بیشترین میزان شاخص ECI را داشتند، درحالی‌که کمترین شاخص‌های ECI و RGR روی تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد مشاهده شد. پایین

بودن ECI احتمالاً می‌تواند معرف وجود سازوکار آنتی‌بیوزی (وجود مواد بازدارنده تغذیه‌ای) در ترکیب غذایی مورد نظر بوده که سبب کاهش وزن لاروهای تغذیه‌کننده می‌شود. بنابراین، تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد نسبت به تغذیه مجموع سنین لاروی احتمالاً از سازوکار آنتی‌بیوزی برخوردار می‌باشد. تیمار ورمی کمپوست جذب عناصر درشت‌مغذی ضروری مانند N، P، K، Ca و Mg را کاهش می‌دهد که منجر به کاهش کیفیت گیاه و افزایش سنتز متابولیت‌های ثانویه مانند ترکیبات فنلی می‌شود. این متابولیت‌های ثانویه می‌توانند با جلوگیری از تغذیه و مهار رشد بر حشرات گیاه‌خوار تأثیر منفی بگذارند (Tsai *et al.*, 2006). در نتیجه، کیفیت پایین طعمه از گیاهان تیمارشده با ورمی کمپوست ممکن است منجر به اثرات نامطلوب بر شکارگرها شود. پژوهشگران بر این باورند که میزان مصرف غذا بستگی به قابلیت هضم غذا و کارآیی تبدیل غذای خورده شده به زیست‌توده دارد (Singh *et al.*, 2019). کاهش مقادیر ECI ممکن است به این دلیل باشد که حشرات گیاه‌خوار به‌جای هضم موثر مواد غذایی، انرژی خود را صرف فعالیت‌های سم‌زدایی مواد آللوشیمیایی گیاهی می‌کنند (Singh *et al.*, 2019). از سوی دیگر، کاهش در میزان مصرف غذا نشان‌دهنده پایین بودن ارزش غذایی است که احتمالاً در نتیجه اثرات رفتاری و فیزیولوژیکی می‌باشد (Nathan *et al.*, 2006). یافته‌های پژوهش قبلی نشان داد که تیمارهای مختلف محرک رشد گیاهی اثرات معنی‌داری بر شاخص‌های تغذیه‌ای *H. variegata* پس از تغذیه از شته‌های سبز هلو داشتند. در این مطالعه، بیشترین مقدار شاخص ECI در لاروهای کفشدوزک زمانی مشاهده شد که شته‌ها روی گیاهان تیمار شده با باکتری *B. subtilis* پرورش یافته بودند (Mardani-Talaee *et al.*, 2024). در نتیجه تیمارهای مختلف محرک رشد گیاهی می توانند ترکیب بیوشیمیایی گیاهان را تغییر دهند و بر فعل و انفعالات روابط سه سطحی گیاه- گیاه‌خوار- دشمن طبیعی تأثیر بگذارند (Biere & Goverse, 2016; Heinen *et al.*, 2018).

در پژوهش حاضر، در کفشدوزک شکارگر دو نقطه‌ای، میزان غذای خورده‌شده و نرخ مصرف نسبی (RCR) در تیمارهای باکتری *B. subtilis* و ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد افزایش یافت که نشان‌دهنده این است که لاروهای شکارگر میزان بیشتری طعمه (شته) مصرف کردند، درحالی‌که میزان شاخص RCR شکارگر در تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد افزایش یافت، از سوی دیگر میزان شاخص RGR کاهش یافت که می‌تواند به‌دلیل عدم وجود مشکل در عمل بلع باشد که عامل مؤثر در کاهش RGR نیز می‌تواند مربوط به کارآیی تأثیر ترکیبات غذای (طعمه) به‌دلیل وجود متابولیت‌های ثانویه باشد (Lazarević & Perić-Mataruga, 2003). لذا، هر چند لاروهای کفشدوزک شکارگر بخش عمده‌ای از غذای خورده‌شده را هضم کرده، امّا قادر به استفاده از مواد هضم‌شده جهت نشو و نما نبوده که می‌تواند به‌دلیل اختلال در فعالیت‌های متابولیکی لارو از جمله کاتابولیسم و دفع باشد. بنابراین، تفاوت در غلظت مواد شیمیایی بین میزبان‌ها می‌تواند در عملکرد تغذیه‌ای لارو حشرات مؤثر باشد (Mardani-Talaee *et al.*, 2015). نتایج حاصل از تغذیه لاروی نشان داد که بیشترین مقادیر RCR و RGR به‌ترتیب در تیمارهای سولفات روی و باکتری *B. subtilis*، و کمترین مقدار این شاخص‌ها در تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد مشاهده شد. طول دوره تغذیه لارو یک عامل مؤثر در مقادیر شاخص‌های RCR و RGR می‌باشد. در مجموع، نرخ رشد لاروهایی که از میزبان با ارزش غذایی بالا تغذیه می‌کنند، افزایش یافته و طول دوره نشو و نمای آن‌ها کوتاه‌تر از لاروهایی که از غذاهای با ارزش غذایی پایین تغذیه می‌کنند (Hwang *et al.*, 2008; Mardani-Talaee *et al.*, 2015).

گیاهان میزبان و/یا طعمه‌های مختلف حاوی سطوح مختلف مواد مغذی هستند که می‌تواند بر مشخصه‌های باروری مانند دوره زایشی و وزن شفیرگی تأثیر بگذارد (Yu Qin *et al.*, 2016; Mardani-Talaee *et al.*, 2024). وزن شفیرگی را می‌توان به‌عنوان شاخص تناسب اندام اندازه‌گیری کرد که در واقع با محتوای چربی بدن همبستگی مثبت دارد (Enriquez *et al.*, 2022). در تحقیق حاضر، وزن شفیره کفشدوزک دو نقطه‌ای تغذیه‌شده با شته *M. persicae* پرورش‌یافته روی تیمار باکتری *B. subtilis* افزایش یافت که افزایش وزن شفیره منعکس‌کننده میزان مطلوبیت میزبان می‌باشد (Leuck & Perkins, 1972; Priyanka *et al.*, 2023). از سوی دیگر، وزن شفیره شکارگر روی تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد کاهش یافته که در طعمه یا رژیم غذایی حاوی مقادیر پایین ویتامین‌ها، مواد معدنی و پروتئین، به‌دلیل کاهش بازده تبدیل آنزیم‌های گوارشی، طول دوره رشد نابالغی افزایش و وزن شفیره‌ها کاهش می‌یابد (Wittman & Aukema, 2019).

افراد بالغ کفشدوزک *A. bipunctata* روی تیمارهای باکتری *B. subtilis* و *P. fluorescens* بیشترین میزان شاخص‌های ECI، CI و RCR را داشتند. همچنین،کمترین میزان شاخص‌های ECI، CI و RGR کفشدوزک *A. bipunctata* روی تیمار ورمی-کمپوست ۳۰ درصد مشاهده شد. نتایج به‌دست‌آمده بیان‌کننده بالا بودن کیفیت غذایی شته‌های تغذیه شده با گیاه فلفل‌دلمه تیمارشده با *B. subtilis* و *P. fluorescens* است، ارزش غذایی این تیمارها برای تغذیه افراد بالغ کفشدوزک مناسب‌تر از تیمارهای دیگر می‌باشد. به‌طور کلی، رژیم غذایی با پروتئین کم می‌تواند باعث افزایش نرخ تغذیه لارو حشرات شود (Scriber, 1993) و متقابلاً رژیم غذایی با میزان پروتئین بالا می‌تواند باعث کاهش نرخ تغذیه شود (Mattson, 1980). در بین شاخص‌های تغذیه‌ای، ECI ممکن است با میزان هضم‌شوندگی غذا و نسبتی از غذای قابل هضم که به توده بدنی تبدیل شده و برای تولید انرژی مورد نیاز فعالیت‌های حیاتی حشره

متابولیزه می‌شود، متغیر باشد (Ali *et al.*, 2017). شاخص ECI توانایی یک حشره را برای استفاده از غذای مصرف‌شده جهت رشد و نمو نشان می‌دهد. بنابراین، عدم تغییر در ECI نشان می‌دهد که آللوکمیکال مورد تغذیه حشره هیچ نوع سمیت مزمنی نشان نمی‌دهد (Rubiya *et al.*, 2019). نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه قبلی نشان داد که تیمارهای مختلف کودهای شیمیایی، آلی و زیستی روی ویژگی‌های گیاه میزبان (فلفل‌دلمه) تأثیر می‌گذارد و این تغییرات ریخت‌شناختی گیاه بر مشخصه‌های دموگرافیک (جدول‌زندگی، پارامترهای رشد جمعیت و تولیدمثل) و فیزیولوژیکی شته سبز هلو تأثیرگذار بوده و همین مشخصه‌های ذکرشده در تیمار سولفات روی نسبت به مقادیر به‌دست‌آمده برای ورمی‌کمپوست بیشتر بود (Mardani-Talaee *et al.*, 2016 a,b; 2017). علت چنین تفاوتی ممکن است پایین بودن کیفیت غذایی گیاهان تیمارشده با تیمار ورمی‌کمپوست، افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه و همچنین تفاوت‌های فیزیولوژیکی سیستم آنتی‌اکسیدانی شته سبز هلو باشد(Mardani-Talaee *et al.*, 2016 a,b). بنابراین، براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد به دلایلی مانند بالا بودن طول دوره رشدی قبل از بلوغ، پایین بودن میزان باروری، پایین بودن نرخ بقاء، امید به زندگی و مشخصه‌های تولیدمثل شته سبز روی آن، تیمار نامناسبی نسبت به سایر تیمارهای کودی برای شته سبز هلو بوده و باعث القاء مقاومت در گیاه نسبت به این آفت می‌شود.

وجود اختلاف معنی‌دار براساس تحلیل خوشه‌ای در شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای سنین مختلف و افراد بالغ کفشدوزک شکارگر در تیمارهای مختلف کودی نشان داد که نوع تیمار کودی می‌تواند ارزش غذایی شته‌های تغذیه شده با آن‌ها را برای کفشدوزک‌های شکارگر آن‌را تغییر دهد. در مطالعات گذشته، علاوه‌بر مشخصه‌های زیستی مقادیر به‌دست‌آمده برای مشخصه نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نیز مؤید مطلوب بودن تیمارهای باکتریایی *P. fluorescens* و *B. subtilis* نسبت به تیمارهای دیگر برای کفشدوزک‌های شکارگر بودند (Mardani-Talaee *et al.*, 2024, 2025). بالا بودن نرخ ذاتی افزایش جمعیت کفشدوزک‌های شکارگر در تیمارهای باکتری *P. fluorescens*، *B. subtilis* و سولفات روی بیانگر بالا بودن کیفیت غذایی این تیمارها در مقایسه با ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد برای هر دو کفشدوزک می‌باشد. بنابراین، وجود اختلاف معنی‌دار در فعالیت‌های آنزیمی کفشدوزک‌های *A. bipunctata* (Mardani-Talaee *et al.*, 2022) و شاخص‌های تغذیه‌ای روی تیمارهای مختلف کودی نشان داد که نوع تیمار کود می‌تواند ارزش غذایی آن را تغییر دهد.

نتیجه‌گیری

از منظر کشاورزی پایدار، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که ترکیب کودهای زیستی با برخی مواد معدنی، مانند سولفات روی، می‌تواند به‌عنوان یک راهکار عملی برای کاهش وابستگی به آفت‌کش‌های شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد (Singh *et al.*, 2019; Enriquez *et al.*, 2022). این راهکار علاوه‌بر افزایش کارآیی دشمنان طبیعی آفات، باعث حفظ سلامت خاک، افزایش تنوع زیستی و کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف سموم می‌شود (Nathan *et al.*, 2006; Rubiya *et al.*, 2019). به‌ویژه در کشت محصولاتی مانند فلفل‌دلمه‌ای که تقاضای بالایی برای مهار آفات دارد، استفاده از این ترکیبات می‌تواند منجر به تولید محصول سالم‌تر و پایدارتر شود. نتایج این تحقیق همچنین ضرورت مطالعات میدانی بیشتر را برای بررسی تأثیرات بلندمدت این تیمارها در شرایط مزرعه‌ای تأیید می‌کند.

سپاسگزاری

نگارندگان این مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی جهت تأمین هزینه‌های این پژوهش قدردانی می‌نمایند.

References

1. Ali, A.M., Mohamed, D.S., Shaurub, E.H., & Elsayed, A.M. (2017). Antifeedant activity and some biochemical effects of garlic and lemon essential oils on *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, *5*, 1476-1482.
2. Alizamani, T., Shakarami, J., Mardani-Talaee, M., Zibaee, A., & Serrão, J.E. (2020). Direct interaction between micronutrients and bell pepper (*Capsicum annum* L.) to affect fitness of *Myzus persicae* (Sulzer). *Journal of Plant Protection Research*, *60*, 253-262. https://doi.org/10.24425/jppr.2020.133319.
3. Alloway, B.J. (2008). Zinc in soils and crop nutrition. *International Zinc Association and International Fertilizer Association*, *16*, 135.
4. Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Yardim, E.N., Oliver, T.J., Byrne, R.J., & Keeney, G. (2007). Suppression of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*), mealy bug (*Pseudococcus* sp) and aphid (*Myzus persicae*) populations and damage by vermicomposts. *Crop Protection*, *26*(1), 29-39. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.03.013.

5. Barratt, B.I.P., Howarth, F.G., Withers, T.M., Kean, J.M., & Ridley, G.S. (2010). Progress in risk assessment for classical biological control. *Biological Control*, *52*(3), 245-254. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.02.012.
6. Bashan, Y., & Levanony, H. (1990). Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as achallenge for agriculture. *Candian Journal of Microbiol*ogy, *36*, 591-608. https://doi.org/10.1139/m90-105.
7. Biere, A., & Goverse, A. (2016). Plant-mediated systemic interactions between pathogens, parasitic nematodes, and herbivores above-and belowground. *Annual Review of Phytopathology*, *54*, 499-527.
8. Chaoui, H., Edwards, C.A., Brickner, A., Lee, S.S., & Arancon, N.Q. (2002). Suppression of the plant diseases, Pythium (damping-off), Rhizoctonia (root rot) and Verticillium (wilt) by vermicomposts. In *Brighton Crop Protection Conference Pests and Diseases*, *2*, 711-716.
9. Chavez–Mendoza, C., Sanchez, C., Munoz Marquez, E., Sida Arreola, J.P., & Flores Cordova, M.A. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in different grafted varieties of bell pepper. *Antioxidants*, *4*(2), 427-446. https://doi.org/ 10.3390/antiox4020427.
10. El-Refaie, R.M., Shaurub, E.S.H., Abd-Allah, G.E., Ebeid, A.A., & Abouelnaga, Z.S. (2024). Effect of four host plants on the life history and nutritional indices of *Spodoptera Littoralis*. *International Journal of Tropical Insect Science 44*, 1091–1101.
11. Enriquez, T., Lievens, V., Nieberding, C.M., & Visser, B. (2022). Pupal size as a proxy for fat content in laboratory-reared and field-collected Drosophila species. *Scientific Reports*, *12*(1), 12855. https://doi.org/10.1038/s41598-022-15325-0.
12. Fenton, B., Kasprowicz, L., Malloch, G., & Pickup, J. (2010). Reproductive performance of asexual clones of the peach-potato aphid, *Myzus persicae*, (Homoptera: Aphididae), colonising Scotland in relation to host plant and field ecology. *Bulletin of Entomological Research*, *100*(4), 451–460. https://doi.org/10.1017/S0007485309990447.
13. Gadhave, K.R., Finch, P., Gibson, T.M., & Gange, A.C. (2016). Plant growth-promoting *Bacillus* suppress *Brevicoryne brassicae* field infestation and trigger density-dependent and density-independent natural enemy responses. *Journal of Pest Science*, *89*, 985-992.
14. Gouda, S., Kerry, R.G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H.S., & Patra, J.K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research*, *206*, 131-140. https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016.
15. Hajek, A.E., & Eilenberg, J. (2018). Natural Enemies: An Introduction to Biological Control. Cambridge University Press. Cambridge, UK, 439 pp. https://doi.org/10.1017/9781107280267.
16. Hassanvand, M., Shakarami, J., & Mardani-Talaee, M. (2020). Nutrition interaction between different mycorrhizal species and bell pepper, *Capsicum annum* L., and its effects on biological parameters of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, *50*, 289-300. https://doi.org/10.22059/ijpps.2020.285107.1006898. (In Persian)
17. Heinen, R., Biere, A., Harvey, J.A., & Bezemer, T.M. (2018). Effects of soil organisms on aboveground plant-insect interactions in the field: Patterns, mechanisms and the role of methodology. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *6*, 106. https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00106.
18. Hodek, I., & Honeck, A. (1996). Ecology of Coccinellidae, 1st Ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherland, 464 pp. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-1349-8.
19. Honěk, A., Novák, I., Martinková, Z., Saska, P., Kulfan, J., Holecová, M., Jauschova, T., & Zach, P. (2023). Trophic ecology drives annual variation in abundance of *Aphidophagous* (Coccinellidae, Coleoptera and Chrysopidae, Neuroptera) and Phytophagous (Noctuidae, Lepidoptera) insects: Evidence from light traps. *Annals of the Entomological Society of America*, *116*(2), 125-140. http://dx.doi.org/10.1093/aesa/saad002.
20. Hunter, M.D., & Price, P.W. (1992). Playing chutes and ladders: Heterogeneity and the relative roles of bottom-up and top-down forces in natural communities. *Ecology*, *73*, 724-732.
21. Hwang, S.Y., Liu, C.H., & Shen, T.C. (2008). Effects of plant nutrient availability and host plant species on the performance of two *Pieris* butterflies (Lepidoptera: Pieridae). *Biochemical Systematics and Ecology*, *36*(7), 505-513. https://doi.org/10.1016/j.bse.2008.03.001.
22. Lazarević, J.M., & Perić-Mataruga, V.D. (2003). Nutritive stress effects on growth and digestive physiology of *Lymantria dispar* larvae. *Jugoslovenska Medicinska Biohemija*, *22*(1), 53-59. https://doi.org/10.2298/JMH0301053L
23. Leuck, D.B., & Perkins, W.D. (1972). A method of estimating fall armyworm progeny reduction when

evaluating control achieved by host-plant resistance. *Journal of Economic Entomology*, *65*(2), 482-483. https://doi.org/10.1093/jee/65.2.482.

24. Mardani-Talaee, M., Gadir Nouri-Ganblani, G., Zibaee, A., Jabraeil Razmjou, J., Hassanpour, M., & Naseri, B. (2022). Effect of nutritional interaction between plant growth stimulants and peach green aphid (*Myzus persicae* Sulzer) on physiological processes of two-spotted ladybird (*Adalia bipunctata* L.). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *45*(1), 65-82. https://doi.org/10.22055/PPR.2022.17365. (In Persian with English abstract).
25. Mardani-Talaee, M., Nouri-Ganblani, G., Razmjou, J., Hassanpour, M., Naseri, B., & Asgharzadeh, A. (2016 a). Effects of chemical, organic and bio-fertilizers on some secondary metabolites in the leaves of bell pepper (*Capsicum annuum*) and their impact on life table parameters of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, *109*(3), 1231-1240. https://doi.org/10.1093/jee/tov389.
26. Mardani-Talaee, M., Nouri-Ganblani, G., Razmjou, J., Hassanpour, M., Vivekanandhan, P., & Naseri, B. (2024). Bottom-up effects of various plant growth promoting treatments on fitness parameters of *Hippodamia variegata*. *Journal of Basic Microbiology*, *65*(3), e2400486. https://doi.org/10.1002/jobm.202400486.
27. Mardani-Talaee, M., Razmjou, J., Nouri-Ganbalani, G., Hassanpour, M., & Naseri, B. (2017). Impact of chemical, organic and bio-fertilizers application on bell pepper, *Capsicum annuum* L. and biological parameters of *Myzus persicae* (Sulzer)(Hem: Aphididae). *Neotropical Entomology*, *46*, 578-586. https://doi.org/10.1007/s13744-017-0494-2.
28. Mardani-Talaee, M., Razmjou, J., Nouri-Ganbalani, G., Hassanpour, M., & Naseri, B. (2025). Bottom-up effects of different fertilizer on changes in the two sex life table of the ladybug beetle *Adalia bipunctata* L. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *48*(1), 33-53. https://doi.org/10.22055/PPR.2025.48593.1781. (In Persian with English abstract)
29. Mardani-Talaee, M., Zibaee, A., Nouri-Ganbalani, G., Rahimi, V., & Tajmiri, P. (2015). Effect of vermicompost on nutrition and intermediary metabolism of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, *48*(8), 623-645. https://doi.org/10.1080/03235408.2015.1091154.
30. Mardani-Talaee, M., Zibaee, A., Nouri-Ganblani, G., & Razmjou, J. (2016b). Chemical and organic fertilizers affect physiological performance and antioxidant activities in *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Invertebrate Survival Journal*, *13*(1), 122-133. https://doi.org/10.25431/1824-307X/isj.v13i1.122-133.
31. Mattson, W.J. (1980). Herbivory in relation to plant nitrogen content. *Annual Review of Ecology and Systematics*, *11*, 119-161. https://doi.org/10.1146/annurev.es.11.110180.001003.
32. Megali, L., Schlau, B., & Rasmann, S. (2015). Soil microbial inoculation increases corn yield and insect attack. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*, 1511-1519. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0323-0.
33. Mercer, N.H., & Obrycki, J.J. (2021). Impacts of larval diet on pre-imaginal development, survival and adult size of six species of Coccinellidae (Coleoptera). *Journal of the Kansas Entomological Society*, *93*(3), 256-261. https://doi.org/10.2317/0022-8567-93.3.256
34. Moon, D.C., Barnouti, J., & Younginger, B. (2013). Context-dependent effects of mycorrhizae on herbivore density and parasitism in a tritrophic coastal study system. *Ecological Entomology*, *38*(1), 31-39.
35. Naeem, M., Aslam, Z., Khaliq, A., Ahmed, J.N., Nawaz, A., & Hussain, M. (2018). Plant growth promoting rhizobacteria reduce aphid population and enhance the productivity of bread wheat. *Brazilian Journal of Microbiology*, *49*(1), 9–14. https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.10.005.
36. Nathan, S.S., Chung, P.G., & Murugan, K. (2006). Combined effect of biopesticides on the digestive enzymatic profiles of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (the rice leaffolder) (Insecta: Lepidoptera: Pyralidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *64*(3), 382-389. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.04.008 .
37. Noret, N., Josens, G., Escarré, J., Lefèbvre, C., Panichelli, S., & Meerts, P. (2007). Development of *Issoria lathonia* (Lepidoptera: Nymphalidae) on zinc-accumulating and nonaccumulating *Viola* species (Violaceae). *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, *26*(3), 565-571. https://doi.org/10.1897/06-413R.1.
38. Obrycki, J.J., & Kring, T.J. (1998). Predaceous Coccinellidae in biological control. *Annual Review of Entomology*, *43*(1), 295-321. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.295.
39. Priyanka, S.L., Jeyarani, S., Sathiah, N., Mohankumar, S., & Nakkeeran, S. (2023). Influence of host egg age on parasitic potential of the entomophagous, *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera:

Scelionidae) against the Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and investigations on the developmental biology and ultrastructure of egg parasitoid immature stages. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, *33*(1), 26. http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

40. Ramadan, M.M., Awadalla, S.S., Abdel-Hady, A.A., & Hassan, M.A. (2022). Effect of essential and factitious foods and their mixing on developmental performance and reproductive fitness of the ladybeetle, *Hippodamia variegata*. *Journal of Plant Protection and Pathology*, *13*(3), 63-68. https://doi.org/10.21608/jppp.2022.130670.1063.
41. Razmjou, J., Mohammadi, M., & Hassanpour, M. (2011). Effect of vermicompost and cucumber cultivar on population growth attributes of the melon aphid (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, *104*(4), 1379-1383. https://doi.org/10.1603/EC10120.
42. Ricupero, M., Dai, C., Siscaro, G., Russo, A., Biondi, A., & Zappalà, L. (2020). Potential diet regimens for laboratory rearing of the harlequin ladybird. *BioControl*, *65*, 583-592. https://doi.org/10.1007/s10526-020-10021-2.
43. Rubiya, R., Murugan, M., Shanthi, M., Krishnamoorthi, V., & Vellaikumar, S. (2019). Comparative feeding and digestive performance of four lepidopteran species of Larva on onion, *Allium cepavar aggregatum* L. as a host plant. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *8*(6), 1692-1702. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.806.202
44. Saravanakumar, D., Lavanya, N., Muthumeena, B., Raguchander, T., Suresh, S., & Samiyappan, R. (2008). *Pseudomonas fluorescens* enhances resistance and natural enemy population in rice plants against leaffolder pest. *Journal of Applied Entomology*, *132*(6), 469-479. https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2008.01278.x.
45. Sarkar, S.C., Milroy, S.P., & Xu, W. (2022). Development and reproduction of a native generalist predator, *Coccinella transversalis* (Coleoptera: Coccinellidae), on the tomato potato psyllid, *Bactericera cockerelli*, with a greenhouse assay of biocontrol potential. *Biological Control*, *176*, 105108. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105108.
46. Schausberger, P., Peneder, S., Jürschik, S., & Hoffmann, D. (2012). Mycorrhiza changes plant volatiles to attract spider mite enemies. *Functional Ecology*, *26*(2), 441-449. https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2011.01947.x.
47. Scriber, J.M. (1993). Absence of behavioral induction in oviposition preference of *Papilio glaucus* (Lepidoptera: Papilionidae). *The Great Lakes Entomologist*, *26*(2), 1. https://doi.org/10.22543/0090-0222.1811.
48. Scriber, J.M., & Slansky, F.J. (1981). The nutritional ecology of immature insects. *Annual Review of Entomology*, *26*, 183-211. https://doi.org/10.1146/annurev.en.26.010181.001151.
49. Singh, M., Pande, H., Naik, J.H., Goswami, D., & Kaushal, B.R. (2019). Nutritional indices of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on three different host plants. *Indian Journal of Agricultural Research*, *53*(5), 536-541. https://doi.org/10.18805/IJARe.A-5272.
50. Spiegel-Roy, P., & Goldschmidt, E. (2008). Biology of citrus. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 230 pp.
51. Stella de Freitas, T.F., Stout, M.J., & Sant'Ana, J. (2019). Effects of exogenous methyl jasmonate and salicylic acid on rice resistance to *Oebalus pugnax*. *Pest Management Science*, *75*(3), 744-752. https://doi.org/10.1002/ps.5174.
52. Sun, Y.X., Hao, Y.N., Riddick, E.W., & Liu, T.X. (2017). Factitious prey and artificial diets for predatory lady beetles: Current situation, obstacles, and approaches for improvement: A review. *Biocontrol Science and Technology*, *27*(5), 601-619. https://doi.org/10.1080/09583157.2017.1324112.
53. Tsai, C.J., Harding, S.A., Tschaplinski, T.J., Lindroth, R.L., & Yuan, Y. (2006). Genome-wide analysis of the structural genes regulating defense phenylpropanoid metabolism in *Populus*. *New Phytologist*, *172*(1), 47-62. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01798.x.
54. Valenzuela-Soto, J.H., Estrada-Hernández, M.G., Ibarra-Laclette, E., & DélanoFrier, J.P. (2010). Inoculation of tomato plants (*Solanum lycopersicum*) with growth-promoting *Bacillus subtilis* retards whitefly *Bemisia tabaci* development. *Planta*, *231*, 397–410. https://doi.org/10.1007/s00425-009-1061-9.
55. Waldbauer, G.P. (1968). The Consumption and Utilization of Food by Insects. In *Advances in Insect Physiology*, *5*, 229-288. Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0065-2806(08)60230-1.

56. Wittman, J.T., & Aukema, B.H. (2019). Foliage type and deprivation alters the movement behavior of late instar European gypsy moth *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Erebidae). *Journal of Insect Behavior*, *32*, 24-37. https://doi.org/10.1007/s10905-019-09711-2.
57. Yu Qin, Y.Q., Wang Fang, W.F., Zhang RunXiang, Z.R., Guo GuiMing, G.G., Fan RenJun, F.R., & Hao Chi, H.C. (2016). Effects of pupal weight on the fecundity and longevity of adults and the larval development of the next generation in *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Acta Entomologica Sinica*, *59*, 985–990.

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 2, 2025, p. 169-180

Evaluation of the Residue Levels of New Fungicides Dagonis® and Affiance® in the Control of Tomato Early Blight Disease

Mohsen Morowati[1*], Kasra Sharifi[2], Vahide Mahdavi[1]

1- Pesticides Research Department, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.
2- Plant Diseases Research Department, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.
(*- Corresponding author's Email: M_Morovati@areeo.ac.ir, M_Morowati@yahoo.com)

Received: 24-06-2024
Revised: 15-09-2024
Accepted: 25-11-2024
Available Online: 09-07-2025

How to cite this article:
Morowati, M., Sharifi, K., & Mahdavi, V. (2025). Evaluation of the residue levels of new fungicides Dagonis® and Affiance® in the control of tomato early blight disease. *Iranian Plant Protection Research*, *39*(2), 169-180. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88636.1196

Introduction

Tomato early blight is an important disease in tomato which is caused by *Alternaria alternata*, *A. tenuissima* and *A. solani* species, and occurs in a wide range of weather conditions all around the world. For the chemical control of this disease, the fungicides Dagonis® 12.5% SC (fluxapyroxad 75 g L^{-1} + difenoconazole 50 g L^{-1}) at a rate of 1200 mL ha^{-1}, Affiance® 17% SC (tetraconazole 75 g L^{-1} + azoxystrobin 95 g L^{-1}) at a rate of 600 mL ha^{-1} and Signum® (boscalid 252 g L^{-1} + pyraclostrobin 128 g L^{-1}) at rate of 500 g ha^{-1} were used. In order to evaluate residue levels of these fungicides, experiments were carried out under greenhouse conditions in Alborz province during the years 2020 to 2022.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of Affiance®, Dagonis® and Signum® fungicides in controlling tomato early blight disease, experiments with 3 treatments and four replications were conducted in Alborz province under greenhouse conditions in the form of a completely randomized design. Control was considered without any spraying of these fungicides.

In order to measure the residue levels of these fungicides in the treated tomato fruits, samples were collected at 1, 2, 3, 4 and 5 days after spraying according to the Iran's national standard method no. 8366/2005 entitled "Pesticides- Determination of pesticide residues in crops and livestock- sampling method". Extraction of pesticides were carried out by Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, and Safe (QuEChERS) method and pesticide residue levels were measured by Liquid Chromatography Mass/Mass (LC-MS/MS) and the values were compared with the national and international Maximum Residue Limits (MRLs). For preparation and extraction, tomato samples were crushed and homogenized and 15 grams of the homogenized and crushed sample was weighed as a laboratory test sample. By adding 15 mL of acetonitrile containing 1% acetic acid, the overall extraction process was performed. Anhydrous magnesium sulfate, sodium chloride and sodium acetate

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88636.1196

adsorbents were used to complete the extraction process. By centrifugation, the organic phase was separated from the aqueous tissue and 5 ml of the organic phase obtained from this step was used for the cleanup step. For purification, magnesium sulfate adsorbents were used in order to remove excess water in the medium and PSA (Poly Secondary Amine) in order to remove large molecules, organic acids, proteins and other disturbing co-extractives. Finally, after centrifugation, 1 mL of the resulting organic phase was prepared after filtration for evaporation and then injection into the LC-MS/MS.

Calibration of LC-MS/MS

First, by directly injecting the standard solution (1 µg mL^{-1}) of each of the pesticides alone to the MS detector, the fragmentation voltage of the parent ion (Precursor Ion) and the collision energy for each of the daughter ions (Daughter Ion) or product ions of each compound were optimized. In other words, at this stage, the best conditions for high-sensitivity detection were determined for each of the compounds.

Validation of the Method

According to the Sanco standard, three concentration levels were validated, which were made in acetonitrile solvent and tomato matrix. For this purpose, by diluting the mother solution appropriately, solutions were prepared at three different concentration levels of 0.05, 0.1, and 0.2 mg kg^{-1} of the mixture of the standards of pesticides under investigation in solvent and tomato matrix. Regarding the linear dynamic range (LDR) for all pesticides the beginning of the range is the same as the limit of quantitation (LOQ). The figures of acceptable merit and recovery in the range of 80.1 to 111% with RSD from 10 to 14.5% indicate the acceptability of the proposed analysis method.

Results and Discussion

The results obtained for the residue levels of Dagonis® fungicide consisting of fluxapyroxad and difenoconazole, showed that according to the MRL of fluxapyroxad (MRL= 0.2 mg kg^{-1}), two days after spraying it was less than the MRL and difenoconazole residue levels was less than the MRL (MRL= 0.6 mg kg^{-1}) one day after spraying. The amount of residue in Affiance® treatment samples, consisting of two fungicides, tetraconazole and azoxystrobin, showed that after 3 days of spraying, the residue of tetraconazole reached the MRL (0.1 mg kg^{-1}) and the residue of the fungicide azoxystrobin was lower than the MRL (3 mg kg^{-1}) one day after spraying. The results of the pesticide residue measured in the samples treated with Signum® consisting of boscalid and pyraclostrobin showed that the pyraclostrobin residue levels were lower that the MRL (1 mg kg^{-1}) two days after spraying this fungicide, and boscalid residue was lower than the MRL (3 mg kg^{-1}) after one day of spraying. In the control samples, the tested fungicides were not detectable.

Conclusions

Therefore, Affiance®, Dagonis® and Signum® fungicides at the rates of 600, 1200 mL and 500 g ha^{-1}, with the pre-harvest intervals of 3, 2 and 2 days respectively, are safe considering the residue levels of them and are recommended to be used to control early blight disease in tomato.

Keywords*:* Alternaria, Chemical control, Food safety, Maximum Residue Limits, Pre-Harvest interval

پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص. ۱۸۰-۱۶۹

ارزیابی مقدار باقی‌مانده قارچ‌کش‌های جدید داگونیس® و آفیانس® در مهار بیماری لکه موجی گوجه‌فرنگی

محسن مروتی[1*]، کسری شریفی[2]، وحیده مهدوی[1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵

چکیده

بیماری لکه‌موجی یکی از بیماری‌های مهم گوجه‌فرنگی محسوب می‌شود که عوامل آن قارچ‌های *A. alternata*، *A. Tenuissima* و *A. solani* می‌باشند و در شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب، نیمه‌مرطوب و معتدل ایجاد می‌شود. برای مهار شیمیایی این بیماری، از قارچ‌کش‌های داگونیس®SC 12.5% (فلوکساپیروکساد ۷۵ گرم بر لیتر + دیفنوکونازول ۵۰ گرم بر لیتر)، آفیانس® SC 17%(تتراکونازول ۷۵ گرم بر لیتر + آزوکسی‌استروبین ۹۵ گرم بر لیتر) و سیگنوم®(بوسکالید ۲۵۲ گرم بر لیتر + پیراکلواستروبین ۱۲۸ گرم بر لیتر) به‌ترتیب با مقادیر ۱۲۰۰ میلی‌لیتر، ۶۰۰ میلی‌لیتر و ۵۰۰ گرم در هکتار استفاده می‌شود. به‌منظور بررسی میزان باقی‌مانده این قارچ‌کش‌ها پس از محلول‌پاشی با قارچ‌کش‌های مذکور برای مهار بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی، آزمایشات در شرایط گلخانه‌ای واقع در استان البرز روی رقم SV4129 صورت گرفت. نمونه‌برداری از میوه‌ها در زمان‌های یک، دو، سه، چهار و پنج روز پس از محلول‌پاشی انجام شد. استخراج قارچ‌کش‌ها طبق روش‌های استاندارد ملی ایران صورت گرفت. اندازه‌گیری باقی‌مانده آن‌ها با دستگاه کروماتوگرافی مایع مجهز به تجزیه‌گر متوالی جرمی انجام و مقادیر محاسبه شده با مرز بیشینه مانده مجاز ملی و بین‌المللی مقایسه گردید. نتایج به‌دست آمده در مورد قارچ‌کش داگونیس®، نشانگر کاهش میزان باقی‌مانده آن به کمتر از مرز بیشینه مانده مجاز، دو روز پس از سم‌پاشی بود. میزان باقی‌مانده در نمونه‌های تیمار آفیانس®، نشان داد که باقی‌مانده آن پس از گذشت سه روز بعد از سم‌پاشی به‌مقدار برابر با مرز بیشینه مانده مجاز می‌رسد. بررسی باقی‌مانده سیگنوم® مشخص کرد که باقی‌مانده آن دو روز پس از سم‌پاشی به پایین‌تر از مرز بیشینه مانده مجاز می‌رسد. به این ترتیب، قارچ‌کش‌های آفیانس®، داگونیس® و سیگنوم® به‌ترتیب با مقادیر ۶۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌لیتر و ۵۰۰ گرم در هکتار با دوره‌های کارنس به‌ترتیب سه، دو و دو روز با توجه به‌میزان باقی‌مانده قارچ‌کش‌ها ایمن بوده و قابل توصیه برای مهار بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی هستند.

واژه‌های کلیدی: آلترناریا، دوره کارنس، سلامت غذا، مهار شیمیایی، مرز بیشینه مانده مجاز

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) از گیاهان مهمی است که میوه آن به‌صورت تازه‌خوری و همچنین در صنایع غذایی استفاده می‌شود (Bai & Lindhout, 2007). بنابه گزارش مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی در فضای باز و گلخانه به‌ترتیب حدود ۸۰ هزار و ۷۰۰ هکتار و تولید آن در ایران به‌ترتیب حدود ۳،۸۰۰،۰۰۰ و ۴۰۰،۰۰۰ تن در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ برآورد شده است (Anonymous, 2022).

بیماری لکه‌موجی[3] گوجه‌فرنگی که عوامل آن قارچ‌های *Alternaria solani*، *A. alternata* و *A. tenuissima* می‌باشند از بیماری‌های مهم گوجه‌فرنگی است که در شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب، نیمه‌مرطوب و معتدل حادث می‌شود (Stammler et al.,

۱- بخش تحقیقات آفت‌کش‌ها، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۲- بخش تحقیقات بیماری‌های گیاهی، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: M_Morowati@yahoo.com)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88636.1196

3- Early blight disease

2014). اگر اقدامات لازم برای مهار آن انجام نشود، شاخسار و اندام‌های سبز گیاه را تخریب و خسارت زیادی را به محصول وارد می‌کند. بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی از اکثر مناطق کشت گوجه‌فرنگی کشور گزارش شده است (Ershad, 1998). این بیماری در دنیا به‌خصوص در مناطق گرم و مرطوب و نیمه مرطوب با تشکیل شبنم‌های صبحگاهی، آلودگی ایجاد می‌کند. میانگین خسارت ناشی از این بیماری در دنیا حدود ۳۰ درصد برآورد شده است که اهمیت این بیماری را نشان می‌دهد (Chaerani *et al*., 2007; El-Tanany *et al*., 2018). عوامل بیماری در گوجه‌فرنگی، بادمجان (*Solanum melongena* L.) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) شیوع دارد و گونه‌های مختلفی به‌عنوان عوامل بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی از جمله قارچ‌های *Alternaria solani*، *A. alternata* و *A. tenuissima* معرفی شده‌اند (Saleem & El-Shahir, 2022; Stammler *et al*., 2014). خسارت بیماری در ارقام گوجه‌فرنگی زودرس به‌خصوص در مناطق کشت در بندرعباس، میناب و جیرفت فوق‌العاده زیاد و مهم است (Ahmadinejad & Doodabi, 1986). میزان آلودگی در مناطق جیرفت وکهنوج حدوداً بین ۹۰-۶۰ درصد گزارش شده است (Jaliani, 1991). این بیماری در سال‌های اخیر باعث بروز خسارت قابل توجهی در مناطق جنوبی ایران شده است. علائم بیماری در میوه و برگ شبیه بوده و به‌صورت لکه‌های گرد تا بیضی و به‌رنگ قهوه‌ای با حلقه‌های متحدالمرکز تیره می‌باشند (Hansen, 2009). ازآن‌جایی‌که بدون استفاده به‌هنگام از برنامه‌های زمان‌بندی شده سم‌پاشی با قارچ‌کش‌های مؤثر، امکان مهار بیماری وجود ندارد، به‌کارگیری قارچ‌کش‌های کم‌خطر و مؤثرتر برای پیش‌گیری از آلودگی و توسعه این بیماری از اهمیت فراوانی برخوردار است (Hansen, 2009).

برای مهار بیماری لکه‌موجی اغلب از قارچ‌کش‌های شیمیایی استفاده می‌شود و در برخی از مناطق کشت گوجه‌فرنگی به‌ویژه در مناطق جنوبی کشور به‌دلیل وجود رطوبت بالا و دمای معتدل به‌دلیل گسترش سریع آلودگی، سم‌پاشی به دفعات تکرار می‌شود.. از جمله قارچ‌کش‌های مورد استفاده برای مهار بیماری لکه‌موجی می‌توان به پروپیکونازول، ایپرودیون + کاربندازیم، دیتیوکاربامات‌ها، کلروتالونیل، آزوکسی‌استروبین، پیراکسی‌استروبین و بیکربنات پتاسیم اشاره کرد (Dillard *et al*., 1995; Baimani *et al*., 2002).

قارچ‌کش آفیانس®[1] SC18% متشکل از ۸۰ گرم در لیتر تتراکونازول و ۱۰۰ گرم در لیتر آزوکسی‌استروبین است. تتراکونازول بازدارنده دمتیلاسیون[2] بوده و از ساخت استرول‌های غشاء سلولی جلوگیری می‌کند[3] و محل اثر آن C14- دمتیلاز در زیست‌ساخت[4] استرول مربوط به پروتئین (Erg11) CYP51[5] می‌باشد (Rosenzweig *et al*., 2019). آزوکسی استروبین از بازدارنده‌های خارجی کوئینون‌ها[6] است و از طریق تأثیر بر زنجیره تنفس میتوکندریایی نقش بازدارندگی در جوانه‌زنی اسپور و رشد میسلیوم دارد (Anonymous, 2022). آزوکسی‌استروبین ممکن است برخی از ریزموجودات مفید را که آنتاگونیست بیمارگرها هستند را از بین ببرد (Macar, 2022). همچنین دارای ریسک بالا به بروز مقاومت معرفی شده است (Fishel & Dewdney, 2012).

قارچ‌کش داگونیس®[7] 12.5% SC از دو جزء فلوکساپیروکساد[8] (۷۵ گرم در لیتر) و دیفنوکونازول[9] (۵۰ گرم در لیتر) تشکیل شده است. دیفنکونازول از بازدارنده‌های دمتیلاسیون محسوب می‌شود و خطر مقاومت نسبت به آن در قارچ‌های بیمارگر متوسط است (Anonymous, 2022). قارچ‌کش مذکور به‌صورت سیستمیک و محافظتی عمل نموده و دارای دامنه وسیع با خاصیت پیشگیری و معالجه‌کنندگی می‌باشد. دیفنوکونازول دارای طیف وسیع قارچ‌کشی بوده و به‌صورت محلول‌پاشی روی اندام‌های هوایی و یا به‌صورت ضدعفونی بذر برای مهار بیماری‌های بذرزاد و حفاظت از بذر در مقابل تهاجم قارچ‌ها استفاده می‌شود (Fishel & Dewdney, 2012). دیگر ماده مؤثره داگونیس، فلوکساپیروکساد یک مهارکننده سوکسینات دهیدروژناز[10] (SDHI) است. این ماده در برخی از مراحل مهم چرخه زندگی قارچ از جمله جوانه‌زنی اسپور، رشد لوله جوانه‌زنی، تشکیل آپرسوریا و رشد میسلیوم دخالت کرده و با مهار آنزیم سوکسینات دهیدروژناز مانع از رشد قارچ می‌شود (Strathmann *et al*., 2011).

قارچ‌کش سیگنوم®[11] از جمله قارچ‌کش‌های جدید متشکل از دو ماده مؤثر بوسکالید[11] و پیراکلواستربین[12] به‌ترتیب از گروه قارچ‌کش‌های آنیلید[13] و استروبیلورین[14] است که ضمن محافظت، موجب مهار تکثیر عامل بیماری در گیاه می‌گردد. نحوه اثر پیراکلوستروبین از طریق ممانعت از تنفس میتوکندریایی و نحوه اثر کاربوکسامید از طریق ممانعت از تشکیل آنزیم میتوکندریال سوکسینات‌دهیروژناز می‌باشد. این قارچ‌کش به‌عنوان پیشگیری‌کننده

1- Affiance
2- Demethylation
3- Sterol demethylase inhibitors
4- Biosynthesis
5- Sterol 14α-Demethylase
6- Quinone outside inhibitors (QoI)
7- Dagonis
8- Fluxapyroxad
9- Difenoconazole
10- Succinate- dehydrogenase inhibitors
11- Boscalid
12- Pyraclostrobin
13- Anilide
14- Strobilurine

و درمان‌کننده عمل می‌نماید و بیماری‌های زنگ[1]، سفیدک پودری[2]، لکه برگی و بلایت[3] را مهار می‌کند (Gentili *et al.*, 2006).

مواد و روش‌ها

بررسی حاضر به‌منظور اندازه‌گیری میزان باقی‌مانده قارچ‌کش‌های آفیانس®، داگونیس® و سیگنوم® که برای مهار بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی در آزمایش‌های متفاوت در استان البرز در شرایط گلخانه طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰ مورد ارزیابی قرار گرفته بودند، صورت گرفت تا دوره کارنس این قارچ‌کش‌ها در گوجه‌فرنگی تعیین شود. برای این منظور، رقم گوجه‌فرنگی SV4129 در شرایط گلخانه هیدروپونیک در ایستگاه تحقیقات گیاه‌پزشکی کرج واقع در استان البرز کاشت شد. آزمایش‌ها در گلخانه با دمای ۲۲-۲۷ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۷۰ درصد صورت گرفت.

برای تلقیح بیماری از روش محلول‌پاشی با ۱×۱۰^{۵} اسپور زنده در هر میلی‌لیتر از زادمایه قارچ *A. solani* و با استفاده از آب‌پاش دستی در دو مرحله و با فاصله ۱۵ روز در مرحله میوه‌دهی گیاه استفاده شد. برای تکثیر قارچ از قطعات کوچکی از پرگنه ۱۰ روزه در تشتک‌های پتری حاوی محیط کشت سیب‌زمینی-هویج-آگار کشت داده و به‌مدت ۱۵ روز در دمای ۲۱ درجه سلسیوس نگهداری شد. برای تهیه زادمایه، حدود ۱۰ میلی لیتر آب مقطر سترون حاوی توئین ۲۰ (زیگما آلدریچ) با غلظت نهایی ۰/۰۱ درصد به تشتک پتری حاوی پرگنه قارچ اضافه و سطح پرگنه با استفاده از اسکالپل به‌آرامی خراش داده شد. سپس با استفاده از لام هموسیتومتر[4] محلول حاوی ۱×۱۰^{۵} اسپور در میلی لیتر به‌مقدار کافی تهیه شد. بوته‌های گوجه‌فرنگی سالم و دارای ۱۰-۸ برگ مرکب با ارتفاع تقریباً یکسان انتخاب و با ۱۰ میلی لیتر از محلول حاوی اسپور از جدایه انتخابی محلول‌پاشی شد. شاهد با آب مقطر سترون محلول‌پاشی شد. برای استقرار عامل بیماری، بوته‌های تیمار شده به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۳-۲۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی حدود ۸۰ درصد در شرایط گلخانه نگهداری شدند (Foolad *et al.*, 2000). هم‌زمان با استقرار عامل بیماری، سم‌پاشی‌ها در سه نوبت با فاصله زمانی هفت روز انجام شد. شاهد بدون هیچ‌گونه سم‌پاشی بررسی گردید.

اندازه‌گیری باقی‌مانده آفت‌کش‌ها

تعداد ۱۶ نمونه میوه گوجه‌فرنگی (پنج نمونه از تیمار داگونیس با دوز ۱۲۰۰ میلی‌لیتر، پنج نمونه از تیمار آفیانس با دوز ۶۰۰ میلی‌لیتر و پنج نمونه از تیمار سیگنوم با دوز ۵۰۰ گرم در هکتار، در زمان‌های یک، دو، سه، چهار و پنج روز پس از محلول‌پاشی و یک نمونه شاهد بدون محلول‌پاشی) به‌مقدار یک کیلوگرم هر نمونه جمع‌آوری شد. پس از نمونه‌برداری، با زدن برچسب، داخل کیسه‌های پلی‌اتیلن تیره رنگ گذاشته شده و با حفظ دمای مناسب با قرار دادن نمونه‌ها در یخ، سریعاً به آزمایشگاه تعیین باقی‌مانده آفت‌کش‌های کشاورزی در بخش تحقیقات آفت‌کش‌های مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور منتقل شدند. نمونه‌برداری طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۸۳۶۶ سال ۱۳۸۴ با عنوان "آفت‌کش‌ها- تعیین باقی‌مانده در محصولات زراعی و دامی- روش‌های نمونه‌برداری" انجام شد. به‌منظور تکرارپذیری، آزمایش‌های اندازه‌گیری باقی‌مانده برای هر نمونه سه بار تکرار شد.

استخراج نمونه‌ها به‌منظور اندازه‌گیری باقی‌مانده آفت‌کش ها

جهت استخراج آفت‌کش‌های تحت آزمایش از روش کچرز[5] طبق دستورالعمل ۲۰۰۸ اتحادیه اروپا (British Standard 2008) و استاندارد ملی ایران با عنوان "اندازه‌گیری باقی‌مانده آفت‌کش‌ها به‌روش کچرز" مصوب سال ۱۳۹۲ به شماره ۱۷۰۲۶ در نمونه‌های گوجه‌فرنگی استفاده شد. برای آماده‌سازی، نمونه‌های گوجه‌فرنگی خرد و همگن شدند. ۱۵ گرم از نمونه همگن و خرد شده به‌عنوان آزمایه از نمونه آزمایشگاهی توزین شد. با افزودن ۱۵ میلی‌لیتر استونیتریل[6] حاوی یک درصد اسید استیک[7] فرآیند استخراج کلی انجام شد. برای تکمیل فرآیند استخراج از جاذب‌های منیزیم سولفات بدون آب[8]، سدیم کلراید[9] و سدیم استات[10] استفاده شد. با استفاده از سانتریفوژ، فاز آلی از بافت آبی جدا شد و پنج میلی‌لیتر فاز آلی به‌دست آمده از این مرحله برای مرحله تصفیه[11] استفاده گردید. برای تصفیه از جاذب‌های منیزیم سولفات به‌منظور حذف آب اضافی در محیط و پی‌اس‌ای[12] به‌منظور حذف مولکول‌های درشت، اسیدهای آلی، پروتئین‌ها و سایر هم‌استخراج‌های[13] غیر نیاز و مانع استفاده شد که در نهایت، پس از سانتریفوژ یک میلی‌لیتر از فاز آلی حاصل پس از عبور از فیلتر سرسرنگی برای تبخیر و سپس تزریق به دستگاه آماده شد (British Standard, 2008).

1 Rust
2- Powdery mildew
3- Blight
4- Haematocytometer

5- QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe)
6- Acetonitrile
7- Acetic acid
8- Anhydrous magnesium sulfate
9- Sodium chloride
10- Sodium acetate
11- Clean up
12- PSA (poly secondary amine)
13- Co-extractive

جدول ۱- شرایط شویش استفاده شده در HPLC جهت استخراج قارچ‌کش‌های مورد مطالعه

Table 1- Washing conditions used in HPLC to extract the studied fungicides

Time (min)	% Mobile phase (water)	Flow (mL min^{-1})	Max. pressure (bar)
0.1	90	0.4	400
7	60	0.4	400
13	60	0.4	400
20	90	0.4	400

واکاوی و اندازه‌گیری آفت‌کش‌ها با دستگاه کروماتوگرافی مایع مجهز به تجزیه‌گر متوالی جرمی[1]

شرایط شویش در کروماتوگرافی مایع با کارآیی بالا[2] از شرکت Agilent مدل ۶۴۱۰ مجهز به آنالایزر triple quadrupole استفاده شد. جداسازی در LC مدل ۱۲۰۰ شرکت Agilent انجام شد. از ستون SB-C18, Zorbax Eclipse با مشخصات (۳/۰× ۵۰/۰ mm و ۱/۸ µm) که در محفظه مجهز به ترموستات، در دمای ۲۵°C ثابت تنظیم شده بود، استفاده شد و برای جداسازی از فازهای متحرک، استونیتریل و آب حاوی ۰/۱٪ اسید فرمیک[3] استفاده شد و شرایط شویش طبق جدول ۱ انجام گرفت.

کالیبره کردن دستگاه کروماتوگرافی مایع مجهز به تجزیه‌گر متوالی جرمی با استانداردهای آفت‌کش‌های مورد مطالعه

ابتدا با تزریق مستقیم محلول استاندارد یک میکروگرم بر میلی‌لیتر هر یک از آفت‌کش‌ها به‌تنهایی به آشکارساز MS، ولتاژ قطعه قطعه شدن[4] یون والد[5] و انرژی برخورد برای هر یک از یون‌های دختر[6] یا یون‌های تولیدی[7] هر یک از ترکیبات بهینه شد. به عبارتی، در این مرحله بهترین شرایط برای تشخیص با حساسیت بالا برای هر یک از ترکیبات تعیین شد که اطلاعات شرایط بهینه در جدول ۲ نشان داده شده است.

اعتبارسنجی روش

طبق استاندارد سانکو، اعتبارسنجی در سه سطح غلظتی انجام گرفت که در حلال استونیتریل و ماتریس گوجه‌فرنگی ساخته شدند. به این منظور، با رقیق‌سازی مناسب محلول مادر، محلول‌هایی در سه سطح غلظتی متفاوت با غلظت‌های ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، میلی‌گرم در کیلوگرم از مخلوط آفت‌کش‌های مورد مطالعه در حلال و ماتریس تهیه شد. در مورد محدوده دینامیک خطی[8] برای همه آفت‌کش‌های موجود در جدول، ابتدای محدوده دینامیک خطی همان حد کمّی[9] است که در جدول ۳ نشان داده شده است. ارقام شایستگی قابل قبول و بازیابی در محدوده ۸۰/۱ تا ۱۱۱ درصد با انحراف استاندارد نسبی[10] از ۱۰ تا ۱۴/۵ درصد، نشان از قابل قبول بودن روش واکاوی پیشنهادی می‌باشد (Eslami *et al*., 2021; Mahdavi *et al*., 2022; Mahdavi *et al*., 2021).

نتایج

نتایج به‌دست آمده از آزمایشات اندازه‌گیری باقی‌مانده قارچ‌کش‌های آفیانس®، داگونیس® و سیگنوم® در جداول ۴ تا ۶ آورده شده است. قارچ‌کش داگونیس® متشکل از دو جزء قارچ‌کش فلوکساپیروکساد و دیفنوکونازول می‌باشد، هر دو قارچ‌کش در نمونه میوه‌های گوجه‌فرنگی که در روزهای اول تا پنجم پس از سم‌پاشی جمع‌آوری شده بود، اندازه‌گیری شد. میانگین باقی‌مانده فلوکساپیروکساد در روز اول پس از محلول‌پاشی معادل ۱/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد و با توجه به بیشینه مانده مجاز قارچ‌کش فلوکساپیروکساد که معادل ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد، نمونه یک روز پس از سم‌پاشی بیش از حد مجاز باقی‌مانده دارد، اگر چه از روز دوم به بعد میزان باقی‌مانده این قارچ‌کش پایین‌تر از حد کمّی دستگاه بوده و عملاً کمتر از بیشینه مانده مجاز این قارچ‌کش می‌باشد. حال اینکه قارچ‌کش دیفنوکونازول که دارای بیشینه مجاز ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد، از یک روز بعد از سم‌پاشی با میانگین ۰/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نمونه‌ها به‌دست آمد که کمتر از بیشینه مجاز بوده و قابل مصرف می‌باشد. بنابراین

1- Liquid Chromatography-Mass/Mass
2- High Performance Liquid Chromatography
3- Formic acid
4- Fragmentation voltage
5- Precursor ion
6- Daughter ion
7- Product ion
8- Linear Dynamic Ranges (LDR)
9- Limit of Quantitation (LOQ)
10- Relative Standard Deviation (RSD)

داگونیس® در مجموع از روز دوم پس از سم‌پاشی، میزان باقی‌مانده در حد مجاز را دارا می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۲- شرایط بهینه برای به‌دست آوردن حداکثر حساسیت نسبت به قارچ‌کش‌های مورد مطالعه

Table 2- Optimum conditions to obtain maximum sensitivity to the studied fungicides

Compound	Retention time (min)	Parent ion ($m.z^{-1}$)	Product ion ($m.z^{-1}$)	Collision energy
Fluxapyroxad	7.5	383 (42)	314 (20)	342 (20)
Difenoconazole	8.3	407 (100)	337 (15)	251 (10)
Tetraconazole	7.5	373 (110)	70 (20)	159 (20)
Azoxystrobin	7.4	405 (144)	372 (20)	344 (20)
Boscalid	7.6	344 (95)	140 (20)	307 (20)
Pyraclostrobin	8.9	389 (155)	133 (20)	163 (20)

جدول ۳- ارزیابی عملکرد روش‌های استخراج و آنالیز از نظر محدوده دینامیکی خطی و حد کمّی

Table 3- Performance evaluation of extraction and analysis methods in terms of linear dynamic range, LOQ (mg kg^{-1}) in LC-MS/MS

Compound	Calibration curve equation	LOQ	LDR	% Matrix effect
Fluxapyroxad	y = 52059x + 32533	0.05	0.05-1	-20
Difenoconazole	y = 57342x + 14017	0.01	0.01-1	-21
Tetraconazole	y = 17005x + 47809	0.01	0.01-1	-24
Azoxystrobin	y = 62834x + 74864	0.01	0.01-1	-25
Boscalid	y = 77571x + 74113	0.05	0.05-1	-17
Pyraclostrobin	y = 62682x + 3281.8	0.05	0.05-1	-18

در نمونه‌های گوجه‌فرنگی جمع‌آوری شده مربوط به تیمار آفیانس® نیز باقی‌مانده دو قارچ‌کش تتراکونازول و آزوکسی‌استروبین که اجزای تشکیل‌دهنده آن هستند اندازه‌گیری شدند. میانگین باقی‌مانده تتراکونازول در روزهای اول و دوم بعد از محلول‌پاشی به‌ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در روز سوم این مقدار برابر با بیشینه مجاز این قارچ‌کش (۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) رسید و سپس سیر کاهشی را تا روز پنجم نشان داد. قارچ‌کش آزوکسی‌استروبین از روز اول پس از سم‌پاشی میزانی پایین‌تر از بیشینه مانده مجاز آن (سه میلی‌گرم بر کیلوگرم) را دارا بود که این میزان قابل قبول می‌باشد. بنابراین، با توجه به رسیدن میزان باقی‌مانده تتراکونازول در روز سوم پس از سم‌پاشی به بیشینه مجاز آن در گوجه‌فرنگی، پیشنهاد می‌گردد که این محصول سه روز بعد از سم‌پاشی برداشت شود (جدول ۵). نمونه‌های تیمار سیگنوم® که شامل دو جزء قارچ‌کش بوسکالید و پیراکلواستروبین است هم، پس از اندازه‌گیری باقی‌مانده آن‌ها مشخص شد که میانگین باقی‌مانده پیراکلواستروبین یک روز پس از محلول‌پاشی معادل ۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم (بیش از حد مجاز می‌باشد) و دو روز پس از سم‌پاشی این مقدار به پایین‌تر از بیشینه مانده مجاز این قارچ‌کش (یک میلی‌گرم بر کیلوگرم) رسید، هرچند که میانگین باقی‌مانده بوسکالید از همان روز اول پس از سم‌پاشی پایین‌تر از بیشینه مجاز این قارچ‌کش (سه میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. بنابراین، از روز دوم سم‌پاشی محصول قابل برداشت و مصرف می‌باشد (جدول ۶). در نمونه‌های شاهد باقی‌مانده قارچ‌کش‌های تحت آزمایش یافت نگردید.

جدول ٤- باقی‌مانده قارچ‌کش داگونیس (فلوکساپیروکساد + دیفنوکونازول) در گوجه‌فرنگی در روزهای یک تا پنج پس از محلول‌پاشی

Table 4- Residue levels of Dagonis (fluxapyroxad + difenoconazole) in tomato on days 1 to 5 after spraying

Samples	Dagonis® (1200 mL ha^{-1})									
	Fluxapyroxad (Codex MRL= 0.2 mg kg^{-1})					Difenoconazole (National MRL= 0.6 mg kg^{-1})				
	Concentrations (mg kg^{-1})			Mean	SD±	Concentrations (mg kg^{-1})			Mean	SD±
Day 1	1.0	1.25	1.44	1.23	0.18	0.04	0.03	0.05	0.04	0.008
Day 2	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Day 3	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Day 4	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Day 5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Control	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Limit of Quantitation (LOQ), Not Detected (ND).

جدول ۵- باقی‌مانده قارچ‌کش آفیانس (تتراکونازول + آزوکسی‌استروبین) در گوجه‌فرنگی در روزهای یک تا پنج پس از محلول‌پاشی

Table 5- Residue levels of Affiance (tetraconazole + azoxystrobin) in tomatoes on days 1 to 5 after spraying

Samples	Affiance® (600 mL ha^{-1})									
	Tetraconazole (EU MRL= 0.1 mg kg^{-1})					Azoxystrobin (National MRL= 3 mg kg^{-1})				
	Concentrations (mg kg^{-1})			Mean	SD±	Concentrations (mg kg^{-1})			Mean	SD±
Day 1	0.14	0.18	0.16	0.16	0.016	1.55	1.36	1.78	1.56	0.17
Day 2	0.14	0.15	0.16	0.15	0.008	1.05	1.1	1.22	1.12	0.071
Day 3	0.08	0.09	0.13	0.1	0.021	1.01	0.9	1.21	1.04	0.128
Day 4	0.04	0.06	0.08	0.06	0.016	0.85	0.5	1.13	0.82	0.26
Day 5	0.04	0.02	0.06	0.04	0.016	0.07	0.08	0.088	0.08	0.007
Control	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

European Union Maximum Residue Limits (EU), no national MRL

جدول ٦- باقی‌مانده قارچ‌کش سیگنوم (بوسکالید + پیراکلواستروبین) در گوجه‌فرنگی در روزهای یک تا پنج پس از محلول‌پاشی

Table 6- Residue levels of Signum (boscalid + pyraclostrobin) in tomatoes on days 1 to 5 after spraying

Samples	Signum® (500 gm ha^{-1})									
	Boscalid (EU MRL= 3 mg kg^{-1})					Pyraclostrobin (National MRL= 1 mg kg^{-1})				
	Concentrations (mg kg^{-1})			Mean	SD±	Concentrations (mg kg^{-1})			Mean	SD±
Day 1	1.02	0.75	1.03	0.93	0.129	2.1	1.6	1.7	1.8	0.216
Day 2	0.95	0.75	0.65	0.78	0.124	0.42	0.28	0.35	0.35	0.057
Day 3	0.8	0.75	0.6	0.7	0.084	0.3	0.28	0.33	0.30	0.02
Day 4	0.5	0.7	0.6	0.6	0.081	ND	ND	ND	ND	ND
Day 5	0.4	0.68	0.53	0.54	0.11	ND	ND	ND	ND	ND
Control	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

European Union Maximum Residue Limits (EU), no national MRL, Not Detected (ND).

بحث

هر چند که مدیریت بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی متکی به روش‌های پیش‌گیری در کاهش بیماری مؤثر است، ولی بدون استفاده به‌هنگام از برنامه‌های زمان‌بندی شده سم‌پاشی با قارچ‌کش‌های مؤثر، امکان مهار کامل این بیماری وجود ندارد. استفاده از قارچ‌کش‌هایی مانند آزوکسی استروبین، پیراکسی استروبین، ترکیبات مسی و بیکربنات پتاسیم هر ۱۰-۷ روز برای مهار بیماری لکه‌موجی توصیه شده است (Dillard *et al.*, 1995). اولسون و همکاران (Olson *et al.*, 2012) در سال ۲۰۱۲ و ملازینی (Mazzini, 2009) در سال ۲۰۰۹ قارچ‌کش کانسنتو® را در مهار بیماری لکه موجی گوجه‌فرنگی در شرایط مزرعه و گلخانه مؤثر دانسته و آن را توصیه نمودند.

برای مهار بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی اغلب از سموم شیمیایی مختلف استفاده می‌شود، و با توجه به شرایط محیطی کشت این محصول در گلخانه‌ها، ممکن است به‌دلیل وجود رطوبت بالا و دمای معتدل، وقوع بیماری و گسترش آلودگی به دفعات تکرار شود و ازاین‌رو نیاز به انجام سم‌پاشی‌های مکرر می‌باشد. شریفی و همکاران (Sharifi *et al.*, 2024) تأثیر دوزهای مختلف قارچ‌کش‌های داگونیس®، آفیانس® و سیگنوم را در مهار بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی مورد ارزیابی قرار دادند. بر این اساس، قارچ‌کش‌های داگونیس®، آفیانس® و سیگنوم® به‌ترتیب با دوزهای ۶۰۰ و ۱۲۰۰میلی‌لیتر و ۵۰۰ گرم در هکتار بیشترین تأثیر را در مهار شدت بیماری داشتند.

آنچه مسلم است اینکه مدیریت تلفیقی آفات و بیماری‌های گیاهی در کشاورزی پایدار، نقش اساسی در پیشگیری و مهار این عوامل دارد. به تبع کاربرد ترکیبی قارچ‌کش‌ها به‌خصوص قارچ‌کش‌های با پایه مواد معدنی در کاهش و مهار بیماری مؤثر خواهد بود. در ضمن با توجه به تغییرات آب‌وهوایی در سال‌های اخیر که تأثیر مستقیم یا غیرمستقیم روی میزان حساسیت رقم، میزان آلودگی به بیماری، شدت بیماری‌زایی عامل بیماری و میزان کارآیی قارچ‌کش‌های رایج مورد استفاده داشته است، انجام آزمایش‌هایی با قارچ‌کش‌های جدید، برای در اختیار داشتن دامنه گسترده‌تری از قارچ‌کش‌های با تأثیر مورد قبول برای این بیماری لازم به نظر می‌رسد (Shojaei *et al.*, 2013).

قارچ‌کش داگونیس® متشکل از دو جزء قارچ‌کش فلوکساپیروکساد و دیفنوکونازول در نمونه‌های میوه گوجه‌فرنگی جمع‌آوری شده در روزهای اول تا پنجم پس از سم‌پاشی اندازه‌گیری شدند. با توجه به بیشینه مجاز قارچ‌کش فلوکساپیروکساد که معادل ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد، نمونه یک روز پس از سم‌پاشی بیش از حد مجاز باقی‌مانده داشت، اگر چه از روز دوم به بعد میزان باقی‌مانده این

قارچ‌کش پایین‌تر از حد کمّی دستگاه بوده و عملاً کمتر از بیشینه مجاز باقی‌مانده این قارچ‌کش می‌باشد. این در حالی است که قارچ‌کش دیفنوکونازول که دارای بیشینه مجاز ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم است، از یک روز بعد از سم‌پاشی با میزان اندازه‌گیری شده ۰/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نمونه‌ها یافت شده که کمتر از بیشینه مجاز بود. بنابراین داگونیس در مجموع از روز دوم پس از سم‌پاشی، میزان باقی‌مانده در حد مجاز را دارا می‌باشد. در مطالعاتی که توسط مرکز ثبت آفت‌کش‌ها در آلمان روی قارچ‌کش داگونیس® صورت گرفته است، دوره کارنس این قارچ‌کش روی گوجه‌فرنگی سه روز تعیین گشته است (Anonymous, 2019)، حال آنکه در مطالعات فعلی از روز دوم بعد از محلول‌پاشی، میانگین میزان باقی‌مانده داگونیس به حد مجاز رسیده است.

در نمونه‌های میوه گوجه‌فرنگی جمع‌آوری شده مربوط به تیمار آفیانس® هم باقی‌مانده دو جزء قارچ‌کش تتراکونازول و آزوکسی‌استروبین اندازه‌گیری شد. میزان باقی‌مانده تتراکونازول پس از گذشت سه روز از سم‌پاشی به‌مقدار برابر با بیشینه مجاز این قارچ‌کش (۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) رسید و سپس سیر کاهشی را تا روز پنجم نشان داد. قارچ‌کش آزوکسی‌استروبین از روز اول پس از سم‌پاشی، میزانی پایین‌تر از بیشینه مجاز آن (سه میلی‌گرم بر کیلوگرم) را دارا بود که این میزان قابل قبول می‌باشد. بنابراین با توجه به رسیدن میزان باقی‌مانده تتراکونازول در روز سوم پس از سم‌پاشی به حد بیشینه مجاز آن در گوجه‌فرنگی قابل پیشنهاد است. در مطالعاتی که توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا برای تعیین دوره کارنس آفیانس در محصولات مختلف انجام شده است، دوره کارنس این قارچ‌کش روی گوجه‌فرنگی یک روز اعلام شده است (USEPA, 2023). در مطالعات دیگر توسط مرجع سلامت غذا اتحادیه اروپا[1] (EFSA)، دوره کارنس تتراکونازول که جزئی از قارچ‌کش آفیانس می‌باشد، در گوجه‌فرنگی سه روز ذکر شده است (EFSA, 2021) که نتایج آن با تحقیقات فعلی همسو می‌باشد.

باقی‌مانده اجزاء قارچ‌کش سیگنوم® که شامل بوسکالید و پیراکلواستروبین می‌باشد هم پس از اندازه‌گیری باقی‌مانده آن‌ها نشان داد که باقی‌مانده پیراکلواستروبین دو روز پس از سم‌پاشی، پایین‌تر از بیشینه مجاز این قارچ‌کش (یک میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشد، هرچند که باقی‌مانده بوسکالید یک روز پس از سم‌پاشی، پایین‌تر از بیشینه مجاز این قارچ‌کش (سه میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. بنابراین، از روز دوم سم‌پاشی به بعد، محصول قابل برداشت و مصرف می‌باشد. در مطالعاتی که توسط کمیسیون ملی ارزیابی فرانسه جهت بررسی دوره کارنس این قارچ‌کش انجام گرفت، نتایج حاکی از دوره کارنس سه روزه می‌باشد (National Assessment France, 2020). در بررسی دیگر توسط محققان لهستانی که روی دوره کارنس شش قارچ‌کش استفاده شده روی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای انجام گرفت، دوره کارنس قارچ‌کش سیگنوم سه روز برآورد گردید (Jankowska *et al.*, 2016). در مطالعات فعلی می‌توان نتیجه گرفت که دوره کارنس دو روزه نیز برای این قارچ‌کش قابل قبول می‌باشد.

در تحقیقاتی که توسط هپساگ و کیزیلدنیز در ترکیه روی گوجه‌فرنگی انجام شد، ۱۴۵ آفت‌کش مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن نشان داد که ۶۱/۵ درصد از نمونه‌ها دارای باقی‌مانده یک یا چند آفت‌کش هستند که ۱۲/۲ درصد آن‌ها بالاتر از بیشینه مانده مجاز اتحادیه اروپا می‌باشد. بیشترین آفت‌کش‌های شناسایی شده کلروپریفوس‌متیل، سیفلوترین، دلتامترین و استامی‌پرید بودند و کلیه قارچ‌کش‌های شناسایی شده در حد مجاز بودند از جمله تتراکونازول، آزوکسی‌استروبی، بوسکالید و دیفنوکونازول (Hepsag & Kizildeniz, 2021). همچنین در مطالعاتی که توسط سلام‌زاده و همکاران (Salamzadeh *et al.*, 2018) در ایران صورت گرفته است، ۸۵ نوع آفت‌کش در نمونه‌های گوجه‌فرنگی بررسی شدند که صرفاً چهار آفت‌کش کلروپیریفوس، دیازینون، ایپرودیون و پرمترین در نمونه‌ها مشاهده شد که فقط دو آفت‌کش اول دارای باقی‌مانده بیش از حد مجاز بود. از ۲۳ نمونه گوجه‌فرنگی و ۵۷ نمونه کاهو جمع‌آوری شده از منطقه شهری وابسته به پایتخت شیلی، بیش از ۵۰ درصد نمونه‌ها دارای مانده یک یا چند آفت‌کش بودند که ۱۶درصد آن‌ها بیش از حد مجاز کشور شیلی بودند. در این مطالعات، بیشترین آفت‌کش‌های مشاهده شده شامل متامیدوفوس، متومیل، دیفنکونازول، سیپرودینیل و بوسکالید بودند (Elgueta *et al.*, 2020). در تحقیقاتی که در عربستان‌سعودی روی ۲۲ نمونه گوجه‌فرنگی انجام گرفت، باقی‌مانده ۴۱۲ آفت‌کش بررسی گردید (شامل قارچ‌کش‌های مطالعات فعلی نیز بودند) که ۳۶ درصد از این نمونه‌ها دارای باقی‌مانده هشت آفت‌کش بودند که تمامی آن‌ها پایین‌تر از حد مجاز بودند. در میان آفت‌کش‌های بررسی شده سایپرمترین و کاربندازیم بیشتر از دیگر آفت‌کش‌ها مشاهده گردید (Abd-Elhaleem, 2020). در کلمبیا نیز مطالعاتی روی گوجه‌فرنگی برای پایش ۲۴ آفت‌کش انجام گرفت که صرفاً یک نمونه دارای باقی‌مانده قارچ‌کش کاربندازیم بود که مقدار آن بیش از حد مجاز بود و حداقل یک آفت‌کش در ۷۰/۵ درصد نمونه‌ها مشاهده گردید که همگی پایین‌تر از حد مجاز بودند. این آفت‌کش‌ها شامل پیریمتانیل، کاربندازیم، دیمتومورف و اسفیت بودند و نتایج این بررسی نشانگر عدم وجود خطر برای مصرف‌کنندگان این محصول است (Arias *et al.*, 2014). اگرچه احمد و همکاران (Ahmed *et al.*, 2016) در مصر با بررسی ۱۶ نمونه گوجه‌فرنگی که از هشت میدان میوه و تره‌بار در پنج شهر جمع‌آوری شده بود، تعداد ۳۸ آفت‌کش را بررسی کردند که در ۱۳ نمونه آن، باقی‌مانده آفت‌کش وجود داشت که در هفت نمونه این مقدار بیش از حد مجاز بود.

1- European Food Safety Authority

آفت‌کش‌های یافت شده در این نمونه‌ها شامل هپتاکلر-اپوکساید، دی دی ای، پروفنفوس، گاما- اچ سی اچ و پیریمیفوس متیل بودند و باقی‌مانده سایر آفت‌کش‌ها مانند پرمترین، فنولریت، دلتامترین، فن‌پزوپاتریت، تتراکونازول و دیفنوکونازول در حد مجاز بودند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده، قارچ‌کش‌های آفیانس® با مقادیر ۶۰۰ میلی‌لیتر در هکتار با در نظر گرفتن کارآیی مناسب، داگونیس® با دوز ۱۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار و سیگنوم® به‌مقدار ۵۰۰ گرم در هکتار از کارآیی مناسبی در مهار بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی برخوردار هستند و میزان باقی‌مانده آن‌ها در زمان برداشت در حد مجاز می‌باشد، لذا با توجه به دوره کارنس تعیین شده، قابل توصیه در مدیریت این بیماری هستند.

سپاسگزاری

این پژوهش، قسمتی از طرح ثبت قارچ‌کش آفیانس به شماره مصوب ۹۹۱۳۱۴-۱۳۹-۱۶-۱۶-۰۴ مورخ ۱۴۰۱/۱۲/۲۱ در مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور می‌باشد. هزینه آزمایشات توسط شرکت بازارگان کالا پرداخت گردیده است.

References

1. Abd-Elhaleem, Z.A. (2020). Pesticide residues in tomato and tomato products marketed in Majmaah province, KSA, and their impact on human health. *Environmental Science and Pollution Research*, Online Publication: 06 January 2020. 9 pp. https://doi.org/10.1007/s11356-019-07573-x
2. Ahmadinejad, M., & Doodabi, A. (1986). Early blight disease caused by *Alternaria solani* fungus. *Proceedings of the 9th Plant Protection Congress of Iran*, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran. pp. 62. https://conference.areeo.ac.ir/article_11102.html. (In Persian).
3. Ahmed, M.A.I., Add El Rahman, T.A., & Khalid, N.S. (2016). Dietary intake of potential pesticide residues in tomato samples marketed in Egypt. *Research Journal of Environmental Toxicology*. *10*: 213-219. https://doi.org/10.3923/rjet.2016.213.219
4. Anonymous, (2022). Agricultural statistics. Ministry of Agriculture Jihad, Iran. pp. 123. (In Persian).
5. Anonymous, (2022). FRAC Code List© (2022). www.frac.info/publications
6. Anonymous, (2019). Registration Report of Dagonis-Part A, National assessment, Federal Republic of Germany.
7. Arias, L.A., Bojaca, C.R., Ahumada, D.A., & Schrevens E. (2014). Monitoring of pesticide in tomato marketed in Bogota, Colombia. *Food Control*, *35*(1), 213-217. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.06.046
8. Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future? *Annals of Botany*, *100*(5), 1085-1094. https://doi.org/10.1093/aob/mcm150
9. Baimani, M., Hayati, J., & Shetab Bushehri, M. (2002). Determination of the dominant species of causal agent of Early blight disease of tomato and investigation on the best culture medium for the growth of the pathogen. *Proceedings of the 15th Plant Protection Congress of Iran*. University of Razi, Kermanshah. Karaj, Iran. pp. 176. (In Persian)
10. British Standard (2008). Foods of plant origin — Determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS/MS following acetonitrile extraction/partitioning and clean-up by dispersive SPE— QuEChERS-method. BS EN 15662 (E). 81 pp.
11. Chaerani, R., Remmelt, G., Stem, P., Roseland, E., & Voorrips, R.E. (2007). Assessment of early blight (*Alternaria solani*) resistance in tomato using a droplet inoculation method. *Journal of General Plant Pathology*,73(2): *96*-103. https://doi.org/10.1007/s10327-006-0337-1
12. Dillard, H., Cole, D., Hedges, T., Turner, A., Utete, D., Mvere, B., Agubba, M., & Wilkinson, P. (1995). Early Blight of Tomatoes. *Zimbabwe Horticultural Crops Pest Management*. NYSAES, Geneva NY. 2 pp.
13. EFSA, (2021). Review of the existing maximum residue levels for tetraconazole according to Article 12 of Regulation (EC) No 396/2005. EFSA journal, 21 Dec. https://doi:10.2903/j.efsa.2022.7111.
14. Elgueta, S., Valenzuela, M., Fuentes, M., Meza, P., Manzur, J.P., Liu, S., Zhao, G., & Correa, A. (2020). Pesticide residues and health risk assessment in tomatoes and lettuces from farms of Metropolitan region Chile. *Molecules*, *25*, 355. https://doi.org/10.3390/molecules25020355
15. EL-Tanany, M.M., Hafez, M.A., Ahmed, G.A., & Abd El-Mageed, M.H. (2018). Efficiency of biotic and abiotic inducers for controlling tomato early blight disease. *Middle East Journal of Agricultural Research*, *7*(2), 650-670.
16. Ershad, J. (1998). *Fungi of Iran*. Publications of the Iranian Research Institute of Plant Protection. 874 pp. https://press-iripp.areeo.ac.ir/book_1747.html. (In Persian).

17. Eslami, Z., Mahdavi, V., & Tajdar-Oranj, B. (2021). Probabilistic health risk assessment based on Monte Carlo simulation for pesticide residues in date fruits of Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(31), 42037-42050. https://doi.org/10.1007/s11356-021-13542-0
18. European Food Safety Authority (2021). Review of the existing maximum residue levels for tetraconazole according to Article 12 of Regulation (EC) No. 396/2005. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7111
19. Fishel, F.M., & Dewdney, M.M. (2012). Fungicide Resistance Action Committee's (FRAC) Classification Scheme of Fungicides According to Mode of Action. Pesticide Information Office, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 7 pp. http://edis.ifas.ufl.edu
20. Foolad, M.R., Ntahimpera, N., Christ, B.J., & Lin, G.Y. (2000) Comparison of field, greenhouse, and detached-leaflet evaluations of tomato germ plasm for early blight resistance. *Plant Disease*, *84*(9), 967–972. https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.9.967
21. Gentili, E., Tarlazzi, S., Balzaretti, G., Romagnoli, C., Marchi, A., Manaresi, M., & Coatti, M. (2006). Boscalid plus pyraclostrobin based formulations for the control of fungal diseases on pome and stone fruits, strawberries and vegetables [Piedmont; Emilia-Romagna; Veneto]. *Atti delle Giornate Fitopatologiche*, *2*, 35-40**.**
22. Hansen. M.A. (2009). Early Blight of Tomatoes. Plant Disease Fact Sheets. Virginia cooperative extension. Produced by Communications and Marketing, College of Agriculture and Life Sciences, Viginia Polytechnic Institute and State University. WWW.ext.vt.edu.
23. Hepsag, F., & Kizildeniz, T. (2021). Pesticide residues and health risk appraisal of tomato cultivated in greenhouse from the Mediterranean region of Turkey. *Environmental Sciences and Pollution Research*, *28*, 22551-22562. https://doi.org/10.1007/s11356-020-12232-7
24. Jaliani, N. (1991). Tomato Early blight disease and its chemical control in Jiroft and Kahnuj region. *Proceedings of 10th Plant Protection Congress of Iran*. Faculty of Agriculture, University of Kerman, Iran. 118. https://conference.areeo.ac.ir/article_2009.html**.** (In Persian).
25. Jankowska, M., Kaczynski, P., Hrynko, I., & Lozowicka, B. (2016). Dissipation of six fungicides in greenhouse-grown tomatoes with processing and health risk. *Environmental Science and Pollution Research*, *23*, 11885-11900. https://doi.org/10.1007/s11356-016-6260-x
26. Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Yalçın, E., & Çavuşoğlu, K. (2022). Acute multiple toxic effects of Trifloxystrobin fungicide on *Allium cepa* L. *Scientific Reports*, *12*(1), 1-9. https://doi.org/10.1038/s41598-022-19571-0
27. Mahdavi, V., Eslami, Z., Gordan, H., Ramezani, S., Peivasteh-Roudsari, L., Ma'mani, L., & Mousavi Khaneghah, A., (2022). Pesticide residues in green-house cucumber, cantaloupe, and melon samples from Iran: A risk assessment by Monte Carlo Simulation. *Environmental Research*, *206*. 44 pp. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112563
28. Mahdavi, V., Heris, M.E.S., Dastranj, M., Eslami, Z., & Aboul-Enein, H.Y. (2021). Assessment of pesticide residues in soils using a QuEChERS extraction procedure and LC-MS/MS. *Water, Air, and Soil Pollution*, *232*(4), 159. https://doi.org/10.1007/s11270-021-05104-4
29. Mazzini, F. (2009). Consento Duo: A new fungicide mixture for horticulture against *Peronospora* and *Alternaria*. *Informatore Agrario Supplemento*, *65*(26), 14-15. https://www.sid.ir/paper/1053065/en
30. National Assessment France (2020). Signum Risk Management. Registration Report, Part A, BAS 51607F. France.
31. Olson, M. & Santos, B.M. (2012). Vegetable Production Handbook for Florida. 344 pp. https://www.slideshare.net/slideshow/2012-vpg/14890643.
32. Rosenzweig, N., Hanson, L.E., Mambetova, S., Jiang, Q.W., Guza, C., Stewart, J., & Somohano, P. (2019). Fungicide sensitivity monitoring of *Alternaria* spp. causing leaf spot of sugar beet (*Beta vulgaris*) in the Upper Great Lakes. *Plant Disease*, *103*(9), 2263-2270. https://doi.org/10.1094/PDIS-12-18-2282-RE
33. Salamzadeh, J., Shakoori, A., & Moradi, V. (2018). Occurrence of multiclass pesticide residues in tomato samples collected from different markets of Iran. *Journal of Environmental Health and Science and Engineering*, 16(3): 1-9. https://doi.org/10.1007/s40201-018-0296-4
34. Saleem, A., & El-Shahir, A.A. (2022) Morphological and molecular characterization of some *Alternaria* species isolated from tomato fruits concerning mycotoxin production and polyketide synthase genes. *Plants*, *11*(9), 1168. https://doi.org/10.3390/plants11091168
35. Sharifi, K., Goudarzi, A., &Safaie Farahani, B. (2024). Efficacy of several new fungicides in control of tomato early blight disease. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, *13*(1), 59-71. magiran.com/p2720002. (In Persian)
36. Shojaei, B., Tekkieh, L.E., & Rasouli, A.S. (2013). The necessity of integrated pest management in agriculture and its role in agricultural sustainability. *First National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, Hamedan Province Hamedan*, Iran. pp. 1-19. (In Persian)

37. Stammler, G., Bohme, F., Philippi, J., Miessner, S., & Tegge, V. (2014) Pathogenicity of *Alternaria* species on potatoes and tomatoes. In Fourteenth Euro Blight Workshop PPO Special Report, 16, 85–96. https://www.researchgate.net/profile/Gerd-Stammler/publication/274379185_Pathogenicity_of_Alternaria-species_on_potatoes_and_tomatoes/links/551d2e7b0cf2000f8f9386c5/Pathogenicity-of-Alternaria-species-on-potatoes-and-tomatoes.pdf.
38. Strathmann, S., Walker, S. and Barnes, J., (2011) June. Fluxapyroxad: A new broad-spectrum fungicide. In *Phytopathology* (Vol. 101, No. 6, pp. S172-S172). 3340 PILOT KNOB ROAD, ST PAUL, MN 55121 USA: AMER PHYTOPATHOLOGICAL SOC.

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 2, 2025, p. 181-198

Seed Persistence of Asian Spiderflower (*Cleome viscose* L.) in the Soil Seed Bank

Somayeh Mamashli[1], Asieh Siahmarguee[1*], Farshid Ghaderi-Far[1]

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

(*- Corresponding author's Email: siahmarguee@gau.ac.ir)

Received: 05-10-2024
Revised: 01-12-2024
Accepted: 03-12-2024
Available Online: 09-07-2025

How to cite this article:
Mamashli, S., Siahmarguee, A., & Ghaderi-Far, F. (2025). Seed persistence of Asian spiderflower (*Cleome viscose* L.) in the soil seed bank. *Iranian Plant Protection Research, 39*(2), 181-198. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.2024.90116.1206

Introduction

Asian spider flower weed (*Cleome viscose* L.) has recently entered the flora of weeds in Golestan province and causes significant damage to farmers in Golestan province every year. The seed production potential of this weed is high (> 38000 seeds per plant). Also, the seeds of this weed are very small (weight of 1000 seeds is equal to 1.05 grams) and thay have dormancy. Thus the annual shedding of the seeds of this weed and their accumulation in the soil form a stable seed bank that can be the source of weed contamination in fields for many years. Therefore, understanding the stability of the seed bank of this plant is very important in the successful management of this weed.

Materials and Methods

Ripe seeds of Asian spider flower were collected from a soybean field in Minoodasht city-Golestan province at the end of October and were transferred to the seed technology laboratory of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources to perform various tests. Immediately after harvest, the germination ability of fresh seeds was examined at 30 °C. The germination percentage of freshly harvested seeds was 7%. In order to investigate the effect of After- ripening on the germination ability of Asian spider flower seeds, a part of the seeds was stored in the laboratory. In order to investigate the stability of the seed bank of this weed, 65 grams of sieved soil along with 13 grams of Asian spider flower seeds were placed in 26 mesh bags and buried at two depths of 10 and 20 cm on November 4, 1401. Sampling was done at 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330 and 360 days after burial. At each sampling stage, the number of germinated seeds in the soil, null, dead and healthy seeds were counted carefully. Healthy seeds were used to perform tests to determine seed moisture, electrical conductivity, and germination at different temperatures of 15, 20, 25, 30, and 35 °C and in two conditions of light and darkness, as well as the use of gibberellic acid and its non-use.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.90116.1206

Results and Discussion

The freshly harvested seeds of Asian spider flower had very little germination. After- ripening (in laboratory conditions or buried in soil) and gibberellic acid were effective in eliminating the commune, so that it increased the germination of Asian spider flower seeds in both dark and light conditions. With removal of the seed dormancy, germination of the seeds of this plant occurred in a wider range of temperatures. The germination response of Asian spider flower seed during the after- ripening and burial period was different to light and darkness and the ambient temperature also had an effect on it. Examining changes in the percentage of live and dead seeds at two depths of 10 and 20 cm showed that in both burial depths, the percentage of live seeds decreased over time and the number of dead seeds increased. So that in the last sampling, corresponding to 360 days after burial, the number of live seeds in two depths of 10 and 20 cm was 12 and 23%, respectively.

Conclusion

Considering that the germination percentage of Asian spider flower seeds increased during the after- ripening period and the use of gibberellic acid also improved germination during the after-ripening period, it seems that the seeds dormancy of this plant are of physiological type. The occurrence of low temperatures in winter caused removal dormancy of the buried seeds, and vice versa, the occurrence of high temperatures in the summer caused the induction of secondary dormancy in the remaining seeds. According to increasing trend of the number of dead seeds in two depths of 10 and 20 cm, it can be said that the emptying of the seed bank of this weed occurred faster in the depth of 10 cm. Asian spider flower seed bank is a permanent type. Therefore, the frequent dropping of this weed's seed in the soil can turn this plant into a permanent and serious challenge for farmers.

Keywords: After-ripening, Burial depth, Seed bank, Seed bank stability, Viability

پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص. ۱۹۸-۱۸۱

پایداری بذر کنجدشیطانی (*Cleome viscose* L.) در بانک بذر خاک

سمیه ممشلی[۱]، آسیه سیاهمرگویی[۱*]، فرشید قادری فر[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۳

چکیده

مطالعه پویایی بانک بذر علف‌های هرز در خاک بسیار مهم است. جهت بررسی پایداری بانک بذر علف‌هرز کنجدشیطانی، بذرهای این گیاه در دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری خاک در همان مزرعه‌ای که بذرهای کنجدشیطانی از آن جمع‌آوری شده بود (شهرستان مینودشت – استان گلستان)، در آبان ماه ۱۴۰۱ دفن شدند. نمونه‌برداری در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۱۰، ۲۴۰، ۲۷۰، ۳۰۰، ۳۳۰ و ۳۶۰ روز بعد از دفن انجام شد. در هر مرحله نمونه‌برداری، تعداد بذرهای جوانه‌زده در خاک، بذرهای پوچ، مرده و سالم با دقت شمارش شدند. از بذرهای سالم جهت انجام آزمون جوانه‌زنی در دماهای مختلف ۳۵، ۳۰، ۲۵، ۲۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد و در دو شرایط نور و تاریکی و همچنین استفاده از اسید جیبرلیک و عدم استفاده از آن استفاده شد. جهت بررسی اثر پس‌رسی بر قابلیت جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی نیز بخشی از بذرها در آزمایشگاه انبار شد. نتایج نشان داد که بذرهای تازه برداشت‌شده کنجدشیطانی ازجوانه‌زنی بسیار اندکی برخوردار بودند. پس‌رسی (در شرایط آزمایشگاه یا دفن در خاک) و اسید جیبرلیک در رفع خواب مؤثر بود، به‌¬طوری‌که باعث افزایش جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی در هر دو شرایط تاریکی و روشنایی شد. با رفع خواب بذرها، امکان جوانه‌زنی بذرهای این گیاه در محدوده وسیع‌تری از دماها رخ داد و در مراحل آخر نمونه‌برداری، جوانه‌زنی آن‌ها کاهش و در محدوده دمایی کمتری رخ داد. بررسی تغییرات درصد بذرهای زنده و مرده در دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر نشان داد که در هر دو عمق دفن، درصد بذرهای زنده در طی زمان کاهش و به تعداد بذرهای مرده افزوده شد، به‌¬طوری‌که در آخرین نمونه‌برداری، مصادف با ۳۶۰ روز بعد ازدفن، تعداد بذرهای زنده در دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۱۲ و ۲۳ درصد بود. می‌توان نتیجه گرفت که تخلیه بانک بذر این علف هرز در عمق ۱۰ سانتی‌متر سریع‌تر اتفاق می‌افتد و بانک بذر کنجدشیطانی از نوع دائم می‌باشد. بنابراین ریزش مکرر بذر این علف هرز در خاک می‌تواند این گیاه را به‌عنوان یک چالش دائمی و جدی برای کشاورزان تبدیل نماید.

واژه‌های کلیدی: بانک بذر، پایداری بانک بذر، پس‌رسی، زنده‌مانی، عمق دفن

مقدمه

علف‌های هرز یکی از عوامل تأثیرگذار بر تولید محصولات کشاورزی هستند و می‌توانند رشد گیاهان را در تمام مراحل رشدی از طریق رقابت برای نور، آب و مواد غذایی تحت تأثیر قرار دهند (Kan *et al.*, 2011). بذر علف‌های هرز، ابزار مؤثر انتشار آن‌ها در مزارع، باغات و مراتع محسوب می‌شود. ریزش سالیانه بذر علف‌های هرز و تجمع آن‌ها در خاک، بانک بذر پایداری را تشکیل می‌دهد و می‌تواند سال‌های متمادی منشأ آلودگی مزارع به علف‌های هرز باشد (Yunusabadi, 2017). بانک بذر، مجموعه‌ای از بذرهای جوانه‌نزده و زنده در خاک است (Fenner, 2000). تخلیه بانک بذر علف‌های هرز از طریق جلوگیری از تولید بذر توسط بوته‌های استقراریافته و یا توسط عوامل مدیریتی که یک محیط مطلوب برای جوانه‌زنی فراهم می‌آورد، امکان‌پذیر خواهد بود.

بانک بذر علف‌های هرز به دو نوع بانک بذر موقت یا گذرا[۴] که در آن هیچ‌کدام از بذرهای تولیدشده در یک‌سال، زنده نمی‌مانند و بانک بذر پایدار[۵] که در آن بذرها یک تا چندین سال در خاک باقی می‌مانند، طبقه‌بندی می‌شوند (Thompson *et al.*, 1994).

۱-گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: siahmarguee@gau.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.90116.1206

4- Transient seed bank
5- Persistent seed ban

پژوهشگران، بیشتر به بانک بذر پایدار توجه دارند، زیرا گونه‌هایی که بانک بذر پایدار را تشکیل می‌دهند، نگرانی اصلی برای مدیریت علف‌های هرز در آینده محسوب می‌شوند (Long *et al.*, 2015). میزان تولید بذر، طول عمر، توزیع مکانی بذر در نیم‌رخ خاک، جمعیت و فعالیت شکارچیان و بیمارگرها و همچنین شرایط محیطی (نور، رطوبت و دما) که بذرها در خاک تجربه می‌کنند، از عوامل مؤثر بر دوام بانک بذر علف‌های هرز در خاک است (Tian *et al.*, 2024; Schwartz- Lazaro & Copes, 2019; Davis *et al.*, 2005; Liebman *et al.*, 2001).

اگر چه عمده بذر علف‌های هرز در لایه‌های سطحی خاک متمرکز هستند، ولی تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک نیز قابل مشاهده هستند (Harrison *et al.*, 2007). توزیع عمودی بذر علف‌های هرز در نیم‌رخ خاک بر سرنوشت بذر علف‌های هرز تأثیرگذار است (Soltani *et al.*, 2016)، بذرهای دفن‌شده در لایه‌های عمیق‌تر خاک، مدت زمان بیشتری را در وضعیت خواب باقی می‌مانند (Guja *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2018)، دلیل این امر، بالا بودن غلظت دی‌اکسید کربن در اثر فعالیت بیولوژیکی خاک و انتشار آهسته‌تر گازها (Wei *et al.*, 2009)، نوسانات دمایی کمتر (Roberts &Totterdell, 1981; Mahmood *et al.*, 2016) و عدم وجود نور (Chauhan & Johnson, 2010) می‌باشد. موسکوا و پاسچلود (Maskova & Poschlod, 2022)، پایداری بانک بذر ۲۸ گونه گیاهی علفی در سه عمق ۱، ۵ و ۱۰ سانتی‌متر را بررسی و گزارش کردند که با افزایش عمق دفن، پایداری بانک بذر گونه‌ها افزایش یافت، همچنین گونه‌هایی که بذرهای آن‌ها کمون اولیه بیشتری داشته و جهت جوانه‌زنی به نور و دماهای متناوب نیازمند هستند، بانک بذر پایدارتری خواهند داشت. مرادی صحرا (Moradi Sahra, 2022) گزارش کرد که بذرهای دفن‌شده مارتیغال (*Silybum marianum*) در عمق پنج سانتی‌متر، دو ماه زودتر از عمق ۱۰ سانتی‌متر شروع به جوانه‌زنی کردند و درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها در عمق پنج سانتی‌متری به‌طور قابل توجهی بیشتر از عمق ۱۰ سانتی‌متر بود، و علت بروز این نتیجه به رفع زودتر کمون بذرهای دفن‌شده در عمق پنج سانتی‌متر نسبت داده شد.

کنجدشیطانی (*Cleome viscose* L.) گیاهی متعلق به خانواده Cleomaceae، یک‌ساله، تابستانه، سه کربنه و سازگار به شرایط گرم و مرطوب است و از توانایی خوبی در تحمل به شرایط خشکی و شوری برخوردار می‌باشد (Akbari-Gelvardi *et al.*, 2021). این گیاه یکی از علف‌های هرز مهم مزارع برنج (*Oryza sativa*)، توتون (*Nicotiana Rustica*)، گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، سویا (*Glycine max*)، ذرت (*Zea mays*)، سیب زمینی شیرین (*Ipomoea batatas*)، پنبه (*Gossypium herbaceum*) و بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) در جنوب شرق آسیا معرفی شده است (Ravisankar *et al.*, 2017). در ایران، کنجدشیطانی به‌عنوان یک گیاه مهاجم، چالش‌های زیادی را برای کشاورزان سویاکار به‌خصوص در استان گلستان به‌وجود آورده است. خسارت این علف‌هرز قابل توجه می‌باشد، به‌نحوی‌که کاهش عملکرد دانه سویا به‌ازاء هر تک بوته کنجدشیطانی حدود ۸/۳۹ درصد برآورد شده است (Emami *et al.*, 2017). پتانسیل تولید بذر در کنجدشیطانی بسیار زیاد است، هر بوته آن قادر به تولید بیش از ۳۸۰۰۰ بذر می‌باشد (Maikhuri *et al.*, 2000). بذرهای این علف هرز بسیار ریز هستند، وزن هزار دانه آن‌ها برابر با ۱/۰۵ گرم است و بذرها دارای خواب می‌باشند (Muasya *et al.*, 2009; Shilla *et al.*, 2016; Akbari-Gelvardi *et al.*, 2021). در استان گلستان، برداشت سویا با توجه به رقم و شرایط جوی، از مهر ماه تا آبان ماه صورت می‌گیرد. بلافاصله بعد از برداشت این محصول، زمین با گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شده و آماده کاشت محصولات پاییزه از جمله گندم، جو (*Hordeum vulgare*)، کلزا (*Brassica napus*)، نخودفرنگی (*Pisum sativum*) و ... می شود. به این ترتیب، بذرهای ریزش‌یافته کنجدشیطانی وارد نیم‌رخ خاک می‌شود. این امر، نقش بسیار مهمی در پایداری بذر این علف هرز در بانک خاک داشته و تضمین‌کننده بقاء این علف هرز در خاک می‌باشد.

کنجدشیطانی گیاهی گرمادوست است و بذرها در فصل پاییز وارد بانک بذر خاک می‌شوند. وجود خواب در بذرها از جوانه‌زنی بذرها در فصل زمستان جلوگیری می‌کند و تجربه دماهای متناوب در این زمان، بذرها را آماده جوانه‌زنی در فصل بهار می‌کند (Li *et al.*, 2006). تاکنون مطالعاتی روی برخی از جنبه‌های بوم‌شناسیکی علف هرز کنجدشیطانی (Siahmarguee *et al.*, 2023; Emami *et al.*, 2017; Elahifard & Derakhshan, 2018; Akbari-Gelvardi *et al.*, 2021) در کشور ایران انجام شده است، امّا مطالعه‌ای در خصوص پایداری بانک بذر کنجدشیطانی انجام نشده است. ازاین‌رو جهت تکمیل‌تر شدن اطلاعات در خصوص بوم‌شناسی این علف هرز، در این مطالعه به بررسی پایداری و سرنوشت بذر کنجدشیطانی در بانک بذر خاک پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

بذرهای رسیده کنجدشیطانی در اواخر مهرماه ۱۴۰۱ از روی ۲۵ بوته کنجدشیطانی در یک مزرعه سویا در شهرستان مینودشت جمع آوری و جهت انجام آزمایش‌های مختلف به آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شدند. وزن هزار دانه بذرها ۱/۰۵ گرم بود. آزمایش عمق دفن در همان مزرعه‌ای که بذرهای کنجدشیطانی از آن جمع‌آوری شده بود، انجام گردید. بلافاصله بعد از انتقال بذرها به آزمایشگاه، قابلیت جوانه‌زنی بذرهای

تـازه جمع‌آوری‌شـده در دمـای ۳۰ درجـه سـانتی‌گراد (Akbari-Gelvardi *et al.*, 2021) مورد ارزیابی قرار گرفت و درصد جوانه‌زنی بذرهای تازه برداشت‌شده هفت درصد بود.

بررسی پایداری بذرهای کنجدشیطانی در خاک

جهت بررسی پایداری بانک بذر کنجدشیطانی، ۱۳ گرم بـذر ایـن گیاه با ۶۵ گرم خاک در ۲۶ کیسه پارچه‌ای تـوری بـه ابعـاد ۱۵×۱۸ سانتی‌متر ریخته شـد و در دو عمـق ۱۰ و ۲۰ سـانتی‌متری در تـاریخ چهارم آبان ماه سال ۱۴۰۱ دفن شدند. نمونه‌برداری در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۱۰، ۲۴۰، ۲۷۰، ۳۰۰، ۳۳۰ و ۳۶۰ روز پس از دفن انجام شد.

آمار هواشناسی روزانه و ماهانه در محدوده انجام آزمایش از زمان دفن بذرها در آبان ۱۴۰۱ تا آخرین مرحله نمونه‌برداری در آبان ۱۴۰۲ به‌ترتیب در جدول ۱ آمده اسـت. میـانگین دمـای حـداقل و حـداکثر ماهانه از آبان ۱۴۰۱ تا اسفند ۱۴۰۱ به‌ترتیب در محـدوده ۱۰/۸–۷/۲ درجه سانتی‌گـراد و ۲۱/۲–۱۲/۷ درجـه سـانتی‌گـراد در نوسـان بـود. همچنین میـانگین دمـای ماهانـه از فـروردین ۱۴۰۲ تـا آبـان ۱۴۰۲ به‌ترتیب در محـدوده ۲۵/۲–۱۲/۰ درجـه سـانتی‌گـراد و ۳۶/۸–۲۲/۶ درجه سانتی‌گراد و اختلاف دمای حداقل و حداکثر نیز در دامنه ۱۲/۲–۱۰/۱ درجه سانتی‌گراد قرار داشت. به‌طور کلی، میزان بارندگی ماهانه در زمان انجام آزمایش از صفر تا ۳۹/۷ میلی‌متر در نوسان بود. میـزان بارندگی در طول دوره آزمایش ۱۵۰ میلی‌متر بود.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی (ماهانه) در زمان انجام آزمایش

Table 1- Meteorological data (monthly) at time of the experiment

Year	Day after burial	Sampling date	Minimum temperature (ºC)	Maximum temperature (ºC)	Amplitude of maximum and minimum temperature (ºC)	Rain (mm)
1401	15	1401.8.19	12.0	21.2	9.2	88.3
	30	1401.9.19	8.9	16.1	7.2	57.3
	60	1401.10.19	4.7	12.9	8.2	21.0
	90	1401.11.19	4.3	12.7	8.4	53.1
	120	1401.12.19	9.9	20.7	10.8	16.5
1402	150	1402.1.20	12.0	22.6	10.6	59.2
	180	1402.2.18	16.0	27.1	11.1	87.3
	210	1402.3.18	22.2	34.4	12.2	63.6
	240	1402.4.17	23.2	34.1	10.9	7.9
	270	1402.5.16	25.2	36.8	11.6	7.1
	300	1402.6.15	21.7	32.7	11.0	4.1
	330	1402.7.14	16.3	26.4	10.1	85.5
	360	1402.8.14	15.8	26.9	11.1	49.5

* بذرها در تاریخ ۱۴۰۱/۸/۴ در دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر دفن شدند.

* The seeds were buried on 2022-10-26 in two depths of 10 and 20 cm.

در هر مرحله از نمونه‌برداری، بعد از خروج یک کیسه از هر عمق، محتویات داخل هر کیسه روی الک ریز ریخته شده و با فشـار ملایـم آب شستشه شدند. سپس تعداد بذرهای جوانـه‌زده در خـاک، بـذرهای پوچ، مرده و سالم با دقت شمارش شدند. لازم به توضیح است که این کار در شرایط نور سبز انجام شد. بعـد از تفکیـک بـذرهای بـه ظـاهر سالم، آزمون تترازولیوم (برای تعیین زنده‌مانی بذر) و آزمون جوانـه‌زنی روی بذرهای استخراج‌شـده انجـام شـد. آزمـون تترازولیـوم براسـاس دستورالعمل موجود انجام شد (Akbari-Gelvardi *et al.*, 2021). در این آزمون، ابتدا سه تکرار ۲۵ عددی از بذرهای دفن‌شده در دو عمـق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری و بذرهای انبارشده در آزمایشگاه شـمارش شـد. بذرها داخل پتری‌دیش‌هایی به قطر شش سانتی‌متری قـرار گرفـت و محـیط داخـل پتری‌دیش‌هـا بـا آب مقطـر مرطـوب شـدند. سـپس پتری‌دیش‌ها به انکوباتور با دمـای ۲۰ درجـه سـانتی‌گراد به‌مـدت ۲۴ ساعت منتقـل گردیـد. بعـد از گذشـت ایـن زمـان، پتـری‌دیش‌هـا از انکوباتور خارج و بذرها به‌صورت عرضی از محل جنین برش داده و به دو نیم تقسیم شدند. سپس بـذرهای آمـاده‌شـده در پتـری‌دیش‌هـای حاوی محلول تترازلیوم قرار داده و به انکوباتور ۳۰ درجـه سـانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت منتقل گردید. با گذشت زمان مورد نظـر، بـذرها از انکوباتور خارج شده و رنگ‌پـذیری آن‌هـا به‌وسـیله بینی‌کـولار مـورد بررسی قرار گرفت. در آزمون تترازولیوم بذرهای زنده به رنگ قرمز در می‌آیند، ولی در بذرهای مرده امکـان رنگ‌پـذیری وجـود نـدارد. اگـر نواحی تقسـیم سـلولی جنـین کـه از اهمیـت زیـادی در طـی فرآینـد جوانه‌زنی برخوردارند، در جریان آزمـون تترازولیـوم رنـگ نگیرنـد، یـا رنگ‌پذیری آن‌ها غیرطبیعی باشد، پایین بودن پتانسیل جوانه‌زنی بـذر تأیید می‌شود (Copland & Mc Doland, 1936). براسـاس آزمـون تترازولیوم، درصد زنده‌مانی بذرهای این گیاه در زمان برداشت نزدیک ۷۸ درصد بود.

آزمـایش جوانـه‌زنـی در دماهـای مختلـف ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد و در دو شرایط نور و تـاریکی و در ادامـه اسـتفاده از اسید جیبرلیک (۲۵۰ پی‌پی‌ام) و عدم استفاده از آن انجام شد. در ایـن

آزمون، نمونه‌هایی در سه تکرار ۲۵ عددی از بذرهای سالم تهیه شد. بذرها روی یک لایه کاغذ صافی واتمن در پتری‌دیش‌هایی به قطر شش سانتی‌متر قرار داده شد و بعد از افزودن سه میلی‌لیتر آب مقطر به آن‌ها، به انکوباتور با دماهای مختلف ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. پتری‌دیش‌های مربوط به آزمون تاریکی به‌طور کامل با فویل آلومینیومی پوشانده شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده و جوانه نزده به‌مدت دو هفته و روزانه در دو نوبت انجام گرفت. در تیمار تاریکی، شمارش روزانه بذرهای جوانه‌زده در شرایط نور سبز انجام شد. مبنای جوانه‌زنی، رسیدن طول ریشه‌چه به دو میلی‌متر و یا بیشتر بود و تا زمانی‌که به‌مدت سه روز متوالی جوانه‌زنی ثابت شود، شمارش بذرها انجام شد(Soltani *et al.*, 2001) . در ادامه آزمایش‌ها، بذرهایی که در هر تیمار دمایی جوانه نزده بودند به پتری‌دیش‌های جدید منتقل و به هرکدام از آن‌ها سه میلی‌لیتر اسید جیبرلیک ۲۵۰ پی‌پی‌ام به آن‌ها اضافه شد. سپس پتری‌دیش‌ها با همان شرایط نور و تاریکی و در دماهای مختلف ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شدند. در این مرحله نیز روزانه تعداد بذرهای جوانه‌زده و جوانه نزده به‌مدت دو هفته ثبت شد. هدف از این کار، بررسی نهایی از وجود یا عدم وجود خواب بذر (خواب ثانویه) در بذرهای جوانه نزده در انتهای آزمایش جوانه‌زنی بود.

اثر پس‌رسی بر جوانه‌زنی بذر کنجدشیطانی

به‌منظور بررسی اثر پس‌رسی بر توانایی و قابلیت جوانه‌زنی بذر کنجدشیطانی، قسمتی از بذرهای جمع‌آوری‌شده، در آزمایشگاه ذخیره شد. جهت بررسی توانایی جوانه‌زنی بذرهای ذخیره‌شده در آزمایشگاه، از آزمون جوانه‌زنی مشابه بذرهای دفن‌شده در دو شرایط نور و تاریکی که در قسمت قبل توضیح داده شد، استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از برنامه SAS ورژن ۹ و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس تیمارهای مختلف بر جوانه‌زنی بذر کنجدشیطانی در طی دوران پس‌رسی در آزمایشگاه و دفن در اعماق مختلف خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که در جدول زیر مشاهده می‌شود، صفت درصد جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی تحت تأثیر صفات مختلف به‌جز اثر ساده عمق دفن و اثر متقابل عمق دفن در مصرف اسید جیبرلیک در سطح پنج یا یک درصد معنی‌دار شدند.

جدول ۲- تجزیه واریانس تیمارهای مختلف بر درصد جوانه زنی بذر کنجدشیطانی

Table 2- Analysis of variance of different treatments on seed germination percentage of Asian spider flower

S.O.V	df	Mean of squares	Pr>F
Sampling	12	2791.16	**
Depth	2	21.96	ns
Temperature	4	48939.69	**
Light	1	170.58	*
GA	1	112858.22	**
Sampling × depth	24	211.50	**
Sampling × temperature	48	684.66	**
Sampling × light	12	182.20	**
Sampling × GA	12	4349.55	**
Depth × temperature	8	1208.73	**
Depth × light	2	128.02	*
Depth × GA	2	21.17	ns
Temperature × light	4	218.80	**
Temperature × GA	4	18275.41	**
Sampling × depth × temperature	96	120.92	**
Sampling × depth × light	24	44.65	*
Sampling × depth × GA	24	274.77	**
Sampling × temperature × light	48	117.89	**
Sampling × temperature × GA	48	1145.04	**
Sampling × light × GA	12	198.19	**
Depth × temperature × light	8	100.76	**
Depth × temperature × GA	8	965.69	**
Temperature × light × GA	4	137.92	**
Sampling × depth × temperature × light	96	52.17	**
Sampling × depth × temperature × GA	96	141.95	**
Depth × temperature × light × GA	10	171.74	**
Sampling × depth × temperature × light × GA	168	86.47	**
Error	1559	27.92	

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.

**, *and ns: are significant at the 1%, 5%, and non-significant levels, respectively.

سرنوشت بذر کنجدشیطانی در آزمایشگاه و خاک

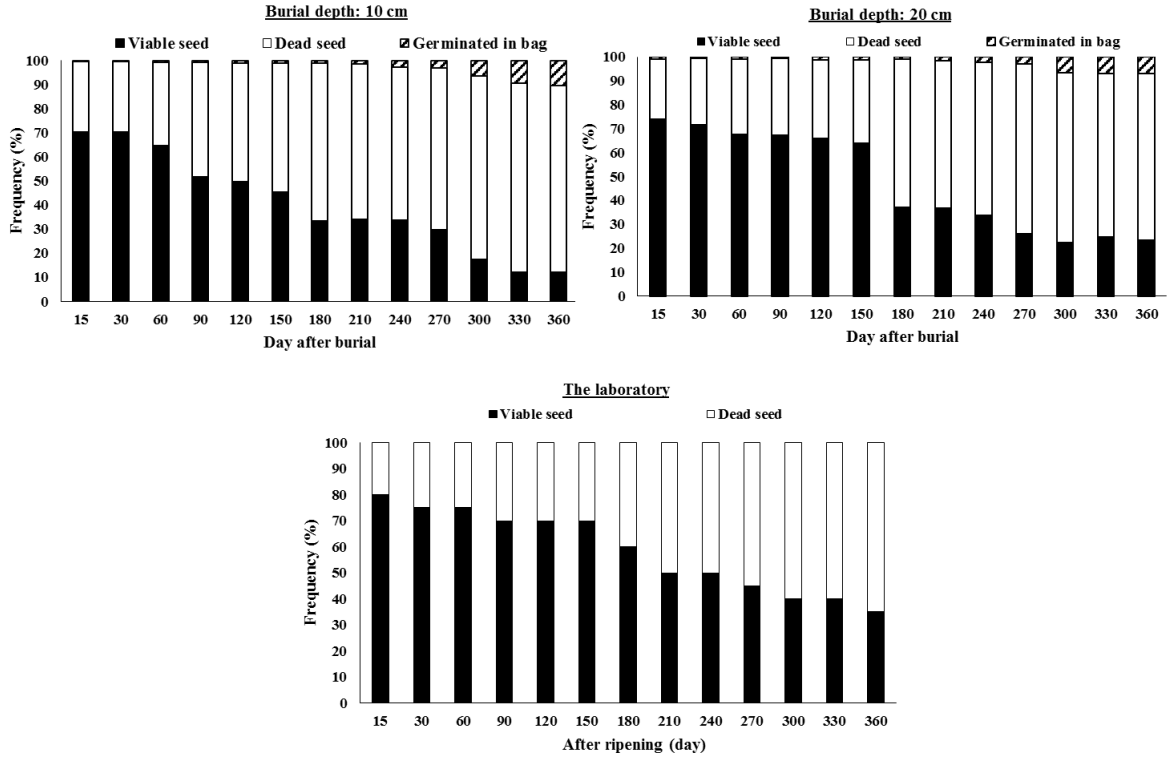
سرنوشت بذرهای انبارشده در آزمایشگاه و دفن‌شده در اعماق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری خاک در طی زمان در شکل ۱ نشان داده شده است. روند تغییرات درصد بذرهای زنده و مرده در طی زمان با توجه به عمق دفن متفاوت بود، به‌طوری‌که در عمق ۱۰ سانتی‌متر در نمونه‌برداری اول و دوم مصادف با ۱۵ و ۳۰ روز بعد از دفن، تقریباً ۷۰ درصد بذرها زنده و ۳۰ درصد آن‌ها مرده بودند. در نمونه‌برداری سوم مصادف با ۶۰ روز بعد از دفن، درصد بذرهای زنده اندکی کاهش و به ۶۵ درصد رسید، امّا در نمونه‌برداری چهارم مصادف با ۹۰ روز بعد از دفن، درصد بذرهای زنده به‌میزان قابل توجهی کاهش و به ۵۲ درصد رسید. از این مرحله تا مرحله سیزدهم نمونه‌برداری مصادف با ۳۶۰ روز بعد از دفن، درصد بذرهای زنده به‌میزان قابل توجهی کاهش و در نهایت به ۱۲ درصد رسید. در این مطالعه، تعداد بذرهایی که در هر مرحله نمونه‌برداری دچار جوانه‌زنی کشنده[1] شده بودند نیز محاسبه گردید. بر این اساس، با گذشت زمان به تعداد بذرهایی که دچار این پدیده شده بودند افزوده شد، به‌نحوی‌که در مرحله آخر نمونه‌برداری، ۱۰/۱۳ درصد بذرهای دچار جوانه‌زنی کشنده و ۷۸ درصد بذرها مرده بودند.

در عمق ۲۰ سانتی‌متر، در نمونه‌برداری ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ روز بعد از دفن، به‌ترتیب ۷۴، ۷۲، ۶۸، ۶۷، ۶۶ و ۶۴ درصد بذرها زنده بودند. از نمونه‌برداری هفتم به بعد (۱۸۰ روز بعد از دفن)، درصد بذرهای زنده به‌میزان قابل توجهی کاهش و به ۳۷ درصد رسید. در این مرحله، ۶۲ درصد بذرها مرده و یک درصد بذرها دچار جوانه‌زنی کشنده شده بودند. در فاصله نمونه‌برداری دهم تا سیزدهم مصادف با ۲۷۰ تا ۳۶۰ روز بعد از دفن، درصد بذرهای زنده بین ۲۲ تا ۲۵ درصد بود؛ در این مراحل شش تا هفت درصد بذرها دچار جوانه‌زنی کشنده شده و ۶۸ تا ۷۱ درصد بذرها مرده بودند. ازاین‌رو می‌توان بیان کرد که تخلیه بانک بذر کنجدشیطانی در عمق ۱۰ سانتی‌متر سریع‌تر از عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک اتفاق افتاده و قرار گرفتن بذرهای این گیاه در عمق ۲۰ سانتی‌متری، سبب پایداری بیشتر بذر این علف هرز در بانک بذر خاک شده است. تا نمونه‌برداری سوم مصادف با ۶۰ روز بعد از دفن، درصد بذرهای زنده و مرده در اعماق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر مشابه و در محدوده ۶۷ تا ۷۳ درصد در نوسان بود، امّا در نمونه‌برداری چهارم مصادف با ۹۰ روز بعد از دفن، درصد بذرهای زنده در عمق ۱۰ سانتی‌متر به‌میزان قابل توجهی کاهش و به ۵۲ درصد رسید. این در حالی بود که در این مرحله نمونه‌برداری، درصد زنده‌مانی بذرهای دفن‌شده در عمق ۲۰ سانتی‌متر ۶۷ درصد بود (شکل ۱). با توجه به جدول ۱ در این مرحله، بارندگی به‌میزان ۵۳/۱ میلی‌متر رخ داده است. این میزان بارندگی احتمالاً تا عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک نفوذ کرده و شرایط را برای زوال یا جوانه‌زنی بذرها (به استناد شکل ۱، در بذرهای دفن‌شده در عمق ۱۰ سانتی‌متر در مرحله چهارم نمونه‌برداری مصادف با ۹۰ روز بعد از دفن، درصد اندکی از بذرها دچار جوانه‌زنی کشنده شده‌اند) فراهم نموده است. از نمونه‌برداری ۹۰ روز بعد از دفن ۱۵۰ روز بعد از دفن، تغییر خاصی در تعداد بذرهای زنده و مرده در هر دو عمق نمونه‌برداری مشاهده نشد؛ امّا در نمونه‌برداری ۱۸۰ روز بعد از دفن، تعداد بذرهای زنده در هر دو عمق به‌میزان قابل توجهی کاهش یافت، در این مرحله، تعداد بذرهای زنده در عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۳۳ و ۳۷ درصد بود. این نمونه‌برداری مصادف با اردیبهشت ۱۴۰۲ بود. در این ماه، بارندگی به‌میزان ۸۷/۳ میلی‌متر رخ داده بود (جدول ۱). این امر می‌تواند در نفوذ رطوبت تا عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک مؤثر بوده و منجر به زوال یا جوانه‌زنی کشنده بذرها شود. از نمونه‌برداری ۱۸۰ روز بعد از دفن تا ۳۰۰ روز بعد از دفن، درصد بذرهای زنده و مرده در اعماق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر مشابه بود، امّا در نمونه‌برداری ۳۳۰ روز بعد از دفن و ۳۶۰ روز بعد از دفن، درصد بذرهای مرده در عمق ۱۰ سانتی‌متر بیشتر از ۲۰ سانتی‌متر بود. در مرحله آخر نمونه‌برداری مصادف با ۳۶۰ روز بعد از دفن، ۲۳ درصد از بذرها در عمق ۲۰ سانتی‌متر و ۱۲ درصد بذرها در عمق ۱۰ سانتی‌متر زنده بودند (شکل ۱).

جهت آگاهی بیشتر از رفتار بذر علف هرز کنجدشیطانی، هم‌زمان از بذرهای انبارشده در آزمایشگاه (پس‌رسی در شرایط آزمایشگاه) نیز نمونه‌برداری انجام شد که نتایج آن در شکل ۱ نشان داده شده است. به‌طور کلی، رفتار بذرهای کنجدشیطانی انبارشده در آزمایشگاه، شباهت بیشتری با بذرهای دفن‌شده در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک داشت. در این گروه از بذرها تا نمونه‌برداری ۱۵۰ روز پس‌رسی، ۸۰ تا ۷۰ درصد بذرها زنده بودند؛ امّا در نمونه‌برداری ۱۸۰ روز پس‌رسی، درصد بذرهای زنده کاهش و به ۶۰ درصد رسید. با گذشت زمان، از درصد بذرهای زنده کاسته و بر تعداد بذرهای مرده افزوده شد، به‌نحوی‌که در نمونه‌برداری‌های ۳۰۰، ۳۳۰ و ۳۶۰ روز پس‌رسی بذور، به‌ترتیب ۴۰، ۴۰ و ۳۵ درصد از بذرها زنده بودند (شکل ۱).

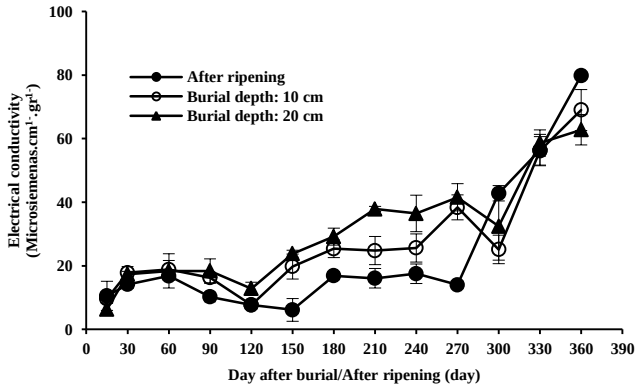
تغییرات هدایت الکتریکی بذرهای کنجدشیطانی در طی دوره پس‌رسی و دفن در اعماق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با گذشت زمان، هدایت الکتریکی بذرهای انبارشده در آزمایشگاه و همچنین بذرهای دفن‌شده در اعماق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر افزایش یافت. با افزایش دوره پس‌رسی تا روز ۲۷۰ ام، هدایت الکتریکی ثبت‌شده در بذرهای انبارشده در آزمایشگاه، کمتر از هدایت الکتریکی ثبت‌شده در بذرهای دفن‌شده بود، امّا از روز ۳۰۰ ام، هدایت الکتریکی این گروه از بذرها به بذرهای دفن‌شده در خاک نزدیک شد و در مرحله آخر (۳۶۰ روز)، بیش از بذرهای دفن‌شده در عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر بود.

1- Fatal germination



شکل ۱- سرنوشت بذرهای انبارشده در آزمایشگاه و دفن‌شده در اعماق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری خاک در طی زمان

Figure 1- The fate of seeds stored in the laboratory and buried in 10 and 20 cm soil depths over time



شکل ۲- هدایت الکتریکی بذرهای ذخیره‌شده در آزمایشگاه و دفن‌شده در اعماق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری خاک در طی زمان

Figure 2- Electrical conductivity of seeds stored in the laboratory and buried in 10 and 20 cm soil depths over time

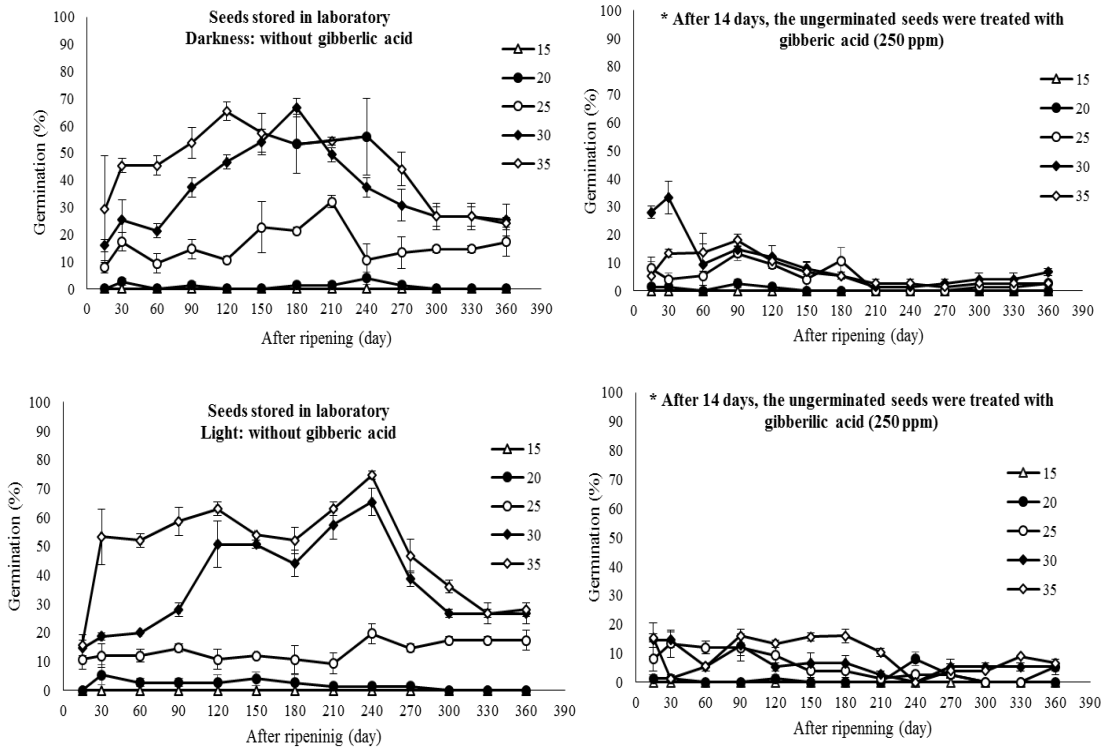
بررسی جوانه‌زنی بذرهای پس‌رس‌شده در آزمایشگاه در طی زمان

درصد جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی در طی دوره پس‌رسی در شرایط تاریکی و روشنایی در دماهای مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. در شرایط تاریکی در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد در تمامی مراحل نمونه‌برداری، جوانه‌زنی رخ نداد؛ در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نیز درصد جوانه‌زنی بسیار اندک بود؛ امّا حداکثر جوانه‌زنی بذرها در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد، به‌ترتیب ۳۲، ۶۷ و ۶۵ درصد بود. در بین این سه دما، درصد جوانه‌زنی در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود. درصد جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی بلافاصله بعد از برداشت تقریباً هفت درصد بود. بذور با ۱۵ روز پس‌رسی در شرایط تاریکی در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب ۸، ۱۶ و ۲۹ درصد جوانه‌زنی داشتند. قرارگیری بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک، سبب

جوانه‌زنی گردید، به‌نحوی‌که در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب ۸، ۲۸ و ۵ درصد بذرها جوانه زدند (شکل ۳).

با افزایش طول دوره پس‌رسی، درصد جوانه‌زنی بذرهای این گیاه در شرایط تاریکی افزایش یافت، اگرچه حداکثر درصد جوانه‌زنی بذرها در دماهای مختلف در طول دوره پس‌رسی متفاوت بود، به‌نحوی‌که حداکثر درصد جوانه‌زنی در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد در زمان ۱۲۰ روز پس‌رسی (۶۵ درصد)، در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در ۱۸۰ روز پس‌رسی (۶۷ درصد) و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در ۲۱۰ روز پس‌رسی (۳۲ درصد) مشاهده گردید (شکل ۳).

در شرایط روشنایی، جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد در همه مراحل نمونه‌برداری رخ نداد و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نیز درصد جوانه‌زنی بسیار اندک بود. مشابه شرایط تاریکی، جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد قابل توجه بود. در بین این سه دما، درصد جوانه‌زنی در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود. در مرحله اول نمونه‌برداری مصادف با ۱۵ روز پس‌رسی، درصد جوانه‌زنی در شرایط روشنایی در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه بین ۱۱ تا ۱۵ درصد در نوسان بود. قرارگیری بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک، سبب جوانه‌زنی گردید، به‌نحوی‌که در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب ۸، ۱۵ و ۱۵ درصد بذرها جوانه زدند. با افزایش طول دوره پس‌رسی، درصد جوانه‌زنی بذرهای این گیاه در شرایط روشنایی افزایش یافت. نکته قابل توجه در شکل ۳ این بود که برخلاف شرایط تاریکی، در شرایط روشنایی جوانه‌زنی بذرها در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در طول دوره پس‌رسی مشابه بود، به‌نحوی‌که حداکثر درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در زمان ۲۴۰ روز پس‌رسی به‌ترتیب ۲۰، ۶۵ و ۷۵ درصد بود. پس از آن، با افزایش طول پس‌رسی به ۲۷۰ روز درصد جوانه‌زنی کاهش یافت و در دو مرحله آخر نمونه‌برداری مصادف با ۳۳۰ و ۳۶۰ روز، ثابت و تقریباً ۲۶ درصد بود (شکل ۳).



شکل ۳- درصد جوانه‌زنی بذرهای انبارشده در آزمایشگاه (پس‌رسی) در شرایط تاریکی و روشنایی و دماهای مختلف در مراحل متفاوت نمونه‌برداری

Figure 3- Germination percentage of seeds stored in the laboratory in dark and Light conditions and different temperatures at different stages of sampling

لازم به ذکر است که بعد از ۱۴ روز بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک (۲۵۰ پی‌پی‌ام) قرار گرفته و درصد جوانه‌زنی آن‌ها ثبت گردید.

It should be noted that after 14 days, ungerminated seeds were exposed to gibberellic acid (250 ppm) and their germination percentage was recorded.

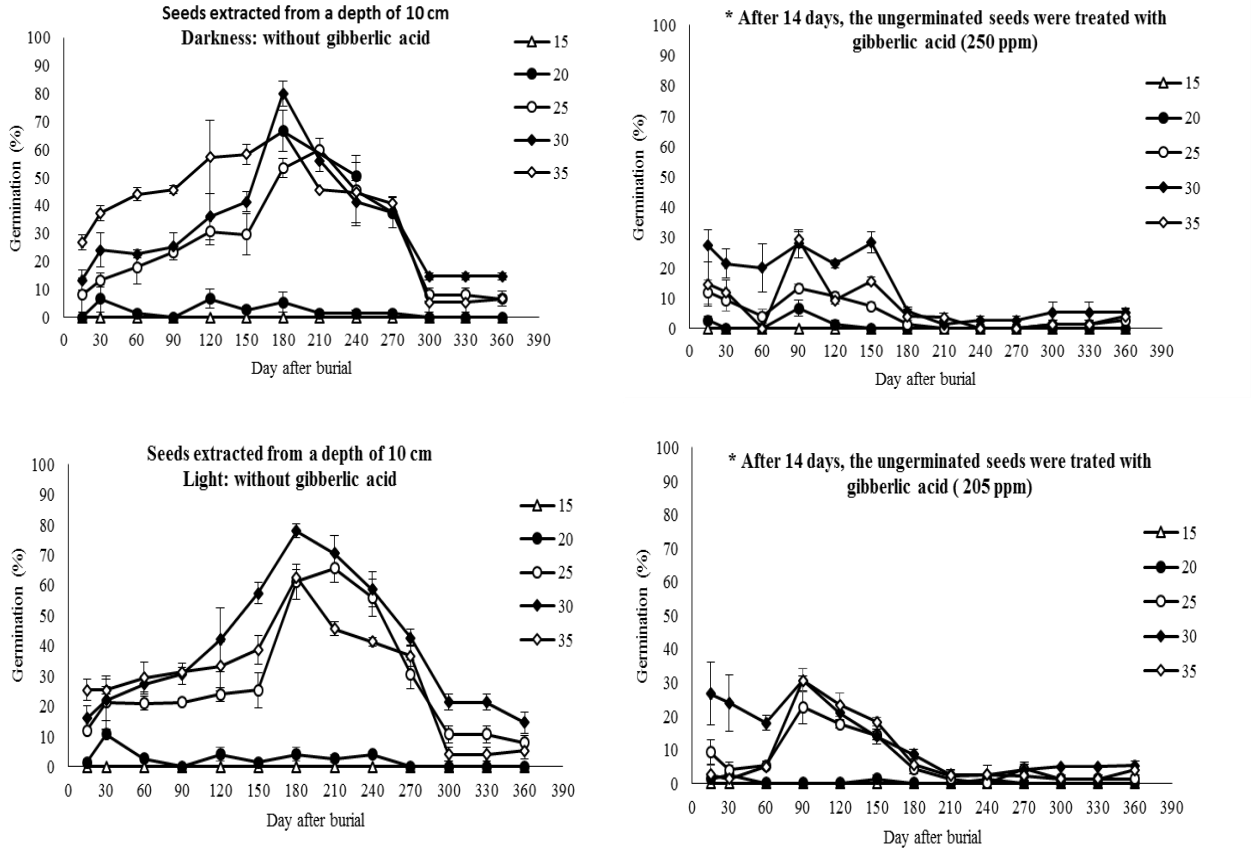
بررسی جوانه‌زنی بذرهای سالم استخراج‌شده از عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک در طی زمان

بذرهای استخراج‌شده از عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط تاریکی جوانه نزدند (شکل ۴). در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نیز درصد جوانه‌زنی بسیار اندک بود، امّا حداکثر درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب ۵۳ درصد در ۱۸۰ روز پس از دفن، ۸۰ درصد در ۱۸۰ روز پس از دفن و ۶۷ درصد در۱۸۰ روز پس از دفن به ثبت رسید. از مرحله اول نمونه‌برداری تا نمونه‌برداری ۱۵۰ روز بعد از دفن (نمونه‌برداری مربوط به اواسط فروردین ماه)، درصد جوانه‌زنی بذرهای خارج‌شده از خاک در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر از دماهای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود و در دامنه ۲۷ تا ۵۸ درصد در نوسان بود؛ امّا در نمونه‌برداری ۱۸۰ روز بعد از دفن (نمونه‌برداری مربوط اواسط اردیبهشت ماه) درصد جوانه‌زنی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌میزان قابل توجهی افزایش و به ۸۰ درصد رسید. از این مرحله نمونه‌برداری به بعد، درصد جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی مستخرج از خاک در دماهای ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد تقریباً مشابه بود. در بین این سه دما، درصد جوانه‌زنی در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود. از نمونه‌برداری ۳۰۰ روز بعد از دفن (نمونه‌برداری مربوط به شهریور، مهر و آبان)، درصد جوانه‌زنی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد تقریباً ۱۴ درصد و در دماهای ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد تقریباً پنج درصد بود.

در هر مرحله نمونه‌برداری، بعد از ۱۴ روز بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک ۲۵۰ پی‌پی‌ام قرار گرفتند و تعداد بذرهای جوانه‌زده ثبت شد (شکل ۴). نتایج نشان داد که تا نمونه‌برداری ۱۸۰ روز پس از دفن، قرارگیری بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک، سبب بهبود جوانه‌زنی در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد شد؛ جوانه‌زنی در دماهای مختلف متفاوت بود. از نمونه‌برداری ۲۱۰ روز پس از دفن، قرارگیری بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک سبب جوانه‌زنی آن‌ها نشد. از نمونه‌برداری ۱۵ روز بعد از دفن تا نمونه‌برداری ۱۸۰ روز پس از دفن، بذرها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ۱ تا ۱۳ درصد، در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد ۱۱ تا ۲۸ درصد و در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد ۱ تا ۲۹ درصد در معرض اسید جیبرلیک جوانه زدند. در شرایط تاریکی، در نمونه‌برداری ۱۸۰ روز بعد از دفن (نمونه‌برداری اواسط اردیبهشت ماه) تا ۲۷۰ روز بعد از دفن (نمونه‌برداری اواسط مرداد ماه)، پتاسیل کامل جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی بدون نیاز به اسید جیبرلیک اتفاق افتاد. با توجه به اینکه کنجدشیطانی یک گیاه گرمادوست است و در محصولات گرمادستی مانند سویا مشکل آفرین است، زمان حصول حداکثر جوانه‌زنی این علف هرز با زمان کاشت و فصل رشد محصولاتی مانند سویا کاملا منطبق است.

تغییرات درصد جوانه‌زنی بذرهای استخراج‌شده از عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک در شرایط روشنایی در شکل ۴ نشان داده شده است. الگوی تغییرات درصد جوانه‌زنی بذرهای مستخرج از عمق ۱۰ سانتی‌متر در شرایط تاریکی و روشنایی شبیه هم بود، با این تفاوت که در شرایط تاریکی تا نمونه‌برداری ۱۵۰ روز بعد از دفن، درصد جوانه‌زنی در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر از دماهای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود؛ امّا در شرایط روشنایی از زمان ۱۵ تا ۱۲۰ روز بعد از دفن، درصد جوانه‌زنی در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد تقریباً مشابه بود و در زمان ۱۵۰ روز بعد از دفن درصد جوانه‌زنی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری بیشتر از دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بود. بذرهای کنجدشیطانی مستخرج از عمق ۱۰ سانتی‌متر در شرایط روشنایی در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد جوانه نزدند. در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نیز درصد جوانه‌زنی این علف هرز بسیار اندک بود. امّا حداکثر جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب ۶۶ درصد (در ۲۱۰ روز پس از دفن)، ۷۸ درصد (در ۱۸۰ روز پس از دفن) و ۶۳ درصد (در ۱۸۰ روز پس از دفن) مشاهده شد. درصد جوانه‌زنی بذرهای این گیاه از مرحله ۱۵ روز بعد از دفن تا ۱۵۰ روز بعد از دفن، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد از ۱۲ به ۲۵ درصد، در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد از ۲۵ به ۳۹ درصد و در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد از ۱۶ به ۵۷ درصد افزایش یافت. بیشترین درصد جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در ۱۸۰ روز بعد از دفن به‌ترتیب به‌میزان ۷۸ و ۶۳ درصد ثبت شد. در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، حداکثر درصد جوانه‌زنی در ۲۱۰ روز بعد از دفن به‌میزان ۶۶ درصد مشاهده گردید. از این مراحل به بعد، درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد روند کاهشی به خود گرفت و از مرحله یازدهم تا سیزدهم نمونه‌برداری مصادف با ۳۰۰ تا ۳۶۰ روز بعد از دفن تقریباً ثابت ماند.

در هر مرحله نمونه‌برداری، بعد از ۱۴ روز، بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک ۲۵۰ پی‌پی‌ام قرار گرفتند و تعداد بذرهای جوانه‌زده شمارش و تغییرات آن در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بذور تا نمونه‌برداری ۱۸۰ روز پس از دفن، قرارگیری بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک، سبب بهبود جوانه‌زنی در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد شد؛ امّا بذور از نمونه‌برداری ۲۱۰ روز پس از دفن، پس از قرارگیری بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک، جوانه‌زنی رخ نداد. از مرحله اول (۱۵ روز بعد از دفن) تا نمونه‌برداری ۱۸۰ روز پس از دفن، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ۴ تا ۲۲ درصد، در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، ۹ تا ۳۱ درصد و در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، ۱ تا ۳۱ درصد بذرها در معرض اسید جیبرلیک جوانه زدند.



شکل ٤- درصد جوانه‌زنی بذرهای مستخرج از عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک در شرایط تاریکی و روشنایی و دماهای مختلف در مراحل متفاوت نمونه‌برداری

Figure 4- Germination percentage of seeds extracted from 10 cm soil depth in dark and light conditions and different temperatures at different stages of sampling

لازم به ذکر است که بعد از ۱۴ روز بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک (۲۵۰ پی‌پی‌ام) قرار گرفته و درصد جوانه‌زنی آن‌ها ثبت گردید.

It should be noted that after 14 days, ungerminated seeds were exposed to gibberellic acid (250 ppm) and their germination percentage was recorded.

بررسی جوانه‌زنی بذرهای سالم استخراج‌شده از عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک در طی زمان

تغییرات درصد جوانه‌زنی بذرهای استخراج‌شده از عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک در شرایط تاریکی در طی زمان در شکل ۵ نشان داده شده است. بذرهای استخراج‌شده از عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط تاریکی جوانه نزدند. جوانه‌زنی این بذرها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نیز بسیار اندک بود، امّا حداکثر درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب ۷۲ درصد (۲۱۰ روز پس از دفن)، ۷۹ درصد (۱۸۰ روز پس از دفن) و ۵۹ درصد (۲۱۰ روز پس از دفن) بود. تغییرات جوانه‌زنی بذرهای مستخرج از عمق ۲۰ سانتی‌متر در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در طی زمان (به‌جز ۱۸۰ روز بعد از دفن) تقریباً مشابه هم بود. درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد کمتر از دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد بود، امّا از الگوی تقریباً مشابه آن‌ها تبعیت نمود.

درصد جوانه‌زنی بذرهای تازه برداشت‌شده حدود هفت درصد بود. ۱۵ روز بعد از دفن، درصد جوانه‌زنی بذرها با توجه به دما بین صفر تا ۲۴ درصد در نوسان بود. با گذشت زمان، درصد جوانه‌زنی بذرهای مستخرج از عمق ۲۰ سانتی‌متر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش و در نمونه‌برداری ۲۱۰ روز پس از دفن به حداکثر مقدار خود (۷۲ درصد) رسید. از این مرحله به بعد، درصد جوانه‌زنی به‌میزان قابل توجهی کاهش یافت، به‌نحوی‌که در نمونه‌برداری‌های ۲۴۰، ۲۷۰ و

۳۰۰ روز بعد از دفن به‌ترتیب به ۴۷، ۲۵ و ۹ درصد کاهش یافت (شکل ۵). با توجه به شکل مذکور، درصد جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی مستخرج از عمق ۲۰ سانتی‌متر در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد با گذشت زمان تا ۱۸۰ روز بعد از دفن افزایش و سپس کاهش یافت. بیشترین درصد جوانه‌زنی در دمای مذکور در مرحله ۱۸۰ روز بعد از دفن (نمونه‌برداری اواسط ازدیبهشت ماه) به‌میزان ۷۹ درصد مشاهده شد. درصد جوانه‌زنی بذرهای مستخرج از این عمق در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد نیز با گذشت زمان تا ۱۸۰ روز بعد از دفن، افزایش یافت. درصد جوانه‌زنی بذر کنجدشیطانی از مرحله ۱۸۰ تا ۲۴۰ روز بعد از دفن تقریباً ثابت و در محدوده ۵۶ تا ۵۹ درصد در نوسان بود. در مرحله ۲۷۰ روز (نمونه‌برداری مربوط به اواسط مرداد ماه) درصد جوانه‌زنی کاهش و به ۴۰ درصد و در مرحله ۳۰۰ روز بعد از دفن (نمونه‌برداری مربوط به اواسط شهریورماه) به زیر ۱۰ درصد کاهش یافت.

در هر مرحله نمونه‌برداری، بعد از ۱۴ روز بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک ۲۵۰ پی‌پی‌ام قرار گرفتند و تعداد بذرهای جوانه‌زده ثبت و نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود تا مرحله ششم نمونه‌برداری، مصادف با ۱۵۰ روز پس از دفن، قرارگیری بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک، سبب بهبود جوانه‌زنی در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد شد؛ اگرچه دامنه جوانه‌زنی در دماهای مختلف متفاوت بود. امّا از مرحله هفتم مصادف با ۱۸۰ روز پس از دفن، قرارگیری بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک سبب اتفاق قابل توجهی نشد. از نمونه‌برداری ۱۵ روز بعد از دفن تا نمونه‌برداری۱۵۰ روز پس از دفن، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ۱ تا ۱۲ درصد، در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، ۱۰ تا ۴۱ درصد و در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، ۶ تا ۱۸ درصد بذرها در معرض اسید جیبرلیک جوانه زدند.

تغییرات درصد جوانه‌زنی بذرهای استخراج‌شده از عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک در شرایط روشنایی در طی زمان در شکل ۵ نشان داده شده است. بذرهای استخراج‌شده از عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط روشنایی نیز جوانه نزدند. درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در دامنه صفر تا ۲۰ درصد در نوسان بود. بذرهای کنجدشیطانی در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط روشنایی جوانه زدند. تغییرات جوانه‌زنی بذرهای مستخرج از عمق ۲۰ سانتی‌متر در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط روشنایی متفاوت از شرایط تاریکی بود، به‌نحوی‌که در شرایط روشنایی جوانه‌زنی کمتر از شرایط تاریکی بود. همچنین در شرایط روشنایی برخلاف شرایط تاریکی که حداکثر درصد جوانه‌زنی آن‌ها در نمونه‌برداری ۱۸۰ روز پس از دفن رخ داده بود، در شرایط روشنایی با توجه به دما، حداکثر درصد جوانه‌زنی در نمونه‌برداری‌های ۱۲۰ روز تا ۲۴۰ روز پس از دفن مشاهده شد.

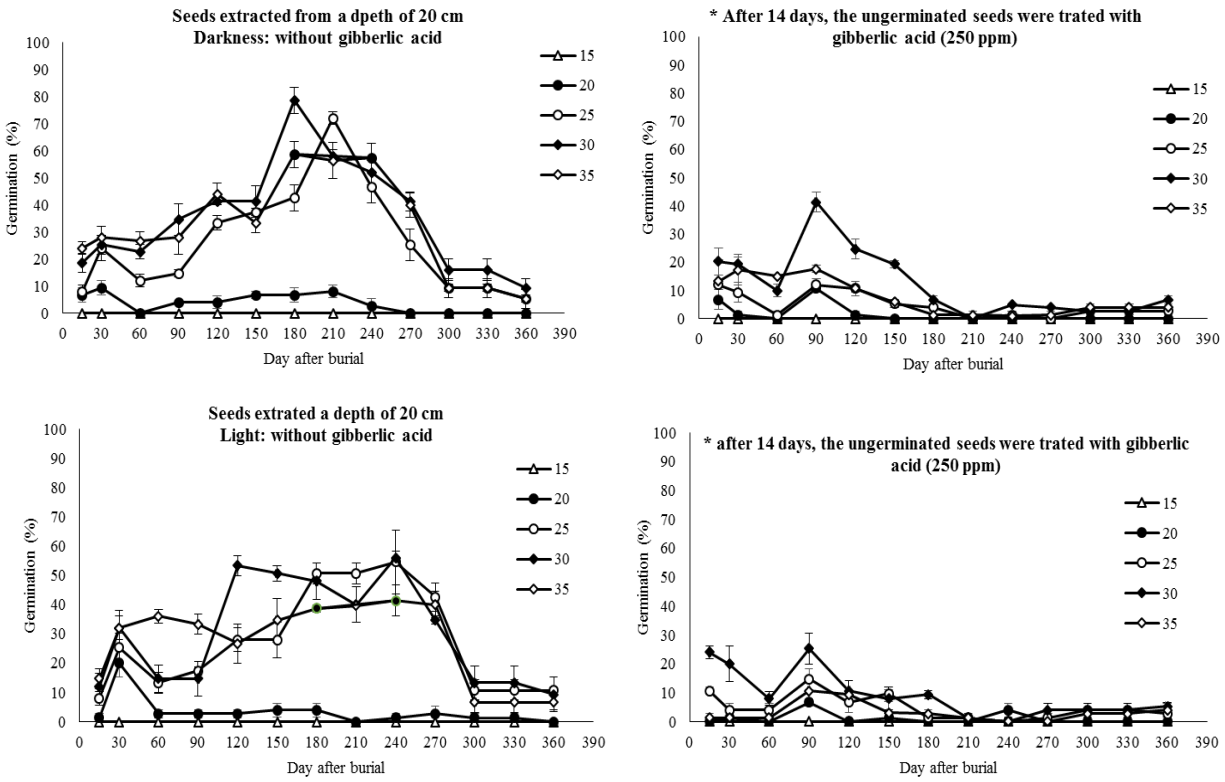
بذرها در دمای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد از مرحله ۳۰ روز بعد از دفن تا ۹۰ روز بعد از دفن به‌ترتیب ۲۵-۸، ۳۲-۱۲ و ۳۶-۱۵ درصد جوانه زدند. درصد جوانه‌زنی از مرحله ۱۲۰ روز بعد از دفن تا ۲۷۰ روز بعد از دفن در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و به‌ترتیب ۵۵-۲۸، ۵۶-۳۴ و ۴۱-۲۷ درصد از بذرها جوانه زدند؛ امّا از مرحله ۳۰۰ تا ۳۶۰ روز بعد از دفن، درصد جوانه‌زنی در هر سه دما کاهش محسوسی یافت و به‌طور متوسط در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب به ۱۱، ۱۲ و ۷ درصد رسید.

در هر مرحله نمونه‌برداری، بعد از ۱۴ روز، بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک ۲۵۰ پی‌پی‌ام قرار گرفتند و تعداد بذرهای جوانه‌زده ثبت و نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شد. تا نمونه‌برداری ۱۸۰ روز پس از دفن، قرارگیری بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک، سبب بهبود جوانه‌زنی در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد شد، اگرچه دامنه جوانه‌زنی در دماهای مختلف متفاوت بود. امّا از مرحله ۲۱۰ روز پس از دفن، قرارگیری بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک سبب اتفاق قابل توجهی نشد. بذرهای نمونه-برداری‌شده ۱۵ روز بعد از دفن تا بذرهای نمونه‌برداری‌شده در زمان ۱۸۰ روز پس از دفن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ۱ تا ۱۵ درصد، در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، ۸ تا ۲۵ درصد و در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، ۱ تا ۱۱ درصد بذرها در معرض اسید جیبرلیک جوانه زدند. با توجه به نتایج مشخص می‌شود که اسید جیبرلیک در تیمار روشنایی اثر کمتری در بهبود جوانه‌زنی در مقایسه با تیمار تاریکی داشت.

بحث:

جوانه‌زنی بذرهای تازه برداشت‌شده کنجدشیطانی بسیار کم و حدود هفت درصد بود. نتایج انجام آزمون جوانه‌زنی در طی زمان در شرایط آزمایشگاه (آزمون پس‌رسی) حاکی از افزایش درصد جوانه‌زنی در طی زمان بود. این امر نشان می‌دهد که بذرهای کنجدشیطانی دارای خواب بوده و با گذشت زمان، خواب آن‌ها رفع شد. برای تعیین نوع خواب باید به مواردی از قبیل فاصله زمانی جمع‌آوری بذر تا انجام آزمایش، جذب آب توسط بذر، واکنش به اسید جیبرلیک و جوانه‌زنی در دماهای مختلف توجه کرد (Tolo Hafezian *et al.*, 2018). با توجه به اینکه درصد جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی در طی دوران پس‌رسی افزایش یافت و استفاده از اسید جیبرلیک نیز باعث بهبود جوانه‌زنی در طی دوران پس‌رسی گردید، ازاین‌رو خواب بذرهای این گیاه از نوع فیزیولوژیک می‌باشد. اکبری گلوردی و همکاران (Akbari Gelevardi *et al.*, 2021) با مطالعه واکنش جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی در طی دوران پس‌رسی دریافتند که با گذشت زمان تا ۲۰۹ روز پس از برداشت، درصد جوانه‌زنی این گیاه به ۷۷ درصد رسید و از این مرحله به بعد تغییر معنی‌داری در افزایش درصد جوانه‌زنی این

گیاه مشاهده نگردید، آن‌ها نوع خواب این گیاه را کمون فیزیولوژیکی معرفی نمودند. وجود خواب فیزیولوژیکی از جوانه‌زنی بذرها بلافاصله بعد از ریزش جلوگیری می‌کند. این امر در گیاهان گرمادوستی مانند کنجدشیطانی بسیار مهم بوده و از جوانه‌زنی آن‌ها در طی فصل سرما ممانعت می‌نماید. مطالعات دیگر نیز نشان داده است که بذرهای گونه‌های مختلف جنس *Cleome*، خواب فیزیولوژیکی غیرعمیق دارند (Shilla *et al.*, 2016) و تیمارهای مختلفی مانند پس‌رسی بذر به‌مدت ۶ تا ۱۲ ماه در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد (Kamotho *et al.*, 2014)، پس‌رسی در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد یا در دمای اتاق به‌مدت سه ماه (Ekpong, 2009)، استفاده از اسید جیبرلیک ۵۰۰ پی‌پی‌ام (Muasya *et al.*,2009)، قرار دادن بذرها در دماهای متناوب یا ثابت (Ochuodho & Modi, 2005) و پیش‌گرمایش در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک تا پنج روز (Ekpong, 2009)، در بهبود جوانه‌زنی گیاهان این جنس مؤثر است.



شکل ۵- درصد جوانه‌زنی بذرهای مستخرج از عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک در شرایط تاریکی و روشنایی و دماهای مختلف در مراحل متفاوت نمونه‌برداری

Figure 5- Germination percentage of seeds extracted from 20 cm soil depth in dark and light conditions and different temperatures at different stages of sampling

لازم به ذکر است که بعد از ۱۴ روز بذرهای جوانه نزده در معرض اسید جیبرلیک (۲۵۰ پی‌پی‌ام) قرار گرفته و درصد جوانه‌زنی آن‌ها ثبت گردید.

It should be noted that after 14 days, ungerminated seeds were exposed to gibberellic acid (250 ppm) and their germination percentage was recorded.

بررسی تغییرات درصد بذرهای زنده و مرده در دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر نشان داد که در هر دو عمق دفن، درصد بذرهای زنده در طی زمان کاهش و به تعداد بذرهای مرده افزوده شد، به‌طوری‌که در آخرین نمونه‌برداری، مصادف با ۳۶۰ روز بعد از دفن، تعداد بذرهای زنده در دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۱۲ و ۲۳ درصد بود (رفتار بذرهای کنجدشیطانی انبارشده در آزمایشگاه، شباهت بیشتری با بذرهای دفن‌شده در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک داشت). یکی از رخدادهای طبیعی که در بذرهای انبارشده رخ می‌دهد، زوال بذر می‌باشد. با توجه به اینکه بانک بذر خاک نیز به‌نوعی انبار بذر تلقی می‌شود، قطعاً این فرآیند نیز در بذرهای ذخیره‌شده در بانک بذر خاک اتفاق می‌افتد. عوامل متعددی در میزان حساسیت بذرها به زوال بذر دخالت دارند که مهم‌ترین آن‌ها درجه حرارت، رطوبت نسبی، محتوی رطوبت بذر و خسارت ناشی از ریزجانداران و حشرات هستند (Oskouei & Saman Sheidaei, 2017). یکی از علائم زوال بذر،

افزایش هدایت الکتریکی بذرها در نتیجه تخریب غشاء و افزایش مواد نشتی از بذر است (Lachman *et al.*, 2003). نتایج این تحقیق نیز نشان داد که با گذشت زمان، میزان هدایت الکتریکی بذرها در شرایط انبارداری بذرها در آزمایشگاه و همچنین دوره دفن بذرها در خاک افزایش قابل توجهی یافت.

با توجه به روند افزایش درصد تعداد بذرهای مرده در دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر می‌توان گفت که در عمق ۱۰ سانتی‌متر، تخلیه بانک بذر این علف هرز سریع‌تر اتفاق افتاده است. عموماً میزان مرگ‌ومیر بذرها با افزایش مدت‌زمان دفن افزایش می‌یابد (Vargas *et al.*, 2018). در این راستا، چائوهان و همکاران (Chauhan *et al.*, 2006) با مطالعه اثر دو نظام خاکورزی بدون شخم و خاکورزی حداقل بر توزیع عمودی بذر چچم (*Lolium rigidum*) در نیم‌رخ خاک دریافتند که قرارگیری بذرهای این علف هرز در لایه‌های پایین تر خاک، باعث کاهش درصد پوسیدگی و در نتیجه کاهش مرگ‌ومیر بذرهای این علف هرز می‌شود. به‌طور کلی، عمده بذر علف‌های هرز اگرچه در لایه‌های سطحی خاک متمرکز می‌شوند، ولی تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک قابل مشاهده هستند (Harrison *et al.*, 2007). توزیع عمودی بذر علف‌های هرز در نیم‌رخ خاک بر سرنوشت بذر علف‌های هرز بسیار مؤثر بوده (Soltani *et al.*, 2016) و بذرهای دفن‌شده در لایه‌های عمیق‌تر خاک مدت زمان بیشتری را در وضعیت خواب باقی می‌مانند (Guja *et al.*, 2010; Cechin *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2018). به نظر می‌رسد که دلیل این امر، بالا بودن غلظت دی‌اکسید کربن در اثر فعالیت بیولوژیکی خاک و انتشار آهسته‌تر (Wei *et al.*, 2009; Benvenuti, 2003)، کمبود رطوبت، نوسانات دمایی کمتر (Onwuka Roberts & Totterdell, 1981; & Mang., 2018; Mahmood *et al.*, 2016) و عدم وجود نور (Chauhan & Johnson, 2010) باشد. به‌طور کلی، جوانه زدن در شرایط حضور نور، نوعی سازوکار جهت تشخیص عمق دفن توسط بذر است.

سه عامل اصلی در جوانه‌زنی، تعیین‌کننده پتانسیل پایداری بذر یک علف هرز در خاک و همچنین تعیین زمان جوانه‌زنی می‌باشد. عامل اول، تأخیر در جوانه‌زنی از طریق سازوکارهای مرتبط با خواب بذر است (Baskin & Baskin, 2014). عامل دوم، نیاز نوری برای جوانه‌زنی است، نور می‌تواند تنها به لایه بالایی خاک نفوذ کند (Saatkamp *et al.*, 2011; Maskova & Poschlod, 2022)، بنابراین بذرها می‌توانند تا زمانی‌که نور به آن‌ها نرسد، جوانه نزنند. (Baskin & Baskin, 2014; Milberg *et al.*, 2000)

عامل سوم، دمای متناوب مورد نیاز برای جوانه‌زنی است (به‌خصوص در بذرهایی که اندازه کوچک دارند) که ممکن است به‌عنوان راهکاری جهت تشخیص عمق دفن باشد (Thompson & Grime, 1983). نتایج این تحقیق نشان داد که نور عامل مورد نیاز در جوانه‌زنی بذر این علف هرز نیست. بنابراین امکان جوانه‌زنی بذر این علف هرز از لایه‌های پایین خاک و در نتیجه تخلیه بانک بذر این علف هرز وجود دارد. امّا با توجه به نتایج ارائه‌شده مشخص گردید که به‌ترتیب ۱۲ و ۲۳ درصد بذرهای این علف هرز در لایه ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری خاک، بعد از گذشت یک سال از دفن در داخل خاک پایدار باقی می‌مانند. با توجه به اینکه عمده جوانه‌زنی بذر این گیاه در شرایط دمای متناوب ۲۰/۳۰ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد (Akbari-Gelvardi *et al.*, 2021; Saifullah *et al.*, 2023)، همچنین این گیاه در مرحله جوانه‌زنی به کمبود آب بسیار حساس است (Akbari-Gelvardi *et al.*, 2021)، ازاین‌رو به نظر می‌رسد که پایداری بانک بذر این علف هرز در لایه‌های پایینی خاک به این عوامل مرتبط باشد. در مطالعه مرادی صحرا (Moradi Sahra, 2022) مشاهده شد که بذرهای دفن شده ماریتیغال (*Silybum marianum*) در دو عمق ۵ و ۱۰ سانتی‌متر با افزایش طول دوره دفن شروع به جوانه‌زنی در خاک نمودند. شروع جوانه‌زنی بذرهای دفن‌شده در عمق پنج سانتی‌متر، دو ماه زودتر از عمق ۱۰ سانتی‌متر بوده و در مدت زمان کوتاه‌تری نیز به حداکثر مقدار خود رسید. به‌علاوه، درصد جوانه‌زنی بذرها در عمق پنج سانتی‌متری به‌طور قابل توجهی بیشتر از عمق ۱۰ سانتی‌متر بود. این نشان می‌دهد که خواب بذرهای دفن‌شده در عمق پنج سانتی‌متری، سریع‌تر از بذرهای دفن‌شده در عمق ۱۰ سانتی‌متری رفع شده است. محمدی و همکاران (Mohamadi *et al.*, 2023) اظهار داشتندکه بانک بذر چاودار وحشی (*Secale cereale*) در شرایط وجود رطوبت در لایه‌های مختلف خاک پایدار نمی باشد، امّا اگر بذرهای چاودار وحشی در موقعیتی قرار گیرند که امکان جذب آب برای آن‌ها فراهم نباشد، قادرند برای مدت طولانی‌تری در بانک بذر خاک حضور داشته باشند. با این وجود، قابلیت حیات بذرهای دفن‌شده با گذشت زمان کاهش قابل توجهی می‌یابد که این می‌تواند اندازه بانک بذر را حتی در شرایط خشکی کاهش دهد.

نتایج این تحقیق نشان داد که با گذشت تعداد روز پس از پس‌رسی و روز پس از دفن، درصد جوانه‌زنی به‌مرور افزایش و سپس کاهش یافت. همچنین با گذشت زمان، بذرها در دامنه وسیع‌تری از دماها جوانه زدند، اگر چه با توجه به تیمار اعمال‌شده، در مراحل آخر نمونه‌برداری علاوه‌بر کاهش درصد جوانه‌زنی، جوانه‌زنی در دماهای محدودتری اتفاق افتاد. به نظر می‌رسد که با رفع خواب بذرها، امکان جوانه‌زنی آن‌ها در محدوده وسیع‌تری از دماها رخ داده است و در مراحل آخر نمونه‌برداری به‌دلیل قرارگیری در شرایط فصلی متفاوت (پاییز) به بذرها خواب القاء شده و جوانه‌زنی آن‌ها در محدوده دمایی کمتری رخ داده است. شواهد حاکی از آن است که رابطه بین تغییر سطح خواب و محدوده دمایی برای جوانه‌زنی در پاسخ به شرایط آب‌وهوایی منطقه متفاوت می‌باشد. با خارج شدن بذرها از خواب ، سه الگوی تغییر در دمای مورد نیاز برای جوانه‌زنی قابل مشاهده است.

الف- بذر برخی از گونه‌ها، ابتدا در دماهای پایین جوانه می‌زنند، امّا با کاهش بیشتر خواب ، حداکثر دمای جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. ب- بذر سایر گونه‌ها، ابتدا توانایی جوانه‌زنی را در دمای بالا به‌دست می‌آورند، امّا با کاهش بیشتر خواب ، حداقل دمای جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. ج- برخی دیگر از گونه‌ها، ابتدا در دماهای متوسط شروع به جوانه‌زنی کرده، امّا با از دست دادن خواب اضافی در دماهای بالاتر و پایین‌تر جوانه می‌زنند (Schutze, 2002).

به‌طور کلی، دما یک عامل اولیه تنظیم‌کننده تغییرات فصلی در خواب بذر بوده (Footitt *et al.*, 2013) و در تعیین شروع زمان جوانه‌زنی و زمان سبز شدن گیاه اثرگذار است (Malezieux, 2012). روشی که دما بر میزان خواب بذر اثر می‌گذارد، به چرخه زندگی گونه‌های مختلف گیاهی، بستگی دارد. در مورد گونه‌های یک‌ساله تابستانه، سطح خواب بذرها تحت تأثیر دماهای پایین زمستان کاهش می‌یابد، درحالی‌که در دماهای بالای تابستان، سطح خواب افزایش‌یافته که منجر به ورود آن‌ها به خواب ثانویه خواهند شد. در مقابل تجربه دماهای بالا در فصل تابستان، تعیین‌کننده رهاسازی خواب در گونه‌های یک‌ساله زمستانه می‌باشد، درحالی‌که ممکن است دماهای پایین زمستان موجب القاء خواب ثانویه در بذرها شود (Li *et al.*, 2006). تغییرات ایجادشده نقش مهمی در تداوم و پایداری و نیز پویایی بانک بذر موجود در خاک خواهد داشت.

بذرهای پس‌رس‌شده کنجدشیطانی در دمای ۱۵درجه سانتی‌گراد جوانه نزدند؛ در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نیز جوانه‌زنی بسیار کمی داشتند. با افزایش دما به ۲۵ درجه سانتی‌گراد، جوانه‌زنی در شرایط نور و تاریکی افزایش یافت و در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌خصوص ۳۵ درجه سانتی‌گراد به حداکثر مقدار خود رسید. نتایج این تحقیق مشابه نتایج تحقیق اکبری گلوردی و همکاران (Akbari-Gelvardi *et al.*, 2021) می‌باشد حداکثر جوانه‌زنی این گیاه در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد داد، ازاین‌رو با افزایش دمای کره زمین و ایران، به نظر می‌رسد که این گیاه در آینده به چالشی بزرگ در اراضی کشاورزی مخصوصاً سویاکاری مطرح شود.

شواهد نشان می‌دهد که عوامل مختلفی در واکنش بذرها به نور تأثیرگذارند، به‌عنوان مثال بذرهای بدون خواب نسبت به نور واکنش نشان نداده و جوانه‌زنی آن‌ها در شرایط نور و تاریکی مشابه است (Baskin & Baskin, 1988). همچنین حساسیت به نور در طی دوره ذخیره‌سازی بذر در انبار کاهش می‌یابد (Viana & Felippe, 1986)، امّا در این مطالعه، پاسخ جوانه‌زنی بذر کنجدشیطانی در مراحل مختلف نمونه‌برداری طی دوره پس‌رسی یا دفن، به نور و تاریکی تقریباً مشابه بود. گونه‌های مختلف علف‌هرز از لحاظ واکنش به نور بسیار متفاوت بوده، در برخی از گونه‌ها بذور تحت تأثیر نور قرار گرفته و جوانه می‌زنند و در برخی دیگر باعث تحریک جوانه‌زنی نمی‌شود. نتایج تحقیق اکبری گلوردی (Akbari Gelevardi, 2016) نشان داد که حداکثر جوانه‌زنی بذر کنجدشیطانی که شش ماه در شرایط آزمایشگاه پس‌رس شده بود (در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد)، در شرایط تاریکی مداوم ۶۴ درصد و در شرایط روشنایی مداوم ۴۵ درصد بود. آن‌ها بیشترین درصد جوانه‌زنی بذور این علف‌هرز را در رژیم نوری ۱۲ ساعته نور و تاریکی به‌میزان ۷۱ درصد مشاهده نمودند. نتایج تحقیق سیفی اللهی و همکاران (Saifullah *et al.*, 2023) نیز حاکی از آن بود که بذرهای تازه و پس‌رس‌شده کلم آفریقایی (*Cleome gynandra*) نیز در شرایط تاریکی کامل و رژیم نوری ۱۲ ساعت نور و تاریکی بهتر از شرایط روشنایی کامل جوانه می‌زنند. جوانه‌زنی مطلوب بذرهای کنجدشیطانی در شرایط تاریکی نشان‌دهنده این است که بذر این علف هرز فتوبلاست نمی‌باشد؛ این ویژگی از عوامل گسترش سریع و مزیتی برای این علف‌هرز محسوب می‌شود، زیرا تراکم بالای تاج‌پوشش در گیاهان مجاور، بقایای گیاهی یا دفن در لایه‌های پایین‌تر خاک نمی‌تواند مانع جوانه‌زنی بذور کنجدشیطانی شود.

یکی از اهداف اصلی در تحقیقات مرتبط به بانک بذر گونه‌های گیاهی تعیین نوع بانک بذر آن‌ها در خاک می‌باشد. به‌طور کلی، بانک‌های بذر به دو نوع، بانک بذر موقت که در آن هیچ‌کدام از بذرهای تولیدشده در یک‌سال، زنده نمی‌مانند و بانک بذر پایدار که در آن بذرها یک تا چندین سال در خاک باقی می‌مانند. بانک دائم بذر خاک می‌تواند براساس زمان به دو دسته کوتاه‌مدت و بلندمدت دسته بندی شود. بذرهای موجود در بانک بذر کوتاه‌مدت حداقل یک سال و حداکثر پنج سال و در بانک بذر طولانی‌مدت بیش‌تر از پنج سال در خاک زنده می‌مانند (Thompson *et al.*, 1994). براساس این دسته‌بندی بانک بذر کنجدشیطانی از نوع دائم می‌باشد. با توجه به اینکه آزمایش حاضر برای یک سال طراحی شده بود، تشخیص اینکه بانک بذر کنجدشیطانی از نوع دائم موقت است یا بلندمدت، امکان‌پذیر نبود و لازم است در تحقیقات آینده به این موضوع پرداخته شود .

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه درصد جوانه‌زنی بذرهای کنجدشیطانی در طی دوران پس‌رسی افزایش یافت و استفاده از اسید جیبرلیک نیز باعث بهبود جوانه‌زنی در طی دوران پس‌رسی گردید، خواب بذرهای این گیاه از نوع فیزیولوژیک می‌باشد. این نوع خواب از جوانه‌زنی بذر در فصل زمستان جلوگیری می‌کند. وقوع دماهای پایین در زمستان باعث رفع خواب بذرهای دفن‌شده این گیاه شده و آن‌ها را برای جوانه‌زنی در فصل بهار مهیا می‌کند. با توجه به نتایج، حداکثر جوانه‌زنی این گیاه در نمونه‌برداری مصادف با اردیبهشت ماه (۱۸۰ روز بعد از دفن یا پس‌رسی) رخ داد. این امر نشان می‌دهد که زمان رفع خواب بذر

کنجدشیطانی مصادف با کاشت محصولات گرمادوست می‌باشد. بالعکس وقوع دماهای بالا در فصل تابستان سبب کاهش القاء خواب ثانویه در بذرهای باقی‌مانده شد. با توجه به روند افزایش درصد تعداد بذرهای مرده در دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر می‌توان گفت که در عمق ۱۰ سانتی‌متر تخلیه بانک بذر این علف هرز سریع‌تر اتفاق افتاد. به‌طور کلی، در آخرین نمونه‌برداری، مصادف با ۳۶۰ روز بعد ازدفن تعداد بذرهای زنده در دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۱۲ و ۲۳ درصد بود. بانک بذر کنجدشیطانی از نوع دائم می‌باشد. بنابراین ریزش مکرر بذر این علف هرز در خاک می‌تواند این گیاه را به‌عنوان یک چالش دائمی و جدی برای کشاورزان در آینده تبدیل نماید.

References

1. Akbari Gelevardi, A. (2016). The effect of some environmental factors on seed germination and emergence of *Cleome viscose* L. Ma.Sc. Thesis, Plant Production Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. 82p. (In Persian with English Abstract).
2. Akbari Gelevardi, A., Siahmarguee, A., Ghaderi-Far, F., & Gherekhloo, J. (2021). The effect of environmental and management factors on seed germination and seedling emergence of Asian spiderflower (*Cleome viscosa* L.). *Weed Research*, *61*(5), 350-359. https://doi.org/10.1111/wre.12493 .
3. Baskin, C.C., & Baskin, J.M. (2014). Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination, Academic Press, San Diego, 680 p.
4. Baskin, C.C., & Baskin, J.M. (1988). Germination ecophysiology of herbaceous plant species in a temperate region. *American Journal of Botany*, *75*(2), 286-305. https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1988.tb13441.x
5. Benvenuti, S. (2003). Soil texture involvement involvement in germination and emergence of buried weed seeds. *Agronomy Journal*, *95*, 191-198. https://doi.org/10.2134/agronj2003.1910.
6. Cechin, J., Schmitz, M.F., Hencks, J.R., Vargas, A.A.M., Agostinetto, D., & Vargas, L. (2021). Burial depths favor Italian ryegrass persistence in the soil seed bank. *Scientia Agricola*, *78*(3), e20190078. http://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0078
7. Chauhan, B.S., & Johnson, D.E. (2010). The role of seed ecology in improving weed management strategies in the tropics. *Advances in Agronomy*, *105*, 221-262. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05006-6
8. Chauhan, B.S., Gill, G., & Preston, C. (2006). Influence of tillage systems on vertical distribution, seedling recruitment and persistence of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) seed bank. *Weed Science*, *54*(4), 669-676. : https://doi.org/10.1614/WS-05-184R.1
9. Davis, A.S., Renner, K.A., & Gross, K.L. (2005). Weed seedbank and community shifts in a long-term cropping systems experiment. *Weed Science*, *53*, 296–306. https://doi.org/10.1614/WS-04-182.
10. Ekpong, B. (2009). Effects of seed maturity, seed storage and pre-germination treatments on seed germination of cleome (*Cleome gynandra* L.). *Scientia Horticulturae*, *119*(3), 236-240. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.003
11. Elahifard, E., & Derakhshan, A. (2018). Asian spiderflower (*Cleome viscosa*) germination ecology in southern Iran. *Weed Biology and Management*, *18*(3), 110-117. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.1111/wbm.12154
12. Emami, D., Siahmargoui, A., Kamkar, B., & Basiri. (2017). Investigating the competitiveness of soybean in the conditions of interference with different densities of devil's sesame (*Cleome viscosa* L.), an invasive weed in Golestan province, *Plant Protection Journal*, *32*(4), 592-579. (In Persian with English Abstract).
13. Fenner, M. (2000). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. Wallingford, United Kingdom, CABI Publishing. 410 p. https://doi.org/10.1079/9780851994321.0000.
14. Footitt, S., Huang, Z., Clay, H.A., Mead, A., & Finch-Savage, W.E. (2013). Temperature, light and nitrate sensing coordinate a rabidopsis seed dormancy cycling, resulting in winter and summer annual phenotypes. *The Plant Journal*, *74*(6), 1003-1015. https://doi.org/10.1111/tpj.12186
15. Guja, L.K., Merritt, D.J., & Dixon, K.W. (2010). Buoyanancy, salt tolerancy and germination of coastal seeds: Implications for oceanic hydrochorous dispersal. *Functional Plant Biology*, *37*, 1175-1186. https://doi.org/10.1071/FP10166
16. Harrison, S.K., Regnier, E.E., Schmoll, J.T., & Harrison, J.M. (2007). Seed size and burial effects on giant ragweed (*Ambrosia trifida*) emergence and seed demise. *Weed Science*, *55*(1), 16-22. https://doi.org/10.1614/WS-06-109.1
17. Kan, I.A. Ullah, Z., Hassan, G., Marwat, K.B., Aminullah, J., Shah, S.M.A., & Khan, Sh. (2011). Impact of different mulches on weed flora and yield of maize. *Pakistan Journal of Botany*, *43*(3), 1601-1602.
18. Kamotho, G.N., Mathenge, P.W., Muasya, R.M., & Dulloo, M.E. (2014). Effects of maturity stage, desiccation and storage period on seed quality of Cleome (*Cleome gynandra* L.). *Research Desk*, *3*,419-433.
19. Lachman, J., Dudjak, J., Orsak, M., & Pivec, V. (2003). Effect of accelerated aging test on the content and composition of polyphenolic complex of wheat (*Triticum aestivum* L.) grains. *Plant Soil Environment*, *94*, 1-7.

20. Li, X.H., Li. X.H., Jiang, D.M., & Liu, Z. (2006). Germination strategies and patterns of annual species in the temperate semiarid region of China. *Arid Land Research and Management*, *20*(3), 195-207. https://doi.org/10.1080/15324980600705651
21. Liebman, M., Mohler, C.L., & Staver, C.P. (2001). *Ecological Management of Agricultural Weeds*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 532 p.
22. Liu, W., Bai, S., Zhao, N., Zhang, L., & Wang, J. (2018). Non-target sit-based resistance to tribenuron-methyl and essential involved genes in *Myosoton aquaticum* (L). BMC. *Plant Biology*, *18*, 225-237. https://doi.org/10.1186/s12870-018-1451-x
23. Long, R.L., Gorecki, M.J., Renton, M., Scott, J.K., Colville, L., Goggin, D.E., Commander, L.E., Westcott, D.A., Cherry, H., & Finch-Savage, W.E. (2015). The ecophysiology of seed persistence: A mechanistic view of the journey to germination or demise. *Biological Reviews*, *90*(1), 31-59. https://doi.org/10.1111/brv.12095
24. Mahmood, A.H., Florentine, S.K., Chauhan, B.S., McLaren, D.A., Palmer, G.C., & Wright, W., (2016). Influence of various environmental factors on seed germination and seedling emergence of a noxious environmental weed: Green galenia (*Galenia pubescens*). *Weed Science*, *64*(3), 486-494. https://doi.org/10.1614/WS-D-15-00184.1
25. Maikhuri, R.K., Semwal, R.L., Rao, K.S., Nautiyal, S., & Saxena, K.G. (2000). *Cleome viscose*, Capparidaceae: A weed or a cash crop? *Economic Botany*, *54*, 150–154. https://doi.org/10.1007/BF02907819
26. Malezieux, E. (2012). Designing cropping systems from nature. *Agronomy for Sustainable Development*, *32*, 15-29. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0027-z
27. Maskova, T., & Poschlod, P. (2022). Soil seed bank persistence across time and burial depth in calcareous grassland habitats. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 790867. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.790867
28. Milberg, P., Andersson, L., & Noronha, A. (1996). Seed germination after short-duration light exposure: Implications for the photo-control of weeds. *Journal of Applied Ecology*, *33*, 1469-1478. https://doi.org/10.2307/2404785
29. Mohamadi, H. Ghaderi-Far, F., Siahmarguee, A., Zeynali, E., & Gherekhloo, J. (2023). Evaluation of winter wheat yield reduction in interference with wild rye weed: A case study of Shahkoh area-Golestan province. Plant production research. *Journal of Plant Production*, *30*(3), 161-176. (In Persian with English Abstract).https://doi.org/ 10.22067/jpp.v34i4.86501.
30. Moradi Sahra, M. (2022). Investigation of germination and dormancy of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.) in seed bank. M.Sc. Thesis. Plant Production Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian with English Abstract).
31. Muasya, R.M., Simiyu, J.N., Muui, C.W., Rao, N.K., Dulloo, M.E., & Gohole, L.S. (2009). Overcoming seed dormancy in *Cleome gynandra* L. to improve germination. *Seed Tecnology*, *31*(2), 134-143. https://www.jstor.org/stable/23433309
32. Ochuodho, J.O., & Modi, A.T. (2005). Temperature and light requirements for the germination of *Cleome gynandra* seeds. *South African Journal of Plant and Soil*, *22*(1), 49-54.
33. Onwuka, B., & Mang, B. (2018). Effects of soil temperature on some soil properties and plant growth. *Advances in Plants and Agriculture Research*, *8*(1), 34-37.
34. Oskouei, B., & Sheidaei, S. (2017). Seed deterioration. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, *4*(3), 125-143. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22124/jms.2017.2512
35. Roberts, E.H., & Totterdell, S. (1981). Environmental seed dormancy in *Rumex* species. *Plant Cell and Environmental*, *4*, 97-106.https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1981.tb01044.x
36. Ravisankar, D., Chinnusamy, C., & Nithya, C. (2017). Weed management in herbicide tolerant transgenic maize-A review. *Chemical Science Review and Letters*, *6*(24), 2364-2372.
37. Saatkamp, A., Affre, L., Baumberger, T., Dumas, P.J., Gasmi, A., Gachet, S., & Arène, F. (2011). Soil depth detection by seeds and diurnally fluctuating temperatures: different dynamics in 10 annual plants. *Plant and Soil*, *349*, 331-340. https://doi.org/10.1007/s11104-011-0878-8
38. Saifullah, K., Williams, A., & Adkins, S. (2023). Spider plant (*Cleome gynandra* L.): An emerging weed in the sweet corn–brassica cropping system. *Agronomy*, *13*, 1430. https://doi.org/10.3390/agronomy13051430
39. Schutze, Y. (2002). Zur Veränderung im Eltern-Kind-Verhältnis seit der Nachkriegszeit. Nave-Herz, Rosemarie (Hg.): Kontinuität und Wandel der Familie in Deutschland. Eine zeitgeschichtliche Analyse. Stuttgart: Lucius und Lucius, 71-97. https://doi.org/10.1515/9783110508208
40. Schwartz-Lazaro, L.M., & Copes, J.T. (2019). A review of the soil seed bank from a weed scientists perspective. *Agronomy*, *9*(7), 369. https://doi.org/10.3390/agronomy9070369
41. Shilla, M.O., Abukutsa-Onyango, F., Dinnsa, F., & Winkelmann, T. (2016). Seed dormancy, viability and germination of *Cleome gynandra* L: A review. *African Journal of Horticulture Science*, *10*, 42-52. http://www.hakenya.net/ajhs/index.php/ajhs/article/view/171/128
42. Siahmarguee, A., Ghaderi-Far, F., & Bagheri, S.H. (2023). Effect of smoke and heat on dormancy and germination of Asian spiderflower seeds. *Danesh Journal of Herbal Medicine*, (In Press). (In Persian with

English Abstract).
43. Soltani, A., Zeinali, E., Galeshi, S., & Latifi, N. (2001). Genetic variation for and interrelationship among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. *Seed Science and Technology*, *29*, 653-662.
44. Soltani , E., Soltani, A., Galeshi, S., Ghaderi-Far, F., & Zeinali, E. (2016). Vertical distribution of volunteer canola and wild mustard in their soil seed bank. *Applied field Crop Research*, *29*(3), 20-28. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22092/AJ.2016.112674
45. Thompson, K., & Grime, J.P. (1983). A comparative study of germination responses to diurnally-fluctuating temperatures. *Journal of Applied Ecology*, *20*(1), 141-156. https://doi.org/10.2307/2403382.
46. Thompson, K., Green, A., & Jewels, A.M. (1994). Seeds in soil and worm casts from a neutral grassland. *Functional Ecology*, *8*, 29-35. https://doi.org/10.2307/2390108
47. Tian, Y.G., Pang, L., Jiang, X.Q., & Lu, B.R. (2024). Impact of soil burial depths on survival of weedy rice seeds: Implications for weed management. *Agronomy*, *14*(6), 1281. https://doi.org/10.3390/agronomy14061281
48. Tolo Hafezian, I., Kadrifar, F.M., Sadeghipour, H.R., Siahmargoi, A., Fadaei, F., & Torabi, b. (2018). Determining the community type of maritigal seed: The effects of post-clay and gibberellic acid treatments at different temperatures. *Journal of Crop Production*, *2*(12), 186-171.
49. Vargas, A.A.M., Agostinetto, D., Zandona, R.R., Fraga, D.S., & Avila Neto, R.C. (2018). Longevity of horseweed seed bank depending on the burial depth. *Planta Daninha*, *36*, 182073.
50. Viana, A.M., & Felippe, G.M. (1986). Effect of light and temperature on the seed germination of *Dioscorea composita*. *Revista Brasileira de Botanica*, *9*, 109-116.
51. Wei, S., Zhang, C., Li, X., Cui, H., Huang, H.B., Menge, Q., & Zhang, H. (2009). Factors affecting buffalobur (*Solanum restratum*) seed germination and seedling emergence. *Weed Science*, *57*, 521-525. https://doi.org/10.1614/WE-09-054.1
52. Yunusabadi, M., Faez, R.A., Akram Qadrifar, F., Savarinejad, A.R., & Kashiri, H.A. (2017). Investigating the weed seed bank of cotton fields in Golestan province. *Iranian Cotton Research Journal*, *6*(1), 65-80. (In Persian with English Abstract).

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 2, 2025, p. 199-213

Effect of surfactant type and concentration on the properties of spray drop and solution of haloxyfop-R-methyl and its efficacy on wild barley (*Hordeum spontaneum* K. Koch)

Zohre Younesi[1], Akbar Aliverdi[1]*, Goudarz Ahmadvand[1]

1- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
(*- Corresponding author's Email: a.aliverdi@basu.ac.ir

Received: 23-12-2024
Revised: 03-02-2025
Accepted: 15-02-2025
Available Online: 09-07-2025

How to cite this article:
Younesi, Z., Aliverdi, A., & Ahmadvand, G. (2025). Effect of surfactant type and concentration on the properties of spray drop and solution of haloxyfop-R-methyl and its efficacy on wild barley (*Hordeum spontaneum* K. Koch). *Iranian Plant Protection Research*, *39*(2), 199-213. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/10.22067/jpp.2025.91240.1213

Introduction

Wild barley is an annual and winter weed belonging to the family Poaceae. It can occupy a wide range of habitats and its damage to some crops, especially wheat and rapeseed, has been reported. One of Iran's most widely used herbicides is haloxyfop-R-methyl, used against narrow-leaved weeds such as wild barley in rapeseed, sugar beet, and orchard fields. Haloxyfop-R-methyl inhibits the activity of the enzyme acetyl-coenzyme A carboxylase in the fatty acid biosynthesis pathway, resulting in a disrupted membrane structure and killing treated weeds. Increasing reliance on herbicides, metabolic damage to crops, and the environmental consequences of herbicides have left no choice but to reduce consumption. One of the methods of reducing the consumption of herbicides is the use of surfactants. The purpose of this study was (1) to determine the most compatible surfactant type and concentration among three surfactants: cationic frigate, anionic dioctyl, and nonionic PCgate for use with haloxyfop-R-methyl against wild barley, (2) to determine their mechanism of action.

Materials and Methods

In a dose-response experiment conducted in the autumn of 2012 in the research greenhouse of Bu-Ali Sina University, the compatibility of adding 7 concentrations (0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, and 0.8% by volume) of 3 types of surfactants (nonionic PCgate, cationic frigate, and anionic dioctyl) to spray solutions containing 7 doses of haloxyfop-R-methyl (0, 3.375, 6.75, 13.5, 27, 54, and 108 g a.i. ha^{-1}) against wild barley was investigated. At the same time, the solutions containing the maximum dose of herbicide were also sprayed on moisture-sensitive paper. Moreover, the solutions containing the maximum dose of herbicide (108 g a.i. ha^{-1}) along with 7 concentrations (0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, and 0.8% *v/v*) of 3 types of the surfactants above were prepared to measure their surface tension by the hanging drop method, and the contact angle of the drop with the leaf surface, the wetted area of the leaf, and the duration of drop evaporation by placing a 5 µL drop of the solutions

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.
https://doi.org/10.22067/jpp.2025.91240.1213

on wild barley's upper and lower leaf surfaces, which were fixed horizontally.

Results

The critical micelle concentration of the surfactants was determined to be 0.1% *v/v*. The addition of surfactants to the spray solution caused a decrease in the droplet contact angle with the leaf surface, an increase in the wetted leaf area, a decrease in the droplet evaporation time, an increase in the spray coverage on the moisture-sensitive paper, a decrease in the spray droplet size, and an increase in the efficacy of haloxyfop-R-methyl against wild barley, all of which were dependent on the surfactant concentration. Surfactants at all concentrations significantly reduced the surface tension of the spray solutions. A negative relationship was observed between the efficacy of haloxyfop-R-methyl and the surface tension of the spray solution (R2 = 0.68). Without surfactant, 25.39 g a.i. ha^{-1} was required to control 50% of wild barley (ED_{50}). Among the treatments, the lowest ED_{50} (18.4 g a.i. ha^{-1}) was observed when dioctyl was added at 0.2% v/v to the spray solution. Without surfactant, 68 drops cm^{-2} were deposited on the moisture-sensitive paper. The highest droplet density (83 drops cm^{-2}) was observed when dioctyl was added at 0.4% *v/v* to the spray solution. Except at 0.8% *v/v*, at other concentrations, the efficacy of PCgate and dioctyl in increasing the droplet density deposited on the moisture-sensitive paper was equal, and the efficacy of frigate in this regard was lower than the other two surfactants. Except at 0.8% *v/v*, the efficacy of frigate was lower than that of the other two surfactants in wetting the moisture-sensitive paper, and there was no difference between PCgate and dioctyl. Leaf surface (anterior and posterior) had no significant effect on the measured characteristics and did not interact with surfactant type and concentration. The lowest droplet contact angle (30°) was observed when dioctyl at 0.4 and 0.8% *v/v* to the spray solution. The droplet containing PCgate at 0.4 and 0.8% *v/v* (12.3 and 12.5 mm^2, respectively) resulted in the highest leaf-wetted area. The droplet containing dioctyl evaporated faster than the droplet containing PCgate, and the droplet containing PCgate evaporated faster than the droplet containing frigate.

Conclusions

The results of the present study indicate that PCgate, dioctyl, and frigate are compatible with haloxyfop-R-methyl, even at high concentrations (up to 0.8% *v/v*). However, a concentration of 0.2% *v/v* of the surfactants is recommended to avoid additional costs. The ability of the surfactants to improve haloxyfop-R-methyl efficacy against wild barley is as follows: dioctyl > PCgate > frigate. Therefore, dioctyl is a better choice for addition to the haloxyfop-R-methyl spray solution. In this study, it was proven that the surfactants improve the efficacy of the haloxyfop-R-methyl by increasing the spray deposition by reducing the size of the spray droplets and increasing the spread of the droplets on the leaf surface of wild barley. In addition, it seems that PCgate has moisture-absorbing properties that reduce the droplet evaporation time, increasing the duration of herbicide absorption.

Keywords: Critical micelle concentration, Dose-response, Herbicide, Surface tension

نشریه پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص. ۲۱۳-۱۹۹

تأثیر نوع و غلظت مویان بر ویژگی قطره و محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل و کارایی آن بر جودره (*Hordeum spontaneum* K. Koch)

زهره یونسی[۱]، اکبر علی‌وردی[۱*]، گودرز احمدوند[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۷

چکیده

آزمایشی در پاییز ۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا اجرا شد تا تاثیر افزودن ۷ غلظت (صفر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی) از ۳ نوع مویان (پی‌سی‌گیت، فریگیت و دی‌اُکتیل) به محلول‌های پاشش حاوی ۷ دُز هالوکسی‌فوپ-آر-متیل (صفر، ۳/۳۷۵، ۶/۷۵، ۱۳/۵، ۲۷، ۵۴ و ۱۰۸ گرم در هکتار) بر جودره بررسی شود. همزمان، تیمارها با حداکثر دُز علف‌کش روی کاغذ حساس به رطوبت نیز پاشیده شدند. همچنین، ضمن اندازه‌گیری کشش سطحی آن‌ها، با قرار دادن قطره ۵ میکرولیتری از آن‌ها روی دو سطح رویی و پشتی برگ، زاویه تماس قطره با سطح برگ، مساحت خیس شده برگ با قطره و مدت زمان تبخیر قطره نیز اندازه‌گیری شود. غلظت میسل بحرانی مویان‌ها ۰/۱ درصد حجمی بود. مویان‌ها سبب کاهش کشش سطحی محلول پاشش، کاهش زاویه تماس قطره با سطح برگ، افزایش مساحت خیس شده برگ، کاهش مدت زمان تبخیر قطره از سطح برگ، کاهش اندازه قطرات پاشش، افزایش پوشش پاشش روی کاغذ حساس به رطوبت و افزایش کارایی علف‌کش شد که وابسته به غلظت مویان‌ها بودند. بدون مویان، ۲۵/۳۹ گرم علف‌کش در هکتار برای کنترل ۵۰ درصدی جودره (ED_{50}) لازم بود. کاربرد علف‌کش به همراه دی‌اکتیل در غلظت ۰/۲ درصد حجمی سبب کمترین ED_{50} (۴/۱۸ گرم علف‌کش در هکتار) شد. بدون مویان، ۶۸ قطره در سانتی‌متر مربع روی کاغذ حساس نشست. بیشترین تراکم قطره (۸۳ قطره در سانتی‌متر مربع) با کاربرد دی‌اکتیل در غلظت ۰/۴ درصد حجمی مشاهده شد. بجز در غلظت ۰/۸ درصد حجمی، توان پی‌سی‌گیت و دی‌اکتیل در افزایش تراکم قطرات پاشش برابر ولی توان مویان فریگیت در این رابطه از دو مویان دیگر کمتر بود. بجز غلظت ۰/۸ درصد حجمی، توان فریگیت در مقایسه با دیگر مویان‌ها در خیساندن کاغذ حساس به رطوبت کمتر بود. تاثیر سطح رویی و پشتی برگ بی‌معنی بود و با نوع و غلظت مویان نیز اثرمتقابل نداشت. کمترین زاویه تماس قطره با سطح برگ (۳۰ درجه) با کاربرد غلظت‌های ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی از دی‌اکتیل مشاهده شد. بیشترین مساحت خیس شده برگ با قطره حاوی پی‌سی‌گیت در غلظت‌های ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی (به ترتیب ۱۲/۳ و ۱۲/۵ میلی‌متر مربع) مشاهده شد. قطره حاوی دی‌اکتیل سریعتر از قطره حاوی پی‌سی‌گیت، و قطره حاوی پی‌سی‌گیت نیز سریعتر از قطره حاوی فریگیت تبخیر شد. در این پژوهش، توان مویان‌ها براساس بهبود کارایی علف‌کش به صورت دی‌اُکتیل > پی‌سی‌گیت > فریگیت رتبه‌بندی شد.

واژه‌های کلیدی: دز-پاسخ، علف‌کش، غلظت میسل بحرانی، کشش سطحی

مقدمه

روش کنترل شیمیایی علف‌های هرز در مقایسه با سایر روش‌های کنترل علف‌های هرز راحت، ارزان و سریع محسوب می‌شود. این ویژگی‌ها اتکاء روزافزون کشاورزان به کاربرد علف‌کش‌ها را به همراه داشته است. از طرفی دیگر، کاربرد گسترده علف‌کش‌ها پیامدهای محیط زیستی متعددی داشته است؛ از جمله آلودگی آب‌های زیرزمینی، بقایای سموم در غذا، تاثیر بر موجودات غیر هدف و شیوع علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش‌ها دامن می‌زند (Mohammadi *et al.*, 2019). از اینرو، با بهینه‌سازی کاربرد و استفاده منطقی علف کش‌ها می‌توان ضمن دست‌یابی به کاهش مصرف آن‌ها و متعاقباً کاهش پیامدهای محیط زیستی ناشی از آن‌ها، امنیت غذایی سالم را

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email:a.aliverdi@basu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jpp.2025.91240.1213

نیز برای جامعه تضمین کرد (Aliverdi & Karami, 2020).

علف‌هرز جودره (*Hordeum spontaneum* K. Koch) گیاهی یکساله و زمستانه از خانواده گندم است. این علف‌هرز دامنه وسیعی از زیستگاه‌های مختلف را می‌تواند اشغال کند. به طوری که پراکنش آن در اکثر مناطق ایران مشاهده شده است و خسارت آن بر گیاهان زراعی فصل سرد، بویژه گندم و کلزا، گزارش شده است (Mousavi, 2020). یکی از علف‌کش‌های پرکاربرد در ایران هالوکسی‌فوپ-آر-متیل است که بر علیه علف‌های هرز باریک برگی مانند جودره در مزارع کلزا، چغندرقند و باغات استفاده می‌شود. هالوکسی‌فوپ-آر-متیل از فعالیت آنزیم استیل کوآنزیم آ کربوکسیلاز در مسیر ساخت اسیدهای چرب ممانعت به عمل می‌آورد. به سبب ایجاد اختلال در ساختار غشاء، علف‌های هرز تحت تیمار از بین می‌روند. علی‌رغم تحمل گیاهان زراعی مذکور به هالوکسی‌فوپ-آر-متیل، آن‌ها نیز متحمل آسیب‌هایی از نظر متابولیکی از سوی این علف‌کش هستند که با کاهش در رشد نمایان می‌شود. با توجه به آسیب‌های متابولیکی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل به گیاهان زراعی، لازم است به دنبال راهکارهایی برای کاهش این اثرات از طریق کاهش مصرف باشیم. یکی از روش‌های کاهش مصرف علف‌کش‌ها استفاده از مویان‌ها است (Aliverdi & Karami, 2023).

در فرآیند پاشش محلول بر روی گیاهان، قطره‌هایی که به سطح برگ برخورد می‌کنند یا روی آن باقی می‌مانند و یا پرتاب شده و به شکل قطره‌های کوچک‌تر پراکنده می‌شوند و این قطره‌های کوچک‌تر می‌توانند در برخوردهای ثانویه روی سطح برگ قرار گیرند یا کلاً به هدر روند. عوامل کلیدی برای نگهداشت قطره روی سطح برگ شامل عوامل ریخت‌شناسی سطح برگ، انرژی جنبشی قطره (که شامل اندازه قطره و مجذور سرعت آن است) و کشش سطحی قطره می‌باشند. مویان‌ها ویژگی فیزیکی (و یا حتی گاهی ویژگی شیمیایی) محلول پاشش را به گونه‌ای تغییر می‌دهند که نشست و پخش قطرات پاشش بر روی سطح برگ و متعاقباً نفوذ و جذب ماده مؤثره علف‌کش افزایش یابد (Aliverdi & Malmir, 2023). از این‌رو، امکان کاهش مصرف علف‌کش‌ها فراهم می‌گردد. با کاهش مصرف علف‌کش‌ها، ضمن کاهش اثرات مخرب محیط زیستی، می‌توان به کنترل مطلوب علف‌های هرز با هزینه کمتر دست یافت.

تأثیر مویان‌ها بر ظرفیت جذب علف‌کش‌ها توسط برگ گیاهان اولین بار توسط فرید و مونتگامری (Freed & Montgomery, 1958) مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها مشاهده کردند که مویان‌های بدون بار و با بار الکتریکی منفی در ساختار مولکولیشان باعث افزایش جذب و انتقال علف‌کش ۳-آمینو-۱،۲،۴-تریازول[1] (در حال حاضر این علف‌کش به‌دلیل سرطان‌زا بودن منسوخ شده است) در برگ‌های لوبیا سیاه شدند زیرا هم کشش سطحی محلول پاشش را کاهش دادند و هم سازگاری مطلوب بین مویان و علف‌کش نیز وجود داشت. درکل، تمامی مویان‌ها باعث کاهش کشش سطحی محلول پاشش علف‌کش‌ها می‌شوند. این مواد باعث تولید قطرات کوچک‌تر و بهبود نشست پاشش روی سطوح علف‌های‌هرز می‌شوند، در نتیجه یکی از دلایلی که مویان‌ها کارایی علف‌کش‌ها را افزایش می‌دهند مربوط به بهبود نشست و افزایش خیس‌پذیری از طریق کاهش کشش سطحی است. علاوه براین، مویان‌ها از بلوره‌شدن ماده مؤثره علف‌کش بر روی سطح برگ جلوگیری می‌کنند و نیز با از بین بردن لایه هوای بین قطره و سطح برگ سبب کاهش زاویه تماس قطره با سطح برگ می‌شوند. این خصوصیات مویان باعث جذب ماده موثره بیشتر هم از طریق روزنه و هم از طریق کوتیکول برگ می‌شود (Penner, 2000).

مویان‌ها فرمولاسیون محلول پاشش را به‌گونه‌ای تغییر می‌دهند که نشست و پخش قطرات پاشش و متعاقباً جذب ماده مؤثره علف‌کش و کارایی آنرا افزایش می‌دهند (Kargar *et al.*, 2015 ; Hammami *et al.*, 2017). کاربرد یک مویان غیریونی همراه با توفوردی مقدار علف‌کش لازم برای کنترل علف‌های هرز چمن را در مقایسه با تیمار شاهد بدون مویان تا ۲۵ درصد کاهش داد (Maxwell *et al.*, 2018). اگرچه کارایی علف‌کش‌های شاخ و برگ مصرف به مقدار زیادی تحت‌تاثیر کاربرد مویان‌ها قرار می‌گیرد، ولی کاربرد هر مویانی اثر هم‌افزایی بر کارایی علف‌کش‌ها ندارد. به عبارتی دیگر، هیچ مویانی وجود ندارد که بتواند جذب هر نوع علف‌کشی را افزایش دهد؛ حتی در برخی شرایط کاربرد مویان‌ها موجب کاهش کارایی علف‌کش شده است. به عنوان مثال، ناسازگاری یک مویان کاتیونی بر کارایی گلایفوسیت علیه دو گونه علف‌هرز کوکا[2] گزارش شده است (Collins & Helling, 2002). همچنین، کاربرد یک مویان غیریونی موجب کاهش کنترل علف‌هرز اویارسلام بنفش به وسیله علف‌کش‌های اکسی فلوروفن و آمونیوم گلیفوسینات شده است (Devendra *et al.*, 2004). بنابراین، سازگاری مویان‌ها برای هر نوع علف‌کشی باید مورد آزمایش قرار گیرد. غلظت مویان عامل دیگری است که بر کارایی علف‌کش‌ها تاثیر می‌گذارد. به‌طوری‌که کاربرد مویان در غلظت بالا می‌تواند اثر منفی بر جذب علف‌کش‌ها بگذارد. به عنوان مثال، برهم‌کنش حجم پاشش و غلظت مویان‌های ارگانوسیلیکونی بِریک-ترو اِس ۲۳۳ و ۲۴۰[3] بر کارایی دیکلوفوپ-متیل گزارش شده است (Aliverdi & Karami, 2023). هرچه غلظت مویان افزایش پیدا کند کشش سطحی محلول پاشش علف‌کش کاهش پیدا می‌کند تا به حدی که به نقطه غلظت میسل بحرانی مویان نزدیک شود و بعد از آن افزایش غلظت مویان تاثیری بر کشش

1-Amino-1,2,4-riazole

2- *Erythroxylum coca* and *E. novogranatense*

3- Break-Thru® S 233 and 240

سطحی محلول پاشش ندارد. تعداد مویان‌هایی که بین مولکول‌های آب در سطح آب قرار می‌گیرند محدودیت دارد. افزودن مقادیر بیشتر مویان تنها سبب تشکیل میسل می‌شود بدون اینکه تأثیری بر کشش سطحی آب بگذارد. محققان نشان دادند که افزودن غلظت مویان بالاتر به خودی خود خیس شدن بیشتر سطح برگ را تضمین نمی‌کند (Zhu & Lin, 2016). در برخی مویان‌ها، غلظت بالای مویان می‌تواند مدت زمان تبخیر قطره را کوتاه کند (Zhou *et al.*, 2018). از اینرو، غلظتی که در مزرعه توصیه می‌شود همین غلظت میسل بحرانی است ولی متاسفانه، کشاورزان تمایل برای کاربرد مویان‌ها در مقادیر بالاتری از غلظت میسل بحرانی دارند.

هدف از انجام این آزمایش تعیین نوع و غلظت مویان سازگارتر از بین سه مویان‌های کاتیونی فریگیت، آنیونی دی‌اکتیل و غیریونی پی‌سی‌گیت برای کاربرد با علف‌کش هالوکسی فوپ-آر-متیل علیه علف‌هرز جودره بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش واکنش جودره به مقدار علف‌کش

این آزمایش به صورت سه فاکتوریلی (۳ × ۷ × ۷) در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام گرفت. فاکتور اول شامل نوع مویان (پی‌سی‌گیت، دی‌اکتیل و فریگیت)، فاکتور دوم شامل غلظت مویان (صفر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی) و فاکتور سوم شامل هفت مقدار از علف‌کش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل (صفر، ۳/۳۷۵، ۶/۷۵، ۱۳/۵، ۲۷، ۵۴ و ۱۰۸ گرم ماده مؤثره در هکتار) بود. پی‌سی‌گیت با فرمولاسیون ۱۰۰ درصد آلکیل آریل پلی گلیکول اتر (شرکت پرتونار)، دی‌اکتیل با فرمولاسیون ۷۰ درصد سدیم دی‌اکتیل سولفوسوکینات (شرکت بهاور شیمی)، فریگیت با فرمولاسیون ۴۱ درصد آمین های چرب با زنجیره بلند اتوکسیله (شرکت توسعه صنعت سم آذربایجان) و هالوکسی‌فوپ-آر-متیل با فرمولاسیون ۱۰/۸ درصد مایع امولسیون شونده (شرکت آریا شیمی) استفاده شد.

سنبله‌های جودره در خرداد ۱۴۰۱ از محوطه دانشگاه بوعلی‌سینا جمع‌آوری شدند. اوایل پاییز ۱۴۰۱ لمای بذرهای جودره از آن‌ها جدا شد تا مانع جوانه‌زنی نشود. بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی و با آب شستشو شدند. سپس، بذرها از سمت شیاردار بر روی یک لایه کاغذ صافی داخل پتری‌دیش‌های پلاستیکی با قطر ۱۰ سانتی‌متر حاوی ۵ میلی‌لیتر از محلول ۲ گرم در لیتر نیترات پتاسیم قرار داده شدند. پتری‌دیش‌ها به مدت دو روز در تاریکی در درون یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و سپس به مدت دو روز در دمای آزمایشگاه در تاریکی نگهداری شدند (Taheri *et al.*, 2024). پتری‌دیش‌ها به گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا منتقل و تعداد پنج بذر جوانه‌زده در هر گلدان دو لیتری پلاستیکی قهوه‌ای رنگ با مقطع مربعی کشت شدند. عمق کاشت ۲ سانتی‌متر بود. گلدان‌ها هفته‌ای یکبار به‌طور یکنواخت و برابر آبیاری شدند. سمپاشی گلدان‌ها در مرحله چهار برگی بوته‌های جودره (سه هفته پس از کاشت) با سمپاش دستی فشاری مجهز به نازل بادبزنی لبه یکنواخت ۱۱۰۰۲ تحت فشار پاشش ۳۰۰ کیلوپاسکال و حجم پاشش ۲۲۰ لیتر در هکتار در دمای هوای ۲۰ الی ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۱۸ الی ۲۱ درصد انجام شد. چهار هفته پس از سم‌پاشی، بوته‌های درون گلدان‌ها از سطح خاک برداشت و به مدت دو روز در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شود. داده‌های به‌دست‌آمده تقسیم بر پنج (تعداد بوته در هر گلدان) شدند و سپس در تجزیه و تحلیل آماری با روش رگرسیون غیرخطی در محیط نرم‌افزار R-2.1.0 استفاده شدند (Ritz *et al.*, 2015). براساس آزمون عدم برازش (p-value > ۰/۰۵)، مدل لُگ لُجستیک چهار پارامتری، $Y = ((D - C) + C / (1 + exp (B (log X) - log E))$، برای برازش روی داده‌ها مناسب تشخیص داده شد. همچنین، با بررسی نمودار باقیمانده‌ها، توزیع مستقل، تصادفی و یکنواخت آن‌ها محرز گردید. در این مدل، مولفه Y بیانگر وزن خشک تک بوته جودره، مولفه‌های D و C به ترتیب بیانگر حد مجانب بالا و پایین وزن خشک جودره در مقادیر صفر و بی‌نهایت هالوکسی‌فوپ-آر-متیل، مولفه ED_{50} بیانگر مقدار هالوکسی‌فوپ-آر-متیل لازم (X) برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک جودره بین D و C و مولفه B بیانگر شیب منحنی در محدوده‌ی ED_{50} است.

آزمایش کشش سطحی محلول پاشش

این آزمایش به صورت دو فاکتوریلی (۳ × ۷) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در محیط آزمایشگاه با دمای هوای ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۱۵ درصد انجام شد. فاکتور اول شامل نوع مویان (پی‌سی‌گیت، دی‌اکتیل و فریگیت) و فاکتور دوم شامل غلظت مویان (صفر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی) بود که به محلول پاشش با مقدار ۱۰۸ گرم هالوکسی‌فوپ-آر-متیل در هکتار اضافه شده بودند. برای اندازه‌گیری کشش سطحی محلول‌ها از روش قطره آویزان با کمک دستگاه اندازه‌گیری کشش سطحی مدل ژیکان CAG-20 استفاده شد (Ellis *et al.*, 2001). داده‌ها دارای توزیع نرمال بودند و در محیط نرم افزار SAS تجزیه واریانس شدند و میانگین‌ها آنها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

آزمایش پاشش روی کاغذ حساس به رطوبت

این آزمایش، همزمان با آزمایش واکنش جودره به مقدار علف‌کش، به صورت دو فاکتوریلی (۳ × ۷) در قالب طرح کاملاً تصادفی با

سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل نوع مویان (پی‌سی‌گیت، دی‌اکتیل و فریگیت) و فاکتور دوم شامل غلظت مویان (صفر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی) بود که به محلول پاشش با مقدار ۱۰۸ گرم هالوکسی‌فوپ-آر-متیل در هکتار اضافه شده بودند. از کاغذهای حساس به رطوبت (شرکت WSPAPER، برزیل) با ابعاد ۷۶ × ۲۶ میلی‌متر که به‌صورت افقی بر روی سطح زمین در مسیر حرکت نازل قرار داده شدند استفاده شد. کاغذ حساس به رطوبت دارای یک سطح زرد رنگ است که پس از برخورد قطرات پاشش به آن به رنگ پایدار آبی در می‌آید. کاغذها پس از سم‌پاشی به‌طور جداگانه اسکن و تصویر آن‌ها در محیط نرم‌افزار Image J پردازش شد تا تراکم قطرات و درصد مساحت آبی رنگ شده کاغذها به عنوان درصد پوشش برآورد شود. سپس، داده‌ها به روش ذکر شده در بالا تجزیه واریانس شدند.

آزمایش تبخیر، زاویه و سطح تماس قطره با برگ جودره

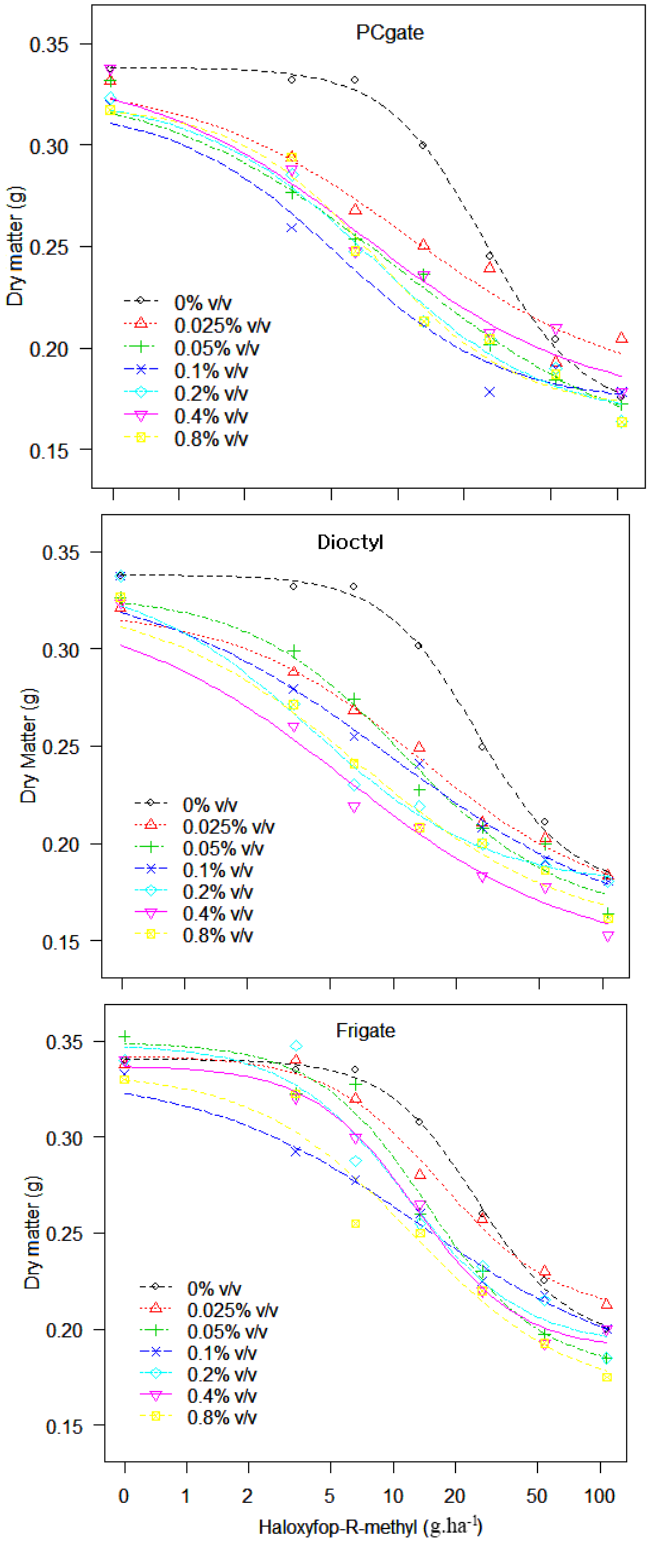
این آزمایش به صورت سه فاکتوریلی (۳ × ۷ × ۲) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در محیط آزمایشگاه با دمای هوا ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۱۵ درصد انجام شد. فاکتور اول شامل نوع مویان (پی‌سی‌گیت، دی‌اکتیل و فریگیت)، فاکتور دوم شامل غلظت مویان (صفر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی) و فاکتور سوم سطح برگ (زیرین و رویین) بود. از برگ سوم جودره چهار برگی شده در این آزمایش استفاده شد. مقدار هالوکسی‌فوپ-آر-متیل در تمام محلول‌ها ثابت و برابر غلظت نهایی در آزمایش گلخانه‌ای در نظر گرفته شد. به منظور بررسی تأثیر نوع و غلظت مویان بر زاویه و سطح تماس قطره با برگ جودره از روش تجزیه و تحلیل تصاویر استفاده شد. برای این کار، روی لبه میز آزمایشگاه چسب دوطرفه نصب شد. قطعاتی از برگ با طول حدوداً ۳ سانتی‌متری روی چسب دوطرفه نصب شد؛ به صورتی که سطح رویی برگ نمایان باشد. سپس، با کمک میکروسرنگ یک قطره ۵ میکرولیتری از محلول‌ها به آرامی روی قطعات برگی قرار داده شد. سپس، با استفاده از دوربین عکس‌برداری، تصویر قطره از نمای جانبی و بالایی به ترتیب به منظور برآورد زاویه و سطح تماس قطره با سطح برگ برداشته شد. تصاویر در محیط نرم‌افزار Image J پردازش شدند (Chen *et al.*, 2018). علاوه براین، به منظور بررسی تأثیر نوع و غلظت مویان بر سرعت تبخیر قطره، به قطرات قرار گرفته بر روی قطعات برگی فرصت داده شد تا خشک و ناپدید شوند. باید توجه داشت که فرآیند ناپدید شدن قطرات شامل تبخیر به هوا و جذب توسط بافت گیاهی است. داده‌ها به همان روش ذکر شده در آزمایش قبلی تجزیه واریانس شدند.

نتایج و بحث

تأثیر مویان‌ها بر کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل

منحنی‌های واکنش وزن خشک جودره به مقادیر مختلف هالوکسی‌فوپ-آر-متیل پاشیده شده با غلظت‌های مختلف مویان‌های پی‌سی‌گیت، دی‌اکتیل و فریگیت در شکل ۱ نمایش داده شده است. مقادیر حد پایین، حد بالا و شیب خط آن منحنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. تحت شرایط بدون مویان (شاهد)، مقدار هالوکسی‌فوپ-آر-متیل لازم برای کنترل ۵۰ درصدی جودره (ED_{50}) برابر ۲۵/۳۹ گرم ماده موثره در هکتار برآورد شد (شکل ۲). کاربرد هر سه مویان دی‌اکتیل، فریگیت و پی‌سی‌گیت در تمامی غلظت‌ها باعث کاهش معنی‌دار ED_{50} شد که نشان دهنده بهبود کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه جودره است. کمترین ED_{50} (۴/۱۸ گرم ماده مؤثره در هکتار) با کاربرد هالوکسی‌فوپ-آر-متیل به همراه مویان دی‌اکتیل در غلظت ۰/۲ درصد حجمی مشاهده شد. تاثیر کاربرد غلظت ۰/۴ درصد حجمی مویان دی‌اکتیل تفاوت معنی‌داری با تاثیر کاربرد غلظت ۰/۲ مویان دی‌اکتیل نداشت. اما کاربرد غلظت ۰/۸ درصد حجمی مویان دی‌اکتیل موجب افزایش ED_{50} در مقایسه با کاربرد غلظت ۰/۲ درصد حجمی مویان دی‌اکتیل شد که نشان‌دهنده کاهش کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل با کاربرد غلظت‌های بالاتر مویان دی‌اکتیل است. در مویان پی‌سی‌گیت، اگرچه کمترین ED_{50} (۷/۸۹ گرم ماده مؤثره در هکتار) با کاربرد غلظت ۰/۲ درصد حجمی مشاهده شد ولی بین غلظت‌های ۰/۰۵ تا ۰/۸ درصد حجمی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به طور مشابه، در مویان فریگیت نیز کمترین ED_{50} (۱۱/۴۷ گرم ماده مؤثره در هکتار) با کاربرد غلظت ۰/۲ درصد حجمی مشاهده شد و بین غلظت‌های ۰/۰۵ تا ۰/۸ درصد حجمی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. براساس اینکه پایین‌ترین مقادیر ED_{50} با کاربرد غلظت ۰/۲ درصد حجمی مویان‌ها بدست آمد، می‌توان کارایی مویان‌ها را در بهبود کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه جودره را به صورت دی‌اکتیل > پی‌سی‌گیت > فریگیت در نظر گرفت. ممنوعی و همکاران (Mamnoie *et al.*, 2014) گزارش کردند که افزودن مویان دی‌اکتیل با غلظت ۰/۲ درصد حجمی به محلول پاشش نیکوسولفورون توانسته است وزن خشک علف‌های‌هرز تاج خروس ریشه قرمز، سلمه‌تره و سوروف را به ترتیب به میزان ۸۰، ۴۴ و ۶۰ درصد در مقایسه با شاهد کاهش داد. این در حالی بود که افزودن مویان پی‌سی‌گیت با ۰/۲ درصد حجمی وزن خشک تاج‌خروس را ۷۸ درصد، سلمه‌تره را ۴۴ درصد و سوروف را ۵۹ درصد کاهش داد. لذا، آنها کارایی مویان‌های دی‌اکتیل و پی‌سی‌گیت را در بهبود کارایی نیکوسولفورون علیه علف‌های‌هرز تاج خروس ریشه قرمز[1]، سلمه‌تره[2] و سوروف[3] برابر گزارش کردند.

1- *Amaranthus retroflexus* L.
2- *Chenopodium album* L.
3- Echinochloa crus-galli (L.) Beauv.



شکل ۱- منحنی‌های واکنش وزن خشک جودره به مقادیر مختلف هالوکسی‌فوپ-آر-متیل پاشیده شده با غلظت‌های مختلف مویان‌های پی‌سی-گیت، دی‌اکتیل و فریگیت

Figure 1- Response curves of the dry weight of wild barely to different doses of Haloxyfop-R-methyl sprayed with different concentrations of PCgate, Dioctyl, and Frigate

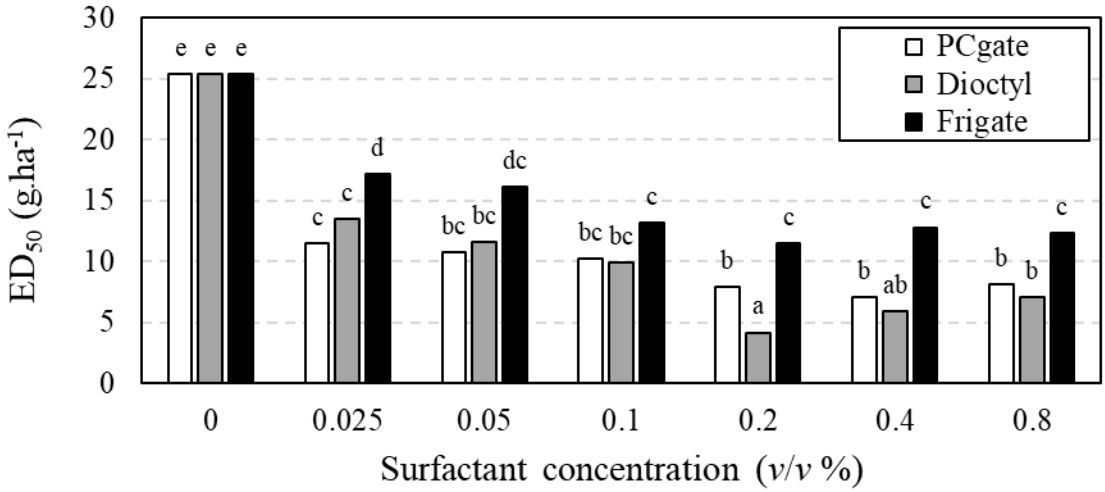
جدول ۱- مقادیر حد پایین، حد بالا و شیب خط منحنی‌های واکنش وزن خشک جودره به تیمارهای علفکشی نمایش داده شده در شکل ۱

Table 1 - Values of the lower limit, upper limit, and slope for the dry weight response curves of wild barely to herbicide treatments are shown in Figure 1

Surfactant	Concentration (v/v)	Lower Limit (C)	Upper Limit (D)	Slope (B)	P-value
Control	0	0.19(0.01)	0.34(0.005)	1.95(0.44)	0.81
Dioctyl	0.025	0.18(0.01)	0.32 (0.005)	0.97(0.18)	0.30
	0.05	0.18 (0.01)	0.33 (0.007)	1.14(0.32)	0.17
	0.1	0.17(0.01)	0.33 (0.003)	0.73(0.10)	0.12
	0.2	0.19(0.006)	0.34(0.004)	1.04(0.20)	0.10
	0.4	0.16(0.02)	0.32(0.007)	0.79(0.29)	0.30
	0.8	0.17(0.01)	0.33(0.006)	0.87(0.23)	0.19
Frigate	0.025	0.20(0.01)	0.33(0.007)	0.87(0.25)	0.05
	0.05	0.17(0.02)	0.33(0.007)	0.77(0.22)	0.81
	0.1	0.15(0.02)	0.32(0.009)	0.86(0.27)	0.78
	0.2	0.18(0.01)	0.32(0.006)	1.09(0.31)	0.18
	0.4	0.19(0.02)	0.34(0.008)	0.86 (0.33)	0.16
	0.8	0.19 (0.01)	0.32(0.01)	1.34(0.62)	0.57
PCgate	0.025	0.20(0.01)	0.34(0.007)	1.57(0.41)	0.54
	0.05	0.16(0.01)	0.34(0.01)	1.95 (0.76)	0.10
	0.1	0.17(0.02)	0.33(0.006)	0.83(0.21)	0.51
	0.2	0.19(0.01)	0.34(0.01)	1.52(0.46)	0.07
	0.4	0.18(0.007)	0.33(0.006)	1.72(0.32)	0.35
	0.8	0.16(0.02)	0.33(0.01)	1.13(0.35)	0.06

آزمون عدم برازش بالای ۰٫۰۵ نشان می‌دهد که مدل لجستیک ۴ پارامتری برای برازش داده ها مناسب است.P-valueاعداد داخل پرانتز خطای استاندارد مقادیر هستند.

The numbers in parentheses are the standard error of the values. A P-value of the lack of fit test above 0.05 indicates that the 4-parameter logistic model is suitable for fitting the data.



شکل ۲- تأثیر نوع و غلظت مویان بر مقدار هالوکسی‌فوپ-آر-متیل لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک جودره (ED_{50})

Figure 2- Effect of surfactant type and concentration on the dose of haloxyfop-R-methyl required to reduce 50% of the dry matter of wild barley (ED_{50})

مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Values with the same letters are not different at α = 0.05%.

مهرآذین و همکاران (Mehr Azin *et al.*, 2023) گزارش کردند که با افزودن مویان کاتیونی تالوآمین اتوکسیلات[1] در غلظت ۰/۲ درصد حجمی به محلول پاشش گلایفوسیت وزن تر علف‌هرز عروسک پشت‌پرده[2] به میزان ۷۸ درصد کاهش پیدا کرد و با افزودن مویان غیریونی کوکونات فتی اسید دی اتانول آمید در غلظت ۰/۲ درصد حجمی وزن تر این علف‌هرز به میزان ۷۶ درصد کاهش پیدا

1- Tallow amine ethoxylate

2- *Physalis alkekengi* L.

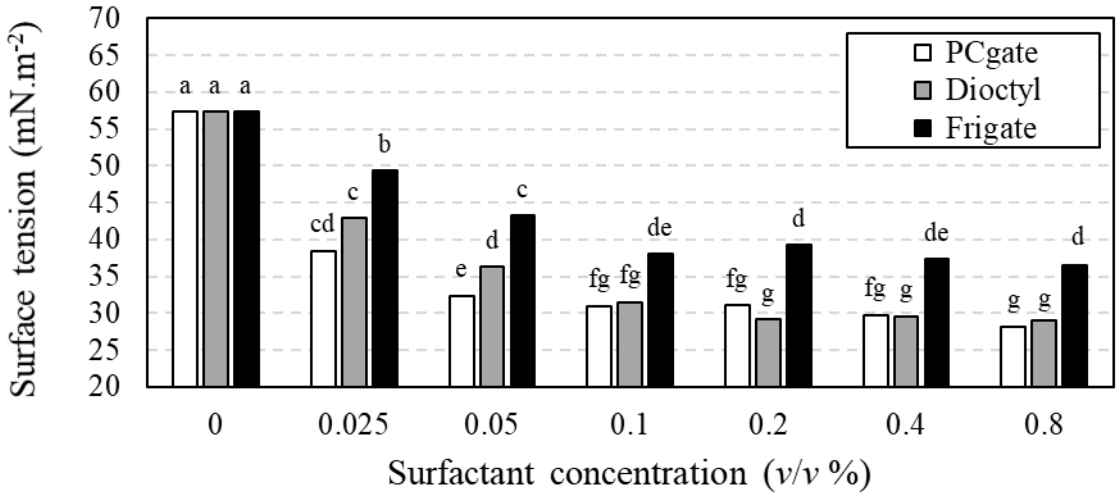
کرد که نشان‌دهنده تأثیر برابر عملکرد مویان‌های مذکور بر بهبود کارایی گلایفوسیت بر عروسک پشت‌پرده است.

تأثیر مویان‌ها بر کشش سطحی محلول پاشش

نتایج تجزیه و واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده نوع و غلظت مویان و اثرمتقابل بین آنها در سطح احتمال یک درصد بر کشش سطحی محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل معنی‌دار بود (جدول ۲). تمامی مویان‌ها در تمام غلظت‌های آزمایش شده باعث کاهش معنی‌دار کشش سطحی محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل شدند (شکل ۳). در تمامی غلظت‌های آزمایش شده، مویان فریگیت در کاهش کشش سطحی محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل ناتوان‌تر از مویان‌های پی‌سی‌گیت و دی‌اکتیل ظاهر شد. تنها در غلظت ۰/۰۵ درصد حجمی، مویان پی‌سی‌گیت (۳۲/۴ میلی نیوتن بر مترمربع) توان بیشتری برای کاهش کشش سطحی محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل در مقایسه با مویان دی‌اکتیل (۳۶/۳ میلی نیوتن بر مترمربع) نشان داد ولی در سایر غلظت‌ها، بین دو مویان مذکور تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. از آنجایی که در هر سه مویان آزمایش شده، با افزودن غلظت‌های ۰/۱ تا ۰/۸ درصد حجمی به محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل تفاوت معنی‌داری در کشش سطحی محلول پاشش ایجاد نشد، غلظت ۰/۱ درصد حجمی را می‌توان به عنوان غلظت میسل بحرانی در نظر گرفت. در گزارش‌های قبل نیز غلظت میسل بحرانی برای مویان فریگیت و سیتوگیت به ترتیب برابر ۰/۱ و ۰/۱۵ درصد حجمی با روش لوله موین اندازه‌گیری شده بود (Aliverdi *et al.*, 2009). همچنین، غلظت میسل بحرانی برای مویان دی‌اکتیل برابر ۰/۱ درصد حجمی با روش لوله موین اندازه‌گیری شده بود (Aliverdi & Malmir, 2023). از سوی دیگر، مشابه با تحقیقات قبل (Maxwell *et al.*, 2018)، در این پژوهش نیز یک رابطه منفی نسبتاً قوی بین کارایی علف‌کش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه جودره با کشش سطحی محلول پاشش مشاهده گردید (شکل ۴).

تأثیر مویان‌ها بر تراکم قطرات پاشش و پوشش آن روی کاغذ حساس به رطوبت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده نوع و غلظت مویان و اثرمتقابل بین آنها بر تراکم قطرات پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بجز در مورد غلظت ۰/۰۲۵ درصد حجمی مویان پی‌سی‌گیت، تمامی مویان‌ها در تمام غلظت‌های بکار رفته به طور معنی‌داری باعث افزایش تراکم پاشش قطرات روی کاغذ حساس به رطوبت شدند (شکل ۵). به طور کلی، افزایش غلظت مویان‌ها در محلول پاشش منجر به افزایش تراکم قطرات پاشش شد که نشان دهنده کاهش اندازه قطرات پاشش به واسطه افزایش غلظت مویان می‌باشد. به طوری که تحت شرایط بدون مویان، تعداد ۶۸ قطره در سانتی‌متر مربع بر روی کاغذ حساس نشست کرد. بالاترین تراکم قطرات پاشش (۸۳ قطره در سانتی‌متر مربع) با افزودن غلظت ۰/۴ درصد حجمی از مویان دی‌اکتیل به محلول پاشش مشاهده شد.



شکل ۳- تأثیر نوع و غلظت مویان بر کشش سطحی محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل

Figure 3- Effect of surfactant type and concentration on the surface tension of haloxyfop-R-methyl spray solution

مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Values with the same letters are not different at α = 0.05%.

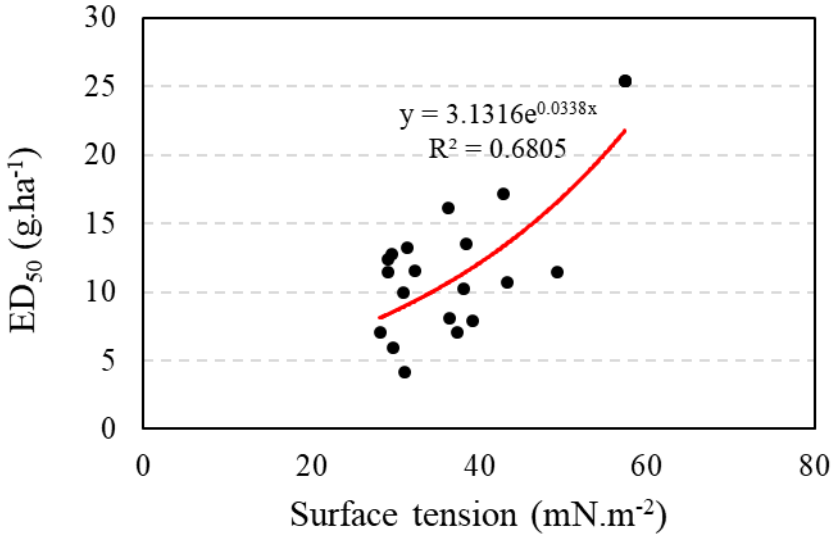
جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نوع و غلظت مویان بر زاویه تماس، سطح پخش و زمان تبخیر قطره محلول علف‌کش روی سطح رویی و پشتی برگ جودره (آزمایش تبخیر، زاویه و سطح تماس قطره با برگ جودره). همچنین، نتایج آنالیز واریانس تأثیر نوع و غلظت مویان بر کشش سطحی محلول هالوکسی‌فوپ-آر-متیل (آزمایش کشش سطحی)، تراکم قطره و پوشش پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل (آزمایش پاشش روی کاغذ حساس به رطوبت)

Table 2- The results of variance analysis (mean square) of the effect of surfactant type and concentration on the contact angle, wetted surface, and evaporation time of the drop of haloxyfop-R-methyl spray solution on the adaxial and abaxial leaf surface of wild barely (from study of drop evaporation time, angle and contact surface with the leaf of wild barely). Also, the results of the analysis of variance (mean square) of the effect of surfactant type and concentration on the surface tension of haloxyfop-R-methyl spray solution (from the study of surface tension), drop density and spray coverage of haloxyfop-R-methyl (from the study of spray on water-sensitive paper)

S.O.V	df	Contact angle	Wetted area	Evaporation time	df	Drop density	Spray coverage	Surface tension
Leaf surface (L)	1	0.007^{ns}	0.0003^{ns}	0.007^{ns}				
Surfactant type (S)	2	1885.16^{**}	65.96^{**}	117.8^{**}	2	32.90^{**}	103.64^{**}	121.12^{**}
Surfatant concentration (C)	6	1523.88^{**}	62.46^{**}	211.73^{**}	6	154.43^{**}	374.8^{**}	205.76^{**}
L × S	2	0.007^{ns}	0.003^{ns}	0.03^{ns}				
L × C	6	0.008^{ns}	0.004^{ns}	0.02^{ns}				
S × C	12	165.14^{**}	4.26^{**}	4.87^{**}	12	2.94^{**}	8.71^{**}	4.77^{**}
L × S × C	12	0.006^{ns}	0.001^{ns}	0.02^{ns}				
Error	84	4.84	0.10	0.70	42	1.0	1.15	0.94
CV (%)	-	4.61	3.64	4.96	-	1.33	2.94	2.06

ns و **: به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد است.

ns and **: indicates non-significance and significance at α = 0.01%, respectively.



شکل ٤- رابطه بین مقدار هالوکسی‌فوپ-آر-متیل لازم برای کنترل ۵۰ درصدی جودره و کشش سطحی محلول پاشش

Figure 4- Relationship between haloxyfop-R-methyl required for 50% control of wild barley and spray solution surface tension

در غلظت ۰/۸ درصد حجمی، تفاوت معنی‌داری در توان مویان‌ها از نظر تراکم قطره پاشش وجود نداشت (۸۰-۸۱ قطره در سانتی‌متر مربع). در سایر غلظت‌ها، توان مویان‌های پی‌سی‌گیت و دی‌اکتیل در افزایش تراکم قطرات پاشش برابر بود و توان مویان فریگیت در این رابطه از دو مویان دیگر کمتر بود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده نوع و غلظت مویان و اثرمتقابل بین آنها بر درصد پوشش کاغذ حساس به رطوبت به وسیله قطرات پاشش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که افزودن هر یک از مویان‌ها در هر غلظتی باعث افزایش معنی‌دار درصد پوشش پاشش شد (شکل ۵). به طور کلی، با افزایش غلظت مویان‌ها در محلول پاشش یک روند افزایشی در درصد پوشش کاغذ حساس به رطوبت به وسیله قطرات پاشش مشاهده شد. در تمامی غلظت‌ها، بین توان مویان‌های پی‌سی‌گیت و دی‌اکتیل در درصد پوشش پاشش تفاوتی وجود نداشت. همچنین، بجز در مورد غلظت ۰/۸ درصد حجمی، توان مویان فریگیت در مقایسه با مویانهای دیگر در پوشاندن کاغذ حساس به رطوبت با قطرات پاشش کمتر بود. همانطور که قبلاً به تصویر کشیده شده است (Sijs & Bonn, 2020)، کاهش کشش سطحی محلول پاشش به واسطه افزودن مویان‌ها موجب می‌شود که ورقه پاشش نازل سریعتر و راحتتر پاره پاره شود و قطرات کوچکتری حاصل گردید که منجر به پوشش بیشتر سطح می‌شود. در تحقیقات قبلی، کاهش اندازه قطرات پاشش با افزودن مویان به محلول پاشش گزارش شده است (Miller & Ellis, 2000; Ellis *et al*., 2001; Kooij *et al*., 2018; Sijs & Bonn, 2020). با این وجود، به بی‌تاثیری مویان بر اندازه قطرات پاشش (Kooij *et al*., 2018) و حتی افزایش اندازه قطرات پاشش (Oliveira *et al*., 2013; Al Heidary *et al*., 2014) در تحقیقات قبلی اذعان شده است که نتایج این تحقیقات اثبات کننده نقش نوع مویان بر اندازه قطرات پاشش است.

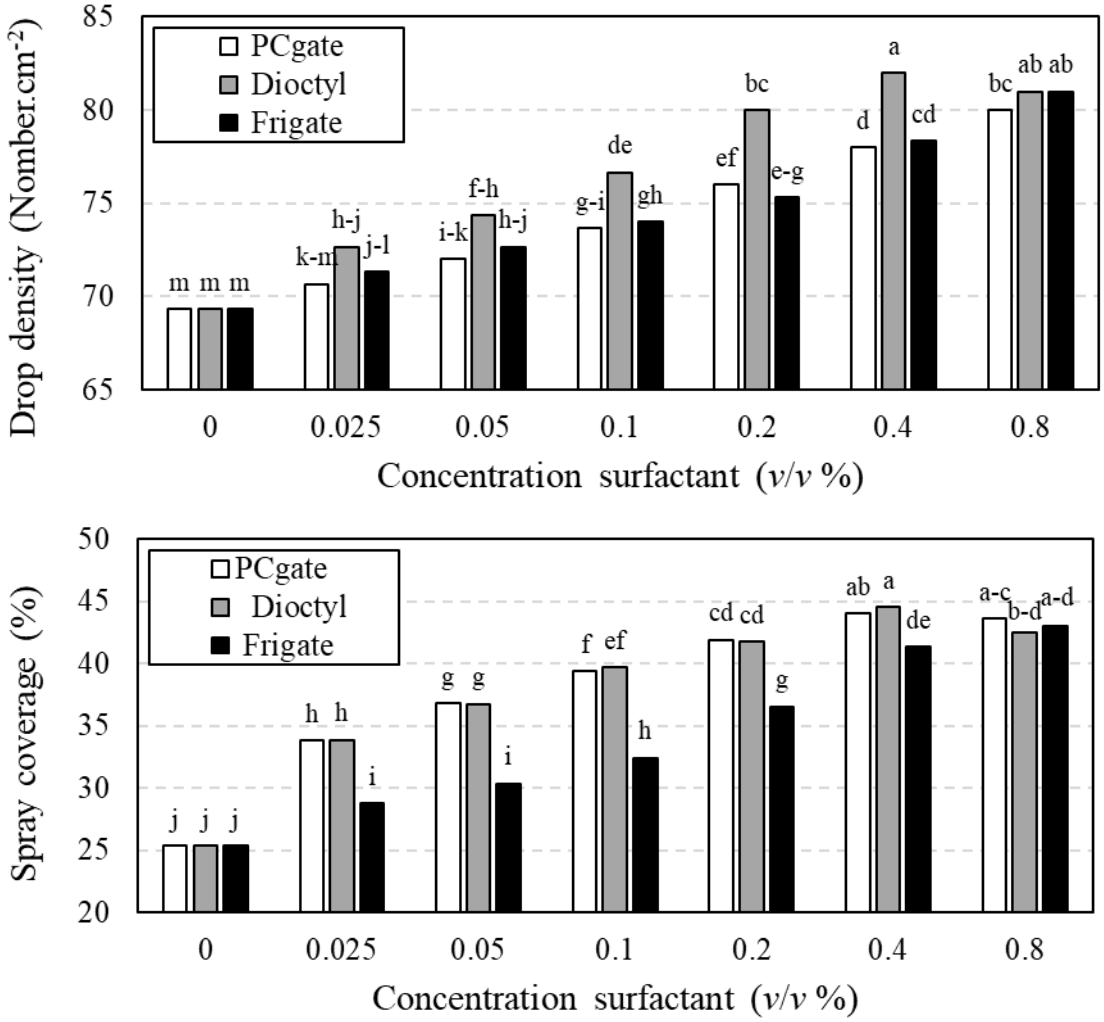
تأثیر مویان‌ها بر زاویه تماس و سطح پخش قطره قرار گرفته روی سطح برگ جودره

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده سطح برگ (زیرین و رویین) بر زاویه تماس قطره، سطح پخش شده آن و نیز زمان تبخیر آن غیر معنی‌دار بود. همچنین، اثرمتقابل سطح برگ با نوع و غلظت مویان نیز غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). درمقابل، اثر ساده نوع و غلظت مویان و اثرمتقابل بین آن‌ها بر سه صفت اندازه‌گیری شده مذکور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

تحت شرایط بدون مویان، زاویه قطره با سطح برگ جودره برابر ۶۴ درجه اندازه‌گیری شد. کاربرد همه مویان‌ها در غلظت‌های آزمایش شده توانست زاویه قطره را با سطح برگ جودره به طور معنی‌داری کاهش دهد (شکل ۶). به طور کلی، با افزایش غلظت مویان در محلول پاشش زاویه تماس قطره با سطح برگ جودره به طور پیوسته کاهش یافت. کمترین زاویه تماس قطره با سطح برگ جودره (۳۰ درجه) به واسطه افزودن مویان دی‌اکتیل با غلظت‌های ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی به محلول پاشش مشاهده شد. در غلظت ۰/۰۲۵ درصد حجمی، توان مویان پی‌سی‌گیت در کاهش زاویه تماس قطره با سطح برگ جودره در مقایسه با دیگر مویان‌ها (که توان برابری داشتند) بیشتر بود. این درحالی بود که در غلظت‌های ۰/۰۵ تا ۰/۸ درصد

حجمی، توان مویان‌ها در کاهش زاویه تماس قطره با سطح برگ جودره بدین صورت بود: دی‌اکتیل > پی‌سی‌گیت > فریگیت.

تحت شرایط بدون مویان، مساحت ۵/۶ میلی‌متر مربع از سطح برگ جودره به وسیله قطره ۵ میکرولیتری از محلول پاشش خیس شد (شکل ۶). افزودن هر یک از مویان‌ها در هر غلظتی به محلول پاشش توانست مساحت خیس شده سطح برگ با قطره را به طور معنی‌داری افزایش دهد که نشان دهنده افزایش پخش شدگی قطره روی سطح برگ می‌باشد. به طور کلی، با افزایش غلظت مویان در محلول پاشش مساحت خیس شده سطح برگ به وسیله قطره افزایش یافت. بیشترین میزان



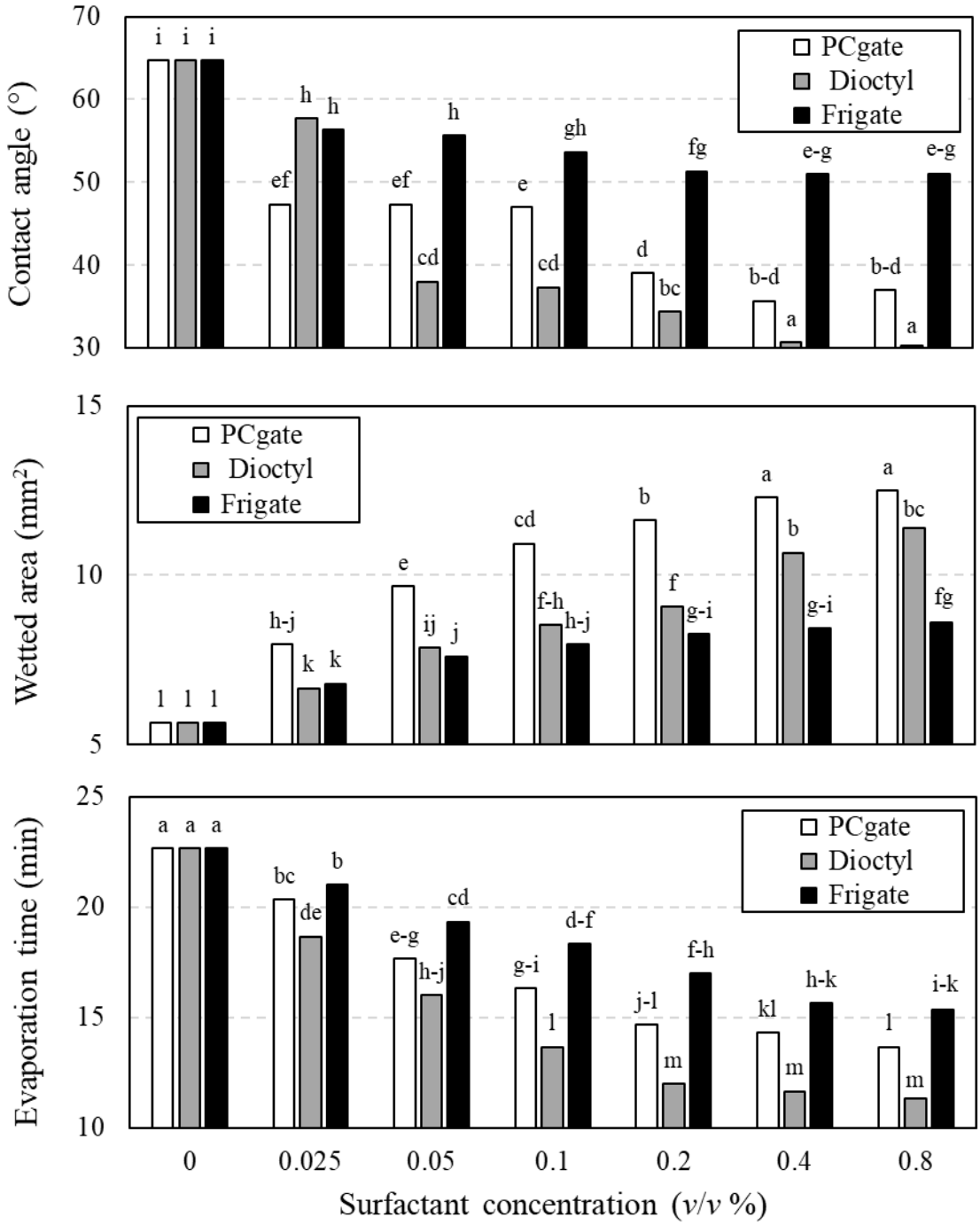
شکل ۵- تأثیر نوع و غلظت مویان بر تراکم قطرات حاصل از پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل و پشش آن روی کاغذ حساس به رطوبت

Figure 5- Effect of surfactant type and concentration on the drop density from spraying of haloxyfop-R-methyl and its spray coverage on water-sensitive pape

مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Values with the same letters are not different at α = 0.05%.

خیس شدگی در تیمارهای پی‌سی‌گیت با غلظت‌های ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی به ترتیب با مساحت ۱۲/۳ و ۱۲/۵ میلی‌متر مربع مشاهده شد. در تمام غلظت‌ها، توان مویان پی‌سی‌گیت در خیساندن سطح برگ جودره بیشتر از بیشتر از سایر مویان‌ها بود. در غلظت‌های ۰/۰۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد حجمی، توان مویان‌های دی‌اکتیل و فریگیت در خیساندن سطح برگ برابر بود ولی در سایر غلظت‌ها، توان دی-اکتیل در خیساندن برگ بیشتر فریگیت بود.



شکل ٦- تأثیر نوع و غلظت مویان بر زاویه تماس قطره ٥ میکرولیتری از محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل و سطح خیس شده آن با سطح برگ جودره و زمان تبخیر آن

Figure 6- Effect of surfactant type and concentration on the contact angle and the wetted area of 5 ml drop of haloxyfop-R-methyl spray solution with leaf surface of wild barley and its evaporation time

مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Values with the same letters are not different at α = 0.05%.

تحت شرایط بدون مویان، قطره ۵ میکرولیتری از محلول پاشش در مدت زمان ۲۲ دقیقه پس از قرارگیری روی سطح برگ جودره ناپدید شد (شکل ۶). تمامی تیمارهای مویانی موجب تبخیر سریعتر قطره از سطح برگ شدند. به طور کلی، افزایش غلظت مویان‌ها در محلول پاشش نیز باعث کاهش زمان تبخیر قطره شد. همچنین، قطره حاوی دی‌اکتیل سریعتر از قطره حاوی پی‌سی‌گیت، و قطره حاوی پی‌سی‌گیت نیز سریعتر از قطره حاوی فریگیت تبخیر شد. در بین تیمارها، قطره حاوی دی‌اکتیل در غلظت‌های ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی سریعترین تبخیر قطره به نمایش گذاشت (۱۲ دقیقه). مدت زمان تبخیر کوتاه‌تر در قطره حاوی مویان به دلیل پخش شدن بیشتر آن روی سطح برگ باشد. به واسطه پخش شدن بیشتر قطره روی سطح برگ و ایجاد لایه نازک‌تر از مایع روی سطح برگ دو سرنوشت را می‌توان برای قطرک متصور شد: ۱) جذب سریعتر قطره به بافت گیاه و ناپدید شدن سریعتر آن و ۲) تبادل حرارتی سریع‌تر قطره با هوا و خشک شدن سریع‌تر آن. هر چه لایه مایع روی سطح برگ نازک‌تر باشد، تبادل حرارتی آن با هوا سریع‌تر بوده و لذا سریع‌تر نیز تبخیر می‌شود. از طرف دیگر، هر چه لایه مایع روی سطح برگ نازک‌تر باشد، مساحتی از سطح برگ که خیس می‌شوند نیز بیشتر شده و لذا فرصت بیشتری را برای جذب مایع توسط بافت گیاه ایجاد می‌شود. با این حال، سهم تبادل حرارت و جذب گیاه در تبخیر قطرات ناشناخته است و باید در آینده بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد (Gimenes *et al.*, 2013). در آزمایش حاضر، قطره حاوی مویان فریگیت در مقایسه با سایر مویان‌ها دیرتر تبخیر شد. این در حالی است که مساحت شده خیس شده با قطره حاوی پی‌سی‌گیت بیشتر از فریگیت بود. به نظر می‌رسد که مویان پی‌سی‌گیت ویژگی جاذب رطوبتی نیز داشته باشد که علی‌رغم پخش شدن بیشتر قطره حاوی آن روی سطح برگ ولی در مقایسه با قطره حاوی مویان فریگیت دیرتر تبخیر شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان دهنده سازگاری مویان‌های پی‌سی‌گیت، دی‌اکتیل و فریگیت با علف‌کش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل حتی در غلظت‌های بالا (تا ۰/۸ درصد حجمی) بود. با این وجود، به منظور جلوگیری از هزینه‌های اضافی غلظت ۰/۲ درصد حجمی مویان‌ها برای کاربرد توصیه می‌گردد. توان مویان‌ها در بهبود کارایی علف‌کش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه علف‌هرز جودره بدین صورت است: دی‌اکتیل > پی‌سی‌گیت > فریگیت. لذا، از بین سه مویان مذکور، مویان دی‌اکتیل بهترین انتخاب برای افزودن به محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، مویان‌ها قادرند با افزایش نشست پاشش از طریق کاهش اندازه قطرات پاشش و افزایش پخش شدگی قطره روی سطح برگ موجب بهبود کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل می‌شوند. همچنین، به نظر می‌رسد که مویان پی‌سی‌گیت ویژگی جاذب رطوبتی نیز داشته باشد که باعث کاهش سرعت تبخیر قطره و افزایش طول دوره جذب علف‌کش می‌شود.

References

1. Al Heidary, M., Douzals, J.P., Sinfort, C., & Vallet, A. (2014). Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. *Crop Protection*, *63*, 120-130. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.006
2. Aliverdi, A., & Karami, S. (2020). The effect of type and size of single, twin, and triplet flat fan nozzles on the activity of cycloxydim against wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *33*(4), 465-474. (in Persian with English abstract)
3. Aliverdi, A., & Karami, S. (2023). The interaction of organosilicon surfactant type and spray volume on diclofop-methyl efficacy in control of winter wild oat. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *37*(3), 315-325. https://doi.org/10.22067/jpp.2023.79032.1108
4. Aliverdi, A., & Malmir, M. (2023). The effect of surfactant type and its concentration on the efficacy of the selective herbicide of sugar beet (Betanal Progress O.F.). *Journal of Sugar Beet*, *38*(1), 109-122. https://doi.org/10.22092/jsb.2023.359185.1308
5. Aliverdi, A., Rashed Mohassel, M.H., Zand, E., & Nassiri Mahallati M. (2009). Increased foliar activity of clodinafop-propargyl and/or tribenuron-methyl by surfactants and their synergistic action on wild oat (*Avena ludoviciana*) and wild mustard (*Sinapis arvensis*). *Weed Biology and Management*, *9*(4), 292-299. https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2009.00353.x
6. Chen, H., Muros-Cobos, J.L., & Amirfazli, A. (2018). Contact angle measurement with a smartphone. *Review of Scientific Instruments*, *89*, 035117. https://doi.org/10.1063/1.5022370
7. Collins, R.T., & Helling, C.S., (2002). Surfactant enhanced control of two *Erythroxylum* species by glyphosate. *Weed Technology*, *16*(4), 851-859. https://doi.org/10.1614/0890-037X(2002)016[0851:SECOTE]2.0.CO;2
8. Devendra, R., Umamahesh, V., Prasad, T.V.R., Prasad, T.G., Asha, S.T., & Ashok. (2004). Influence of

surfactants on efficacy of different herbicides in control of *Cyperus rotundus* and *Oxalis latifolia*. *Current Science*, *86*(8), 1148-1151.

9. Ellis, M.B., & Tuck, C.R., (1999). How adjuvants influence spray formation with different hydraulic nozzles. *Crop Protection*, *18*, 101-109. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(98)00097-0
10. Ellis, M.B., Tuck, C.R., & Miller, P.C.H. (2001). How surface tension of surfactant solutions influences the characteristics of sprays produced by hydraulic nozzles used for pesticide application. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *180*, 267-276. https://doi.org/10.1016/S0927-7757(00)00776-7
11. Freed, V.H., & Montgomery, M. (1958). The effect of surfactants on foliar absorption of 3-Amino-1,2,4-Triazole. *Weeds*, *6*, 386-389.
12. Gimenes, M.J., Zhu, H., Raetano, C.G., & Oliveira, R.B. (2013). Dispersion and evaporation of droplets amended with adjuvants on soybeans. *Crop Protection*, *44*, 84-90. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.10.022
13. Hammami, H., Ghorbani, R., & Aliverdi, A. (2017). Evaluation the effect of cationic and nonionic surfactants on als-inhibitor herbicides efficacy on wild oat (*Avena ludoviciana*) control. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *31*(2), 223-231. https://doi.org/10.22067/jpp.v0i0.48272
14. Kargar, M., Rashed Mohassel, M.H., Nezami, A., & Izedi Darbandi, E. (2015). Evaluation effect of adjuvant on mesosulfuron+iodosulfuron herbicide performance on littleseed canarygrass control. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *29*(3), 295-303. https://doi.org/10.22067/jpp.v29i3.22452
15. Kooij, S., Sijs, R., Denn, M., Villermaux, E., & Bonn, D. (2018). What determines the drop size in sprays? *Physical Review X*, *8*, 031019. https://doi.org/10.1103/PhysRevX.8.031019
16. Mamnoie, E., Yazidi Darbandi, E., Rastgo, M., Baghestani, M.A., & Hassanzadeh Khayat, M. (2014). Investigation of the effect of additives in improving the effectiveness of nicosulfuron herbicide in the control of red root cockroach (*Amaranthus retroflexus*), leek (*Chenopodium album*), and *Echinochloa crus-galli*. The 6th Iranian Weed Science Conference. Birjand, Iran.
17. Maxwell, P.J., Gannon, T.W., & Cooper, R.J. (2018). Nonionic surfactant affects dislodgeable 2,4-D foliar residue from turfgrass. *Weed Technology*, *32*(5), 557-563. https://doi.org/10.1017/wet.2018.47
18. Mehr Azin, F., Keshtkar, I., Yaqoubi, S., & Mokhdesi Bidgoli, A. (2023). Effect of additives on the efficiency of glyphosate to control *Physalis divaricata* L. The 10th Iranian National Weed Science Conference, Hamadan, Iran. (in Persian with English abstract)
19. Miller, P.C.H., & Ellis, M.C.B. (2000). Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. *Crop Protection*, *19*, 609-615. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00080-6
20. Mohammadi, S., Rastgoo, M., Baghestani, M.A., Vafaie Tabar, M., & Izadi Darbandi, E. (2019). Evaluation of using time effect of total (metsulfuron-methyl 25% + sulfosulfuron 75%) herbicide on some traits of spontaneous barley (*Hordeum spontaneum* K. Koch) ecotypes. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *32*(3), 373-384. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jpp.v31i4.54436
21. Mousavi, S.K. (2020). The effect of cutting off the wild barley (*Hordeum spontaneum* C. Koch) spike in wheat on its population in chickpea under a crop rotation system. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *33*(4), 441-451. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jpp.v33i4.73370
22. Oliveira, R.B., Antuniassi, U.R., Mota, A.A.B., & Chechetto, R.G. (2013). Potential of adjuvants to reduce drift in agricultural spraying. *Engenharia Agricola*, *33*, 986-992. https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000500010
23. Penner, D. (2000). Activator adjuvants. *Weed Technology*, *14*(4), 785-791. https://doi.org/10.1614/0890-037X(2000)014[0785:AA]2.0.CO;2
24. Ritz, C., Baty, F., Streibig, J.C., & Gerhard, D. (2015). Dose-response analysis using R. *PLoS One*, *10*, e0146021. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146021
25. Sijs, R., & Bonn, D. (2020). The effect of adjuvants on spray droplet size from hydraulic nozzles. *Pest Management Science*, *76*, 3487-3494. https://doi.org/10.1002/ps.5742
26. Taheri, Sh., Aliverdi, A., & Ahmadvand, G. (2024). The effect of pH and light on the efficacy of spray solution stored of haloxyfop-r-methyl, fluazifop-p-butyl, and sethoxydim against wild barley (*Hordeum spontaneum* K. Koch). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *37*, 425-439. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jpp.2023.80667.1128
27. Zhou, Z., Cao, C., Cao, L., Zheng, L., Xu, J., Li, F., & Huang Q. (2018) Effect of surfactant concentration on the evaporation of droplets on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *167*, 206-212. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.04.018
28. Zhu, H., & Lin, J. (2016). Coverage area and fading time of surfactant-amended herbicidal droplets on cucurbitaceous leaves. *Transactions of the ASABE*. *59*, 829-838. https://doi.org/10.13031/trans.59.11427

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 2, 2025, p. 215-227

Weed Management and Growth Characteristics of Two Rice Cultivars under Aerobic Conditions in Sari Township

Seyede Shokoofe Jafarnejad Mozirji[1], Javid Gherekhloo[1]*, Sima Sohrabi[2], Asieh Siahmarguee[1], Saeid Hassanpour-Bourkheili[1]

1- Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding author's Email: gherekhloo@gau.ac.ir)

Received: 13-01-2023
Revised: 10-12-2024
Accepted: 08-04-2025
Available Online: 09-07-2025

How to cite this article:
Jafarnejad Mozirji, S.Sh., Gherekhloo, J., Sohrabi, S., Siahmarguee, A., & Hassanpour-Bourkheili, S. (2025). Weed management and growth characteristics of two rice cultivars under aerobic conditions in Sari township. *Iranian Plant Protection Research*, *39*(2), 215-227. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JPP.2025.80593.1123

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most important crops cultivated in Iran and in particular, North of the country. In recent years, reduced rainfall and adverse conditions of ground and surface waters has raised concerns about the feasibility of flooded rice cultivation method. On the other hand, yield loss by weeds under aerobic conditions is greater compared with the flooded systems, as weeds will emerge simultaneously with rice plants. Despite the more difficult weed management in aerobic rice as well as the limitations in its consequent cultivation in the same field, aerobic rice cultivation system still remains a feasible strategy to achieve sustainable production of rice under the inevitable adverse climatic conditions in the future. Therefore, the present study was carried out with the aim of evaluating the effect of various chemical management methods on weed control as well as growth characteristics of two rice cultivars of Neda and Fajr under aerobic conditions.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a strip plot with three replicates at Dasht-e- Naz field, Sari in 2020-2021. Treatments included two cultivars (Neda and Fajr) and 10 levels of weed management including 1- bispyribac sodium (Novino) herbicide, 2- pendimethalin (Prowl) + bispyribac sodium (Novino) herbicides, 3- pendimethalin (Prowl) + bispyribac sodium (Clean Weed) herbicides, 4- pendimethalin (Stomp) + bispyribac sodium (Novino) herbicides, 5- pendimethalin (Stomp) + bispyribac sodium (Clean Weed) herbicides, 6- pendimethalin (Prowl) + bispyribac sodium (Clean Weed) + bispyribac sodium (Clean Weed) herbicides, 7- pendimethalin (Prowl) + bispyribac sodium (Clean Weed) + bensulfuron methyl (Londax) herbicides, 8- pendimethalin (Prowl) + bispyribac sodium (Novino) + bispyribac sodium (Novino) herbicides, 9- weed-free and 10- weedy check. In weedy checks, weeds were allowed to grow until the end of the growing season. Pre-emergence herbicides of Prowl and Stomp were sprayed 2 days after sowing. Also, Clean Weed and Novino herbicides were applied 21 days after sowing. Finally, 35 days after sowing, Clean Weed, Novino and Londax

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.
https://doi.org/10.22067/JPP.2025.80593.1123

herbicides were sprayed in three-times application of herbicide treatment. Spraying was carried out using a chargeable Matabi knapsack sprayer equipped with a 8003 flat fan nozzle, calibration volume of 200 L ha^{-1} and 200 KPa pressure. In order to determine the growth characteristics of rice including dry weight, leaf area index and plant height, sampling was done at certain time intervals. Also, dry weight of weeds in each plot was recorded at the mentioned intervals.

Results and Discussion

The greatest plant height in Neda and Fajr was respectively 83.1 and 67.8 cm, which was observed in the weed- free treatment. The plant height varied from 56-73 cm in Neda and 41-60.5 cm in Fajr cultivar in different herbicide treatments. Also, plant height in weedy check in both Neda and Fajr cultivars was significantly lower than other treatments. In both rice cultivars and after the weed- free treatment, the greatest plant height and least time to 50% maximum height was recorded in three- times herbicide application treatments. In the weed- free treatment, leaf area index of Neda and Fajr cultivars reached its peak 71 days after sowing (both at the same time), and was 4.2 and 3.7, respectively. Three- times application of herbicides was ranked next after the weed-free treatment with leaf area indices of 3-3.2 in Fajr and 3.3-3.6 in Neda cultivar. Taking into account the weedy check, weed- free and herbicide treatments, the dry weight of Fajr cultivar ranged from 583.4 to 1640.6 g m^{-2}, whereas these values in Neda varied between 1121.9 to 1968.4 g m^{-2}. The results of this study showed that the most common weeds found in the field were velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medik.), musk melon (*Cucumis melo* L.), common purslane (*Portulaca oleracea* L.), barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.) and bermuda grass (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.). Weed dry weight in weedy check and in the second place, single-herbicide application treatment was higher and increased more rapidly compared with other treatments. The increase in the dry weight of weeds in Fajr was higher than Neda cultivar. Also, next to the weed-free treatment with 5607 kg ha^{-1}, grain yield was the highest when Prowl+ Novino+ Novino (4994 kg ha^{-1}) and Prowl+ Clean Weed+ Clean Weed (5029 kg ha^{-1}) treatments were applied.

Conclusions

Based on the results obtained from this study, cultivation of Neda cultivar as well as three-times application of herbicides (application of pre-emergence herbicide followed by two- times aaplication of a post-emergence herbicide) is recommended to improve the grain yield of rice under aerobic system.

Keywords: Dry weight, Herbicide, Leaf area, Weed flora

پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص. ۲۲۷-۲۱۵

مدیریت علف‌های هرز و ویژگی‌های رشدی دو رقم برنج تحت شرایط هوازی در شهرستان ساری

سیده شکوفه جعفرنژاد موزیرجی[۱]، جاوید قرخلو[۱*]، سیما سهرابی[۲]، آسیه سیاهمرگویی[۱]، سعید حسن‌پور بورخیلی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹

چکیده

با توجه به مشکل کم‌آبی و اهمیت ویژه برنج از نظر تغذیه‌ای در ایران، استفاده از کشت هوازی برنج به‌دلیل مزیت‌های آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، حال‌آنکه مهار علف‌های هرز در این نظام کشت دشوارتر از شرایط غرقاب می‌باشد، در نتیجه بررسی روش‌های مدیریت شیمیایی برای کاهش جمعیت علف‌های هرز در این شرایط ضروری است. در این بررسی، تأثیر تیمارهای مختلف علف‌کش بر مهار علف‌های هرز در ارقام ندا و فجر به‌صورت خشکه‌کاری برنج ارزیابی شد. آزمایش در قالب طرح اسپلیت بلوک با سه تکرار در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه دشت ناز ساری انجام شد. تیمارها شامل رقم (ندا و فجر) و مدیریت علف‌هرز در ۱۰ سطح (۱- کاربرد علف‌کش بیس‌پیریباک سدیم (کلین وید) ۲- کاربرد علف‌کش پندی‌متالین (پرول) + بیس‌پیریباک سدیم (نووینو)، ۳- کاربرد علف‌کش پندی‌متالین (پرول) + بیس‌پیریباک سدیم (کلین وید)، ۴- کاربرد علف‌کش پندی‌متالین (استومپ) + بیس‌پیریباک سدیم (نووینو)، ۵- کاربرد علف‌کش پندی‌متالین (استومپ) + بیس‌پیریباک سدیم (کلین وید) + بیس‌پیریباک سدیم (کلین وید)، ۶- کاربرد علف‌کش پندی‌متالین (پرول)+ بیس‌پیریباک سدیم (کلین وید) + بیس‌پیریباک سدیم (کلین وید)، ۷- کاربرد علف‌کش پندی‌متالین (پرول) + بیس‌پیریباک سدیم (کلین وید) + بن‌سولفورون متیل (لونداکس)، ۸- کاربرد علف‌کش پندی‌متالین (پرول) + بیس‌پیریباک سدیم (نووینو) + بیس‌پیریباک سدیم (نووینو)، ۹- تیمار وجین و ۱۰- شاهد آلوده به علف هرز) بودند. طبق نتایج، علف‌های هرز پهن‌برگ گاوپنبه (*Abutilon theophrasti* Medik.)، خربزه وحشی (*Cucumis melo* L.) و خرفه (*Portulaca oleracea* L.) شایع‌ترین فلور علف هرز این مزارع را تشکیل دادند. در بررسی صفات رشدی برنج، بیشترین ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و وزن خشک مربوط به رقم ندا بود. میزان افزایش وزن خشک علف‌های هرز در رقم ندا کم‌تر از رقم فجر بود. در مجموع، شاهد عاری از علف هرز (۵۶۰۷ کیلوگرم در هکتار) و کاربرد سه مرحله‌ای علف‌کش ها در مهار علف‌های هرز، موجب حصول عملکرد بیشتری شدند (۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و نسبت به کاربرد دو مرحله‌ای و یک مرحله‌ای برتر بود. بنابراین انتخاب رقم مناسب در شرایط وجود علف‌های هرز و همچنین کاربرد سه مرحله‌ای از علف‌کش‌ها بعد از تیمار وجین در افزایش تولید هوازی برنج بسیار اهمیت دارد.

واژه‌های کلیدی: سطح برگ، فلورعلف‌هرز، علف‌کش، وزن خشک

مقدمه

کمبود روزافزون منابع آب منجر به توسعه و پذیرش سیستم برنج هوازی شده است. در این سیستم، صرفه‌جویی در آب ورودی، افزایش بهره‌وری آب با کاهش مصرف آب در حین آماده‌سازی زمین و محدود کردن نشت، نفوذ و تبخیر، کاهش نیاز به نیروی کار و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مزرعه برنج بسیار مشهود است. برنج هوازی تیپ جدیدی از برنج است که به خاک هوازی سازگار می‌باشد و واریته‌های آن می‌توانند عملکردهایی معادل چهار تا شش تن در هکتار شلتوک با مصرف مقادیر متوسط و معقولی از کود را در خاک‌هایی با چنین شرایط رطوبتی تولید نمایند (Nie *et al.*, 2012). برنج هوازی می‌تواند به‌میزان ۵۰ درصد در مقایسه با برنج غرقاب، آب آبیاری را حفظ و ذخیره نماید. خشکسالی سال‌های اخیر و کاهش میزان

۱- گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: gherekhloo@gau.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/JPP.2025.80593.1123

نزولات آسمانی این نگرانی را ایجاد کرده که در صورت تداوم کشت برنج در سال‌های آتی باید در انتظار پایین آمدن سطح آب‌های زیرزمینی بود. کشت مستقیم برنج راهبردی است که می‌تواند کاربرد آب را نسبت به سیستم‌های مرسوم نشاکاری نزدیک به ۴۴ درصد کاهش دهد (Kumar *et al.*, 2009). شایان ذکر است که در کشت مستقیم، عملیات گل خرابی انجام نمی‌شود و بذر در خاک غرقاب‌شده کشت نمی‌گردد و در کشت هوازی، بوته‌ها در طول فصل به‌صورت غرقاب آبیاری نمی‌شوند (IRRI, 2024).

مشکل علف هرز در کشت مستقیم به‌دلیل هم‌زمان بودن جوانه‌زنی بذر علف‌هرز و بذر برنج، نسبت به دیگر سیستم‌های تولید برنج پیچیده‌تر و جدی‌تر است. خسارت ناشی از علف‌های هرز به برنج قابل توجه می‌باشد، به‌نحوی‌که میزان کاهش عملکرد محصول ناشی از رقابت با علف‌های هرز در زراعت برنج ۴۲ تا ۹۶ درصد تخمین زده شده است که بیشترین خسارت در شرایط دیم و روش کشت مستقیم دیده می‌شود (Rashid *et al.*, 2009; Esmaeli *et al.*, 2022). به همین دلیل، کشاورزان مجبور هستند که هزینه و زمان زیادی را برای مهار این گیاهان ناخواسته صرف نمایند. ماهاجان و همکاران (Mahajan *et al.*, 2010)کشت برنج با تراکم بالاتر را برای فایق شدن بر علف‌های هرز پیشنهاد کردند. به‌علت شباهت ریختشناختی برنج و علف‌های هرز خانواده گندمیان، وجین دستی سخت، وقت‌گیر و با هزینه زیاد است (Anwar *et al.*, 2012). ازاین‌رو علف‌کش‌های شیمیایی اگر به‌صورت مناسب قبل و بعد از سبز شدن برنج استفاده شوند، می‌تواند نتایج رضایت‌بخشی در پی داشته باشد (Singh *et al.*, 2006). به‌علت تنوع علف‌های هرز در مزارع برنج، استفاده از دو یا چند علف‌کش برای مهار طیف وسیعی از علف‌های هرز ضروری است (Rao *et al.*, 2007). با وجود مشکل علف‌های هرز در برنج هوازی و محدودیت‌ها برای کشت مداوم آن در یک زمین، این نوع کشت همچنان راهبرد مفید برای حفظ پایداری تولید برنج تحت کمبود آب آینده ناشی از تغییرات جهانی آب‌وهوایی می‌باشد. بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی اثر تیمارهای مختلف مدیریت شیمیایی برای مهار علف‌های هرز رایج و نیز ویژگی‌های رشدی دو رقم برنج ندا و فجر در شرایط هوازی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در زمینی به مساحت ۱۱۲۰ مترمربع (ابعاد ۱۶ متر در ۷۰ متر) واقع در ایستگاه تحقیقات زراعی دشت ناز ساری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران انجام شد. ارتفاع آن از سطح دریای آزاد ۱۸ متر و میانگین بارندگی سالانه آن ۷۰۰-۶۰۰ میلی‌متر است. رطوبت نسبی دشت ناز ۷۵ درصد و میانگین حداکثر و حداقل درجه حرارت به‌ترتیب ۲۷ و ۷/۱ درجه سانتی‌گراد است. قبل از کودپاشی یک نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه و جهت مشخص نمودن بافت و عناصر موجود در آن در آزمایشگاه خاکشناسی شهرستان بابل تجزیه گردید (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه لایه سطحی خاک (۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1- Analysis of the soil surface layer (0-30 cm)

Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	pH of saturated paste	Total neutralizing value ($dS.m^{-1}$)	Organic carbon (%)	Available phosphorous (ppm)
1.35	7	16	2	17.5
Texture	Silt (%)	Clay (%)	Sand (%)	Available potassium (ppm)
لوم رسی Clay loam	32	32	36	540

آزمایش در قالب طرح اسپلیت بلوک (استریپ پلات) با سه تکرار انجام شد. عوامل آزمایشی شامل رقم در دو سطح (ندا و فجر) و مدیریت علف‌هرز در نُه سطح (۱- تیمار علف‌کش بیس‌پیریباک سدیم ۲- تیمار علف‌کش پندی‌متالین + بیس‌پیریباک سدیم، ۳- تیمار علف‌کش پندی‌متالین (پرول) + بیس‌پیریباک سدیم (کلین وید)، ۴- تیمار علف‌کش پندی‌متالین (استومپ) + بیس‌پیریباک سدیم (نووینو) ۵- تیمار علف‌کش پندی‌متالین (استومپ) + بیس‌پیریباک سدیم (کلین وید) + بیس‌پیریباک سدیم (کلین وید)، ۶ - تیمار علف‌کش پندی‌متالین (پرول) + بیس‌پیریباک سدیم (کلین وید) + بیس‌پیریباک سدیم (کلین وید) ۷- تیمار علف‌کش پندی‌متالین (پرول) + بیس-پیریباک سدیم (کلین وید) + بن‌سولفورون متیل (لونداکس) ۸- تیمار علف‌کش پندی‌متالین (پرول) + بیس‌پیریباک سدیم (نووینو) + بیس-پیریباک سدیم (نووینو) و در نهایت ۹- تیمار وجین) بودند. در هر بلوک سه کرت (که به‌صورت سه در میان بین کرت‌های مورد تیمار قرار گرفته بودند) به‌عنوان شاهد آلوده به علف هرز در نظر گرفته شد و میانگین این سه کرت به‌عنوان خروجی کرت آلوده به علف هرز محاسبه شد. با توجه به مطالعات پیشین (Hejazirad *et al.*, 2023)، کاربرد پیش‌رویشی پندی‌متالین و سپس یک مرحله سم‌پاشی با علف‌کش پس‌رویشی بیس‌پیریباک‌سدیم اثربخشی نسبی در کشت هوازی برنج در منطقه دشت‌ناز ساری داشت، هرچند همچنان بین

مهار علف هرز و عملکرد دانه در شرایط عاری از علف هرز و شاهد آلوده به علف هرز تفاوت وجود داشت. بنابر این در پژوهش حاضر، اثربخشی کاربرد سه مرحله علف‌کش مورد بررسی قرار گرفت. شایان ذکر است که علت انتخاب دو محصول مختلف تجاری بیس‌پیریباک سدیم، مقایسه اثربخشی محصول خارجی و داخلی بود. تمامی علف‌کش‌ها با دز توصیه‌شده اعمال شدند. مشخصات علف‌کش‌های مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات علف‌کش‌های استفاده‌شده در پژوهش حاضر

Table 2- Properties of the herbicides applied during the present study

Recommended field rate	Application method	Common name	Formulation	Trade name
10 g ai.ha^{-1}	Post-Emergence	Bispyribac sodium	SC 10%	Novino
25 g ai.ha^{-1}	Post-Emergence	Bispyribac sodium	SC 40%	Clean Weed
1360 g ai.ha^{-1}	Pre-Emergence	Pendimethalin	CS 45.5%	Prowl
990 g ai.ha^{-1}	Pre-Emergence	Pendimethalin	EC 33%	Stomp
45 g ai.ha^{-1}	Pre-Emergence	Bensulfuron methyl	DF 60%	Londax

ابعاد کرت‌ها، دو در شش (۱۲ مترمربع)، فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ و فاصله روی ردیف‌ها هشت سانتی‌متر بود. در تاریخ ۳۰ خرداد ۱۳۹۹ آماده‌سازی زمین جهت کاشت با انجام دو بار دیسک به‌عمق ۲۰ سانتی‌متر و تسطیح مزرعه انجام شد. کودهای نیتروژن (اوره ۴۶ درصد)، فسفر (سوپر فسفات تریپل) و پتاسه (کلرور پتاسیم) مورد نیاز طبق دستورالعمل سازمان جهاد کشاورزی استان بین دو مرحله دیسک در مزرعه توزیع شد. آبیاری مزرعه بلافاصله پس از کاشت با استفاده از آبیاری بارانی (جهت جلوگیری از سله بستن خاک) و بعد از سبز شدن گیاهچه‌ها هر هفته دو بار انجام شد.

در کرت‌های شاهد تا پایان فصل به علف‌های هرز اجازه رشد داده شد. علف‌کش‌های پیش‌رویشی پندی‌متالین (پرول) و پندی‌متالین (استامپ) قبل از رویش برنج در تاریخ ۲ تیر و بیس‌پیریباک (کلین وید) و بیس‌پیریباک سدیم (نوینو) در مرحله دوم (شروع پنجه‌دهی) (یک ماه بعد از مرحله اول) و بن‌سولفورون متیل (لونداکس)، بیس-پیریباک سدیم (کلین وید) و بیس‌پیریباک سدیم (نوینو) در مرحله سوم (۱۰ روز پس از مرحله دوم) اعمال شدند. سم‌پاشی با استفاده از دستگاه سم‌پاش پشتی شارژی ماتابی مجهز به نازل بادبزنی تخت ۸۰۰۳ با حجم کالیبراسیون ۲۰۰ لیتر در هکتار و فشار پاشش ۲۰۰ کیلوپاسکال انجام شد. مدیریت آفات و بیماری‌ها طبق دستورالعمل کمیته پیش آگاهی با سموم مناسب برای بیماری بلاست از قارچ‌کش بیم و برای آفت ساقه‌خوار از حشره‌کش دیازینون گرانوله انجام شد.

به‌منظور تعیین شاخص‌های رشد برنج شامل ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و وزن خشک و نیز وزن خشک علف‌های هرز، پنج مرتبه نمونه‌برداری تخریبی به فواصل ۲۰ روز و ۲۰-۴۰-۶۰-۸۰-۱۰۰ روز بعد از نشاء در طی فصل از هر کرت صورت گرفت. برای ثبت وزن خشک علف‌های هرز نیز نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌برداری با استفاده از یک کوادرات ۰/۵ متر در ۰/۵ متر انجام می‌گرفت. بلافاصله پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، سطح برگ برنج با استفاده از دستگاه سطح‌برگ‌سنج نوری (Delat-T, UK) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت به آونی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد انتقال و سپس توزین شدند. علف‌های هرز پس از انتقال به آزمایشگاه، شناسایی و توزین آن‌ها انجام شد. برای اندازه‌گیری عملکرد، از هر کرت به مساحت یک مترمربع، بوته‌های کف‌بر شده به آزمایشگاه منتقل شد. دانه‌ها از بوته‌ها جدا شده و عملکرد دانه محاسبه شد.

روند تغییرات شاخص سطح برگ و وزن خشک برنج به‌ترتیب با استفاده از مدل‌های گاوس سه پارامتره (معادله ۱) و سیگموییدی سه پارامتره (۲) انجام شد.

$$Y= Amax\ (exp(-0.5(t-t_{100})/b)2) \quad (۱)$$

که در آن، Amax: حداکثر وزن خشک یا سطح برگ، t_{100}: زمان رسیدن به حداکثر وزن خشک یا سطح برگ و b: ضریب معادله است.

$$Y= Amax/(1+exp(-(t-t_{50})/b)) \quad (۲)$$

که در آن، Amax: حداکثر وزن خشک یا سطح برگ، t_{50}: زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر وزن خشک یا سطح برگ و b: ضریب معادله است.

توصیف تغییرات وزن خشک علف هرز به‌شکل نمودار Line & Scatter انجام شد. برازش مدل‌ها بر داده‌های سطح برگ و تجمع ماده خشک برنج با استفاده از نرم‌افزار SigmaPlot انجام شد. جهت بررسی معنی‌دار بودن تفاوت بین منحنی‌ها، از خطای معیار (SE) بهره گرفته شد (Knezevic & Datta, 2015). تجزیه داده‌های مربوط به عملکرد دانه با کمک نرم‌افزار SAS v.9.0 و مقایسه میانگین با روش LSD در $p<0.05$ انجام شد. رسم نمودارها نیز با کمک نرم‌افزارهای Excel v. 2013 و SigmaPlot v.12.5 صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

فلور علف هرز

علف‌های هرز مختلفی در آزمایش مشاهده شد، به‌گونه‌ای که

علف‌های هرز غالب در مراحل رشد برنج شامل گاوپنبه (*Abutilon theophrasti* Medik.)، خربزه وحشی (*Cucumis melo* L.)، خرفه (*Portulaca oleracea* L.)، تاج‌خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.)، پیچک (*Convolvulus arvensis* L.)، تاج‌ریزی سیاه (*Solanum nigrum* L.)، عروسک پشت پرده (*Physalis alkekengi* L.)، سوروف (*Echinochloa cruss-galli* L.) و پنجه‌مرغی (*Cynodon dactylon* L.) بودند. در سایر بررسی‌ها نیز علف‌های هرز متداول در مزارع برنج شامل خانواده گندمیان، جگن‌ها و برگ پهن‌ها شامل خانواده‌های کاسنی (*Cichorium intybus* L.)، پنیرک (*Malva sylvestris* L.)، تاج خروس (*Amaranthus retroflexus* L.) و ... گزارش شده است که تنوع و تراکم آن‌ها به شرایط آب‌وهوایی، فصل رشد و خاک بستگی دارد. در سطح جهانی، اویارسلام زرد (*Cyperus esculentus* L.)، سوروف (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.)، درنه‌سرخه (*Echinochloa colonum* (L.) Link) و قیاق (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) به‌عنوان مهم‌ترین علف‌های هرز برنج گزارش شده‌اند (Rao *et al.*, 2007). از بین علف‌های هرز مختلف برنج، علف هرز سوروف به‌دلیل شباهت ژنتیکی، ریختشناختی و فنولوژیکی مهم‌ترین علف‌هرز برنج در دنیا محسوب می‌شود (Gibson *et al.*, 2003). گیاه خربزه وحشی به‌دلیل شروع رشد از اردیبهشت ماه تا شهریور ماه پتانسیل بالایی برای حضور همیشگی در مزارع برنج تحت شرایط هوازی دارد (Sohrabi *et al.*, 2014). گاوپنبه، به‌عنوان علف هرز در کشت هوازی برنج توسط درخشان و همکاران (Derakhshan *et al.*, 2015)گزارش شده است. انعطاف‌پذیری ریخت‌شناختی و زایشی به گاو پنبه این امکان را می‌دهد که ساختمان تاج‌پوشش و قسمت‌های زایشی خود را در محیط‌های مختلف مثل تراکم گیاه، زمان جوانه‌زنی و اقلیم تغییر دهد. این انعطاف‌پذیری فنوتیپی و زایشی به توانایی سازگاری و ویژگی‌های رقابتی گاوپنبه کمک می‌کند (Sinha, 2017). توجه به فلور علف‌های هرز مزارع برنج و تغییرات آن‌ها با توجه به تغییر سیستم کاشت در جلوگیری از ظهور علف‌های هرز نوظهور و مهاجم مؤثر است (Sohrabi *et al.*, 2017).

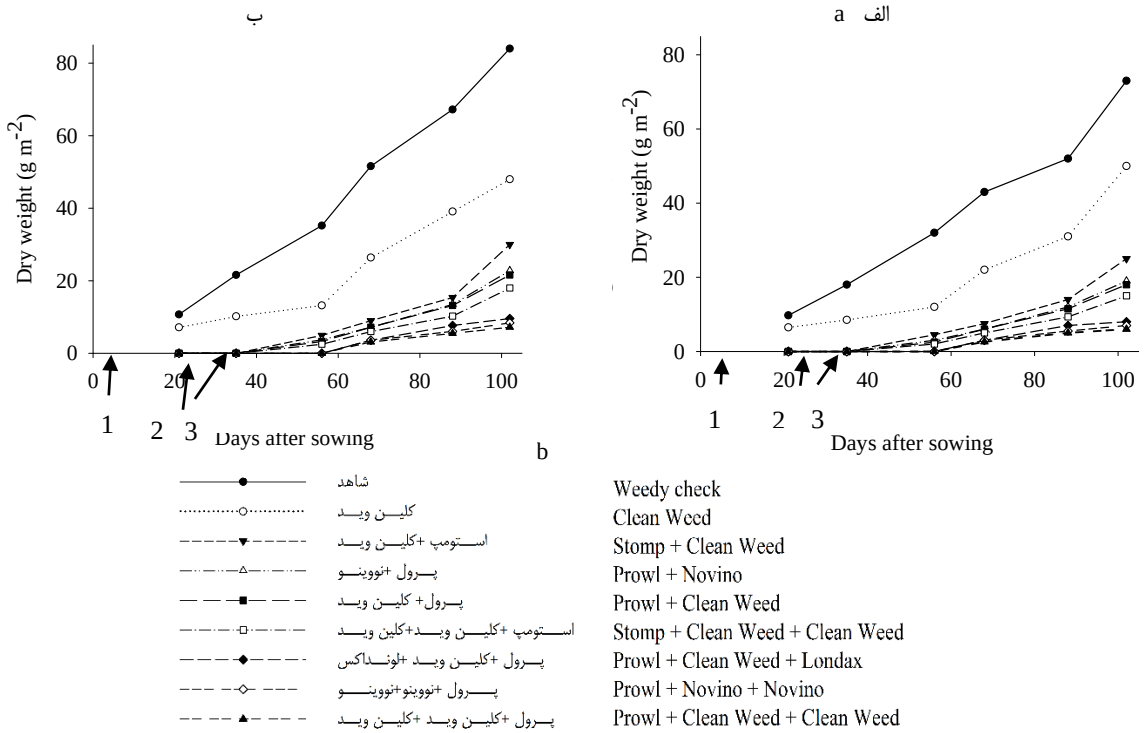
وزن خشک علف‌های هرز در طی فصل رشد

به‌طور کلی، وزن خشک علف‌های هرز در طی فصل رشد افزایشی بود (شکل ۱)، امّا سرعت افزایش وزن خشک علف‌های هرز در تیمارهایی که طی سه مرحله (شامل دو روز بعد از کاشت، ۲۱ روز پس از کاشت و ۳۵ روز پس از کاشت) سم‌پاشی اعمال شده بود با کاهش همراه بود. نرخ افزایش وزن خشک علف‌های هرز در تیمارهای عدم سم‌پاشی (شاهد آلوده به علف هرز) و یک مرحله سم‌پاشی با کلین وید با شدت بیش‌تری رو به افزایش بود. میزان افزایش وزن خشک علف‌های هرز در محیط رقم ندا کم‌تر از رقم فجر بود که این موضوع به ویژگی‌های ژنتیکی ارقام و توانایی رقابتی آن‌ها مرتبط است. به عبارتی، رقم ندا به‌دلیل ویژگی‌های ریخت‌شناختی از جمله ارتفاع بوته، سطح برگ و تاج‌پوشش مناسب منجر به کاهش رشد علف‌های هرز و در نتیجه کاهش وزن خشک علف‌های هرز گردید، به‌طوری‌که وزن خشک علف‌هرز در رقابت با رقم ندا زیر ۸۰ گرم بر مترمربع بود، درصورتی‌که در رقابت با رقم فجر به بیش از ۸۰ گرم در مترمربع رسید. بنابراین با توجه به توان رقابتی ارقام برنج، می‌توان از ویژگی‌های ارقام در کنترل زراعی و مدیریت تلفیقی علف‌های هرز بهره برد (Rajabian *et al.*, 2017). استفاده از دو یا چند مرحله از علف‌کش‌ها می‌تواند در مهار بهتر علف‌های هرز مؤثر باشد. هنگامی‌که علف‌کش‌ها به‌صورت مناسب قبل و بعد از سبز شدن برنج استفاده شوند، می‌تواند با نتایج رضایت‌بخشی در مهار علف‌های هرز همراه باشد (Singh *et al.*, 2006). به‌علت تنوع علف‌های هرز در مزارع برنج، استفاده از دو یا چند علف‌کش برای مهار طیف وسیعی از علف‌های هرز ضروری است (Rao *et al.*, 2007). بهبود مدیریت علف‌های هرز در این نوع سیستم کاشت می‌تواند با تلفیقی از روش های مدیریتی امکان‌پذیر باشد. در ژاپن به اهمیت توجه به مدیریت بیولوژیکی، زراعی و فیزیکی در کنار کنترل شیمیایی تأکید شده است (Shibayama, 2008).

صفات رشدی برنج

ارتفاع بوته

روند رشد و ارتفاع بوته ارقام برنج در تیمارهای مختلف علف‌کش در شکل ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، به‌طور کلی ارتفاع بوته رقم ندا بیش‌تر از ارتفاع بوته رقم فجر می‌باشد. بیش‌ترین ارتفاع بوته رقم ندا ۸۳/۱ و رقم فجر ۶۷/۸ سانتی‌متر و در تیمار وجین دستی مشاهده شد، بنابراین بین ارقام در حدود ۱۵ سانتی‌متر اختلاف وجود داشت. ارقامی که ارتفاع بوته بالاتری دارند با سایه‌اندازی بر علف‌های هرز مجاور خود و سطح زمین مانع از رشد و توسعه علف‌های هرز خواهند شد. ارتفاع بوته رقم ندا در تیمارهای مختلف علف‌کش از ۵۶ تا ۷۳ سانتی‌متر و رقم فجر از ۴۱ تا ۶۰/۵ سانتی‌متر متغیر بود. زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر ارتفاع بوته، در تیمارهایی که سه مرحله علف‌کش استفاده شده بود در رقم فجر در ۴۹/۱–۵۲/۱ و در رقم ندا در ۵۰/۴– ۵۱/۵ روز اتفاق افتاد (به عبارتی، رشد رویشی سریع‌تر بوده و توان رقابتی با علف‌های هرز بالاتر است) و در تیمار کلین وید و شاهد به‌دلیل اینکه علف‌های هرز به‌خوبی مهار نشده بود، رشد بوته با تأخیر مواجه شد و اثر منفی آن بر ارتفاع بوته مشاهده گردید. علف‌های هرز به‌دلیل رقابت با گیاه زراعی و استفاده از منابع نور، مواد غذایی خاک و آب منجر به کاهش رشد و ارتفاع بوته می‌شوند.



شکل ۱- وزن خشک علف‌های هرز در ارقام برنج در شرایط هوازی الف) ندا و ب) فجر

Figure 1- Dry weight of weeds in Neda (a) and Fajr (b) rice cultivars under aerobic conditions

فلش‌ها نشان‌دهنده زمان اعمال علف‌کش‌ها می‌باشد: ۱- اعمال علف‌کش‌های پرول و استومپ، ۲- اعمال علف‌کش‌های کلین وید و نووینو، ۳- اعمال علف‌کش‌های کلین وید، نووینو و لونداکس

Arrows depic the time of herbicide application. 1- Prowl and Stomp; 2- Clean Weed and Novino; 3- Clean Weed, Novino and Londax

رقم ندا به‌صورت کلی در مدت زمان کم‌تر (یک الی دو روز) به ارتفاع بوته بالاتری رسید که این نشان‌دهنده رشد رویشی (توان رقابتی بالا با علف‌های هرز) مناسب این رقم نسبت به رقم فجر می‌باشد (جدول ۳). نتایج تحقیقات انجام‌شده نشان داده است که ارقام دارای قدرت رویش خوب در اوایل فصل و رشد سریع نسبت به ارقام ضعیف در مقابله با علف‌های هرز برتری دارند (Namuco *et al.*, 2009).

از جمله دلایل توانایی رقابتی ارقام برنج به ارتفاع بوته بیش‌تر، سرعت رشد در ابتدای فصل، تعداد خوشه و وزن خشک برنج ذکر شد و مهار علف هرز راه حل مناسبی برای کاهش هزینه تولید محصول برنج و سرعت رشد اولیه بوته در رقابت با علف‌های هرز بیان شد (Ala *et al.*, 2014). ویژگی‌هایی نظیر ارتفاع بوته، رشد اولیه گیاه زراعی، تعدد پنجه، شاخص سطح برگ، تاج‌پوشش و غیره نقش مهمی در توان رقابتی گیاه در مقابل علف‌های هرز دارد (Namuco *et al.*, 2009). همچنین نتایج تحقیقات انجام‌شده نشان داده است که توان رقابتی ارقام برنج با پتانسیل عملکرد همبستگی بالایی دارد (Zhao *et al.*, 2006).

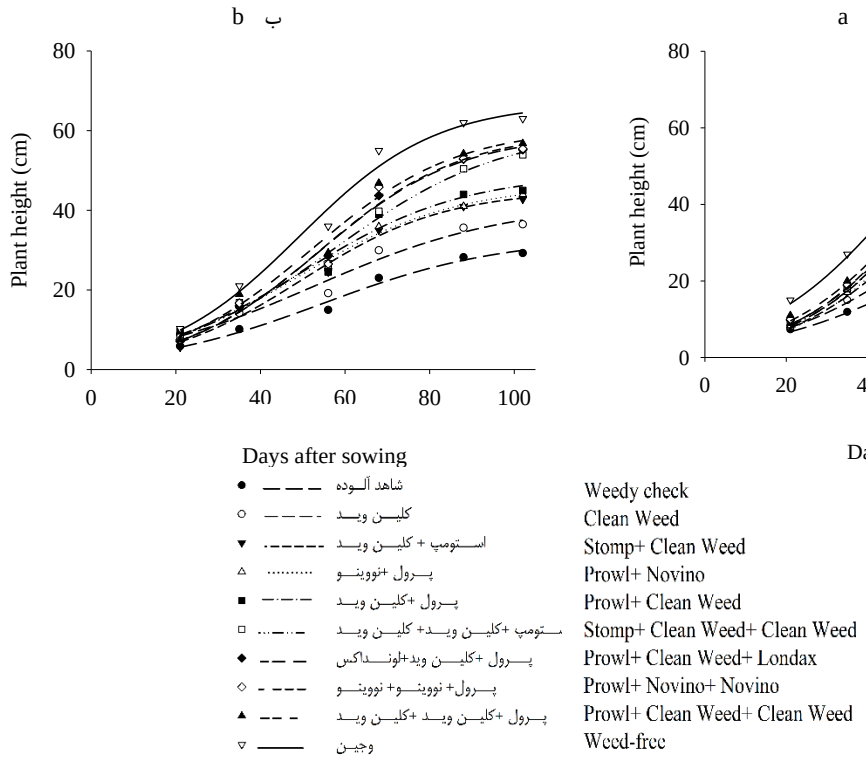
در یک بررسی، ارتفاع بوته ارقام برنج در شرایط عدم وجود علف هرز از ۱۲۳ تا ۱۶۳ سانتی‌متر متغیر بود، درحالی‌که در شرایط آلوده به علف هرز از ۱۲۲/۷ تا ۱۴۶/۵ سانتی‌متر متغیر بوده است، بنابراین طبق این نتایج، حضور علف‌های هرز به‌دلیل رقابت با گیاه زراعی منجر به کاهش ارتفاع بوته (که نشان‌دهنده وضعیت رشد رویشی گیاه می‌باشد) خواهد شد (Ala *et al.*, 2014).

شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ در ارقام برنج در شکل ۳ ارائه شده است. نمودار شاخص سطح برگ ارقام بیانگر این مطلب است که رقم ندا از سطح برگ بیش‌تری نسبت به رقم فجر برخوردار بوده و این موضوع به ویژگی ژنتیکی ارقام مرتبط می‌باشد. از طرفی، ارقامی که قدرت رشد و توسعه برگ را دارند، به‌دلیل سایه‌اندازی مطلوب، سطح زمین را به‌خوبی پوشش داده و از رشد علف‌های هرز ممانعت خواهند کرد. با مقایسه ارقام برنج در تیمار وجین دستی (شاهد) مشخص شد که در

طی ۷۱ روز (مدت زمان مساوی)، رقم ندا به شاخص سطح برگ ۴/۲ و رقم فجر به شاخص سطح برگ ۳/۷ رسیده است. همچنین شاخص سطح برگ برای تیمارهایی که در سه مرحه از رشد سم‌پاشی صورت گرفته بود، به‌دلیل حذف بهتر علف‌های هرز از مقادیر بالاتری برخوردار بوده و زمان رسیدن به حداکثر سطح برگ نیز طولانی‌تر بود، از طرفی در تیمارهایی که تنها در دو مرحله و یک مرحله سم‌پاشی اعمال شد ، سطح برگ کم‌تری وجود داشت و در زمان کم‌تری به حداکثر خود رسید. کاهش زمان رسیدن به حداکثر سطح برگ مطلوب نیست، زیرا به‌طور مثال رقم ندا در تیمار کلین وید پس از حدود ۶۹ روز به شاخص برگ ۱/۹ رسیده و پس از آن روند توسعه سطح برگ کاهشی بوده است، این موضوع برای رقم فجر در تیمار کلین وید نیز صدق می‌کند (جدول ۴). به عبارتی، هنگامی که مهار علف‌های هرز به‌خوبی صورت نگرفته باشد، بوته‌های برنج در تعداد روزهای کم‌تری (به‌سرعت، زودرسی) به حداکثر (اوج) سطح برگ خود رسیده و سریع‌تر نیز شروع به کاهش می‌کند.

در بررسی مهدوی و همکاران (Mahdavi et al., 2006)، در شرایط غرقاب شاخص سطح برگ ارقام برنج ندا ۵/۷ و رقم فجر ۵/۴۶ گزارش شد. در آزمایش حاضر نیز نتایج نشان داد که رقم ندا سطح برگ بیش‌تری دارد، بنابراین از سایه‌انداز مناسبی برخوردار بوده و قدرت رقابتی گیاه را در مقابل علف‌های هرز افزایش می‌دهد، زیرا این ویژگی از نفوذ نور بر سطح خاک جلوگیری کرده و مانع رشد علف‌های هرز خواهد شد. پیش از این، در یک مطالعه در رابطه با نقش سایه انداز گیاه و تأثیر آن بر توقف رشد علف‌های هرز اشاره شده بود (Chauhan & Johnson 2010).



شکل ۲- ارتفاع بوته برنج رقم الف) ندا و ب) فجر در شرایط هوازی

Figure 2- Plant height of Neda (a) and Fajr (b) rice cultivars under aerobic conditions

وزن خشک گیاه برنج

روند افزایش وزن خشک تجمعی گیاه برنج در شکل ۴ ارائه شده است. وزن خشک بوته در ابتدای رشد با شیب بیشتری افزایش یافت و پس از رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر وزن خشک با شیب کم‌تری رو به افزایش بود. تغییرات وزن خشک برنج در رقم فجر از ۵۸۳/۴ (شاهد آلوده به علف هرز) تا ۱۶۴۰/۶ (وجین دستی) گرم در مترمربع متغیر بود. دامنه تغییرات وزن خشک برنج در رقم ندا از ۱۱۲۱/۹ (شاهد آلوده به علف هرز) تا ۱۹۶۸/۴ (وجین دستی) گرم در مترمربع بود (جدول ۵). به‌طور کلی، وزن خشک بوته در رقم ندا در تیمارهای مشابه بیش‌تر از وزن خشک بوته رقم فجر بود که به بالاتر بودن ارتفاع بوته، سطح برگ در رقم ندا و ویژگی ژنتیکی این رقم مرتبط است. با افزایش ارتفاع بوته، جایگاه تشکیل برگ و در نتیجه سطح برگ افزایش یافته و به‌تبع آن با افزایش سطح برگ و فتوسنتز، رشد بوته به‌طور مطلوب‌تری انجام خواهد شد که برآیند این عوامل به

افزایش وزن خشک منتهی می‌شود. خصوصیات رقم برنج تعیین‌کننده توان رقابتی آن و میزان عملکرد خواهد بود (Esmaeli *et al.*, 2022).

جدول ۳- برآورد پارامترهای حاصل از برازش مدل سه پارامتره سیگموئیدی به داده‌های ارتفاع بوته برنج در شرایط هوازی

Table 3- Parameter estimates obtained from the fitting of three-parameter sigmoidal model to rice plant height data under aerobic conditions

مقادیر داخل پرانتز بیانگر خطای معیار می‌باشد

Values in prantheses denote standard error

Treatment	Fajr			Neda		
	A_{max} (cm)	B	t_{50} (d)	A_{max} (cm)	B	t_{50} (d)
Weedy check	33.2 (2.5)	21.2 (4.5)	57.1 (6.3)	40.3 (2.5)	19.7 (2.7)	55.5 (3.8)
Clean Weed	41.9 (2.8)	22.9 (6.3)	54.6 (6.3)	56.9 (2.8)	18.8 (2.0)	53.1 (2.0)
Stomp + Clean Weed	45 (2.7)	16.9 (2.7)	53.9 (5.3)	65.3 (2.4)	16.1 (1.5)	52.6 (3.6)
Prowl + Novino	46.5 (2.3)	18.6 (2.3)	53.7 (5.1)	64.5 (2.2)	14.7 (1.8)	52.0 (2.7)
Prowl + Clean Weed	49.1 (4.0)	18.9 (4.7)	52.6 (8.7)	65 (2.2)	15.2 (2.3)	51.7 (3.2)
Stomp + Clean Weed+ Clean Weed	60.4 (3.5)	20.1 (3.0)	52.1 (4.6)	70.3 (2.3)	15.3 (2.1)	51.5 (2.9)
Prowl + Clean Weed + Londax	59.1 (3.1)	16.6 (2.4)	49.9 (5.9)	71.5 (3.7)	15.5 (2.3)	50.9 (2.8)
Prowl + Novino + Novino	59.7 (2.8)	16.7 (4.0)	49.7 (4.4)	72.2 (3.9)	15.2 (2.2)	50.9 (2.3)
Prowl+ Clean Weed + Clean Weed	60.6 (2.0)	17.0 (3.6)	49.1 (4.7)	73.3 (3.7)	15.7 (2.2)	50.4 (2.8)
Weed-free	67.8 (2.2)	16.1 (2.9)	48.7 (4.9)	83.1 (4.3)	17.0 (2.4)	50.1 (3.0)

A_{max}: حداکثر ارتفاع، b: شیب در نقطه t_{50}، t_{50}: زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر ارتفاع بوته

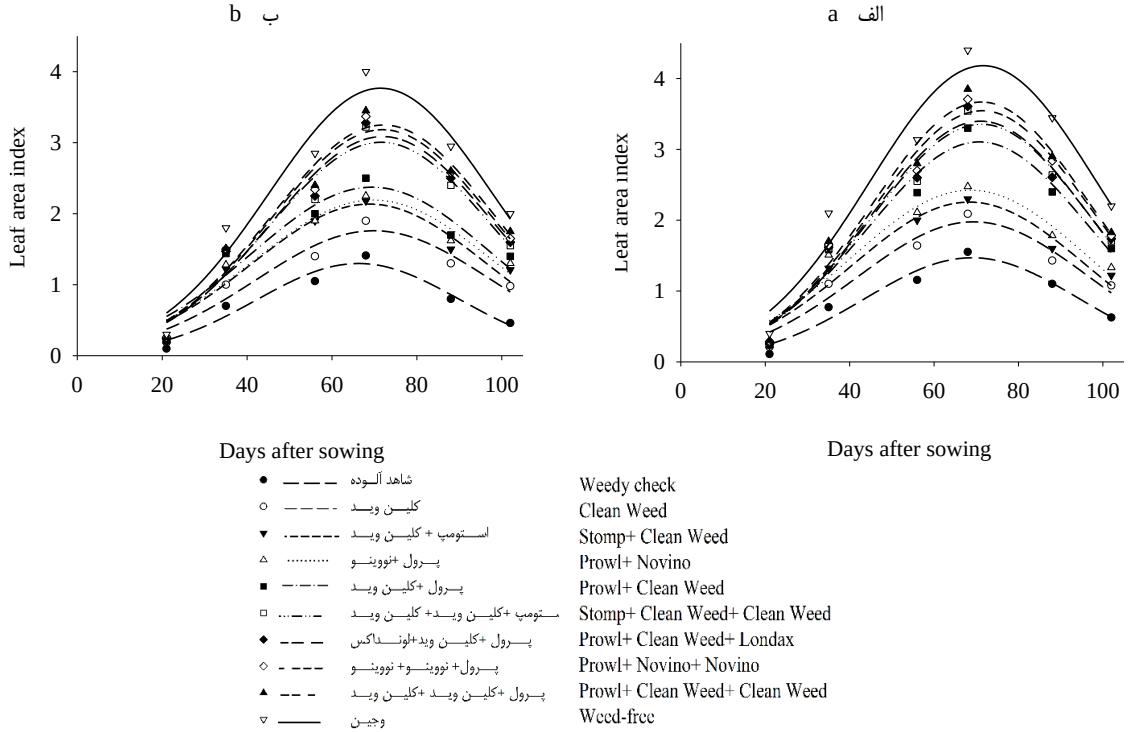
Amax: maximum height; b: slope at t_{50}; t_{50}: time to 50% maximum height

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثرات ساده رقم و مدیریت علف هرز بر عملکرد دانه معنی‌دار بودند ($p<0.01$) (نتایج نشان داده نشده‌اند). عملکرد رقم ندا حدود ۱۵۱۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌تر از رقم فجر بود، رقم ندا عملکردی برابر با ۵۲۹۶/۱ کیلوگرم در هکتار و رقم فجر عملکردی برابر با ۳۷۸۶/۴ کیلوگرم در هکتار تولید کردند (شکل ۵- الف). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، رقم ندا به‌دلیل ویژگی‌های رشدی مناسب در رقابت با علف‌های هرز موفق بود و این امر منجر به عملکرد بالاتری نسبت به رقم فجر شد.

تیمار وجین دستی با ۵۶۰۷/۹ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین عملکرد دانه را تولید کرد. در بین تیمارهای علف‌کش، پرول + کلین وید+ کلین وید (۵۰۲۹/۷ کیلوگرم در هکتار)، پرول + نووینو + نووینو (۴۹۹۴/۴ کیلوگرم در هکتار)، پرول + کلین وید + لوانداکس (۴۹۸۸/۶ کیلوگرم در هکتار)، استومپ + کلین وید + کلین وید (۴۸۶۹/۵ کیلوگرم در هکتار) به‌طور مشترک در رتبه پس از وجین دستی قرار گرفتند، و تیمارهای استومپ + کلین وید و کاربرد جداگانه کلین وید به‌ترتیب با ۴۰۲۳/۹ و ۳۸۹۹ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین عملکرد دانه را تولید کردند (شکل ۵- ب).

کاربرد علف‌کش‌های پرول + کلین وید+ کلین وید (۵۰۲۹/۷ کیلوگرم در هکتار) نسبت به شاهد آلوده به علف هرز (۲۸۵۸/۴ کیلوگرم در هکتار) با ۷۶ درصد فزایش عملکرد همراه بود، درحالی‌که کاربرد یک مرحله کلین‌وید نسبت به شاهد آلوده به علف هرز ۳۶ درصد عملکرد را افزایش داد. کاربرد سه مرحله از علف‌کش در طی فصل رشد با مهار مطلوب علف‌های هرز و حذف اثرات منفی آن، محیط مناسبی را جهت رشد گیاه برنج فراهم کرده و حداکثر عملکرد دانه در این تیمارها حاصل شد. در بررسی اثر روش‌های مدیریت علف‌های هرز بر خصوصیات زراعی برنج هوازی و ندا در کشت بذری و نشایی، بیشترین وزن خشک برنج در کاربرد علف‌کش بیس-پیریباک‌سدیم + پندی متالین و تریافامون +پندی متالین مشاهده شد (Hejazirad *et al.*, 2023).



شکل ۳- شاخص سطح برگ برنج رقم الف) ندا و ب) فجر در شرایط هوازی

Figure 3- Leaf area index of Neda (a) and Fajr (b) rice cultivars under aerobic conditions

جدول ٤- برآورد پارامترهای حاصل از برازش مدل سه پارامتره گاوس به داده‌های شاخص سطح برگ برنج در شرایط هوازی

Table 4- Parameter estimates obtained from the fitting of three-parameter Gausian model to rice leaf area index data under aerobic conditions

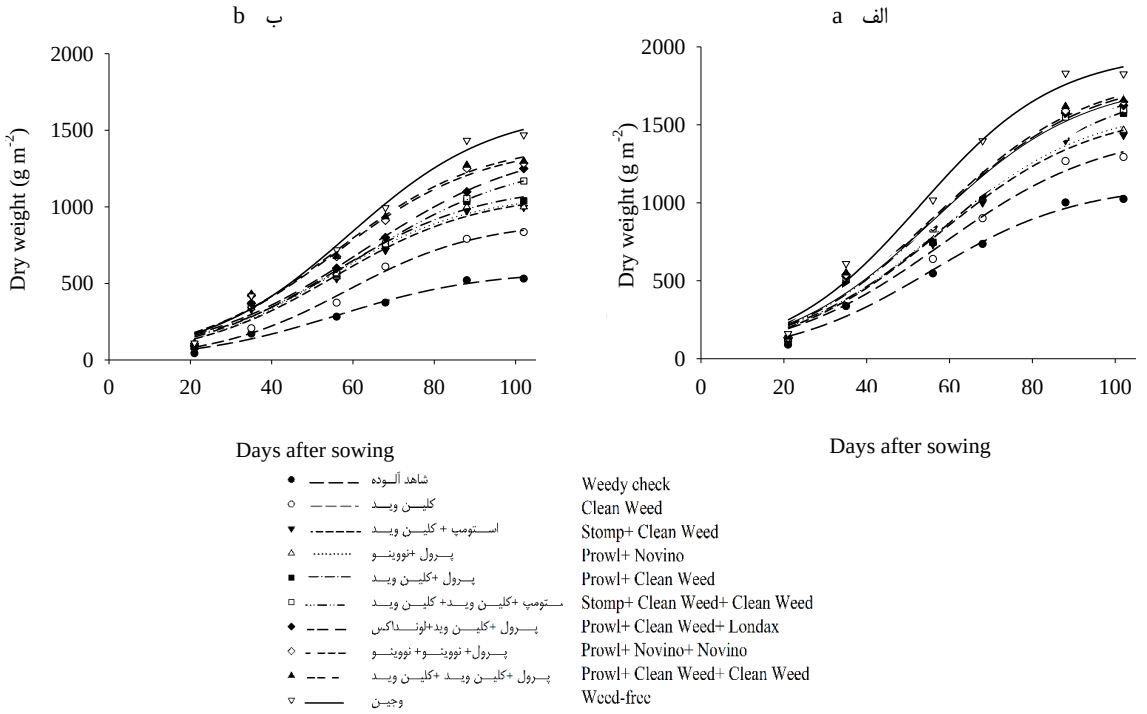
مقادیر داخل پرانتز بیانگر خطای معیار می‌باشد.

Values in prantheses denote standard error.

Treatment	Fajr			Neda		
	A_{max}	B	t_{100} (d)	A_{max}	B	t_{100} (d)
Weedy check	1.3 (0.1)	23.9 (2.5)	66.2 (3.6)	1.4 (0.1)	25.4 (2.6)	68.9 (3.4)
Clean Weed	1.7 (0.1)	27.7 (3.4)	69.8 (3.0)	1.9 (0.1)	27.4 (2.9)	69.3 (3.8)
Stomp + Clean Weed	2.1 (0.2)	27.7 (3.1)	68.7 (2.8)	2.2 (0.1)	27.6 (2.9)	68.3 (3.6)
Prowl + Novino	2.1 (0.2)	28.4 (3.3)	69.7 (2.9)	2.4 (0.2)	28.2 (3.4)	68.5 (3.0)
Prowl + Clean Weed	2.3 (0.2)	28.3 (3.8)	69.3 (3.4)	2.8 (0.2)	26.4 (2.8)	70.6 (2.5)
Stomp + Clean Weed + Clean Weed	3.0 (0.2)	26.3 (2.9)	71.4 (2.6)	3.3 (0.2)	26.0 (2.4)	71.1 (3.2)
Prowl + Clean Weed + Londax	3.0 (0.2)	26.2 (2.4)	71.8 (2.5)	3.4 (0.2)	25.9 (2.4)	70.9 2.2)
Prowl + Novino + Novino	3.2 (0.2)	26.2 (2.6)	71.8 (2.6)	3.5 (0.2)	25.9 (2.2)	71.3 (3.5)
Prowl + Clean Weed + Clean Weed	3.2 (0.2)	26.3 (2.6)	72.0 (3.2)	3.6 (0.2)	25.8 (2.2)	71.1 (3.0)
Weed-free	3.7 (0.2)	26.3 (2.6)	71.4 (3.0)	4.2 (0.2)	26.9 (2.7)	71.6 (3.4)

A_{Max}: حداکثر شاخص سطح برگ، b: شیب در نقطه t_{100}، t_{100}: زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ

Amax: maximum leaf area index; b: slope at t_{100}; t_{100}: time to 100% maximum leaf area index



شکل ٤- وزن خشک برنج رقم الف) ندا و ب)فجر در شرایط هوازی

Figure 4- Dry weight of Neda (a) and Fajr (b) rice cultivars under aerobic conditions

جدول ٥- برآورد پارامترهای حاصل از برازش مدل سه پارامتره سیگموئیدی به داده‌های وزن خشک برنج در شرایط هوازی

Table 5- Parameter estimates obtained from the fitting of three-parameter sigmoidal model to rice dry weight data under aerobic conditions

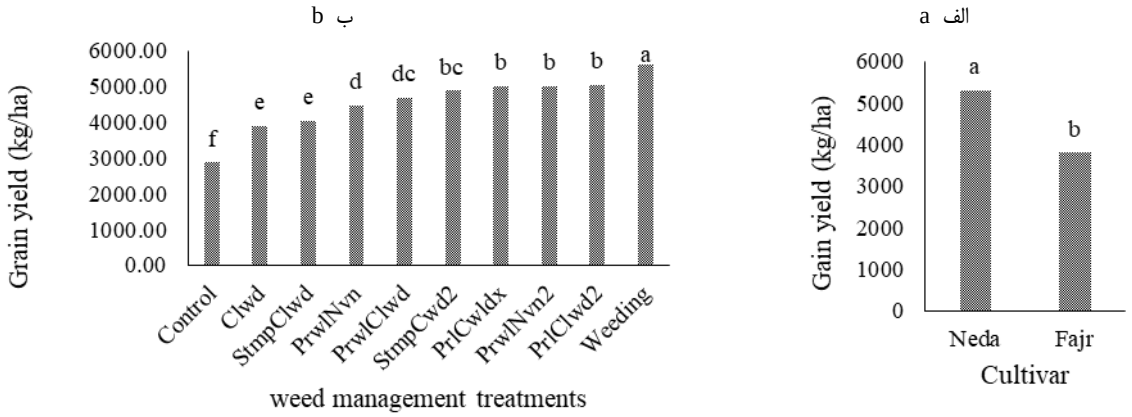
مقادیر داخل پرانتز بیانگر خطای معیار می‌باشد.

Values in prantheses denote standard error.

Treatment	Fajr			Neda		
	A_{max} (g. m^{-2})	B	t_{50} (d)	A_{max} (g. m^{-2})	B	t_{50} (d)
Weedy check	583.4 (51.0)	17.8 (3.5)	56.0 (4.7)	1121.9 (73.2)	17.9 (3.4)	55.4 (4.5)
Clean Weed	887.6 (59.8)	16.3 (2.5)	58.4 (3.3)	1432.6 (72.2)	19.6 (5.0)	58.2 (7.4)
Stomp + Clean Weed	1089.5 (55.5)	17.8 (3.5)	55.4 (4.7)	1599.5 (70.6)	18.6 (4.0)	57.3 (5.6)
Prowl+ Novino	1090.1 (63.4)	17.2 (3.6)	54.2 (4.7)	1623.7 (67.7)	18.5 (3.7)	57.0 (5.2)
Prowl + Clean Weed	1145.5 (66.2)	18.0 (4.0)	55.1 (5.4)	1677.5 (43.2)	17.7 (3.4)	55.8 (4.5)
Stomp + Clean Weed + Clean Weed	1324.0 (62.6)	20.2 (3.8)	61.0 (5.9)	1776.4 (47.5)	17.7 (3.4)	55.8 (4.1)
Prowl + Clean Weed + Londax	1418.5 (58.5)	20.4 (3.9)	62.1 (6.2)	1795.5 (44.2)	18.1 (2.8)	56.2 (3.8)
Prowl + Novino + Novino	1420.8 (60.2)	18.0 (3.6)	56.0 (4.9)	1818.2 (43.5)	18.3 (3.7)	56.7 (5.1)
Prowl+ Clean Weed + Clean Weed	1427.9 (61.5)	17.9 (3.6)	55.8 (4.9)	1826.7 (57.2)	18.3 (3.9)	56.6 (5.3)
Weed-free	1640.6 (57.6)	17.7 (3.2)	59.1 (4.5)	1968.4 (66.3)	16.5 (3.0)	53.9 (3.8)

A_{max}: حداکثر وزن خشک، b: شیب در نقطه t_{50}، t_{50}: زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر وزن خشک

Amax: maximum dry weight; b: slope at t_{50}; t_{50}: time to 50% maximum dry weight



شکل ۵- اثر رقم برنج (الف) و تیمارهای علف‌کشی (ب) بر عملکرد دانه برنج در شرایط کشت هوازی

Figure 5- Effect of rice cultiar (a) and herbicide treatments (b) on grain yield under aerobic conditions

Similar letters indicate non-significance at p<0.05.

حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در $p<0.05$ می‌باشد.

Control: شاهد آلوده به علف هرز، Clwd: کلین وید، StmpClwd: استومپ + کلین وید، PrwlNvn: پرول + نووینو، PrwlClwd: پرول + کلین وید، StmpCwd2: استومپ + کلین وید + کلین وید، PrlCwldx: پرول + کلین وید + لونداکس، PrwlNvn2: پرول + نووینو + نووینو، PrlClwd2: پرول+ کلین وید + کلین وید، Weeding: وجین

Control: weedy check; Clwd: Clean Weed; StmpClwd: Stomp+ Clean Weed; PrwlNvn: Prowl+ Novino; PrwlClwd: Prowl+ Clean Weed; StmpCwd2: Stomp+ Clean Weed+ Clean Weed; PrlCwldx: Prowl+ Clean Weed+ Londax; PrwlNvn2: Prowl+ Novino+ Novino; PrlClwd2: Prowl+ Clean Weed+ Clean Weed; Weeding: Weed-free treatment.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج، شایع‌ترین علف‌های هرز این مطالعه پهن برگ‌هایی همچون گاوپنبه، خربزه وحشی و خرفه و باریک برگ‌هایی مانند سوروف و پنچه مرغی بود. در بررسی صفات ریخت‌شناختی برنج، بیشترین ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و وزن خشک در رقم ندا مشاهده شد. میزان افزایش وزن خشک علف‌های هرز در رقم ندا کم‌تر از رقم فجر بود که این موضوع به ویژگی‌های ژنتیکی رقم و توانایی رقابتی آن‌ها مرتبط است. به عبارتی، رقم ندا به‌دلیل ویژگی‌های ریخت‌شناختی از جمله ارتفاع بوته، سطح برگ و تاج‌پوشش مناسب به کاهش رشد علف‌های هرز و در نتیجه کاهش وزن خشک علف‌های هرز منجر گردید، به‌طوری‌که وزن خشک علف‌هرز در رقابت با رقم ندا کمتر از ۸۰ گرم بر مترمربع بود، درصورتی‌که در رقابت با رقم فجر به بیش از ۸۰ گرم در مترمربع رسید، بنابراین رقم ندا به‌دلیل ویژگی‌های ریخت‌شناختی مناسب (ارتفاع بوته بالا، سطح برگ و...) در رقابت با علف‌های هرز موفق بود و این امر منجر به عملکرد بالاتری نسبت به رقم فجر شد. تیمارهای کاربرد سه مرحله علف‌کش به‌طور میانگین بیشترین کاهش وزن علف هرز داشت، درحالی‌که در تیمار یک مرحله، وزن خشک علف‌هرز کاهش چندانی نسبت به شاهد آلوده به علف هرز نداشت. بنابراین انتخاب رقم مناسب در شرایط وجود علف‌های هرز و همچنین کاربرد سه مرحله‌ای از علف‌کش‌ها بعد ازتیمار وجین در افزایش تولید بسیار اهمیت دارد.

References

1. Ala, A., AghaAlikhani, M., Amiri Larijani, B., & Soufizadeh, S. (2014). Comparison between direct-seeding and transplanting of rice in Mazandaran province: Weed competition, yield and yield components. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(3), 463-475. (in Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v12i3.22637
2. Anwar, M.P., Juraimi, A.S., Samedani, B., Puteh, A., & Man, A. (2012). Critical period of weed control in aerobic rice. *The Scientific World Journal*, *2012*, 603043. https://doi.org/10.1100/2012/603043
3. Chauhan, B.S., & Johnson, D.E. (2010). Implications of narrow crop row spacing and delayed *Echinochloa colona* and *Echinochloa crus-galli* emergence for weed growth and crop yield loss in aerobic rice. *Field Crops Research*, *117*(2-3), 177-182.
4. Derakhshan, A., Gherekhloo, J., & Bagherani, N. (2015). Effect of row spacing and herbicide application on the growth indices, yield and yield components of rice in direct seeding. *Journal of Crop Production*, *8*(2), 31-49. (in Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008739.1394.8.2.2.4

5. Esmaeli, M., Ahamadi khatir, M., Abbasi, R., & Kaveh, M. (2022). Evaluation of morphological traits, yield and yield components of different rice cultivars (*Oryza sativa* L.) in direct cultivation in competition with weeds. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *32*(2), 145-159. (in Persian). https://doi.org/10.22034/saps.2021.44978.2650
6. Gibson, K.D., Fischer, A.J., Foin, T.C., & Hill, J.E. (2003). Crop traits related to weed suppression in water-seeded rice (*Oryza sativa* L). *Weed Science*, *51*(1), 87-93. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0087:CTRTWS]2.0.CO;2
7. Hejazirad, P., Gherekhloo, J., Moumeni, A., Bagherani, N., Zeinali, E., & Soltani, F. (2023). Effect of weed management methods on agronomic traits, yield and yield components of Neda and aerobic rice cultivars under seeding and transplanting methods. *Weed Research Journal*, *2*, 39-54. (in Persian)
8. IRRI (2024). http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/growth/water-management/ faqs-about-water-management/item/difference-between-dry-seeded-rice-and-aerobic-rice. Last accessed: 8 Dec 2024.
9. Knezevic, S.Z., & Datta, A. (2015). The critical period for weed control: Revisiting data analysis. *Weed Science*, *63*(SP1), 188-202. https://doi.org/10.1614/WS-D-14-00035.1
10. Kumar, V., Ladha, J.K., & Gathala, M.K. (2009). Direct drill-seeded rice: A need of the day. Annual Meeting of Agronomy Society of America, Pittsburgh, November 1–5.
11. Mahajan, G., Gill, M.S., & Singh, K. (2010). Optimizing seed rate to suppress weeds and to increase yield in aerobic direct-seeded rice in Northwestern Indo-Gangetic plains. *Journal of New Seeds*, *11*(3), 225-238. http://dx.doi.org/10.1080/1522886X.2010.496109
12. Mahdavi, F., Esmaeili, M.A., Fallah, A., & Pirdashti, H. (2006). Study of morphological characteristics, physiological indices, grain yield and its components in rice (*Oryza sativa* L.) landraces and improved cultivars. *Iranian Journal of Crop Science*, *7*(4), 280-297. (in Persian).
13. Namuco, O.S., Cairns, J.E., & Johnson, D.E. (2009). Investigating early vigour in upland rice (*Oryza sativa* L.): Part I. Seedling growth and grain yield in competition with weeds. *Field Crops Research*, *113*(3), 197-206. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.05.008
14. Nie, L., Peng, S., Chen, M., Shah, F., Huang, J., Cui, K., & Xiang, J. (2012). Aerobic rice for water-saving agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *32*(2), 411-418.
15. Rajabian, M., Asghari, J., Ehteshami, M.R., & Yaghoubi, B. (2017). Response of landrace and improved genotypes of rice to weed competition in direct-seeded system. *Iranian Journal of Weed Science***,** *13*(1), 71-87. (in Persian) .
16. Rao, A.N., Johnson, D.E., Sivaprasad, B., Ladha, J.K., & Mortimer, A.M. (2007). Weed management in direct-seeded rice. *Advances in Agronomy*, *93*, 153-255. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)93004-1
17. Rashid, M.H., Alam, M.M., Khan, M.A.H., & Ladha, J.K. (2009). Productivity and resource use of direct-(drum)-seeded and transplanted rice in puddled soils in rice–rice and rice–wheat ecosystems. *Field Crops Research*, *113*(3), 274-281. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.06.004
18. Shibayama, H. (2008), Weeds and weed management in rice production in Japan. *Weed Biology and Managemen*t, *1*, 53-60. https://doi.org/10.1046/j.1445-6664.2001.00004.x
19. Singh, S., Bhushan, L., Ladha, J.K., Gupta, R.K., Rao, A.N., & Sivaprasad, B. (2006). Weed management in dry-seeded rice (*Oryza sativa*) cultivated in the furrow-irrigated raised-bed planting system. *Crop Protection*, *25*(5), 487-495. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.08.004
20. Sinha, M.K. (2017). Studies on weed diversity and its associated phytosociology under direct dry seeded rice systems in Koria District (CG) India. *Advances in Plants and Agriculture Research*, *7*(2), 246-252. https://doi.org/10.15406/apar.2017.07.00248
21. Sohrabi, S., Rashed Mohassel, M.H., Ghanbari, A., & Gherekhloo, J. (2014). Phenological characteristics of the invasive weed *Cucumis melo*. 26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und-bekämpfung, 11–13. März 2014 in Braunschweig. https://doi.org/10.5073/jka.2014.443.025
22. Sohrabi, S., Gherekhloo, J., & Rashed Mohasel, M.H. (2017). Plant invasion and invasive weeds of Iran. Mashhad University Press, Mashhad, Iran. 192 p. (in Perisan)
23. Zhao, D.L., Atlin, G.N., Bastiaans, L., & Spiertz, J.H.J. (2006). Cultivar weed-competitiveness in aerobic rice: Heritability, correlated traits, and the potential for indirect selection in weed-free environments. *Crop Science*, *46*(1), 372-380. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0192

Contents

Sublethal Effects of Thiocyclam hydrogen oxalate and Spiromesifen, on Life Table and Population Projection of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) 133
M. Abdollahzadeh-Bovani, F. Mehrkhou, M. Forouzan

Nutritional Interaction between Ladybird, *Adalia bipunctata* and Aphid, *Myzus persicae* Reared on Different Treatments of Mineral, Organic and Biological Fertilizers 153
M. Mardani-Talaee, J. Razmjou, G. Nouri-Ganblani , M. Hassanpour, B. Naseri

Evaluation of the Residue Levels of New Fungicides Dagonis® and Affiance® in the Control of Tomato Early Blight Disease 169
M. Morowati, K. Sharifi, V. Mahdavi

Seed Persistence of Asian Spiderflower (*Cleome viscose* L.) in the Soil Seed Bank 181
S. Mamashli, A. Siahmarguee, F. Ghaderi-Far

Effect of surfactant type and concentration on the properties of spray drop and solution of haloxyfop-R-methyl and its efficacy on wild barley (*Hordeum spontaneum* K. Koch) 199
Z. Younesi, A. Aliverdi, G. Ahmadvand

Weed Management and Growth Characteristics of Two Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars under Aerobic Conditions in Sari Township 215
S.Sh. Jafarnejad Mozirji, J. Gherekhloo, S. Sohrabi, A. Siahmarguee, S. Hassanpour-Bourkheili

Iranian Plant Protection Research

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol . 39 No. 2 2025

Published by: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Editor in charge: Valizadeh, R. (Ruminant Nutrition) Prof. Ferdowsi University of Mashhad

General Chief Editor: Taheri, P. (Plant Pathology) Prof. Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

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

Ferdowsi University of Mashhad

Iranian Plant Protection Research

Vol.39 No.2

2025

2010 ۱۳۸۹

انجمن قارچ شناسی ایران

Contents

Sublethal Effects of Thiocyclam hydrogen oxalate and Spiromesifen, on Life Table and Population Projection of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) 133
M. Abdollahzadeh-Bovani, F. Mehrkhou, M. Forouzan

Nutritional Interaction between Ladybird, *Adalia bipunctata* and Aphid, *Myzus persicae* Reared on Different Treatments of Mineral, Organic and Biological Fertilizers 153
M. Mardani-Talaee, J. Razmjou, G. Nouri-Ganblani , M. Hassanpour, B. Naseri

Evaluation of the Residue Levels of New Fungicides Dagonis® and Affiance® in the Control of Tomato Early Blight Disease 169
M. Morowati, K. Sharifi, V. Mahdavı

Seed Persistence of Asian Spiderflower (*Cleome viscose* L.) in the Soil Seed Bank 181
S. Mamashli, A. Siahmarguee, F. Ghaderi-Far

Effect of surfactant type and concentration on the properties of spray drop and solution of haloxyfop-R-methyl and its efficacy on wild barley (*Hordeum spontaneum* K. Koch) 199
Z. Younesi, A. Aliverdi, G. Ahmadvand

Weed Management and Growth Characteristics of Two Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars under Aerobic Conditions in Sari Township 215
S.Sh. Jafarnejad Mozirji, J. Gherekhloo, S. Sohrabi, A. Siahmarguee, S. Hassanpour-Bourkheili