نشریه علمی
پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
جلد ۳۹ شماره ۱
سال ۱۴۰۴
شماره پیاپی: ۶۷

عنوان مقالات

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 ۱ 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.

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

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 1, 2025, p. 1-12

Investigating Physical-Mechanical Characteristics and Biological Resistance to Termites *Microcerotermes diversus* Silvestri (Isoptera: Termitidae) of Heat oil-Treated Beech (*Fagus orientalis*) Wood

S. Soruri[1], L. Poursartip[2]*

1 and 2- Department of Forestry and Cellulose Industry Engineering, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran.
(*- Corresponding author's Email: poursartip@bktu.ac.ir)

Received: 28-09-2024
Revised: 30-12-2024
Accepted: 05-01-2025
Available Online: 29-04-2025

How to cite this article:
Soruri, S., & Poursartip, L. (2025). Investigating physical-mechanical characteristics and biological resistance to termites *Microcerotermes diversus* Silvestri (Isoptera: Termitidae) of heat oil-treated beech (*Fagus orientalis*) wood. *Iranian Plant Protection Research*, *39*(1), 1-12. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.2025.89057.1200

Introduction

The disadvantages such as vulnerability to destructive factors and instability in dimensions create limitations in wood consumption. Various methods for improving wood properties using heat treatments have been utilized, with the basis being the chemical alteration of wood through heat. Treatment with hot oil can enhance undesirable wood properties by ensuring uniform heat penetration throughout the wood structure, limiting oxygen access to reduce fire risk. Environmentally friendly heat treatments use natural and renewable oils without toxic substances. This study aimed to determine changes in biological resistance, physical, and mechanical properties of beech (*Fagus orientalis*) wood samples subjected to hot oil treatment using a warm-cool method, comparing results with control samples.

Materials and Methods

Beech wood specimens were prepared from defect-free air-dried logs, cut to standard dimensions for physical, mechanical, and biological tests. Wood samples were treated with sunflower oil, rapeseed oil, and a mixture of both using a warm-cool method. Tests for water absorption according to ASTM D4446-05 standard, three-point bending test and modulus of elasticity per ASTM D143-94 standard, and impact resistance per ASTM D256-04 standard were conducted. Both selective and non-selective termite feeding tests were performed under controlled laboratory conditions following AWPA-E1:06 2008 standard.

Results and Discussion

Control samples showed the highest weight loss in both tests compared to treated samples, significantly attracting termites. No significant differences in termite feeding percentage were observed among samples treated with different oils. Hot oil treatment significantly increased beech wood density compared to control samples. Samples treated with sunflower oil had significantly higher density than those treated with rapeseed or mixed oils. The increase in density may be attributed to the replacement of air within the cells with oil. The key factor contributing to this phenomenon is the heating of the air inside the wood cells using hot oil, which initially saturates the wood and subsequently creates a vacuum due to cold treatment. The vacuum created and the rapid

https://doi.org/10.22067/jpp.2025.89057.1200

contraction of air during cold immersion enhance the suction of oil into the wood cells. A significant difference in volumetric swelling was observed between the control samples and those treated with the mixture of the two oils after two hours of immersion. After 24 hours of immersion in water, the volumetric swelling of the control samples was significantly greater compared to all treated samples. Furthermore, impact resistance decreased following the heat treatment; however, no significant differences in impact resistance reduction were observed among the samples treated with different oils in this experiment. Additionally, the heat treatment did not have a significant effect on flexural strength and modulus of elasticity.

Conclusion

Sunflower oil, rapeseed oil, and their combination significantly influenced beech wood characteristics by reducing termite feeding across all treated woods noticeably. Hot oil treatment altered wood chemistry by degrading hemicellulose and increasing cellulose crystallinity while oils acted as barriers against moisture absorption, enhancing biological resistance in wood. Oil treatment increased beech wood density significantly depending on the density and viscosity of the oils used during treatment. The absorbed oils reduced empty spaces within the wood structure affecting weight and consequently density positively. Blocking moisture reduces the amount of water entering the wood structure, improving dimensional stability. Warm oil treatment significantly affects impact resistance but shows minimal changes in properties like modulus of elasticity and flexural strength compared to control samples. Research results indicate a decrease in mechanical properties of wooden samples at higher temperatures during laboratory testing, intensifying with treatment temperature increase. High temperatures affect cell wall components, potentially damaging materials like hemicelluloses, leading to reduced mechanical strength, especially impact resistance. Lower temperatures have less effect on strength reduction. With a maximum treatment temperature of 130 degrees Celsius considered in this study, which is not high compared to other heat treatments, less significant decreases in mechanical strength were observed, showing no significant difference between control and treated samples. Based on the conducted studies, the treatment of wood with heat-treated oil from rapeseed and sunflower, as well as a mixture of both oils, significantly increases the resistance of beech wood against termite attacks. On the other hand, the results indicate that the heat treatment can control and improve certain physical properties of wood, such as the degree of swelling, while it leads to a reduction in some mechanical resistances of the wood, including impact resistance.

Keywords: Durability, Rapeseed oil, Sunflower oil, Wood modification

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص. ۱۲-۱

بررسی ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی و مقاومت بیولوژیکی نسبت به موریانه *Microcerotermes diversus* Silvestri (Isoptera: Termitidae) چوب راش (*Fagus orientalis*) تیمارشده به‌روش روغن‌گرمایی

سپیده سروری[۱] - لادن پورسرتیپ[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷
تاریخ‌پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶

چکیده

چوب راش (*Fagus orientalis*) که به‌عنوان یکی از چوب‌های مهم در صنعت سلولزی ایران شناخته شده است، دارای بافتی همگن، درجه سختی بالا و مقاومت متوسط نسبت به عوامل مخرب بیولوژیکی است. این گونه چوبی صنعتی پرکاربرد نیز مانند بسیاری از چوب‌های دیگر، علی‌رغم دارا بودن ویژگی‌های مثبت، دارای ویژگی‌های نامطلوب نیز می‌باشد. مشکلاتی همچون جذب رطوبت و عدم مقاومت کافی در برابر حمله عوامل مخربی مانند موریانه، کاربرد آن‌را محدود ساخته است و به همین علت در سال‌های گذشته، تلاش برای کاهش معایب چوب افزایش یافته است. اکثر روش‌های حفاظتی چوب بر پایه استفاده از مواد شیمیایی است که باعث ایجاد آلودگی در محیط‌زیست می‌شوند. در این میان، روش‌های اصلاح حرارتی با استفاده از محیط روغنی به‌عنوان یک روش کاملاً سبز مورد توجه قرار گرفته‌اند، چرا که روغن‌های مصرفی در این نوع روش اصلاحی، از منابع طبیعی به‌دست می‌آیند و منجر به ایجاد آلودگی زیست‌محیطی نمی‌شوند. در مطالعه حاضر با استفاده از روغن کلزا، روغن آفتابگردان و مخلوط هر دو روغن به نسبت مساوی، چوب‌های راش در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت شش ساعت و سپس در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو ساعت تیمار شدند. سپس از چوب‌های تیمارشده برای اندازه‌گیری خواص فیزیکی، مکانیکی و مقاومت در برابر موریانه استفاده شد. داده‌های آزمایش با استفاده از آزمون آنالیز واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی و گروه‌بندی میانگین مقادیر آزمایش‌شده با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT)، به کمک نرم‌افزار SPSS 26، برای ارزیابی تفاوت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مقدار احتمال در این پژوهش برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد ($p<0/05$). نتایج آزمون فیزیکی نشان داد که میزان هم‌کشیدگی و واکشیدگی در تمام نمونه‌های تیمارشده نسبت به نمونه شاهد به‌میزان معناداری کاهش و چگالی افزایش پیدا کرد. همچنین آزمون‌های حفاظتی نشان‌دهنده کاهش معنادار حملات موریانه به نمونه‌های تیمارشده در مقایسه با نمونه شاهد بود. در آزمون مقاومت به ضربه، نمونه‌های تیمارشده نسبت به شاهد کاهش نشان دادند، امّا در مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته، نمونه‌های تیمارشده با شاهد دارای اختلاف معنی‌دار نبودند. هدف این مطالعه، بررسی اثر تیمار روغن-گرمایی به‌روش گرم-سرد بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و مقاومت بیولوژیک چوب راش نسبت به حمله موریانه *Microcerotermes diversus Silvestri* بود.

واژه‌های کلیدی: اصلاح چوب، دوام، روغن آفتابگردان، روغن کلزا

مقدمه

چوب به‌عنوان یک ماده تجدیدپذیر و پرکاربرد از گذشته تاکنون در زندگی بشر شناخته شده است و با توجه به ویژگی‌های منحصربه فردی که از لحاظ ظاهری و کاربردی دارد، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در کنار این ویژگی‌های مطلوب، معایبی همچون آسیب-پذیری در برابر عوامل مخرب، اشتعال‌پذیری و خاصیت آب‌دوستی و در نتیجه عدم ثبات در ابعاد، باعث ایجاد محدودیت‌هایی در مصرف

۱ و ۲- گروه مهندسی جنگلداری و صنایع سلولزی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص)، بهبهان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: poursartip@bktu.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jpp.2025.89057.1200

آن می‌گردد (Bazyar, 2012). روش‌های گوناگونی برای اصلاح ویژگی‌های چوب با استفاده از تیمارهای حرارتی همچون حرارت دادن چوب به‌طور مستقیم و بدون واسطه، تیمار حرارتی چوب در انواع روغن‌های گیاهی و شیمیایی، تیمار به‌وسیله بخار آب و روش‌هایی از این قبیل تا به امروز مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Salman *et al.*, 2017). این فرآیندها از جمله تکنیک‌هایی هستند که هدف اصلی آن‌ها، بهبود برخی ویژگی‌های چوب می‌باشد. اساس روش‌های اصلاح گرمایی، تغییر شیمی چوب با استفاده از حرارت است. گرما سبب تغییر و دگرگونی ماهیت شیمیایی مواد سازنده دیواره سلولی می‌گردد و تغییراتی را در ساختار آن‌ها ایجاد می‌کند. این تغییرات بیشتر در همی‌سلولزها و لیگنین رخ می‌دهد و سلولز کمتر از این مسئله تأثیر می‌پذیرد (Ghorbani & Hosseinzadeh, 2015). اصلاح حرارتی چوب منجر به بهبود برخی ویژگی‌های چوب مانند پایداری ابعاد، افزایش مقاومت بیولوژیک، بهبود ویژگی‌های رنگی و کاهش آب‌دوستی چوب می‌گردد (Abedini & Gorji, 2020)، بااین‌حال تیمارهای حرارتی ممکن است روی برخی از خصوصیت‌های چوب تأثیر منفی گذاشته و کاربرد آن را محدود نمایند (Ozcan *et al.*, 2012). در بسیاری از موارد، این اصلاح حرارتی با تخریب همراه است و سبب کاهش مقاومت مکانیکی چوب می‌شود. به همین دلیل، ایجاد تعادل بین کاهش جذب آب که یک ویژگی مثبت در چوب محسوب می‌شود وکاهش مقاومت‌های مکانیکی، با توجه به نوع کاربردی که از چوب انتظار می‌رود، بسیار مهم است (Tanaomi *et al.*, 2012). در اصلاح گرمایی برای انتقال حرارت به چوب می‌توان از انواع مختلفی از مواد به‌عنوان ناقل گرما مانند آب، روغن داغ، گازهای بی‌اثر مانند نیتروژن و غیره استفاده نمود. در سال‌های اخیر، استفاده از روغن‌های گیاهی در تیمارهای اصلاحی چوب افزایش یافته است. تیمار با روغن داغ در مقایسه با عملیات حرارتی معمولی می‌تواند خواص نامطلوب چوب را بهبود بخشد. روغن داغ سبب می‌شود که حرارت به‌صورت یکسان به داخل چوب نفوذ کند و در تمام ساختار چوب به‌شکل یکنواخت منتقل شود و از طرفی، دسترسی اکسیژن به چوب محدود می‌گردد تا خطر آتش‌سوزی کاهش یابد (Tanaomi *et al.*, 2012; Tasdelen *et al.*, 2019). در تیمارهای حرارتی، از روغن‌های طبیعی و تجدیدپذیر استفاده می‌شود که به‌دلیل عدم وجود مواد سمی در آن‌ها، دوستدار محیطزیست هستند. روغن‌های گیاهی طبیعی یا خام مانند روغن کلزا (*Brassica napus*)، روغن بذر کتان (*Linum usitatissimum*)، روغن آفتابگردان (*Helianthus annuus*)، روغن سویا (*Glycine max*) به‌عنوان یک محیط مناسب برای انتقال حرارت به چوب در تیمارهای روغن گرمایی استفاده می‌شوند و می‌توانند متنوع باشند (Dastoorian *et al.*, 2020).

با توجه به افزایش روز افزون استفاده از مواد شیمیایی که سلامت انسان و محیطزیست را تهدید می‌کند، تیمارهای اصلاحی چوب که با استفاده از روغن‌های گیاهی انجام می‌شود، هم می‌تواند خواص منفی چوب را بهبود بخشد و هم مخاطرات و مشکلات زیست‌محیطی را کاهش دهد، مشکلاتی که در اثر استفاده از مواد شیمیایی سمی به‌منظور بالا بردن مقاومت بیولوژیکی چوب‌ها می‌باشد.

بدیهی است نوع چوب مورد استفاده در تیمارهای اصلاحی نیز یکی از مشخصه‌های مهم در تعیین نتایج حاصله می‌باشد. برای انجام این مطالعه از چوب درخت راش (*Fagus orientalis*) استفاده شد. درختان راش در سرتاسر جنگل‌های شمال ایران، حوزه دریای خزر و همچنین در مناطقی با ارتفاع ۷۰۰ متر بالاتر از سطح دریا یافت می‌شوند. ارتفاع این گونه به ۳۵ متر و همچنین قطر تنه آن به ۱۵۰ سانتی‌متر می‌رسد (Mozaffarian, 2004). چوب راش که به‌عنوان یکی از چوب‌های مهم در صنعت سلولزی ایران شناخته شده است، دارای بافتی همگن، درجه سختی بالا و مقاومت متوسط نسبت به عوامل بیولوژیکی مخرب است. راش در مجموع چوبی راست‌تار، همگن و خوش‌کار است که این مسئله باعث محبوبیت آن در بخش‌های مختلف صنعت چوب شده است. این گونه چوبی صنعتی پرکاربرد نیز مانند بسیاری از چوب‌های دیگر، علی‌رغم دارا بودن ویژگی‌های مثبت، دارای ویژگی‌های نامطلوب نیز می‌باشد که کاربرد آن را محدود می‌کند. از جمله این محدودیت‌ها، تغییر ابعاد چوب در اثر جذب و دفع رطوبت و آسیب‌پذیری آن نسبت به عوامل مخرب بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی می‌باشد (Poursartip *et al.*, 2019). بنابراین اصلاح ویژگی‌های منفی آن می‌تواند در طولانی مدت صرفه اقتصادی بالایی را به دنبال داشته باشد. آسیب‌پذیری چوب راش نسبت به حشرات مخربی مانند موریانه‌ها، شدت نیاز به حفاظت مناسب این گونه برای حداکثر استفاده را نشان می‌دهد. راش به‌دلیل دارا بودن درصد بالاتری از سلولز در مقایسه با لیگنین، گزینه مناسبی برای هجوم موریانه به شمار می‌رود (Poursartip *et al.*, 2019). با توجه به موقعیت جغرافیایی استان خوزستان، بسیاری از مناطق این استان میزبان موریانه‌های مخربی از جمله گونه *Microcerotermes Diversus* Silvestri و سایر انواع موریانه‌های زیرزمینی می‌باشند. حبیب‌پور (Habibpour, 1994) طی مطالعه‌ای، گونه‌های مختلف موریانه را دراستان خوزستان شناسایی و اعلام کرد که در بین آن‌ها، گونه *M. diversu* در تمام شهرهای استان انتشار دارد و ازآنجایی‌که این گونه به گیاهان چوبی سر پا و چوب‌آلات موجود در منازل حمله می‌کند، از گونه‌های بسیار مهاجم به شمار می‌رود، چرا که دامنه تهاجمی وسیعی دارد، بنابراین حفظ چوب‌آلات ساختمانی یکی از دغدغه‌های مهم در این مناطق به شمار می‌رود. معمولاً برای کنترل و همچنین بالا بردن دوام چوب‌آلات در برابر حملات موریانه‌ها، از سموم و مواد شیمیایی استفاده می‌شود (Ayesha *et al.*, 2018). محققان به‌منظور جایگزینی سموم و آفت‌کش‌های

مرسوم، در حال مطالعه روی مواد جهت جایگزینی هستند، تا هم آسیبی به محیطزیست وارد نشود و هم بتواند در مقابل حمله موریانه-ها و اثرات مخرب ناشی از آن، کارآیی لازم را داشته باشد (Bignell, 2018).

این مطالعه با هدف تعیین تغییرات مقاومت بیولوژیکی نسبت به موریانه (*M. Diversus*) و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌هایی از چوب راش که تحت تیمار روغن‌گرمایی به‌روش گرم-سرد، با استفاده از روغن‌های آفتابگردان، کلزا و مخلوط دو روغن، قرار گرفتند و مقایسه نتایج با نمونه شاهد، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

چوب راش مورد نیاز برای انجام این تحقیق، از تنه راست‌تار و فاقد عیب به‌صورت خشک‌شده در هوای آزاد، به‌میزان مورد نظر از کارگاه چوب‌بری واقع در شهر اهواز تهیه و به ابعاد استاندارد برای انجام آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی و بیولوژیکی بریده شد. در مطالعه حاضر از موریانه *M. diversus* استفاده شد و به‌منظور جمع-آوری موریانه‌ها، از روش تله‌گذاری و کاشت طعمه‌های چوبی، در خاک بخشی از فضای سبز دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان استفاده گردید. پس از گذشت یک ماه و خروج طعمه‌ها از خاک، انتقال چوب‌های آلوده به پوره موریانه‌های *M. diversus* به آزمایشگاه صورت گرفت و پس از جداسازی موریانه‌ها از طعمه به کمک یک قلم موی نرم، به‌منظور رفع تنش، موریانه‌ها درون پتری-دیش‌های محتوی کاغذ صافی واتمن (۴۲) مرطوب، درون ژرمیناتور با دمای ۲۸±۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۸۰ درصد در شرایط تاریکی قرار گرفتند.

اصلاح روغن گرمایی (Oil -Heat- Treatment)

بلوک‌های راش جهت اصلاح به‌روش تیمار روغن گرمایی گرم-سرد، درون روغن‌های آفتابگردان، کلزا و مخلوط دو روغن، که با استفاده از دستگاه پرس سرد به‌صورت بکر، از شرکت تولید روغن به آسا، تهیه شده بودند، تیمار شدند. بدین صورت که طبق جدول ۱ نمونه‌ها در شش تکرار، تحت زمان و درجه‌حرارت معین، در قالب‌های حاوی روغن غوطه‌ور شدند. حداکثر دما با توجه به نقطه دود دو روغن آفتابگردان و کلزا انتخاب شد.

جدول ۱- شرایط تیمار روغن-گرمایی گرم و سرد

Table 1- Hot and cold oil-heat treatment conditions

Treatment	Treatment name	Heat treatment temperature (°C)	Heat treatment time (hours)	Cold treatment temperature (°C)	Cold treatment time (hours)
Sunflower	A	130	6	25	2
Rapeseed	B	130	6	25	2
Rapeseed & Sunflower	C	130	6	25	2
Control	SH	-	-	-	-

ابتدا دسته‌بندی بلوک‌ها براساس آزمون‌هایی که از قبل مشخص شده بودند انجام گرفت، سپس وزن خشک نمونه‌ها تعیین شد و نمونه‌ها به تفکیک، درون قالب‌های حاوی روغن‌های آفتابگردان، کلزا و مخلوط (۱ به ۱) از هر دو روغن به‌مدت ۳۰ دقیقه، تا رسیدن دمای روغن به دمای تیمار، درون آون قرار داده شدند. پس از طی مدت زمان مذکور و اطمینان از رسیدن دمای روغن به دمای مورد نظر، نمونه‌های چوبی به‌مدت شش ساعت در روغن گرم نگهداری شدند. همزمان با این فرآیند، آماده‌سازی روغن‌های سرد همانند مرحله گرم در قالب‌های مناسب تحت دمای ۲۵ درجه سلسیوس انجام شد. پس از گذشت مدت زمان شش ساعت از تیمار روغن گرم، نمونه‌های چوبی از آون خارج و بلافاصله در روغن‌های سرد از پیش آماده‌شده، به‌مدت دو ساعت قرار گرفتند. پس از اتمام این مدت، وزن نمونه‌ها تعیین شد تا میزان جذب روغن‌ها با توجه به وزن اولیه مشخص گردد (Var *et al.*, 2021).

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

به‌منظور بررسی اثر تیمار روغن گرمایی روی ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های تیمارشده، تعدادی از ویژگی‌های نمونه‌ها مانند درصد واکشیدگی حجمی پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب و چگالی خشک (Do) براساس استاندارد ISO 13061-2 (2014) محاسبه گردید، ابعاد نمونه‌ها برای بررسی‌های مذکور (شعاعی × مماسی × طولی) ۲۰ × ۲۰ × ۳۰ میلی‌متر و تعداد تکرار در هر تیمار هفت عدد در نظر گرفته شد. ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌های شاهد و تیمارشده شامل مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی پس از قرارگیری تحت آزمایش خمش سه نقطه‌ای با استفاده از دستگاه Instron مطابق آیین نامه استاندارد ASTM D 143-09 و آزمون مقاومت به ضربه مطابق آیین‌نامه D256 -04 استاندارد ASTM اندازه‌گیری شد. ابعاد نمونه‌ها ۲/۵ × ۲/۵ × ۴۱ سانتی‌متر، تعداد تکرار در هر تیمار هفت عدد و سرعت بارگذاری دستگاه ۱۰ میلی‌متر در دقیقه بود. لازم به توضیح

است که نمونه‌های مذکور قبل از انجام آزمون‌های مکانیکی به‌مدت دو هفته در اتاق کلیما با رطوبت نسبی ۲±۶۵ درصد و دمای ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد برای رسیدن به رطوبت تعادل ۱۲ درصد نگهداری شدند.

آزمون انتخابی و غیرانتخابی تغذیه موریانه

بررسی آزمون‌های سنجش درصد تغذیه موریانه براساس استاندارد AWPA E1-06 انجام شد. نمونه‌های چوبی تیمارشده، پس از خشک شدن درون آون با دمای۲±۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت، به‌منظور به‌دست آوردن وزن خشک، جهت انجام آزمون غیرانتخابی تغذیه موریانه درون پتری دیش با بستر خاک ورمی‌کولیت و ماسه قرار گرفتند و موریانه‌ها به هر واحد آزمایشی حاوی نمونه شاهد و نمونه‌های تیمارشده به‌طور جداگانه افزوده شدند. پس از قرارگیری به‌مدت سه هفته در ژرمیناتور تاریک با شرایط دمایی ۲±۲۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۸۰، نمونه‌ها خارج شده و مجدداً وزن خشک آن‌ها به‌دست آمد. تمامی مراحل مربوط به آزمون انتخابی تغذیه مطابق با روش غیرانتخابی انجام گردید، با این تفاوت که در هر واحد آزمایش، تمامی نمونه‌های تیمارشده به همراه نمونه شاهد در کنار هم قرار گرفتند و در این حالت، موریانه بین طعمه‌های موجود قدرت انتخاب دارد. پس از اتمام آزمایش، درصد کاهش وزن مطابق معادله ۱ محاسبه شد.

$$WL=(wp-wa)/wp\times100 \quad (۱)$$

که در آن، WL: درصد کاهش وزن، wp: وزن نمونه پس از خشک شدن در آون قبل از آزمون (بر حسب گرم) و wa: وزن نمونه بعد خشک شدن در آون پس از آزمون (بر حسب گرم) است.

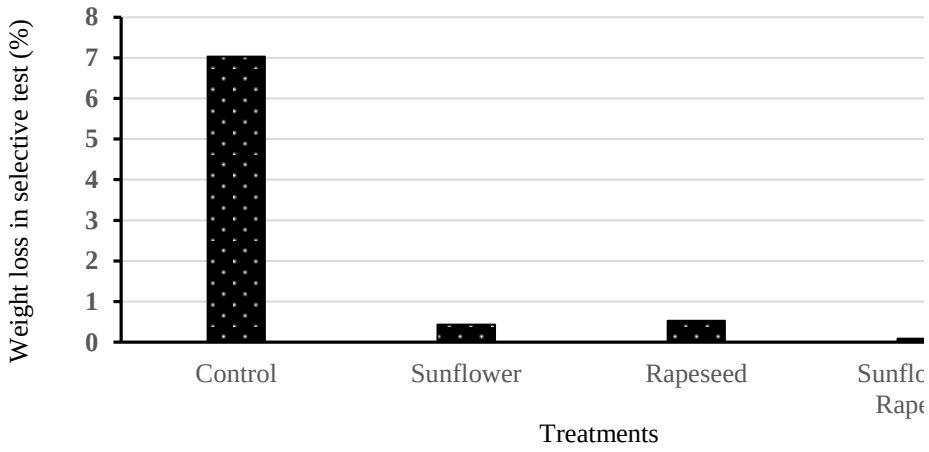
تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های آزمایش با استفاده از آزمون آنالیز واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی و گروهبندی میانگین مقادیر آزمایش شده با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT)، به کمک نرم‌افزار SPSS for windows 26، برای ارزیابی تفاوت‌ها مورد بررسی قرارگرفت. مقدار احتمال در این پژوهش برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد ($p<۰/۰۵$).

نتایج

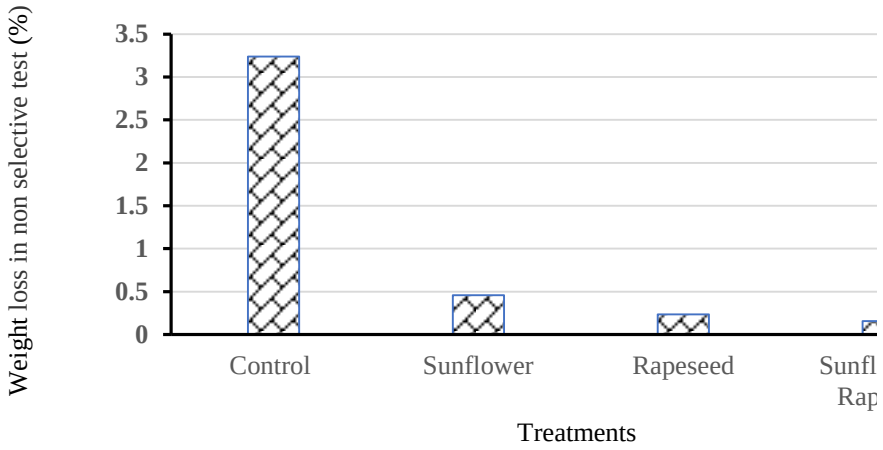
درصد کاهش وزن نمونه‌ها در آزمون‌های انتخابی و غیرانتخابی

شکل‌های ۱ و ۲، نتایج حاصل از آزمون‌های انتخابی و غیرانتخابی نمونه‌های چوبی نسبت به حملات موریانه را نشان می‌دهند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، نمونه‌های شاهد که هیچ‌گونه تیمار اصلاحی در مورد آن‌ها انجام نشده بود، در هر دو آزمون، بیشترین میزان کاهش وزن را در مقایسه با نمونه‌های تیمارشده داشته و به‌میزان قابل توجهی مورد هجوم موریانه واقع شده‌اند. درصد کاهش وزن بین نمونه شاهد و نمونه‌های تیمارشده در هر دو آزمون انتخابی و غیرانتخابی، به لحاظ آماری معنادار بود ($p<۰/۰۵$)، درحالی‌که بین هیچ‌کدام از گروه‌های تیمارشده با انواع مختلف روغن‌ها، اختلاف معناداری از لحاظ درصد کاهش وزن نمونه‌ها دیده نشد. تعداد هفت عدد تکرار برای هر دو تیمار انتخابی و غیرانتخابی، برای هر یک از روغن‌های مورد استفاده، در نظر گرفته شد.



شکل ۱- تیمار درصد کاهش وزن نمونه‌های چوبی در اثر تغذیه موریانه در آزمون انتخابی. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)

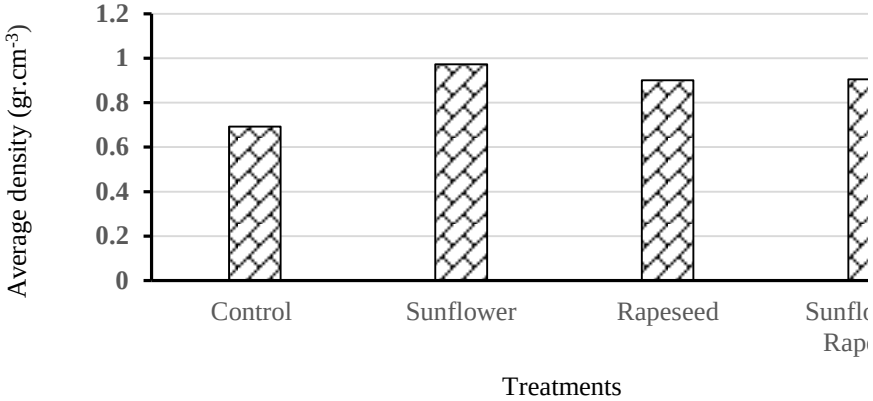
Figure 1- Weight loss percentage of wood samples in selective test Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)



شکل ۲- تیمار درصد کاهش وزن نمونه‌های چوبی در اثر تغذیه موریانه در آزمون غیرانتخابی. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 2- Weight loss percentage of wood samples in non- selective test Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)

ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها پس از تیمار روغن گرمایی چگالی

نتایج نشان می‌دهد که تیمار روغن‌گرمایی به‌روش گرم–سرد به‌طور قابل توجهی چگالی چوب راش را در مقایسه با نمونه شاهد افزایش داده است (شکل ۳). اختلاف چگالی نمونه‌های تیمارشده با روغن آفتابگردان با نمونه‌های تیمارشده با روغن کلزا و مخلوط دو روغن کلزا–آفتابگردان، به‌لحاظ آماری معنادار (p<۰/۰۵) و به‌میزان قابل توجهی بیشتر است. این در حالی است که کمترین چگالی مشاهده‌شده مربوط به نمونه‌های شاهدی است که تیمار روغن گرمایی در مورد آن‌ها انجام نشده است. تعداد هفت تکرار در هر تیمار روغن گرمایی با روغن‌های مورد آزمایش در نظر گرفته شد.

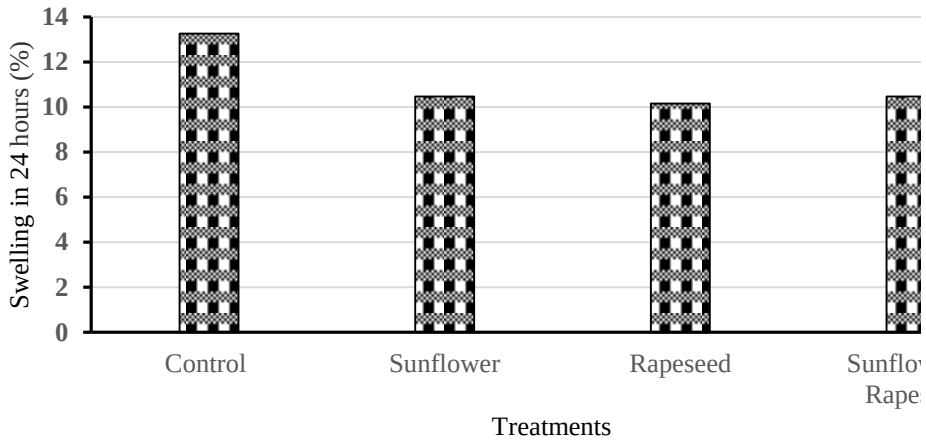


شکل ۳- تیمار میانگین چگالی نمونه‌های شاهد و تیمار شده. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 3- Average density of control and treated samples Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)

واکشیدگی حجمی

براساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمون درصد واکشیدگی حجمی ۲ و ۲۴ ساعته نمونه‌ها (با تعداد هفت تکرار در هر تیمار)، اختلاف واکشیدگی حجمی بین شاهد و نمونه‌های تیمارشده با مخلوط دو روغن، پس از دو ساعت غوطه‌وری به لحاظ آماری معنادار بود (p<۰/۰۵)، ولی نمونه‌های تیمارشده با دو روغن آفتابگردان و کلزا به‌تنهایی با نمونه‌های شاهد و مخلوط دو روغن اختلاف معناداری نداشتند (شکل ۴ و ۵). پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، میزان واکشیدگی حجمی نمونه‌های شاهد در مقایسه با تمامی نمونه‌های تیمارشده به لحاظ آماری معنادار و بیشتر بود (p< ۰/۰۵).

شکل ٤- تیمار واکشیدگی حجمی ۲ ساعته. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 3- Swelling in 2 hours Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)



شکل ٥- تیمار واکشیدگی حجمی ٢٤ ساعته. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 5- Swelling in 24 hours Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)

آزمون‌های مکانیکی

آزمون مقاومت به ضربه

شکل ۶، مقاومت چوب راش نسبت به نیروی ضربه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، تیمار روغن گرمایی چوب با استفاده از روغن‌های کلزا، آفتابگردان و مخلوط این دو روغن، اثر معنی‌داری بر این مقاومت دارد ($p< ۰/۰۵$). با انجام تیمار روغن گرمایی، از مقاومت به ضربه چوب راش کاسته می‌گردد. بین نمونه‌های تیمارشده با روغن‌های مورد بحث در این آزمایش، اختلاف معناداری از لحاظ کاهش مقاومت به ضربه مشاهده نگردید. تعداد تکرار در هر تیمار هفت عدد در نظر گرفته شد.

مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته

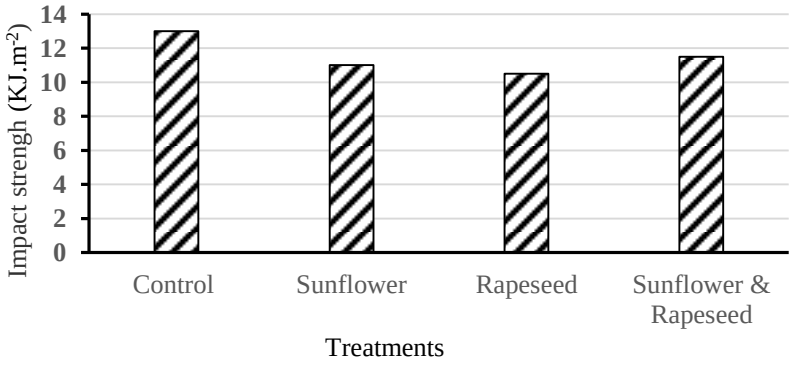
مطابق نتایج آزمون تعیین مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته نمونه‌های شاهد و تیمارشده، با هفت تکرار در هر تیمار (شکل‌های ۷ و ۸)، تیمار روغن گرمایی بر مدول گسیختگی و مدول گسیختگی چوب راش اثر معنی‌داری نداشت و بین نمونه‌های شاهد و تیمارشده اختلاف معناداری مشاهده نگردید.

بحث

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تیمار با دو روغن آفتابگردان و کلزا به‌صورت مجزا و نیز ترکیب دو روغن مذکور، تأثیر قابل توجهی

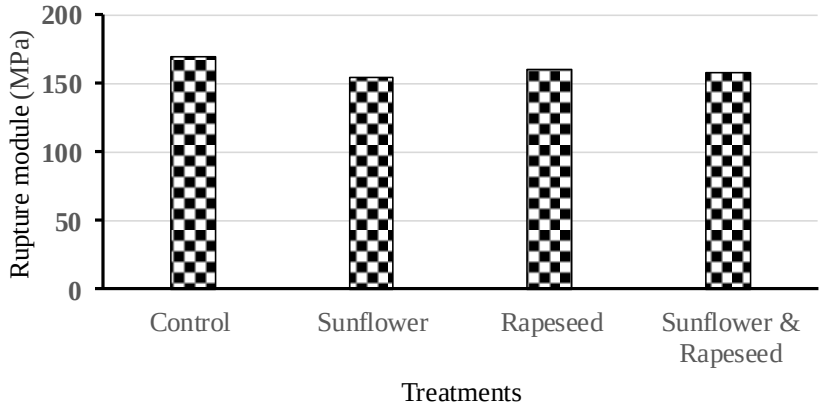
بر خصوصیات چوب راش دارد.

نتایج بررسی مقاومت بیولوژیکی چوب در مقابل خسارت ناشـی از تغذیه موریانه نشان داد که در تمامی چوب‌های تیمارشده با روغن‌های گیاهی، درصد خسارت توسط موریانه به‌میزان قابـل تـوجهی کـاهش یافته بود.



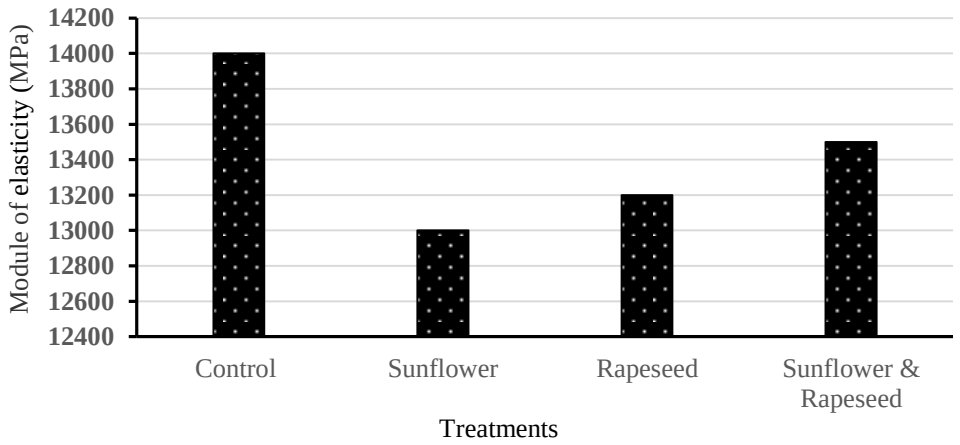
شکل ٦- تیمار مقاومت به ضربه. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)

Figure 6- Impact strengh Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)



شکل ۷- تیمار مدول گسیختگی. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)

Figure 7- Rupture module Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)



شکل ۸- تیمار مدول الاستیسیته. (نمونه کنترل، چوب خام بدون انجام تیمار می‌باشد)
Figure 8- Modulus of elasticity Treatment, (The control sample, is raw wood without treatment)

عدم امکان دسترسی به محتوای سلولز و همی سلولز در ماده چوبی، وجود ترکیباتی مانند لیگنین و مواد استخراجی بازدارنده در چوب، بالا بودن میزان چگالی چوب و وجود مواد افزودنی مانند سموم، از عوامل مهم عدم تمایل موریانه نسبت به ماده چوبی به شمار می‌روند (Perry & choe, 2020; Tay & James, 2021; Taravati, 2018) با توجه به اینکه تیمار روغن گرمایی باعث تغییراتی در ترکیبات شیمیایی چوب به‌ویژه تخریب همی سلولز و افزایش میزان بلورینگی سلولز می‌گردد و از سوی دیگر، با توجه به ترکیبات شیمیایی خاص روغن‌ها، زمینه ورود موادی که اغلب برای موریانه بازدارنده به شمار می‌روند را فراهم می‌کند، ازاین‌رو در مطالعه حاضر، کاهش شدت حملات موریانه به چوب می‌تواند ناشی از این عوامل باشد (Manalo & Acda, 2009).

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده افزایش میزان چگالی چوب پس از انجام تیمار روغن گرمایی بود. در هر سه تیمار، افزایش چگالی نسبت به نمونه شاهد مشاهده شد. نتایج نشان می‌دهد که چگالی نمونه‌ها در تیمار با روغن آفتابگردان نسبت به دو تیمار کلزا و مخلوط دو روغن به‌صورت معنی‌داری بیشتر است. این مسئله می‌تواند نشان دهد که خواص طبیعی مانند چگالی و ویسکوزیته روغن‌های مختلف بر مقدار جذب روغن توسط چوب تأثیر می‌گذارد. این نتایج با مطالعات برخی محققان مطابقت دارد (Falemara *et al.*, 2015; Poursartip *et al.*, 2019). جذب یا افزایش وزن با توجه به نوع روغن متفاوت است و در نتیجه، تأثیر متفاوتی در چگالی چوب تیمارشده قابل مشاهده است (Falemara *et al.*, 2015; Owoyemi *et al.*, 2013). افزایش چگالی چوب به‌میزان چگالی و ویسکوزیته روغن‌های مورد استفاده در طی عملیات تیمار نیز بستگی دارد. نتایج تحقیق وار و همکاران (Var *et al.*, 2021) نشان داد که مواد روغنی جذب‌شده توسط چوب باعث کاهش فضای خالی و در نتیجه، حجم هوای درون چوب می‌گردد و کاهش حجم فضاهای خالی چوب روی وزن آن و در نتیجه چگالی تأثیرگذار است. در این مطالعه مشاهده شد که تیمار با هر دو روغن کلزا و آفتابگردان و مخلوط آن‌ها باعث افزایش چگالی چوب راش گردید. افزایش چگالی می‌تواند به‌دلیل جایگزینی هوای درون سلول‌ها با روغن شود. عامل مؤثر بر این وضعیت گرم شدن هوای درون در سلول چوبی با استفاده از روغن داغ، در ابتدا اشباع چوب و سپس خلاء ایجادشده در اثر تیمار سرد می‌تواند باشد. خلاء ایجادشده و انقباض سریع هوا در هنگام غوطه‌وری سرد باعث مکش بیشتر روغن به درون سلول‌های چوبی می‌گردد (Ahmed *et al.*, 2019).

تیمار روغن گرمایی باعث کاهش میزان جذب آب و در نتیجه، کاهش واکشیدگی چوب و در نهایت، باعث افزایش ثبات ابعاد آن می‌گردد (Abedini & Gorj, 2020; Haseli *et al.*, 2024). مهم‌ترین علت کاهش جذب رطوبت چوبی که تیمار گرمایی شده است، تخریب ترکیبات همی‌سلولز و در نتیجه، کاهش تعداد گروه‌های OH در چوب می‌باشد که از مهم‌ترین عوامل در جذب مولکول‌های آب به شمار می‌روند (Asghari Aghmashhadi *et al.*, 2021). روغن داغ سبب تغییر در ماهیت شیمیایی و در برخی موارد سبب تخریب حرارتی مواد سازنده دیواره سلولی به‌خصوص همی‌سلولزها می‌گردد. در شرایط معمول، وقتی چوب در شرایط محیطی مرطوب قرار می‌گیرد، مولکول‌های آب بین پلیمرهای چوب نفوذ کرده و باعث واکشیدگی آن می‌شوند. در خلال تیمار حرارتی، دیواره‌های سلولی دچار تغییرات شده و تعداد گروه‌های هیدروکسیل

کاهش پیدا می‌کند، در نتیجه با کاهش گروه‌های هیدروکسیل، واکشیدگی کاهش پیدا کرده و ثبات ابعاد چوب بهبود می‌یابد (Abedini & Gorji, 2020). همچنین طی تیمار حرارتی، لیگنین نرم شده و می‌تواند منافذ دیواره سلولی را مسدود کند (Tasdelen *et al.*, 2019). در نتیجه، مقدار آب وارد شده به ساختار چوب کاهش پیدا کرده و ثبات ابعادی چوب بهبود می‌یابد.

طبق نتایج به‌دست‌آمده از بررسی مقاوت مکانیکی نمونه‌ها مشخص شد که تیمار روغن گرمایی با استفاده از دو روغن کلزا و افتابگردان و مخلوط دو روغن فقط روی مقاومت به ضربه نمونه‌ها تأثیر معنادار داشت و سایر ویژگی‌ها مانند مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی تغییر چندانی را در مقایسه با نمونه شاهد از خود نشان ندادند. نتایج تحقیقاتی که دماهای بالاتر را برای انجام آزمون‌های آزمایشگاهی خود انتخاب کرده‌اند، نشان‌دهنده افت در اغلب ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌های چوبی است و با افزایش دمای تیمار افت خواص تشدید می‌گردد (Lee *et al.*, Tanaomi *et al.*, 2012; 2018). دمای بالا به‌دلیل تأثیری که روی ترکیبات سازنده دیواره سلولی دارد و در بسیاری از موارد منجر به تخریب موادی همچون همی سلولزها می‌گردد، در نهایت می‌تواند منجر به کاهش مقاومت‌های مکانیکی چوب به‌ویژه مقاومت به ضربه گردد (Tanaomi *et al.*, 2012). این اثرات در دماهای پایین آزمایش تأثیر کمتری بر کاهش مقاومت‌ها دارند. در این تحقیق به‌دلیل اینکه دمای حداکثر تیمار ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد، که در مقایسه با تیمارهای حرارتی دمای بالایی محسوب نمی‌شود، لذا اثرات کاهش مقاومت‌های مکانیکی کمتر مشاهده گردید و اختلاف معنادار زیادی بین نمونه شاهد و نمونه‌های تیمارشده دیده نشد. فقط در مورد مقاومت به ضربه، نمونه‌ها با افت مقاومتی معناداری مواجه شد. تیمار گرمایی با روغن داغ همانند روش‌های دیگر تیمار گرمایی چوب می‌تواند منجر به خروج مواد دیواره سلولی گردد که این امر به‌دلیل تخریب کربوهیدرات‌های سازنده چوب و افزایش شکنندگی چوب و در نتیجه، مقاومت به ضربه نمونه تیمارشده است (Tanaomi *et al.*, 2012).

نتیجه‌گیری

طبق نتایج به‌دست‌آمده، تیمار روغن گرمایی با روغن کلزا و آفتابگردان و مخلوط هر دو روغن سبب افزایش مقاومت چوب راش در مقابل حملات موریانه می‌شود. از سوی دیگر، نتایج نشان دادند که تیمار روغن گرمایی می‌تواند برخی از ویژگی‌های فیزیکی چوب مانند میزان واکشیدگی را کنترل نموده و بهبود بخشد، ولی باعث کاهش برخی مقاومت‌های مکانیکی چوب از جمله مقاومت به ضربه می‌گردد. پیشنهاد می‌شود که برای تکمیل مطالعات در این زمینه، موضوعات زیر مورد پژوهش قرار گیرند:

۱- استفاده از تکنیک‌های مختلف تیمار جهت انجام اصلاح روغن گرمایی و مقایسه با نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر

۲- بررسی تأثیر استفاده از روغن‌های گوناگون، جهت اصلاح حرارتی چوب، بر مقاومت چوب در برابر سایر عوامل مخرب مانند قارچ‌ها

۳- بررسی و شناخت ترکیبات شیمیایی روغن‌های کلزا و بررسی اثرات آن‌ها روی فعالیت زیستی موریانه

References

1. Abedini, R., & Gorji, M. (2020). Effect of different oil heat treatment conditions on chemical structure and physical properties of wingnut (*Pterocarya fraxinifolia*) wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, *11*(2), 199-209. (In Persian with English abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089066.1399.11.2.3.9
2. Ahmed, F., Fouad, H., Liang, S., Hu, Y., & Mo, J. (2019). Termites and Chinese agricultural system: applications and advances in integrated termite management and chemical control. *Insect Science*, *28*, 2-20. https://doi.org/10.1111/1744-7917.12726
3. Asghari Aghmashhadi, Z., Ghorbani, M., Amininasab, S.M., & Abedini, R. (2021). The effect of different modification conditions on the efficiency of poplar wood epoxidation and the physical properties of the product. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, *11*(4), 645-656. (In Persian with English abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089066.1399.11.4.10.0
4. Ayesha, A., Akhtar, M.S., Tayyaba, B., & Imran, B. (2018). Efficacy of Biomax and Fiprokill against *Heterotermes indicola* (Wasmann). *Asian Journal of Agriculture and Biology*, *6*(1), 90-94.
5. Bazyar, B. (2012). Decay resistance and physical properties of oil heat treated aspen wood. *BioResources*, *7*(1), 0696-0705. https://doi.org/10.15376/biores.7.1.696-705
6. Falemara, B.C., Ampitan, T., & Oyeleye, I.O. (2015). Effects of hot and cold treatment techniques on preservative absorption of *Triplochiton Scleroxylon* (Obeche) against fungi attack. *Applied Tropical Agriculture*, *20*(1), 146-151.
7. Bignell, D.E. (2018). *Wood-feeding termites, In Saproxylic Insects.* Springer, Sydney, Australia, pp. 339-373.

https://doi.org/10.1007/978-90-481-3977-4

8. Dastoorian, F., Gasemi, M., Abedini, R., & Amini nasab, S.M. (2020). Effect of poplar wood impregnation with epoxidized soybean oil on the set recovery. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, *11*(3), 381-394. (In Persian with English abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089066.1399.11.3.4.2
9. Ghorbani, M., & Hosseinzadeh, S. (2015). Effect of heat-treatment with raw cotton seed oil on decay resistance and dimensional stability of beech (*Fagus orientalis*). *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, *6*(1), 119-131. (In Persian with English abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089066.1394.6.1.10.9
10. Habibpour, B. (1994). Termites (Isoptera) fauna, economic importance and their biology in Khuzestan. M.Sc. Thesis, College of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. 143 pp. (In Persian with English abstract).
11. Haseli, M., Efhami, Sisi, D., Abdolkhani, A., & Oladi, R. (2024). Effect of oil heat treatment on weathering resistance of poplar wood. *Journal of Forest and Wood Products*, *77*(1), 55-71. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jfwp.2024.371195.1279
12. Lee, S.H., Zaidon, A., Lum, W.C., Halip, J.A., Ang, A.F., Tan, L.P., Chin, K.L., & Tahir, M.P. (2018). Thermal treatment of wood using vegetable oils: A review. *Construction Build Material*, *181*, 408-419. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.058
13. Manalo, R.D., & Acda, M.N. (2009). Effects of hot oil treatment on physical and mechanical properties of three species of Philippine bamboo. *Journal of Tropical Forest Science*, *21*(1), 19-24.
14. Mozaffarian, V.A. (2004). *Trees and Shrubs of Iran*. Farhang Moaser Publication, Tehran, Iran, pp. 1470. (In persian).
15. Owoyemi, J.M., Olaniran, S.O., & Aliyu, I.D. (2013). Effect of density on the natural resistzance of ten selected nigerian wood species to subterranean termites. *Prolignio*, *9*(1), 32-40.
16. Ozcan, S., Ozcifci, A., Hiziroglu, S., & Toker, H. (2012). Effects of heat treatment and surface roughness on bonding strength. *Constr Build Mater*, *33*, 7–13. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.01.008
17. Perry, D.T., & Choe, D. (2020.) Volatile essential oils can be used to improve the efficacy of heat treatments targeting the western drywood termite: Evidence from a laboratory study. *Journal of Economic Entomol*, *113*(3). 1373-1381. https://doi.org/10.1093/jee/toaa177
18. Poursartip, L., Saadatvafa, K., & Rezayati Charani, P. (2019). Study on the feeding preference of *Microcerotermes diversus* Silvestri Termite to three species of beech, eucalyptus and cypres. *Iranian Plant Protection Research*, *33*(1). 35-43. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.v33i1.74552
19. Salman, S., Thévenon, M.F., Pétrissans1, A., Dumarçay, S., Candelier, K., & Gérardin, P. (2017). Improvement of the durability of heat-treated woos against termites. *Maderas. Ciencia y Tecnología* *19*(3), 317-328. https://doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000027
20. Tanaomi, A., Mohebbi, B., & Ghahri, S. (2012). The effect of oleothermal treatment on physical and mechanical properties of beech wood. *journal of Wood and Forest Science and Technology*, *19*(3), 111-126. (In Persian with English abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222077.1391.19.3.7.2
21. Taravati, S. (2018). Evaluation of low-energy microwaves technology (Termatrac) for detecting western drywood termite in a simulated drywall system. *Journal of Economic Entomology*, *111*(3), 1323-1329. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.1093/jee/toy063
22. Tasdelen, M., Can, A., & Sivrikaya, H. (2019). Some physical and mechanical properties of maritime pine and poplar exposed to oil-heat treatment. *Turkish Journal of Forestry*, *20*(3), 254-260. https://doi.org/10.18182/tjf.566647
23. Tay , J.W., & James, D. (2021). Field demonstration of heat technology to mitigate heat sinks for drywood termite (Blattodea: Kalotermitidae) management. *Insects*, *12*(12), 1090. https://doi.org/10.3390/insects12121090
24. Var, A.A., Yalcin, M., Yalcin, O.U., & Demir, M. (2021). Effects of hot-cold oil treatment on biological. Resistance and physical properties of Brutia Pine Sapwood. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, *23*(42), 1-12. https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100442

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 1, 2025, p. 13-27

Effective Control of Two-spotted Spider Mite and European Red Mite in Apple Orchards

M. Rezaie[1*], M. Forouzan[2], M.S. Emami[3], S. Kardgar[4], D. Shirdel[5]

1- Zoology Research Department, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
2- West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urima, Iran.
3- Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran.
4- Agricultural Jahad Organization of Tehran Province, Firouzkoh, Iran.
5- East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz, Iran.
(*- Corresponding author's Email:ma.rezaie@areeo.ac.ir)

Received: 26-06-2024
Revised: 18-09-2024
Accepted: 05-10-2024
Available Online: 29-04-2025

How to cite this article:
Rezaie, M., Forozan, M., Emami, M.S., Kardgar, S., & Shirdel, D. (2024). Effective control of two-spotted spider mite and European red mite in apple orchards. *Iranian Plant Protection Research*, *39* (1), 13-27. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88690.1197

Introduction

Two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch and European red mite, *Panonychus ulmi* (Koch) are the most important pests of apple orchards in different parts of Iran. Spider mites suck leaf fluids and chlorophyll, resulting in "bronzed" foliage. Slightly damaged leaves cause little or no adverse effect to crop. Extensive leaf bronzing results in decreased photosynthesis, often causing reduced fruit size, premature drop and reduction in fruit set the following year. The most serious injury occurs in early summer when trees are producing fruit buds for the following season. The spider mites are associated with characteristic webbing on the under surface of the leaf.

Materials and Methods

The combination of winter, spring and agricultural control was implemented in the apple orchards of Tehran (Firuzkuh), Isfahan (Semirom), East Azerbaijan (Maragheh) and West Azerbaijan (Urima) provinces in the form of several treatments. In the winter control, when the tips of the buds turn green, by observing the moderate to heavy infestation of red mite eggs in tree branches (80-100 per 2 m), by using (Abamectin (0.5 mL L^{-1}), Clofentezin (0.5 mL L^{-1}), Tetradifon (2 mL L^{-1}), Hexythiazox (0.5 mL L^{-1}))+Volck oil (2%), Hexythiazox (0.5 mL L^{-1})+ Dayaban (2 mL L^{-1}) and Volck oil were used. In separate treatment, without using winter control, spring control will be used. Spring spraying was done by observing three to five active mites (spider mite or red mite) stages on the surface of each leaf. We used Envidor speed 0.4 mL L^{-1}, Danisaraba 1 mL L^{-1} and Abamectin 0.5 mL L^{-1} for spring treatments. The percentage of mite mortality after treatment was analyzed separately in different regions. In this research, the effect of early spring or winter plowing on the population of spider mites

https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88690.1197

was investigated in different provinces. The meteorological data in the year of the experiment (air temperature, air humidity, air precipitation, soil temperature and soil humidity) were analyzed separately.

Results and Discussions

Abamectin, Clofentezin, Tetradifon, Hexythiazox + Volck oil, Hexythiazox + Dayaban and Volck oil caused significant reduction of red mite eggs. The time of using acaricides in winter in Tehran, Isfahan, West Azarbaijan and East Azarbaijan provinces was March 16, March 18, March 5 and March 11, respectively. The mean mortality percentage of mites in Isfahan,Tehran, West Azerbaijan and East Azerbaijan province were 84, 59, 66, 77%, respectively. The time of using acaricides in spring treatments in Tehran, Isfahan, West Azarbaijan and East Azarbaijan provinces was Jun 3, Jun17, Jun19 and Jun 26, respectively. In Isfahan province, the mortality percentage of mites with Envidorspeed, Cyflumetofen and Abamectin were 72.28, 82.46 and 74.88% in European red mites and 68.18, 79.44 and 77.88% for two-spotted spider mite. In Tehran province, the mentioned pesticides caused 75.78, 76.54 and 73.27% mortality for European red mites and 68.75, 80.56, 79.37 % in two-spotted spider mite in thirty days after treatment. In West Azarbaijan province and East Azarbaijan province has been a significant decrease in the mite population, the percentage of red mite mortality in these provinces were 85.39 and 92.00% when used Envidorspeed 0.4 mL L^{-1} and the percent mortality were 92.27 and 85.20% when used Cyflumetofen 1 mL L^{-1}. The percentage of spider mite mortality in these provinces were 81.29 and 89.00% (used Envidorspeed), 92.27 and 87.23% (used Cyflumetofen). In East Azarbaijan province, the acaricides were used the pest management program (codling moth and Powdery mildew) and Envidorspeed and Cyflumetofen were used to control mites.

Conclusions

Difference in the outbreak time of the two-spotted spider mite and the European red mite was due to different weather conditions in the studied areas. The difference in the percentage of mortality of the mite pests was due to the change of weather conditions in the winter of the previous year in the investigated areas. The time to use acaricides in winter and spring treatments depends on the region and its weather conditions. In winter, control was done earlier in West Azarbaijan province than in other regions, which was due to the warmer winter in the year under review. The amount of rain and wind also affects the control time. In spring, in Tehran province, the time to use acaricides was earlier than in other regions, the reason being that this region is warmer. Winter control showed an acceptable effect to control of European red mite and spring control showed a similar effect to control of Two-spotted spider mite.

Keywords: Acaricide, Mortality, Pest mite, Volck oil، Winter control

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص. ۲۷-۱۳

مهار موثر کنه تارتن دو لکه‌ای و کنه قرمز اروپایی در باغ‌های سیب

مریم رضائی[۱]*- مریم فروزان[۲] - محمد سعید امامی[۳] - سیف‌الله کاردگر[۴] - داود شیردل[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۴

چکیده

کنه تارتن دو لکه‌ای و کنه قرمز اروپایی از آفات مهم باغ‌های سیب در کشور محسوب می‌شوند. تلفیق کنترل شیمیایی زمستانه، بهاره و کنترل زراعی (شخم زمستانه) در باغ‌های استان‌های تهران، اصفهان، آذربایجان شرقی و غربی در قالب چند تیمار اجرا شد. در کنترل زمستانه زمانی که نوک جوانه‌ها سبز شدند، با مشاهده آلودگی متوسط تا زیاد تخم کنه قرمز (۸۰-۱۰۰ در دو متر از سرشاخه‌ها) از کنه‌کش‌های آبامکتین، کلوفنتزین، تترادیفون، هگزی‌تیازوکس همراه با روغن ولک، ترکیب هگزی‌تیازوکس + دایابون و روغن ولک دو درصد استفاده شد، در هر استان، کنترل شیمیایی بهاره (انویدور اسپید (۰/۴ در هزار) و سایفلومتوفن (یک در هزار) و آبامکتین (۰/۵ در هزار)) با مشاهده سه تا پنج کنه قرمز یا کنه تارتن در سطح برگ انجام شد. در زمستان و اوایل بهار برای از بین بردن مراحل زمستان‌گذران کنه تارتن دو لکه‌ای، در هر چهار استان مورد بررسی، شخم زمستانه انجام و نسبت به شاهد مقایسه شد. داده‌های هواشناسی در سال انجام آزمایش به تفکیک بررسی شد. درصد تلفات ۵۴-۸۶ درصدی در جمعیت تخم زمستان‌گذران کنه قرمز در تیمارهای مختلف مشاهده شد. درصد تلفات جمعیت کنه قرمز اروپایی در استان اصفهان، در صورت استفاده از انویدور اسپید، سایفلومتوفن و آبامکتین در کنترل شیمیایی بهاره به‌ترتیب ۷۲/۲۸، ۸۲/۴۶ و ۷۴/۸۸ درصد و درصد تلفات کنه تارتن دو لکه‌ای ۶۸/۱۸ ، ۷۹/۴۳ و ۷۷/۱۸ درصد بوده است. در استان تهران هم آفت‌کش‌های مذکور باعث ۷۸/۷۵، ۷۶/۵۴ و ۷۳/۲۷ درصد تلفات در تعداد کنه قرمز اروپایی و ۶۸/۷۵، ۸۰/۵۶ و ۷۹/۳۷ درصد در تعداد کنه تارتن دو لکه‌ای ۳۰ روز بعد از تیمار شدند. در آذربایجان غربی در صورت استفاده از انویدور اسپید و سایفلومتوفن به‌ترتیب ۸۵/۳۹ و ۹۲/۲۷ درصد تلفات جمعیت کنه قرمز اروپایی و ۸۱/۲۹ و ۹۲/۲۷ درصد تلفات کنه تارتن دو لکه‌ای گزارش شد. در استان آذربایجان شرقی، تیمار کنه‌کش‌ها در قالب برنامه مدیریت آفات (مهار کرم سیب و سفیدک‌ها) صورت گرفت و کنه‌کش‌های انویدور اسپید و سایفلومتوفن در مهار کنه‌های درختان سیب کاربرد داشتند. تفاوت در زمان طغیان کنه تارتن دو لکه‌ای و کنه قرمز اروپایی به‌دلیل شرایط متفاوت آب‌وهوایی در مناطق مورد بررسی بوده است. تفاوت در درصد تلفات کنه‌های زیان‌آور به‌دلیل تغییر دما در زمستان سال قبل در مناطق مورد بررسی بوده است. تأثیر شخم زمستانه باعث ۳۶-۶۱ درصد مهار کنه تارتن شده است. کنترل زمستانه تأثیر قابل قبولی در مهار کنه قرمز اروپایی و کنترل بهاره تأثیر مشابهی در مهار کنه تارتن دو لکه‌ای نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تلفات، روغن ولک، کنه آفت، کنه‌کش، مهار

۱- بخش تحقیقات جانورشناسی کشاورزی، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران
۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۴- سازمان جهاد کشاورزی استان تهران، فیروزکوه، ایران
۵- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: ma.rezaie@areeo. ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88690.1197

مقدمه

سیب از مهم‌ترین محصولات باغی در نقاط مختلف کشور محسوب می‌شود. کنه قرمز اروپایی(Koch) *Panonychus ulmi* و کنه تارتن دو لکه‌ای Koch *Tetranychus urticae* از آفات مهم درختان سیب در ایران و جهان به‌شمار می‌روند. تغذیه، طغیان جمعیت، خسارت کنه قرمز اروپایی و کنه تارتن دو لکه‌ای در سه دوره رشدی گل‌دهی، تشکیل برگ، رشد و شکل‌گیری میوه می‌تواند منجر به کاهش کمّی و کیفی محصول درخت سیب شود و ازاین‌رو کنترل شیمیایی امری اجتناب‌ناپذیر است. در سال‌های اخیر به‌دلیل مصرف بی‌رویه آفت‌کش‌های کشاورزی و همچنین افزایش دما، کنه‌ها به‌عنوان آفات کلیدی مطرح شده‌اند. در ایران تا چند نوبت از آفت‌کش‌ها برای مهار کنه‌های آفت درختان سیب استفاده شده است. مصرف بی‌رویه کنه‌کش‌های معمول از کارآیی آن‌ها کاسته است. استفاده از کنه‌کش‌های جدید به‌علت غلظت مصرفی کم، کارایی بالا، فقدان اثرات سوء گیاه‌سوزی و اثرات سوء کمتر روی دشمنان طبیعی و محیط زیست، توجیه اقتصادی و اجتماعی دارد (Rhamani *et al.*, 2012).

کنه قرمز اروپایی تا سال ۱۳۵۳ در ایران جزء آفات مهم قرنطینه ای کشور محسوب می‌شد. اولین بار در سال ۱۳۵۳ به‌وسیله صلواتیان روی نهال‌های سیب وارد شده به منطقه گرگان از کشورهای سوئیس و فرانسه مشاهده شد (Mustaan, 1987). با ورود کنه قرمز اروپایی توسط نهال‌های ارقام سیب درختی وارداتی (قرمز و زرد طلایی) از فرانسه و توسعه باغ‌های مدرن، آلودگی به کنه‌های آفت در سطح کشور گسترش یافت (Arbabi *et al.*, 2003).

استفاده غیر اصولی و مکرر آفت‌کش‌های غیر اختصاصی، به کارگیری غلظت‌های بیشتر از حد مجاز توصیه شده و رعایت نکردن تناوب در کاربرد آفت‌کش‌ها، باعث به‌هم‌خوردن تعادل اکوسیستم به‌نفع کنه‌های زیان‌آور شده است (Arbabi *et al.*, 1997). پژوهش‌های انجام شده نشان داد که در جهان، حدود ۸۰ درصد از کنه‌کش های مصرفی برای کنترل *P. ulmi*, *Panonychus citri* (McGregor) و *T. urticae* به‌کار گرفته شده است (Van Leeuwen *et al.*, 2015).

ازآن‌جاکه کنه قرمز اروپایی و کنه تارتن دو لکه‌ای قادر هستند که نسل‌های متعددی در طول یک فصل زراعی ایجاد کنند و در میان سوش‌های مختلف این کنه‌ها قابلیت بروز پدیده مقاومت به کنه‌کش‌ها در نقاط مختلف دنیا نیز مشاهده شده است، به‌کارگیری آفت‌کش‌های مختلف در تناوب و استفاده از کنترل زراعی به‌منظور جلوگیری از پدیده مقاومت این آفت‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است. حفظ و احیای دشمنان طبیعی نیز از موارد مهم است. با توجه به سم‌پاشی‌های مکرر در باغ‌های سیب کشور، فون غنی دشمنان طبیعی کنه‌های آفت در باغات سیب تقریباً از بین رفته است، بنابراین با کنترل شیمیایی و زراعی (شخم‌زدن) در زمان مناسب از تعداد نوبت‌های سم‌پاشی کاسته خواهد شد (Arbabi *et al.*, 2003).

با توجه به سطح زیر کشت باغ‌های سیب و اهمیت اقتصادی ویژه‌ای که برای مناطق مختلف کشور دارد، به‌کارگیری آفت‌کش‌هایی که بیشترین تأثیر را روی این کنه‌های آفت داشته باشند، از اهمیت بالایی برخوردار است.کنترل شیمیایی آفات به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های مبارزه در مدیریت تلفیقی نقش مهمی دارد و همیشه در کنار سایر روش‌های مهار، استفاده از آفت‌کش‌ها در حد معقول و منطقی لازم و ضروری است، در این پژوهش برای مهار دو کنه آفت کلیدی باغ‌های سیب در چهار منطقه (استان تهران، اصفهان، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی) از روش کنترل شیمیایی و زراعی استفاده شد. در کنترل زراعی از شخم اوایل بهار و یا در انتهای زمستان (بسته به شرایط آب‌وهوایی منطقه مورد بررسی) برای کنترل مراحل زمستان‌گذران کنه تارتن دو لکه‌ای استفاده شده است.کنترل زمستانه کنه قرمز اروپایی از موارد مورد نظر در این پژوهش است که با روغن ولک و کنه‌کش‌های مناسب برای مهار تخم‌های زمستان‌گذران کنه قرمز صورت گرفت. تعیین زمان مهار آفت و تعیین زمان طغیان آفت با استفاده از داده‌های هواشناسی در هر منطقه صورت گرفته است.کنترل بهاره کنه تارتن و کنه قرمز هم توسط چند آفت‌کش در صورت وجود سه تا پنج کنه فعال از هرکدام از کنه‌های آفت در برگ درخت سیب انجام گرفت و در نهایت، کارآیی عوامل مورد بررسی تعیین شد.

مواد و روش‌ها

محل اجرا: این پژوهش در چهار استان تهران، اصفهان، آذربایجان شرقی و غربی در بهار، طی تابستان و زمستان سال‌های ۱۴۰۰-۱۴۰۱ انجام شد. در استان آذربایجان غربی در باغ‌های سیب رقم رد دلیشجز شهرستان ارومیه در دهستان بالانج (N 49.8550 E 42.69734)، در استان آذربایجان شرقی در شهرستان مراغه در روستای داش آتال (N 37.2087 E 46.2288)، در استان اصفهان در شهرستان سمیرم در دهستان پادانا علیا (N 30.9287 E 51.6688)، در استان تهران در شهرستان فیروزکوه در دهستان دوبلور (N 39.6135 E63.5489) آزمون‌ها در سه فصل زمستان، بهار و تابستان اجرا شد.

داده‌های هوا شناسی: داده‌های هواشناسی شامل درجه حرارت، رطوبت نسبی محیط، میزان بارش، دما و رطوبت سطح خاک

(هفت سانتی‌متری) است که در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ به‌صورت روزانه از سایت سازمان هواشناسی کشور برداشت شده است و نمودار براساس داده‌های میانگین ۱۰ روزه در این پژوهش ثبت شده است.

آزمون‌های زمستانه: برای تعیین درصد آلودگی درخت‌ها به کنه قرمز اروپایی، در زمستان در فواصل زمانی اسفند تا اوایل فروردین، حداقل ۱۰ درخت به‌صورت تصادفی از باغ انتخاب می‌شود، از شاخه‌های چهار طرف درخت نمونه‌برداری صورت گرفت، دو متر از شاخه‌ها به‌صورت واحد نمونه‌برداری انتخاب شد. در صورت وجود ۸۰ تا ۱۰۰ تخم کنه قرمز اروپایی در دو متر از شاخه‌های درخت، سم‌پاشی صورت گرفت. نمونه‌برداری یک روز قبل از سم‌پاشی و ۳۰ روز بعد از سم‌پاشی صورت گرفت. تیمارها در هر استان بسته به عرف منطقه شامل تیمارهای تترادیفون[1] دو در هزار + روغن ولک[2] دو درصد، تترادیفون دو در هزار + روغن EC (روغن امولسیون‌شونده)، هگزی‌تیازوکس[3] نیم در هزار + روغن ولک، هگزی‌تیازوکس نیم در هزار + روغن EC، هگزی‌تیازوکس نیم در هزار + دایابون[4] (روغن گیاهی تهیه شده از کرچک) دو در هزار، هگزی‌تیازوکس + دایابون چهار در هزار، کنه‌کش (تخم‌کش) کلوفنتزین (آپولو)[5] به‌مقدار ۰/۲۵ در هزار + روغن ولک دو درصد و شاهد بوده است (جدول ۱). درصد کارآیی کنه‌کش‌ها توسط فرمول هندرسون تیلتون محاسبه شد.

با جمع‌آوری و پایش شرایط دمایی روزانه در اواخر زمستان و تعیین درصد آلودگی در درختان و پوشش گیاهی باغ مورد بررسی، زمان ظهور کنه تارتن و طغیان آفت مشخص شد.

آزمون‌های بهاره و تابستانه: برای تعیین درصد آلودگی در بهار و تابستان، ۳۰ برگ به‌صورت تصادفی از نقاط مختلف درخت‌ها (۱۰ درخت) در چند قسمت باغ انتخاب کرده و برگ‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند و در زیر بینوکلار با قرار دادن کادر مربعی دو سانتی‌مترمربع، تعداد کنه‌های تارتن و قرمز شمارش شد، در استان آذربایجان غربی استفاده از کنه‌کش‌ها برای مهار کنه قرمز طی نیمه دوم خرداد و مهار کنه تارتن به‌صورت جداگانه در دهه سوم تیرماه صورت گرفت. کنه‌کش انویدور اسپید[6] (ترکیب انویدور وآبامکتین) با غلظت ۰/۴ در هزار، سایفلومتوفن[7] با نام تجاری سایفلومتوفن به غلظت یک در هزار به‌صورت جدا در تیمارهای جداگانه (جدول۱) صورت گرفت. ۳۰ روز بعد از استفاده از آفت‌کش‌ها، ارزیابی خسارت ناشی از کنه قرمز اروپایی و کنه تارتن از طریق شمارش کنه‌های زنده در کادر دو سانتی‌مترمربع هر برگ صورت گرفت. درصد کارآیی کنه‌کش‌ها توسط فرمول هندرسون تیلتون محاسبه شد.

در کنترل بهاره و تابستانه در استان‌های تهران و اصفهان، تعداد کنه‌های دو لکه‌ای و کنه قرمز اروپایی قبل و ۳۰ روز بعد از کاربرد کنه‌کش‌های انویدور اسپید، سایفلومتوفن و آبامکتین[8] توسط آزمون t مقایسه شدند.

برای استفاده از تیمارها از دستگاه سم‌پاش ۱۰۰ لیتری (سم‌پاش فرغونی) استفاده شد و برای هر درخت شش تا هشت لیتر محلول استفاده شد. سم‌پاشی صبح زود انجام گرفت (Arbabi *et al.*, 1997). درصد تلفات کنه‌ها با استفاده از فرمول هندرسون و تیلیتون (معادله ۱) تعیین شد.

(۱)

$$\text{درصدتأثیرتیمارها (کارآیی)} = \left(1 - \left(\frac{Ta}{Tb} * \frac{Cb}{Ca}\right)\right) * 100$$

که در آن، T_a: میانگین تعداد کنه بعد از سم‌پاشی در واحد آزمایشی (یک درخت)، T_b: میانگین تعداد کنه قبل از سم‌پاشی در واحد آزمایشی، C_a: میانگین تعداد کنه در شاهد بعد از سم‌پاشی و C_b: میانگین تعداد کنه در شاهد قبل از سم‌پاشی است (Henderson & Tilton, 1955). با توجه به شرایط و زمان فعالیت متفاوت آفت روی درختان سیب در مناطق مختلف، زمان انجام آزمون‌ها در استان‌های مختلف متفاوت بود (جدول ۲). محلول‌پاشی در باغ‌های به مساحت ۱-۳ هکتار با درختان ۳-۴ ساله و رقم رددلیشز صورت گرفت. با توجه به اثر متقابل تیمار و مکان از تجزیه مرکب استفاده شد. از طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چند مکان با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) نسبت به تعیین میانگین‌ها و گروه‌بندی تیمارها اقدام شد. مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون Tukey انجام شد.

آزمون‌های زراعی: در نهایت، در کرت‌های جداگانه در استان‌های تهران، اصفهان، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی، تأثیر شخم زمستانه نیز روی تعداد کنه تارتن دو لکه‌ای بررسی و مقایسه شدند. میانگین درصد تلفات محاسبه و توسط آزمون T test مورد مقایسه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) انجام گرفت.

نتایج

کنه قرمز اروپایی در بهار در مناطق مورد آزمون از اواسط اردیبهشت تا اوایل خرداد و کنه تارتن دو لکه‌ای کمی دیرتر از اواسط

1- Tetrodifon 7.52% EC (Tedion®)
2- Petrolium oil (Volck® 80% EC)
3- Hexythiazox (Nissorun® 10% EC)
4- Dayabon®
5- Clofentezine 50% SC (Apollo®)
6- Envidor speed 24% SC
7- Cyflumetofen 20% Sc (Danisaraba®)
8- Abamectin 1.8% Ec (Vertimec®)

خرداد تا اواخر آن ظاهر شد. نمودارهای دما (شکل ۱)، رطوبت نسبی محیط (شکل۲)، بارش (شکل ۳)، دمای خاک (شکل ۴) و رطوبت خاک (شکل ۵) در سال ۲۰۲۲ میلادی که معادل ۱۲ دی ماه ۱۴۰۰ لغایت۱۲ دی ماه ۱۴۰۱ است، در فواصل ۱۰ روزه نشان داده شده است. دمای محیط از ۱۰-۲۰ مارچ که معادل اوایل فروردین ماه است، در نقاط مورد آزمون افزایش یافته است. دمای محیط در ارومیه نسبت به سایر مناطق کمتر است. در نمودارهای رطوبت نسبی محیط نیز در فواصل زمانی، ارومیه بیشتر از سایر مناطق بوده است. کمترین درصد رطوبت مربوط به فیروزکوه بود.

بارش در مراغه بیشتر از سایر مناطق بود. در زمستان و پاییز در همه مناطق بارش مشاهده شده است، امّا در تابستان تنها در سال ۲۰۲۲ در فیروزکوه بارندگی مشاهده شد. دمای خاک نیز مانند دمای محیط در ماه‌های تابستان و بهار افزایش یافته است. کمترین و بیشترین دما به‌ترتیب مربوط به فیروزکوه و ارومیه بود. در ارتباط با رطوبت خاک نیز کمترین میزان رطوبت خاک در ارومیه مشاهده شد و در سایر استان‌ها تقریباً با یکدیگر تفاوت مشهودی نداشتند.

جدول ۱- تیمارهای مورد آزمون برای کنترل بهاره و تابستاته کنه تارتن دو لکه‌ای و کنه قرمز اروپایی در استان‌های اصفهان، تهران، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی

Table 1- The tested treatments for winter and spring control of European red mite and two-spotted spider in Isfahan, Tehran, West Azerbaijan and East Azerbaijan provinces

Provinces	Compounds for winter control	Compounds for spring control
Isfahan (Semirom)	Abamectin (0.5 mL L^{-1}) + Volk oil (2%) Volk oil (2%)	Envidorespid (0.4 ml.l^{-1}) Cyflumetofen (1 ml.l^{-1}) Abamectin (0.5 ml.l^{-1})
Tehran (Firuzkuh)	Abamectin (0.5 mL L^{-1}) + Volk oil (2%) Volk oil (2%)	Envidorespid (0.4 ml.l^{-1}) Cyflumetofen (1 ml.l^{-1}) Abamectin (0.5 ml.l^{-1})
West Azerbaijan (Urima)	Tetradifon (2 mL L^{-1}) + Volk oil (2%) Tetradifon (2 mL L^{-1}) + EC oil (2%) Hexythiazox (0.5 mL L^{-1}) + Volk oil (2%) Hexythiazox (0.5 mL L^{-1}) + EC oil (2%) Hexythiazox (0.5 mL L^{-1}) + Dayaban (2 mL L^{-1}) Hexythiazox (0.5 mL L^{-1}) + Dayaban (4 mL.L^{-1})	Envidorespid (0.4 ml.l^{-1}) Cyflumetofen (1 ml.l^{-1}) Abamectin (0.5 ml.l^{-1})
East Azerbaijan (Margheh)	Clofentezin (0.5 mL L^{-1}+ Volk oil (2%) Volk oil (2%)	Envidorespid (0.4 ml.l^{-1}) Cyflumetofen (1 ml.l^{-1})

جدول ۲- زمان انجام آزمون در استان‌های اصفهان، تهران، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی

Table 2-Time to do the tests in Isfahan, Tehran, West Azerbaijan and East Azerbaijan provinces

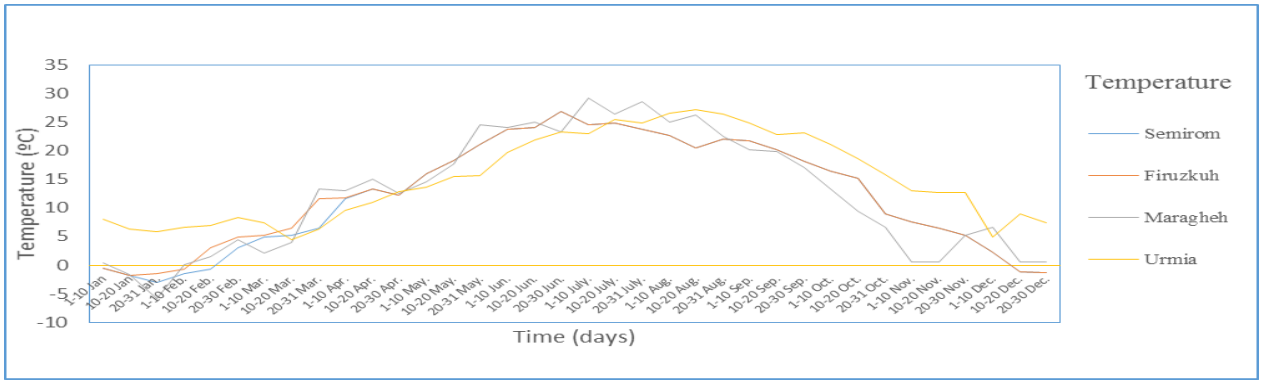
Provinces	Time of plow	Time of wimter test	Time of spring test
Isfahan (Semirom)	Early June Early Augest	18 March	17 Jun
Tehran (Firuzkuh)	Early June Early Augest	16 March	3 Jun
West Azerbaijan (Urima)	Early June Early Augest	5 March	19 Jun
East Azerbaijan (Margheh)	Early June Early Augest	11 March	26 Jun

کنترل زمستانه

نتایج نشان داد که تعداد کنه‌های شمارش شده قبل و بعد از کاربرد کنه‌کش‌های مورد آزمون در استان‌های اصفهان، تهران، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی نسبت به یکدیگر اختلاف معنی-داری داشت (جدول ۳). درصد تلفات در جدول ۴ نشان داده شده است.

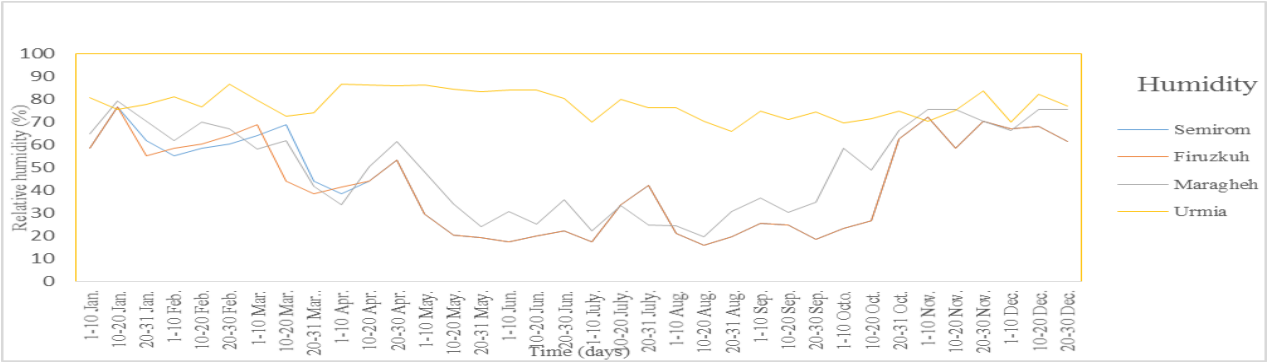
کنترل بهار و تابستانه

نتایج نشان داد که تعداد کنه‌های شمارش شده قبل و بعد از کاربرد کنه‌کش‌های انویدور اسپید، سایفلومتوفن و آبامکتین در مکان-های مورد آزمون با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارد (جدول ۵).



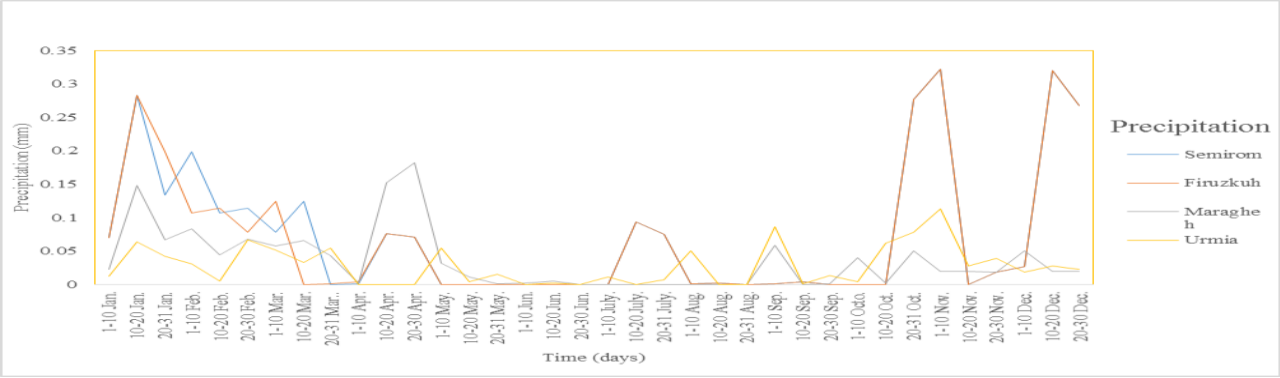
شکل ۱- تغییرات دمای محیط بر حسب درجه سلسیوس در چند منطقه (سمیرم استان اصفهان، فیروزکوه استان تهران، مراغه استان آذربایجان شرقی و ارومیه استان آذربایجان غربی) در سال ۲۰۲۲ (۱۲ دی ماه ۱۴۰۰ لغایت ۱۲ دی ماه ۱۴۰۱)

Figure 1- Air temperature changes (ºC) in several regions (Semirom (Isfahan province), Firuzkuh (Tehran province), Maragheh (East Azarbijan), Urima (West Azarbijan province) in 2022



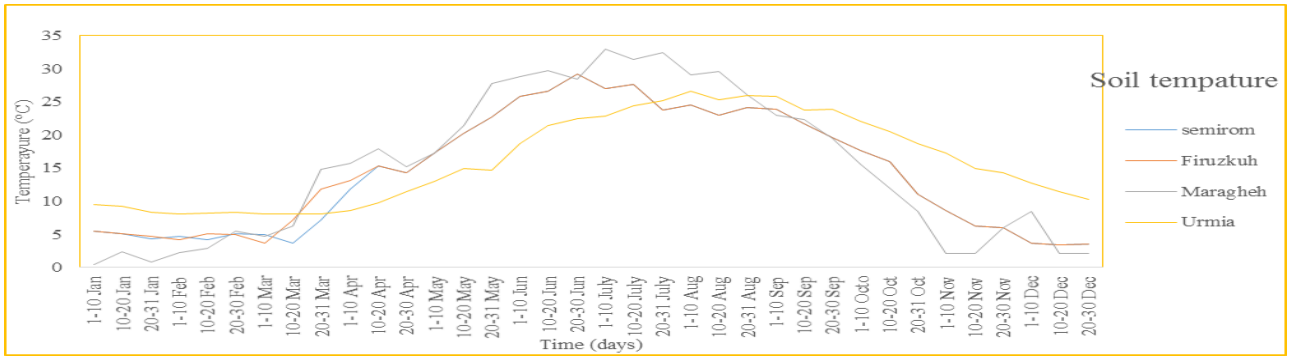
شکل ۲- تغییرات درصد رطوبت نسبی محیط در چند منطقه (سمیرم استان اصفهان، فیروزکوه استان تهران، مراغه استان آذربایجان شرقی و ارومیه استان آذربایجان غربی) در سال ۲۰۲۲ (۱۲ دی ماه ۱۴۰۰ لغایت ۱۲ دی ماه ۱۴۰۱)

Figure 2- Air humidity changes (%) in several regions (Semirom (Isfahan province), Firuzkuh (Tehran province), Maragheh (East Azarbijan), Urima (West Azarbijan province) in 2022



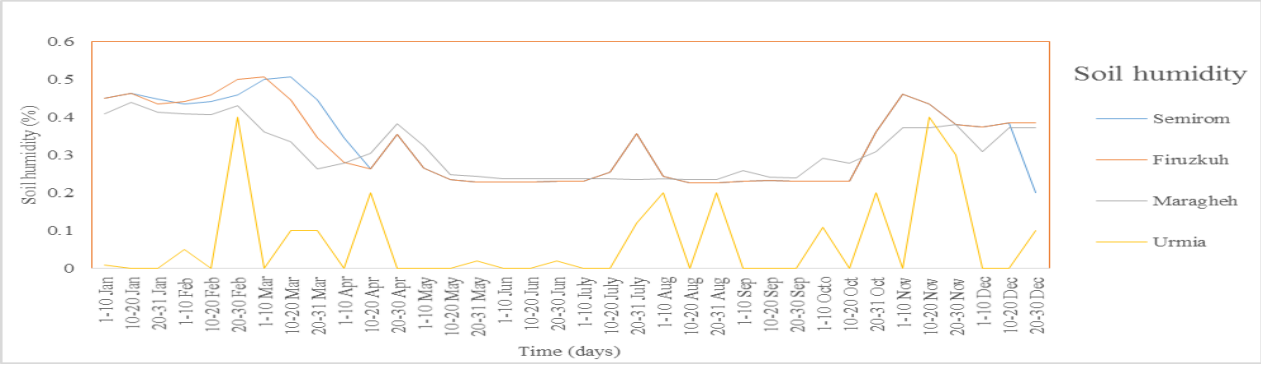
شکل ۳- تغییرات بارش محیط بر حسب میلی‌متر در چند منطقه (سمیرم استان اصفهان، فیروزکوه استان تهران، مراغه استان آذربایجان شرقی و ارومیه استان آذربایجان غربی) در سال ۲۰۲۲ (۱۲ دی ماه ۱۴۰۰ لغایت ۱۲ دی ماه ۱۴۰۱)

Figure 3- Air precipitation changes (mm) in several regions (Semirom (Isfahan province), Firuzkuh (Tehran province), Maragheh (East Azarbijan), Urima (West Azarbijan province) in 2022



شکل ٤- تغییرات دمای خاک در چند منطقه (سمیرم استان اصفهان، فیروزکوه استان تهران، مراغه استان آذربایجان شرقی و ارومیه استان آذربایجان غربی) در سال ۲۰۲۲ (۱۲ دی ماه ۱۴۰۰ لغایت ۱۲ دی ماه ۱۴۰۱)

Figure 4- Soil temperature changes (ºC) in several regions (Semirom (Isfahan province), Firuzkuh (Tehran province), Maragheh (East Azarbijan), Urima (West Azarbijan province) in 2022



شکل ٥- تغییرات درصد رطوبت نسبی خاک در چند منطقه (سمیرم استان اصفهان، فیروزکوه استان تهران، مراغه استان آذربایجان شرقی و ارومیه استان آذربایجان غربی) در سال ۲۰۲۲ (۱۲ دی ماه ۱۴۰۰ لغایت ۱۲ دی ماه ۱۴۰۱)

Figure 5- Soil humidity changes (%) in several regions (Semirom (Isfahan province), Firuzkuh (Tehran province), Maragheh (East Azarbijan), Urima (West Azarbijan province) in 2022

جدول ۳- میانگین تعداد تخم کنه قرمز اروپایی در تیمارها و نوبت‌های مختلف نمونه‌برداری روی سرشاخه‌های درختان سیب در زمستان سال ۱۴۰۰ در استان‌های اصفهان، تهران، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی

Table 3-The average number of European red mite eggs in treatments and different times of sampling on the branches of apple trees in the winter of 2022 in Isfahan, Tehran, West Azerbaijan and East Azerbaijan provinces

Provinces	Compounds	Before treatment	After 30 days of treatment
Isfahan (Semirom)	Abamectin (0.5 mL L^{-1}) + Volk oil (2%)	39.04± 0.65 [a]	0.50 ± 0.05 [b]
	Volk oil (2%)	39.29 ± 0.57 [a]	0.55 ± 0.02 [b]
Tehran (Firuzkuh)	Abamectin (0.5 mL L^{-1}) + Volk oil (2%)	43.25± 1.10 [a]	0.87 ± 0.25 [b]
	Volk oil (2%)	39.10 ± 1.18 [a]	0.61 ± 0.65 [b]
West Azerbaijan (Urima)	Tetradifon (2 mL L^{-1}) + Volk oil (2%)	34.00± 0.35 [a]	16.33 ± 0.05 [b]
	Tetradifon (2 mL L^{-1}) + EC oil (2%)	33.00 ± 1.57 [a]	0.55 ± 0.02 [b]
	Hexythiazox (0.5 mL L^{-1}) + Volk oil (2%)	30.67± 1.10 [a]	19.00 ± 1.25 [b]
	Hexythiazox (0.5 mL L^{-1}) + EC oil (2%)	41.67 ± 1.18 [a]	21.33 ± 2.25 [b]
	Hexythiazox (0.5 mL L^{-1}) + Dayaban (2 ml.l^{-1})	51.33 ± 1.48 [a]	29.66 ± 2.65 [b]
	Hexythiazox (0.5 mL L^{-1}) + Dayaban (4 ml.l^{-1})	41.00± 2.65 [a]	28.33 ± 3.05 [b]
East Azerbaijan (Margheh)	Clofentezin (0.5 mL L^{-1}) + Volk oil (2%)	102.00 ± 3.57 [a]	11.33 ± 2.02 [b]
	Volk oil (2%)	105.00± 1.10 [a]	15.00 ± 4.25 [b]

اختلاف حروف در ردیف نشان دهنده اختلاف معنی دار بین تیمارها در سطح ۹۵٪ است.

Different letters in the row indicate a significant difference between the treatments at the 95% probability level.

جدول ٤- مقایسه درصد تلفات تخم کنه قرمز اروپایی بعد از کاربرد ترکیبات مورد آزمون در زمستان سال ۱۴۰۰ در استان‌های اصفهان، تهران، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی

Table 4-The compare of mean mortality percentage of European red mite eggs in treatments with different compounds on the branches of apple trees in the winter of 2022 in Isfahan, Tehran, West Azerbaijan and East Azerbaijan provinces

Provinces	Compounds	Mean mortality percentage
Isfahan (Semirom)	Abamectin (0.5 mL L^{-1}) + Volk oil (2%)	82.23 ± 1.55 [a]
	Volk oil (2%)	85.67 ± 0.71 [a]
Tehran (Firuzkuh)	Abamectin (0.5 mL L^{-1}) + Volk oil (2%)	70.64± 7.28 [a]
	Volk oil (2%)	47.28 ± 11.69 [b]
West Azerbaijan (Urima)	Tetradifon (2 mL L^{-1}) + Volk oil (2%)	75.00± 3.52 [a]
	Tetradifon (2 mL L^{-1}) + EC oil (2%)	74.40 ± 4.53 [a]
	Hexythiazox (0.5 mL L^{-1}) + Volk oil (2%)	70.50± 3.21 [a]
	Hexythiazox (0.5 mL L^{-1}) + EC oil (2%)	60.17 ± 3.29 [b]
	Hexythiazox (0.5 mL L^{-1}) + Dayaban (2 mL L^{-1})	54.24± 4.21 [c]
	Hexythiazox (0.5 mL L^{-1}) + Dayaban (4 mL L^{-1})	65.32± 3.81 [b]
East Azerbaijan (Margheh)	Clofentezin (0.5 mL L^{-1}) + Volk oil (2%)	83.21 ± 8.22 [a]
	Volk oil (2%)	70.25± 7.33 [b]

اختلاف حروف در ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۹۵٪ است.

Different letters in the row indicate a significant difference between the treatments at the 95% probability level.

جدول ٥- میانگین تعداد پوره‌ها و بالغین کنه قرمز اروپایی و کنه تارتن دولکه‌ای در تیمارها و نوبت‌های مختلف نمونه‌برداری روی برگ‌های سیب در بهار و تابستان سال ۱۴۰۱ در استان‌های اصفهان، تهران، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی

Table 5- The average number of European red mite and two-spotted spider mite nymph and adults in treatments and different times of sampling on the leaves of apple trees in the spring and summer of 2022 in Isfahan, Tehran, West Azerbaijan and East Azerbaijan provinces

Provinces	Compounds	Before treatment	After 30 days of treatment
Isfahan (Semirom)	Envidorespid (0.4 mL L^{-1})	9.28± 0.99 [a]	1.61 ± 0.32 [b]
	Cyflumetofen (1 mL L^{-1})	9.24 ± 0.60 [a]	1.33 ± 0.14 [b]
	Abamectin (0.5 mL L^{-1})	10.09 ± 0.95 [a]	2.04 ± 0.21 [b]
Tehran (Firuzkuh)	Envidorespid (0.4 mL L^{-1})	10.75± 0.47 [a]	1.80±0.20 [b]
	Cyflumetofen (1 mL L^{-1})	8.70 ± 0.51 [a]	1.80±0.20 [b]
	Abamectin (0.5 mL L^{-1})	10.50±0.64 [a]	1.87±0.38 [b]
West Azerbaijan (Urima)	Envidorespid (0.4 mL L^{-1})	10.00± 1.35 [a]	1.33 ± 0.05 [b]
	Cyflumetofen (1 mL L^{-1})	9.00 ± 2.57 [a]	2.55 ± 0.02 [b]
East Azerbaijan (Margheh)	Envidorespid (0.4 mL L^{-1})	10.00 ± 3.57 [a]	1.33 ± 1.02 [b]
	Cyflumetofen (1 mL L^{-1})	8.00± 1.10 [a]	1.00 ± 0.25 [b]

اختلاف حروف در ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۹۵٪ است.

Different letters in the row indicate a significant difference between the treatments at the 95% probability level.

جدول ٦- مقایسه درصد تلفات پوره‌ها و بالغین کنه قرمز اروپایی در تیمارها و نوبت‌های مختلف نمونه‌برداری روی برگ‌های سیب در بهار و تابستان سال ۱۴۰۱ در استان‌های اصفهان، تهران، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی

Table 6- The compare of mean mortality percentage of European red mite nymphs and adults in treatments and different times of sampling on the leaves of apple trees in the spring and summer of 2022 in Isfahan, Tehran, West Azerbaijan and East Azerbaijan provinces

Provinces	Compounds	Mean mortality percentage
Isfahan (Semirom)	Envidorespid (0.4 mL L^{-1})	78.28± 5.68 [a]
	Cyflumetofen (1 mL L^{-1})	82.46 ± 2.13 [a]
	Abamectin (0.5 mL L^{-1})	74.88 ± 3.67 [a]
Tehran (Firuzkuh)	Envidorespid (0.4 mL L^{-1})	78.75± 4.29 [a]
	Cyflumetofen (1 mL L^{-1})	74.56±4.15 [a]
	Abamectin (0.5 mL L^{-1})	73.27 ± 6.61 [a]
West Azerbaijan (Urima)	Envidorespid (0.4 mL L^{-1})	85.39 ± 8.40 [a]
	Cyflumetofen (1 mL L^{-1})	92.27 ± 7.87 [a]
East Azerbaijan (Margheh)	Envidorespid (0.4 mL L^{-1}	92.00 ± 3.02 [a]
	Cyflumetofen (1 mL L^{-1})	85.20 ± 3.50 [a]

اختلاف حروف درردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۹۵٪ است.

Different letters in the row indicate a significant difference between the treatments at the 95% probability level.

جدول ۷- مقایسه درصد تلفات پوره‌ها و بالغین کنه تارتن دولکه‌ای در تیمارها و نوبت‌های مختلف نمونه‌برداری روی برگ‌های سیب در بهار و تابستان سال ۱۴۰۱ در استان های اصفهان، تهران، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی

Table 7- The compare of mean mortality percentage two-spotted spider mite nymphs and adults in treatments and different times of sampling on the leaves of apple trees in the spring and summer of 2022 in Isfahan, Tehran, West Azerbaijan and East Azerbaijan provinces

Provinces	Compounds	Mean mortality percentage
Isfahan (Semirom)	Envidorespid (0.4 mL L^{-1})	68.18± 2.68 [a]
	Cyflumetofen (1 mL L^{-1})	79.43 ± 1.14 [a]
	Abamectin (0.5 mL L^{-1})	77.88 ± 3.67 [a]
Tehran (Firuzkuh)	Envidorespid (0.4 mL L^{-1})	68.75± 1.44 [a]
	Cyflumetofen (1 mL L^{-1})	80.56±1.36 [a]
	Abamectin (0.5 mL L^{-1})	79.37 ± 7.75 [a]
West Azerbaijan (Urima)	Envidorespid (0.4 mL L^{-1})	81.29 ± 7.35 [a]
	Cyflumetofen (1 mL L^{-1})	92.27 ± 7.87 [a]
East Azerbaijan (Margheh)	Envidorespid (0.4 mL L^{-1})	89.00 ± 1.02 [a]
	Cyflumetofen (1 mL L^{-1})	87.23 ± 2.50 [a]

اختلاف حروف در ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۹۵٪ است.

Different letters in the row indicate a significant difference between the treatments at the 95% probability level.

درصد تلفات کنه‌های تارتن و قرمز اروپایی توسط فرمول هندرسون محاسبه شد و نتایج نشان داد که درصد تلفات کنه‌ها در مورد کنه‌کش‌های مصرفی نسبت به یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشته است (جدول ۶ و ۷). درصد تلفات در ۳۰ روز بعد از کاربرد کنه‌کش‌های انویدور، سایفلومتوفن و آبامکتین در مرداد ماه سال ۱۴۰۱ در اصفهان به‌ترتیب ۷۴/۲۸، ۸۲/۴۶ و ۷۴/۸۸ درصد بوده است.

تأثیر شخم

جدول ۸ میانگین تعداد پوره‌ها و بالغین کنه تارتن دولکه‌ای در برگ‌های سیب در بهار و تابستان سال ۱۴۰۱ در باغات شخم زده و شخم نزده (شاهد) در استان‌های اصفهان، تهران، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی را نشان می‌دهد که در تمامی محل‌های آزمون در دو زمان استفاده از شخم، اختلاف معنی‌دار بوده است.

جدول ۸- میانگین تعداد پوره‌ها و بالغین کنه تارتن دولکه‌ای در برگ‌های سیب در بهار و تابستان سال ۱۴۰۱ در باغات شخم زده و شخم نزده (شاهد) در استان‌های اصفهان، تهران، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی

Table 8-The average number of two-spotted spider mite nymph and adults in treatments and different times of sampling on the leaves of apple trees in the spring and summer of 2022 in Isfahan, Tehran, West Azerbaijan and East Azerbaijan provinces

Provinces	Time	Control	Plowed field
Isfahan (Semirom)	Early June	61.97± 0.68 [a]	10.23 ±1.10 [b]
	Early Augest	93.25 ± 2.20 [a]	8.25±0.99 [b]
Tehran (Firuzkuh)	Early June	61.25± 2.34 [a]	10.21±3.10 [b]
	Early Augest	83.18 ± 4.35 [a]	12.26±4.2 [b]
West Azerbaijan (Urima)	Early June	25.34± 3.35 [a]	9.35 ±2.48 [b]
	Early Augest	32.43 ± 4.57 [a]	10.35 ±1.36 [b]
East Azerbaijan (Margheh)	Early June	22.37 ± 4.38 [a]	8.39 ±2.80 [b]
	Early Augest	29.83± 2.82 [a]	9.81 ±3.20 [b]

اختلاف حروف در ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۹۵٪ است.

Different letters in the row indicate a significant difference between the treatments at the 95% probability level.

بحث و نتیجه‌گیری

به‌کارگیری مستمر یک کنه‌کش در یک فصل زراعی باعث تشدید بروز مقاومت در جمعیت کنه‌های خسارت‌زای محصولات مختلف کشاورزی می‌شود. در پژوهش‌های بسیاری از مقاومت کنه قرمز اروپایی و کنه تارتن دو لکه‌ای به آفت‌کش‌ها در نقاط مختلف دنیا نام برده شده است، به‌عنوان مثال مقاومت به کنه‌کش اسپیرودیکلوفن[1] (Kramer & Nauen, 2011) و مقاومت به کنه‌کش‌های فن پروکسی‌میت[2] و تبوفنوپراید[1] (Auger *et al.*, 2003).

1- Spiridiclofen
2- Fenpyroximate

برای افزایش کارآیی و کاهش مصرف کنه‌کش‌ها، مطالعه در خصوص کنه‌کش‌های جدید با هدفِ داشتن توجیه اقتصادی و تأمین تأثیرگذاری با غلظت مصرفی کم روی مراحل مختلف زیستی کنه‌ها و تأثیر سوء کمتر بر جمعیت دشمنان طبیعی کنه‌ها دنبال می‌شود و ازآن‌جایی‌که کنه‌های خسارت‌زا با توانایی زادآوری بالا، ایجاد نسل‌های متعدد در یک فصل زراعی و انطباق‌پذیری با شرایط اقلیمی مختلف در مقایسه با سایر آفات توان مقاومت‌پذیری بیشتری با سموم را دارند، لذا جایگزینی سموم کنه‌کش جدید در اعمال مدیریت پایدار آن‌ها امری اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد (Arbabi *et al.*, 2009).

در این پژوهش، در تیمارهای زمستانه برای مهار تخم زمستان‌گذران کنه قرمز اروپایی در استان‌های مختلف بسته به عرف منطقه، از کنه‌کش‌های آبامکتین، تترادیفون، هگزی‌تیازوکس و کلوفنتزین به همراه روغن ولک دو درصد و همچنین از روغن ولک دو درصد به‌تنهایی استفاده شد. در همه موارد، مهار تخم کنه قرمز اروپایی قابل ملاحظه بوده است و کاربرد این کنه‌کش‌ها بعد از ۳۰ روز نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری داشته است. درصد تلفات تخم کنه قرمز در استان‌های اصفهان و تهران در صورت استفاده از آبامکتین + روغن ولک به‌ترتیب ۸۲/۳۳ و ۷۰/۶۴ درصد و در صورت استفاده از روغن ولک به‌تنهایی ۸۵/۶۷ و ۴۷/۲۸ درصد بوده است.

در استان آذربایجان غربی نیز استفاده از کنه‌کش‌های تترادیفون و هگزی‌تیازوکس، مهار متوسطی از کنه قرمز اروپایی را نشان داد و میزان خسارت در صورت استفاده از تترادیفون و هگزی‌تیازوکس + روغن ولک، کاهش محسوسی در جمعیت کنه قرمز نشان داد. در آذربایجان شرقی نیز استفاده از کنه‌کش کلوفنتزین + روغن ولک کاهش قابل توجهی در تعداد تخم زنده کنه قرمز اروپایی نشان داده است، به‌طوری‌که تعداد تخم از ۱۰۲ عدد به ۱۱/۳۲ عدد در دو متر از سرشاخه‌های درختان سیب شمارش شد.

متوسط درصد تلفات کنه قرمز در صورت سم‌پاشی زمستانه در استان‌های اصفهان، تهران، آذربایجان غربی و شرقی به‌ترتیب ۸۴ درصد، ۵۹ درصد ، ۶۶ درصد و ۷۷ درصد بود که تلفات پایین‌تر در استان تهران (فیروزکوه) و درصد بالا در استان اصفهان (سمیرم) مشاهده شد که علت آن می‌تواند به‌دلیل شرایط آب‌وهوایی منطقه باشد. به‌طور کلی، داده‌های هواشناسی نشان داد که شرایط دمایی در زمستان در مناطق مورد بررسی تفاوت داشته است. دمای هوا در سه منطقه سمیرم، فیروزکوه و مراغه کمتر از ارومیه بوده است. دمای پایین‌تر در سمیرم مشاهده شد و در ارتباط با رطوبت نسبی محیط، ارومیه رطوبت بالاتری را در زمستان سال مورد بررسی نشان داد. فیروزکوه در زمستان سال ۲۰۲۲ میلادی از سایر مناطق مورد بررسی خشک‌تر بود، درصد بالاتر مهار کنه قرمز شاید به‌دلیل رطوبت کمتر هوا و دمای بالاتر در زمستان مورد نظر بوده است.

در پژوهش‌های دیگر نیز مشخص شد که استفاده از آفت‌کش توأم با روغن ولک در سم‌پاشی‌های زمستانه روی مهار کنه‌های زیان‌آور درختان تأثیر بسزایی داشت، استفاده از آبامکتین با روغن ولک (۲/۵ لیتر در ۱۰۰ لیتر آب) در انتهای زمستان برای مهار کنه گال نمدی برگ مو *Colomerus vitis* Pagenstechev (Acari: Eriophyidae) توصیه شده است (Haddadi *et al.*, 2019) و یا استفاده توأم اورمکتین و سایپرمترین به همراه روغن ولک باعث کاهش جمعیت تخم کنه قرمز اروپایی در درختان سیب شد (Joshi *et al.*, 2023).

در تیمارهای بهاره و تابستانه در مناطق مختلف، زمانی که جمعیت کنه قرمز یا کنه تارتن دو لکه‌ای به سه تا پنج کنه فعال (بسته به منطقه مورد بررسی) در هر برگ رسید ، سم‌پاشی با کنه‌کش‌های انویدور اسپید ۰/۴ در هزار و سایفلومتوفن ۰/۸ تا ۱ در هزار در استان‌های اصفهان، تهران، آذربایجان غربی و شرقی صورت گرفت. درصد تلفات در استان اصفهان در مورد کنه‌کش‌های انویدور اسپید، سایفلومتوفن و آبامکتین به‌ترتیب ۷۲/۲۸، ۸۲/۴۶ و ۷۴/۸۸ درصد گزارش شد. در استان تهران این درصدها به‌ترتیب ۷۸/۷۵، ۷۴/۵۶ و ۷۳/۲۸ درصد بود. جوشی و همکاران (Joshi *et al.*, 2023) تعداد سه تا پنج کنه در هر برگ سیب را برای شروع سم‌پاشی بهاره و تابستانه قرار داده‌اند.

گزارش‌ها در استان آذربایجان غربی در خصوص دو کنه آفت به‌صورت جداگانه است و در روزهای متوالی بعد از کاربرد انویدور اسپید و سایفلومتوفن به‌ترتیب در مورد کنه قرمز اروپایی ۸۵/۳۹–۷۹/۲۱ درصد و ۹۲/۲۷–۹۴/۵۲ درصد تلفات و برای کنه تارتن ۷۴/۹۹–۷۹/۸۵ درصد و ۸۱/۵۵–۷۹/۸۵ درصد تلفات داشتند. در آذربایجان شرقی نیز درصد تلفات در صورت سم‌پاشی با ترکیبات انویدور اسپید و سایفلومتوفن برای کنه‌های آفت درختان سیب به‌ترتیب ۹۲ درصد و ۸۵/۲۰ درصد بود.

در پژوهش انجام شده توسط رضائی و همکاران (Rezaie *et al.*, 2019)، کنه‌کش انویدور اسپید از روز هفتم به بعد تأثیر بالایی از خود نشان داد و تا آخرین روز بررسی ادامه داشت. اختلاف تأثیر این کنه‌کش در مناطق مختلف مربوط به تفاوت شرایط آب‌وهوایی و وضعیت پوشش گیاهی در مناطق مختلف است و همچنین وجود بایوتیپ‌های مختلف کنه قرمز اروپایی باعث اختلاف در تأثیر کنه‌کش‌ها می‌شود. تأثیر طولانی‌مدت کنه‌کش انویدور اسپید، نقش آن را در مدیریت آفات نشان می‌دهد. دوام کنه‌کش انویدور اسپید نسبت به سایر کنه‌کش‌ها بالا است، به‌طوری‌که درصد تلفات در ۲۸ روز بعد از سم‌پاشی در غلظت ۰/۴ در هزار در استان آذربایجان غربی ۹۵/۳۳ درصد و در

1- Tebufenpyrad

دو غلظت ۰/۴ و ۰/۵ در هزار در استان خراسان رضوی به‌ترتیب ۸۱/۷۴ درصد و ۸۴/۶۵ درصد و در استان آذربایجان شرقی در دو غلظت ۰/۴ و ۰/۵ در هزار به‌ترتیب ۹۷/۰۵ درصد و ۹۵/۲۵ درصد بود. استفاده از کنه‌کش انویدور اسپید براساس دوام بهتر برای مهار کنه قرمز اروپایی در باغات سیب پیشنهاد می‌گردد. با توجه به اثر ضربه‌ای آن نسبت به کنه‌کش انویدور، اهمیت این موضوع در مدیریت مقاومت کنه‌های تارتن، کنه‌کش جدید انویدور اسپید ترجیح داده می‌شود. کنه-کش انویدور اسپید با غلظت ۰/۴ در هزار به‌منظور کاهش هزینه‌های سم‌پاشی پشنهاد می‌گردد.

در پژوهش انجام شده در سال‌های اخیر، کنه‌کش سایفلومتوفن با نام تجاری دانیسارابا در هر دو غلظت ۰/۸ و ۱ در هزار درصد، تلفات بالایی در کنه قرمز اروپایی در استان‌های اصفهان، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی نشان داده است. درصد تلفات کنه قرمز اروپایی، سه روز بعد از سم‌پاشی در غلظت ۰/۸ در هزار در استان‌های مورد آزمون بین ۵۸–۹۹ درصد و در غلظت یک در هزار بین ۶۱–۹۸ درصد بود و تأثیر آن تا ۲۸ روز بعد از سم‌پاشی وجود داشت. درصد تلفات آن در غلظت ۰/۸ در هزار بین ۷۶–۹۹ درصد و در غلظت یک در هزار بین ۸۶–۹۹ درصد گزارش شده است. به‌کارگیری غلظت مصرفی ۰/۸ در هزار سایفلومتوفن برای مهار کنه قرمز اروپایی در باغات سیب توصیه می‌شود (Rezaie *et al.*, 2020).

رطوبت نسبی خاک در منطقه ارومیه کمتر از سایر مناطق مورد بررسی بود. تغییرات دمای خاک نیز اختلاف را در بین مناطق نشان می‌دهد، به‌طوری‌که در ارومیه کمتر از سایر مناطق مورد بررسی بود ، امّا رطوبت نسبی محیط در ارومیه در سال مورد بررسی بالاتر از سایر مناطق بوده است. رطوبت نسبی محیط در فیروزکوه کمتر از سایر مناطق بوده است. بارش در مقاطعی بیشتر بود. دمای محیط نیز طی تابستان در ارومیه، بالاتر از سایر مناطق مورد بررسی بود. کمترین دما در مراغه مشاهده شد. متوسط درصد تلفات کنه قرمز اروپایی در اثر استفاده از کنه‌کش‌های مورد نظر در بهار و تابستان در استان‌های اصفهان، تهران، آذربایجان غربی و شرقی به‌ترتیب ۷۵، ۷۵، ۸۹ و ۸۹ درصد و درصد تلفات کنه تارتن نیز به‌ترتیب ۷۵، ۷۶، ۸۷ و ۸۹ درصد بود. درصد تلفات بالاتر در استان آذربایجان غربی (ارومیه) و استان آذربایجان شرقی (مراغه) نسبت به سمیرم استان اصفهان و فیروزکوه استان تهران مشاهده شد. شرایط محیطی از نظر دما و رطوبت روی نتیجه درصد تلفات کنه‌های زیان‌آور مؤثر بود. در ارتباط با تأثیر شرایط محیطی روی جمعیت کنه تارتن دو لکه‌ای، پژوهش‌هایی توسط رضائی و جوان‌نژاد (Rezaie & Javannezhad, 2020 , 2021, 2023) صورت گرفته است، در این پژوهش‌ها مهم‌ترین عامل در پراکنش کنه را دمای سردترین ماه سال برشمرند، یعنی تغییرات دمایی روی زمان طغیان این آفت تأثیر بسزایی دارد. میزان بارش در فصول خاصی از سال بر پراکنش کنه تارتن دو لکه‌ای مؤثر است، به‌طور کلی، در بین عوامل محیطی، دما مهم‌ترین عامل کلیدی است.

در پژوهشی دیگر، کارآیی کنه‌کش سایفلومتوفن برای مهار جمعیت مراحل فعال کنه تارتن گلخانه‌ای در استان‌های تهران و کرمان در سال ۲۰۲۱ میلادی صورت گرفته است. نتایج آزمایشات در دو مکان نشان داد که تیمار سایفلومتوفن با غلظت یک در هزار بیشترین مقدار اثر را در سه و هفت روز بعد از سم‌پاشی نسبت به سایر تیمارها داشتند و قابل توصیه است. نتایج آنالیز باقی‌مانده کنه‌کش سایفلومتوفن در نمونه‌های خیار نشان داد که تیمار سایفلومتوفن با دو غلظت ۰/۷۵ و یک در هزار در سه و هفت روز بعد از سم‌پاشی، باقی‌مانده‌ای در خیار وجود نداشت Ardeshir *et al.*, 2021 (). در پژوهش دیگری، تأثیر کنه‌کش سایفلومتوفن با سه غلظت ۰/۵، ۰/۷۵ و یک در هزار روی جمعیت بالغ کنه قرمز مرکبات در باغ مورد بررسی قرار گرفته است. هر سه غلظت سایفلومتوفن پس از شش ساعت، تأثیر ۱۰۰ درصدی خود را روی تلفات جمعیت بالغ کنه قرمز مرکبات اعمال کرده است (Khalkhali *et al.*, 2018). غلظت‌های زیر کشنده این کنه‌کش باعث اثرات معنی‌داری در برخی پارامترهای دموگرافیک کنه تارتن دو لکه‌ای روی گیاه خیار شده است (Moradi *et al.*, 2018). کنه‌کش سایفلومتوفن، مهار مناسبی روی کنه‌های تارتن ایجاد می‌کند، در این پژوهش مشخص شد که درصد تلفات کنه *Oligonychus afrasiticus* (McGregor) در صورت استفاده از آفت‌کش سایفلومتوفن با غلظت ۴۰ میلی‌لیتر در ۱۰۰ لیتر آب بعد از یک، سه، هفت، ۱۴ و ۲۱ بعد از تیمار به‌ترتیب ۸۱/۷۴ درصد، ۸۴/۵۰ درصد، ۸۶/۵۴ درصد، ۸۷/۷۷ درصد و ۸۵/۲۲ درصد شد (Fakeer *et al.*, 2019).

غیبی و طاهری (Ghaibi & Taheri, 2013)، تأثیر کنه‌کش انویدور اسپید را در سه غلظت ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ در هزار روی کنه تارتن انجیر در مقایسه با کنه‌کش اسپیرودیکلوفن، بروموپروپیلات و آبامکتین مورد بررسی قرار دادند، هر سه غلظت کنه‌کش انویدور اسپید و سم اسپیرودیکلوفن تأثیر مناسب‌تری نسبت به بروموپروپیلات و ابامکتین داشته و این روند تا روز ۳۰ ادامه داشت. کنه‌کش انویدور اسپید از نظر مهار تخم و کنه بالغ کنه تارتن انجیر تأثیر بهتر و دوام بیشتری نسبت به سایر سموم کنه‌کش داشت و برای صرفه اقتصادی غلظت ۰/۳ در هزار پشنهاد شده بود. ماراسیک و همکاران (Maracic *et al.*, 2011) گزارش کردند که آفت‌کش انویدور باعث مهار ۹۱ درصد تا ۹۷ درصد کنه قرمز اروپایی در باغ‌های سیب شد.

شخم زمستانه در استان‌های مورد آزمون روی درصد تلفات کنه-های آفت درختان سیب تأثیر داشته است. شاید به این دلیل که شخم زمستانه، مراحل مختلف زیستی کنه‌های شکارگر که در خاک زیست می‌کنند را از بین می‌برد و در مهار بیولوژیک کنه‌های آفت در طبیعت تأثیر سوئی دارد و مراحل زمستان‌گذران کنه تارتن در خاک را از بین

می‌برد. شخم مناسب در پاییز یا اواخر زمستان علاوه‌بر حذف علف های هرز، مراحل زمستان‌گذران برخی از آفات را از بین می‌برد (Lotfalizadeh & Khalghani, 2010).

زمان استفاده از کنه‌کش‌ها در تیمارهای زمستانه و بهاره بسته به منطقه و شرایط آب‌وهوایی آن دارد. در زمستان مهار در استان آذربایجان غربی زودتر از سایر مناطق انجام شد که دلیل آن، زمستان گرم‌تر در سال مورد بررسی بوده است. میزان بارش و وزش باد نیز روی زمان مهار تأثیر دارد. در استان تهران طی بهار، زمان استفاده از کنه‌کش‌ها زودتر از سایر مناطق بود که دلیل آن گرم‌تر بودن این منطقه بوده است.

به‌کارگیری محض و گسترده سموم شیمیایی سبب از بین‌رفتن دشمنان طبیعی می‌شود و شرایط را برای به‌وجود آمدن نسل مقاوم فراهم گردیده است. انجام سم‌پاشی بعد از برداشت محصول به‌شرطی که مطابق با زمان تخم‌ریزی زمستانه کنه‌ها باشد، مقرون‌به‌صرفه بود. به‌کارگیری محض و گسترده سموم شیمیایی سبب از بین رفتن دشمنان طبیعی شده و شرایط را برای به‌وجود آمدن نسل مقاوم فراهم کرده است. استفاده به‌موقع از سموم کنه‌کش اختصاصی مؤثر با نسبت‌های توصیه شده، از افزایش جمعیت و ایجاد خسارت جلوگیری می‌کند و استفاده از چند نوع کنه‌کش مؤثر در یک سال سبب خواهد شد که مقاومت به کنه‌کش‌ها دیرتر ظاهر شود (Bayat & Parsi, 1980).

براساس نتایج این پروژه می‌توان گفت که مهار کنه قرمز اروپایی در زمستان تا حدود زیادی از تکرار سم‌پاشی‌های بهاره و تابستانه جلوگیری می‌کند و در سم‌پاشی تابستانه در صورت نیاز، استفاده از یک نوبت تیمار درختان سیب با کنه‌کش‌های انویدور اسپید با غلظت ۰/۴ در هزار (کمتر از غلظت توصیه شده) و سایفلومتوفن با نام تجاری دانیسارابا ۰/۸ در هزار (کمتر از غلظت توصیه شده) کنه‌های آفت درختان سیب مهار خواهد شد. هر دو این کنه‌کش‌ها، علی‌رغم داشتن اختلاف کم در کارآیی برای مهار مراحل فعال کنه قرمز اروپایی و کنه تارتن در آلودگی بهاره و تابستانه درختان سیب قابلیت‌های لازم را داشته و به‌کارگیری به‌موقع این کنه‌کش‌ها برای یک نوبت در یک فصل زراعی قابل توصیه است.

در دو کرت آزمایش از آفت‌کش استامی‌پراید (موسپیلان) SP 20 به‌مقدار ۰/۵ در هزار برای مهار کرم سیب و از قارچ‌کش پنکونازول (توپاس) EW 20 به‌مقدار ۰/۵ در هزار برای مهار بیماری سفیدک سطحی سیب به همراه کنه‌کش انویدور اسپید SC 24 به‌مقدار ۰/۵ در هزار و در تیمار جداگانه کنه‌کش سایفلومتوفن SC 20 به‌مقدار ۰/۸ در هزار استفاده شد و نتایج مقایسه شد و درصد تلفات حدود ۸۰ درصد بوده است. در سم‌پاشی تابستانه برای مهار کنه قرمز اروپایی همزمان با نسل دوم کرم سیب در تاریخ اواخر تیر ماه براساس اطلاعیه حفظ نباتات شهرستان مراغه، حشره‌کش فن‌والریت (سومیسیدین) EC 20 به‌مقدار ۰/۷۵ در هزار (برای مهار کرم سیب) + کنه‌کش اسپیرودیکلوفن (انویدور) SC 24 به‌مقدار ۰/۴ در هزار استفاده شد. براساس این آزمون، میانگین وزن میوه‌های درختان قطعه تیمار (۱۵۸/۸ کیلوگرم) به‌طور معنی‌داری نسبت به میانگین وزن میوه‌های درختان قطعه شاهد (۴۶/۲ کیلوگرم) بیشتر بود. به‌طور کلی، از قطعه تیمار حدود ۱۰ تن و از قطعه شاهد حدود سه تن محصول سیب برداشت شد.

ازآن‌جایی‌که محل تجمع و فعالیت اصلی کنه دو لکه‌ای روی گیاهان هرز زیر درختان است، با مدیریت صحیح و با جلوگیری از گرد آلودشدن باغات و آبیاری مرتب، از افزایش جمعیت آن جلوگیری کرد. از بین بردن محل‌های زمستان‌گذران کنه قرمز اروپایی روی شاخه-های خشکیده و زائد درختان هم تا حدودی می‌تواند جمعیت افات را کاهش دهد.

برنامه‌ریزی روی مدیریت تلفیقی آفات در باغ‌های سیب با تلفیق روش شیمیایی و زراعی به‌طور هم‌زمان عملکردی رضایتبخش از نظر کاهش خسارت کنه‌های آفت به درختان سیب خواهد داشت. تعیین زمان مهار آفات در بهار و از بین بردن مراحل زمستان‌گذران کنه‌های آفت، استفاده از آفت‌کش‌های (برای مهار کرم سیب) با کمترین تأثیر روی کنه‌های شکارگر در باغات سیب بسیار اهمیت دارد.

نتیجه‌گیری

طغیان و افزایش جمعیت کنه تارتن دو لکه‌ای و کنه قرمز اروپایی در مناطق مورد بررسی متفاوت است و بسته به شرایط آب و هوایی هر منطقه، متغیر است. زمان کنترل زمستانه، بهاره و تابستانه هم تحت تاثیر شرایط آب و هوایی مناطق مورد بررسی متفاوت است. بارندگی و سرعت باد هم بی تاثیر نبوده است. کنترل زمستانه تاثیر قابل قبولی در مهار کنه قرمز اروپایی و کنترل بهاره تاثیر مشابهی در مهار کنه تارتن دو لکه‌ای در باغات سیب نشان می‌دهد. شخم زمستانه هم تا حدودی باعث کاهش جمعیت کنه تارتن دو لکه ای در بهار سال بعد خواهد بود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از زحمات پرسنل مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی و مراکز تحقیقاتی کشاورزی و منابع طبیعی استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و اصفهان و همچنین کارکنان مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی استان تهران، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و اصفهان قدردانی می‌گردد.

References

1. Arbabi, M., Baradaran, P., & Khorramshahi, M. (1997). Harmful agricultural mites in Iran. *Journal of Plant Protection Research Institute*, 27 pp. (in Persian with English abstract)
2. Arbabi, M., Kamali, H., & Shahrokhi, M.R. (2003). Evaluating Fenazaquin 20% SC new acaricide against *Panonychus ulmi* Koch in apple orchards of Chenaran of Mashhad. *Pajouhesh and Sazandegi*, *6*, 51-56. (in Persian with English abstract)
3. Arbabi, M., Koroshnejad, A., Emami, M.S., Taghizadeh, M., & Akbarzadeh-Shokat, G.H. (2009). Study on some control aspects of new acaricide (Spirodiclofen SC 240) in control of apple mite pest in Iran. *Entomology and Phytopathology* Special Issue, pp. 81-100. (in Persian with English abstract)
4. Arbabi, M., Shirdel, R., Emami, M.S., Rahmi, H., Asari, M.J., & Baradaran, P. (2014). Evaluation of efficacy of acaricide Spiromesifen SC 240 in control of vegetable spider mite. *Pesticides in Plant Protection Sciences*, *1*(1), 51−61. (in Persian with English abstract)
5. Ardeshir, F., Hedari, A., Namvar, P., Mahdavi, V., & Sheikhi, A. (2021). Efficiency and residue levels of a new acaricide, cyflumetofen (Danisaraba® SC, 20%) for control of *Tetranychus urticae* on greenhouse cucumber. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, *10*(2), 71-78. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/arpp.2021.12778
6. Auger, P., Guichou, S., & Kreiter, S. (2003). Variations in acaricidal effect of wettable sulfur on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): Effect of temperature, humidity and life stage. *Pest Mangement Science*, *59*(5), 559–565. https://doi.org/10.1002/ps.665
7. Bayat, A.H., & Parsi, B. (1980). Study of European red mite in Gorgan and Gonbad. *Entomology and Phytopathology*, *48*, 67−74. (in Persian with English abstract).
8. Fakeer, M.M., Salman, A.M., & Eraky, S.A. (2019). Evauation of five recommended acaricides against the old-world date mite, *Oligonychus afrasioaticus* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) infesting date palm under field conditions in the new valley Egypt. *Assiut Journal of Agricultural Saiences*, *50*(1), 81−87. Doi: 10.21608/ajas.2019.33461
9. Ghaibi, M., & Taheri, Y. (2013). The effect of Envidor speed acaricide against fig mite (*Eotetranychus hirsti* (Acari: Tetranycidae). *Reseaches in Medicinal Plants*, *6*(3), 211−223.
10. Henderson, C.F., Tilton, E.W. (1955). Test with acaricides against the brow wheat mite. *Journal of Economic Entomology*, *48*, 157−161. https://doi.org/10.1093/jee/48.2.157
11. Haddadi, A., Mifakharaei, S., & Aramideh, S. (2019). Effects of Abamectin, volk oil, detergent and sulfur in control of grape Erineum mite, *Colomerus vitis* Pagenstecher (Acari: Eriophyidae) in vineyards of West-Azerbaijan province, Iran. *Annals of Biology*, *35*(1), 94−104. http://irdoi.ir/117-033-812-964
12. Khalkhali, M., Amiri, B., & Shafie, F. (2018). Evaluation and comparison of the effect of the new new toxin Cyflumetofen with abamectin, tendaxir and velvety oil to reduce the adult population of red citrus mite *Panunychus citri* McGregor. *1st National Conference on Industry and commercialization of Agriculture*, December 17-18, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, 10 pp. (in Persian with English abstract). Kramer, T., & Nauen, R. (2011). Monitoring of spirodiclofen susceptibility in field populations of European red mites, *Panonychus ulmi* (Koch) (Acari: Tetranychidae), and the cross-resistance pattern of a laboratory-selected strain. *Pest Management Science*, *67*(10), 1285−1293. https://doi.org/10.1002/ps.2184
13. Lolfalizadeh, H., & Khalghani, J. (2010). IPM in Apple orchards. Iranian Research Institute of Plant Protection, 156 pp.
14. Joshi, N.K., Phan, N.T., & Biddinger, D.J. (2023). Management of *Panonychus ulmi* with various miticides and insecticides and their toxicity to predatory mites conserved for biological mite control in Eastern U.S. apple orchards. Insects**,** 14**,** 228. https://doi.org/10.3390/insects14030228
15. Marecic, D., Peric, P., & Milenkovic, S. (2011). Acaricides – biological profiles, effects and uses in modern crop protection. In M. Stoytcheva (Ed.) *Pesticides - Formulations, Effects, Fate. Biological Profiles, Effects and Uses in Modern Crop Protection*, 39–62. https://doi.org/10.13140/2.1.2790.3042
16. Moradi, M., Kheradmand, K., Mosallanejad, H., & Fathipour, Y. (2018). Sublethal effects of cyflumetofen on demographic parameters of *Tetranychus urticae* koch (Acari: Tetranychidae) on cucumber. *23 th Iranian Plant Protection Congress*. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,Gorgan, Iran. (in Persian with English abstract).
17. Mustaan, M. (1987). European red mite and how to control it. *The Haraz Extension and Technology Development Center*, 13 pp. (in Persian).
18. SAS Inc. (2013). Version 9.4. SAS Institute Inc. Cary. Nc. USA.
19. SPSS Inc. (2012). IBM SPSS Statistics for Windows, version 21.0. Armonk, NY: IBM Crop, 2012.
20. Rahmani, H.R., Saboori, A., & Hajiqanbar, H.R. (2012). *Acarology (Morphology, Biology and Systematics)*. University of Zanjan Press, Zanjan, Iran. 569 pp. (in Persian with English abstract)
21. Rezaie, M., Kamalie, H., Shirdel, D., & Akbarzadhe Shokat, G.A. (2019). Efficiency of new acaricide Envidor

speed (24% SC) compared with the common acaricides for control European red mite in apple orchards of West and East Azerbajian and Khorasan provinces. *Journal of Animal Environment*, *11*(3), 257−264.

22. Rezaie, M., Emami, M.S., Frozan, M., Shirdel, D., & Kamali, H. (2020). Efficiency of Spiromesifen and Cyflumetofen for control of European red mite in apple orchards of some Provinces in Iran. *Journal of Applied Researches in Plant Protection*, *10*(1), 45−55.
23. Rezaie, M., & JavanNezhad, R. (2020). Modeling the role of climate in distribution of two-spotted spider mite: Case study of Tehran province. *Journal of Environmental Sciences Studies*, *5*(2), 2554−2559.
24. Rezaie, M., & JavanNezhad, R. (2021). Modeling of geographical-climatic distribution pattern of *Tetranychus urticae* in the climate of Razavi Khorasan province. *Journal of Applied Researches in Plant Protection*, *10*(2), 37−45. https://doi.org/10.22034/arpp.2021.13715
25. Rezaie, M., & JavanNezhad, R. (2023). Modeling the role of climate variables in the distribution of two-spotted spider mite of West Azerbaijan province. *Journal of Animal Environment*, *15*(2), 273−280.
26. Van Leeuwen, T., Tirry, L., Yamamoto, A., Nauen, R., & Dermouw, W. (2015). The economic importance of acaricides in the control of phytophagous mites and an update on recent acaricide mode of action research. Pesticide Biochemistry *and* Physiology, *121*, 12−21. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.12.009

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 1, 2025, p. 29-47

Assessment of Brassica napus Pollen as a Supplement on the Quality of the Predatory Bug *Orius laevigatus* Fieber (Hem.: Anthocoridae) Reared in Laboratory Conditions

Z. Mirzakhany[1], M. Khanjani[2*], M. Mehrabadi[3], A. Sazmand[4]

1 and 2- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
3- Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
4- Department of Pathobiology, Faculty of Veterinary Medicine, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
(*- Corresponding author's Email: khanjani@basu.ac.ir)

Received: 02-07-2024
Revised: 23-09-2024
Accepted: 09-10-2024
Available Online: 29-04-2025

How to cite this article:
Mirzakhany, Z., Khanjani, M., Mehrabadi, M., & Sazmand, A. (2024). Assessment of Brassica napus pollen as a supplement on the quality of the predatory bug *Orius laevigatus* Fieber (Hem.: Anthocoridae) reared in laboratory conditions. *Iranian Plant Protection Research*, *39*(1), 29-47. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88727.1198

Introduction

Pollen grain is an important food alternative and supplementary food for the reproduction of different predators, including predatory bugs. Today, *Orius laevigatus* Fieber is a commercialy biocontrol agent against various pests of greenhouse crops, especially western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). This species does not enter reprodctive diapause allows it to successfully suppress thrips populations all year round, it can be an important factor in the integrated pest management of greenhouse pests. The first step in the implementation of a successful biological control program is the basic study of the biology of the biological agents, in order to better understand the behavior, biology, and ecology of insects and improve pest management strategies. It is necessary to study the effect quality of food on the growth, survival and reproduction of predators. These effects could be evaluated by calculating the demographic parameters, especially the intrinsic rate of increase (*r*) on predatory bug, reminded that the demographic parameters are affected by the quality of artificial diet and are very useful indicators for evaluation the suitability of diet. This research was conducted to study artificial diets on developmental time, fecundity, survival rate, and life table parameters of *O. laevigatus* and choosing the best suitable diet to optimize the mass rearing of this predatory bug.

Materials and Methods

The primary colony of *O. laevigatus* was obtained from the released buges in the sweet pepper greenhouse located in Flavarjan city, Isfahan Province. Insects reared on five diets including (eggs of *Ephestia kuehniella*, eggs of *Sitotroga cerealella*, Canlola pollen, eggs of *E. kuehniella* + Canola pollen and eggs of *S. cerealella* + canola pollen), in the growth chamber at 25 ± 1 ˚C, 55 ± 10% RH and a photoperiod 16: 8 h (L: D) and the parameters of age-stage, two sex life table of the insect were determined. The life table study was done with 100 identical eggs of the same age. After hatching, instar nymphs were fed on the mentioned diets every day. The data of Life table were analyzed according to the theory age -stage, two sex life table and statistically significant

https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88727.1198

differences between different levels of diets were performed in the same software using the Paired Bootstrap test method at a five percent probability level.analysis of statistical differences between different levels of competition were performed in the same software using the Paired Bootstrap test method at a probability level of 5%. It should be mentioned that sex ratio was analyzed on five diets based on the Chi-Square test in SAS 9.4 software.

Results and Discussion

Analyses showed that the type of diet significantly affected the duration of all nymphal periods of *O. laevigatus*. Total developmental time was significantly faster for *O. laevigatus* that fed on *Ephestia kuehniella* eggs + canola pollen compared with the other investigated treatments (8.85). Also, the longest development time was recorded when individuals fed on Canola pollen-only, showed a lag of about 8 to 9 days for females and males. Analysis of age-stage specific survival rate (S_{xj}) of *O. laevigatus* reared on different diets showed that the curves were similar among the artificial diets and overlapped with each other. The survival rate of immature and adult stages was highest when fed with *E. kuehniella* eggs + canola pollen. The highest lifetime fecundity (89.75 eggs/female) was recorded for females fed *E. kuehniella* eggs + canola pollen and was significantly better than all other diets. The next best was *Sitotroga cerealella* eggs + canola pollen at 54.23 eggs/female. The poorest diet was Canola pollen alone (22.88 eggs/female). The intrinsic rate of a natural increase (*r*), net reproductive rate (*Ro*), and gross reproductive rate (*GRR*) were greater *E. kuehniella* eggs + canola pollen with than other diets. Research has shown that the reproduction and survival rate of natural enemies (predator/parasitoid) changed significantly by feeding on pollen from different plants and this is because of the protein in pollen, which is high in canola pollen.

Conclusions

The most obvious finding that emerged from this study is that *E. kuehniella* eggs plus Canola pollen is the most appropriate diet due to its acceleration the development, high immature stages survivorship, and high reproduction rate. Canola pollen is an accessible and cheap food source that indicated alone was not accepted as suitable food and can be well included in the diet and as a supplementary diet and can also reduce the costs of mass production of the predator.

Keywords: Biological control, Life table, Mass rearing, Optimal diet

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص. ۴۷-۲۹

ارزیابی گرده کلزا Brassica napus به‌عنوان مکمل روی کیفیت سن شکارگر *Orius laevigatus* Fieber (Hem.: Anthocoridae) پرورش یافته در شرایط آزمایشگاهی

زلیخا میرزاخانی[۱] – محمد خانجانی[۲*] – محمد مهرآبادی[۳] – علیرضا سازمند[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۸

چکیده

دانه گرده گیاهان جایگزین و مکمل غذایی مهمی برای تولیدمثل شکارگران مختلف از جمله سن‌های شکارگر می‌باشد. امروزه سن شکارگر *Orius laevigatus*، یک عامل مهارگر زیستی تجاری شده برای مهار آفات گلخانه‌ای به‌ویژه تریپس غربی گل استفاده می‌شود. به این لحاظ، جدول زندگی این شکارگر، تحت تأثیر پنج رژیم غذایی شامل دانه گرده کلزا، تخم‌های *Ephestia kuehniella* Zeller، *Sitotroga cerealella* Oliveir، تخم *E. Kuehniell* + دانه گرده کلزا و تخم *S. cerealella* + دانه گرده کلزا، در شرایط دمایی ۲۵±۱ °C، رطوبت نسبی ۵۵±۱۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه داده‌ها براساس روش جدول زندگی سن–مرحله دو جنسی انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان طول عمر ۲۷/۱۴±۱/۰۱ روز و تعداد تخم گذاشته شده ۸۹/۷۵±۹/۲۴ عدد در تغذیه با تخم بید آرد و دانه گرده کلزا محاسبه شد. بیشترین مقدار پراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، ۰/۱۹۶±۰/۰۰۸ (ماده/ ماده/ روز) در تیمار تخم بید آرد همراه با دانه گرده کلزا و کمترین مقدار در تیمار دانه گرده کلزا ۰/۰۱۶±۰/۰۱۷ (ماده/ ماده/ روز) مشاهده شد. بالاترین مقادیر نرخ خالص تولیدمثل (R_0) و نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR) به‌ترتیب ۳۸/۴۵±۶/۲۱ و ۶۷/۶±۹/۷ (تخم/ فرد) در تغذیه با ترکیب تخم بید آرد و دانه گرده کلزا محاسبه شد. طول دوره مراحل زیستی، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)، مدت زمان یک نسل (T) دارای تفاوت معنی‌دار، امّا نسبت جنسی فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در تمام تیمارها بود. با توجه به تفاوت‌های آماره‌های رشد سن شکارگر *O. laevigatus* در تغذیه با تخم بید آرد و دانه گرده کلزا، به نظر می‌رسد که این رژیم تغذیه‌ای می‌تواند گزینه مناسبی برای پرورش این شکارگر در انسکتاریوم‌ها باشد. به امید آنکه با بومی‌سازی این شکارگر بتوان در مهار آفات گلخانه‌ای کشور قدم مؤثری برداشت.

واژه‌های کلیدی: پرورش انبوه، جدول زندگی، رژیم غذایی بهینه، کنترل بیولوژیک

مقدمه

با توسعه کشاورزی در سال‌های اخیر، استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی افزایش یافته است. استفاده از آفت‌کش‌ها در بسیاری از موارد رضایت کشاورزان را فراهم نمی‌کنند، زیرا مهار شیمیایی آفات گیاهی به‌ویژه آفات چند نسلی، پیامدهای ناگواری نظیر آلودگی خاک و آب، به هم خوردن تعادل طبیعی در بوم‌نظام‌ها، از بین رفتن دشمنان طبیعی، ایجاد باقی‌مانده بالا در محصولات کشاورزی و به تبع آن تهدید سلامت مصرف کنندگان، از بین رفتن تنوع زیستی، مقاومت آفات گیاهی و بروز آفات جدید در عرصه‌های کشاورزی را در پی داشته است. به همین دلیل، روش‌های سازگار با محیط زیست برای مهار آفات مورد توجه قرار گرفته است، زیرا این روش‌ها در عین مهار مطلوب آفات، مسائل و مشکلات استفاده از ترکیبات شیمیایی را نیز دربرندارد. استفاده از روش‌های سازگار با محیط زیست در عرصه‌های حفاظت شده کشاورزی نظیر گلخانه‌ها نه‌تنها مسائل و مشکلات

۱ و ۲– گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی،دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران
۳– گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۴– گروه پاتوبیولوژی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران
(*– نویسنده مسئول: Email: khanjani@basu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88727.1198

مذکور را ندارد ،بلکه با مهار مطلوب آفات، تولید محصول سالم و ایمن برای مصرف‌کنندگان را نیز دربردارد. در حال حاضر در گلخانه‌ها، استفاده از عوامل کنترل زیستی کاملاً رایج و مقرون‌به‌صرفه بوده و مورد استقبال گلخانه‌داران واقع شده است (Barzman *et al.*, 2015). به‌منظور دستیابی به مهار مؤثر و کارآمد، لازم است که مهارگر زیستی مناسب در عرصه‌های مورد نظر مورد استفاده قرار گیرد.

در دنیای بندپایان، دشمنان طبیعی متعددی به‌عنوان شکارگر، پارازیتوئید حشرات و کنه‌های گیاه‌خوار یافت می‌شوند. یکی از آن‌ها، سن‌های راسته خرطوم مفصلی‌ها هستند. افراد این راسته علاوه‌بر داشتن گونه‌های گیاه‌خوار، گونه‌های شکارگر فراوانی نیز دارد (Bellows & Fisher, 1999) که به‌عنوان عوامل کنترل زیستی در برنامه مهار آفات در سراسر جهان استفاده می‌شوند (Mouden *et al.*, 2017). یکی از خانواده‌های شکارگر مهم این راسته، خانواده Anthocoridae است. افراد این خانواده شکارگر، با تغذیه از حشرات آفت نظیر تریپس‌ها (Amarathunga *et al.*, 2024)، شته‌ها، کنه‌ها، سفیدبالک‌ها و دیگر بندپایان کوچک می‌توانند نقش مؤثری در کاهش خسارت اقتصادی ناشی از آفات داشته باشند (Ballal & Yamada, 2016; Mendoza *et al.*, 2020). سن شکارگر *Orius laevigatus* Fieber (Hem.: Anthocoridae) یکی از رایج‌ترین گونه‌های مورد استفاده در کنترل بیولوژیک برای مهار آفات در گلخانه‌ها است، ازآن‌جاکه این شکارگر در محیط گلخانه فاقد دیاپوز بوده و در طول سال فعال است (Venzon *et al.*, 2002)، می‌تواند به‌عنوان عامل مهمی در برنامه مدیریت تلفیقی آفات گلخانه قرار گیرد و در حال حاضر توسط سازمان حفظ نباتات کشور در لیست شکارگرهای مجاز و مناسب برای مهار زیستی تریپس گلخانه قرار گرفته و در برخی از گلخانه‌ها رهاسازی شده است. اولین گام در اجرای یک برنامه کنترل بیولوژیک موفق، مطالعه اساسی زیست‌شناسی آن می‌باشد. به منظور درک رفتار، زیست‌شناسی، اکولوژی حشرات و بهبود راهبردهای مدیریت آفات، آگاهی از برهم‌کنش حشرات با منابع غذایی مورد نیازشان ضروری است. کیفیت مواد غذایی می‌تواند جنبه‌های بسیاری از ویژگی‌های زیستی شکارگران از جمله تکامل، زنده‌مانی و تولیدمثل را تحت تأثیر قرار دهد (Omkar *et al.*, 2009). از طرف دیگر، داده‌های کمّی نرخ زنده‌مانی و تولیدمثل شکارگران، شاخص مناسبی برای تشخیص شایستگی طعمه در رژیم غذایی شکارگران محسوب می‌شود (Kalushkov & Hodek, 2001). همواره انتخاب رژیم غذایی مناسب برای زنده‌مانی و بهبود عملکرد دشمنان طبیعی در محیط‌های پرورشی، دغدغه بزرگ پرورش دهندگان عوامل بیولوژیک می‌باشد. امروزه در پرورش سن‌های شکارگر از تخم بید آرد به‌دلیل قدرت تکثیر بالا و پرورش آسان روی مواد انباری به‌عنوان منبع تغذیه استفاده می‌شود (Tan *et al.*, Bonte & De Clercq, 2008; Gallego *et al.*, 2022; 2011). امّا در کشور چین تخم بید غلات، کاربرد بیشتری در این زمینه دارد (Lu *et al.*, 2017; Ge *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2021). با توجه به این مسئله که سن‌های شکارگر رژیم چندخواری داشته و از منابع متعددی برای تغذیه استفاده می‌کنند، جهت مقرون‌به‌صرفه بودن پرورش، کاهش هم‌خواری، تسهیل در پرورش انبوه و افزایش اثربخشی این شکارگر در مهار آفات، استفاده از مکمل‌های تغذیه‌ای مانند گرده گیاهان مختلف (Funao & Yoshiyasu, 1995) و سیست میگوی آب شور *Artemia franciscana* Leach (Anostraca: Artemiidae) (Arijs & De Clercq, 2001) توسعه یافته است. از دیگر مزایای استفاده از دانه گرده در تولید انبوه عوامل بیولوژیک می‌توان به نگهداری طولانی‌مدت در شرایط خشک و خنک و دسترسی آسان اشاره نمود (Tanigoshi, 1999; Nomikou *et al.*, Van Rijn & 2010).

در طبیعت، تغذیه از گرده گیاهان در سن‌های شکارگر جنس *Orius* رایج است و حتی در زمان فقدان طعمه قادر به نشوونمای خود با استفاده از گرده گیاهان هستند و اهمیت این مسئله به‌حدی است که بیشتر شکارگران و پارازیتوئیدها در مزارع، بیشترین پراکنش را در مرحله گل‌دهی گیاهان دارند (Dicke & Jarvis, 1962; Isenhour & Marston, 1981; Pilcher *et al.*, 1997; Shakya *et al.*, 2009).

در همین راستا، بررسی جدول زندگی عوامل بیولوژیک روی رژیم‌های غذایی مختلف می‌تواند به بهینه‌سازی رژیم غذایی کمک شایانی نماید. در بررسی جدول زندگی، نرخ ذاتی افزایش جمعیت بیانگر بیشترین میزان افزایش جمعیت در شرایط فیزیکی و زیستی مشخص می‌باشد و همچنین نشان‌دهنده مجموع اثرات عوامل مختلف مانند رژیم غذایی روی زنده‌مانی، رشدونمو و قدرت زادآوری جمعیت حشرات است (Southwood & Henderson, 2000). به‌علاوه، این پراسنجه بیانگر تفاوت نرخ ذاتی تولد و مرگ در یک جمعیت دارای توزیع سنی پایدار است. نرخ ذاتی افزایش جمعیت و نرخ متناهی افزایش جمعیت، مهم‌ترین پراسنجه‌های مورد استفاده برای مقایسه جمعیت‌های مختلف با توزیع سنی پایدار هستند (Carey, 1993).

مطالعات متعددی در زمینه پرورش و بررسی جدول زندگی *O. laevigatus* روی رژیم‌های غذایی و میزبان‌های غذایی مختلف صورت گرفته است (Wang & Shipp, Vacante *et al.* 1997; 2001; Sanchez & Lacasa, 2002; Burgio *et al.*, 2004; Nothnagl *et al.*, 2008; Bonte & De Clercq, 2010a, 2010b, 2011; De Puysseleyr & De Clercq, 2014). شهیم (Shahim, 2011) در تحقیقات خود نشان داد که افزودن گرده ذرت به رژیم غذایی سن *O. albidipennis* سبب افزایش طول عمر افراد

ماده، دوره تخم‌ریزی، تعداد نتاج تولیدی، نرخ زنده‌مانی، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) و نرخ خالص تولیدمثل (R0) این شکارگر می‌شود.

در پژوهش‌های صورت گرفته، بهترین رژیم غذایی برای پرورش سن‌های جنس اوریوس استفاده از ترکیب تخم بید آرد و گرده ذرت معرفی شده بود، همچنین استفاده از مکمل گرده باعث افزایش کارآیی شکارگری *O. laevigatus* در مهار جمعیت تریپس غربی گل می‌گردد (Montserrat *et al.*, 2000). گرده گیاهان به‌دلیل تأمین پروتئین مورد نیاز شکارگران باعث افزایش میزان تخم‌گذاری می‌گردد (Hulshof & Jarchenco, 2000). در زمان رهاسازی شکارگران، وجود گرده باعث جلب عامل بیولوژیک شده و حتی در مناطق حاوی گرده، مهار آفات سریع‌تر اتفاق افتاده است (Coll & Guershon, 2002). کوکوزا و همکاران (Cocuzza *et al.*, 1997) معتقدند که ترکیب گرده ذرت و تخم بید آرد در تغذیه سن‌های *O. laevigatus* و *O. albidipennis* باعث افزایش ۴۰ درصدی میزان تخم‌گذاری نسبت به تخم بید آرد به‌تنهایی می‌شود. با توجه به سیاست دولت برای تأمین بخشی از روغن مورد نیاز کشور از طریق منابع داخلی، توسعه و ترویج کشت گیاه کلزا در استان‌های مختلف مورد توجه قرار گرفته است و دسترسی به آن در اوایل فصل رشد طی اواخر زمستان، باعث شد که از آن به‌عنوان مکمل غذایی برای تکمیل رژیم *O. laevigatus* استفاده شود، چون در هیچ مطالعه‌ای با وجود دسترس بودن آن، مناسب بودن و نبودن دانه گرده کلزا برای تغذیه این سن شکارگر، مورد توجه و مطالعه قرار نگرفته بود. لذا، هدف اصلی از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر تغذیه با پنج رژیم غذایی مختلف بر پراسنجه‌های جدول زندگی سن شکارگر *O. laevigatus* و انتخاب بهترین رژیم غذایی مناسب برای بهینه‌سازی پرورش انبوه تجاری – صنعتی این سن شکارگر بوده است.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری گرده

دانه گرده کلزا (*Brassica napus* Linnaeus) از گیاهان شهرستان مریوان، استان کردستان (N 5489 °35 و E 1297 °46) جمع‌آوری شد. دانه‌های گرده جمع‌آوری شده برای نگهداری طولانی مدت در دمای ۲۰- درجه سلسیوس و برای نگهداری کوتاه‌مدت حداکثر دو هفته در یخچال با دمای چهار درجه سلسیوس قرار داده شدند.

پرورش حشرات

کلنی اولیه حشرات کامل سن شکارگر *O. laevigatus* از سن‌های رهاسازی شده در گلخانه فلفل رنگی واقع در شهرستان فلاورجان استان اصفهان جمع‌آوری و به آزمایشگاه حشره‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان انتقال یافت. پرورش این شکارگر براساس روش اصلاح شده ون‌دن میراکر (Van de Veire, 1995) انجام شد. به این صورت که چهار جفت از حشرات کامل درون ظروف استوانه‌ای از جنس پلکسی گلس به ارتفاع ۱۸ و قطر هشت سانتی‌متر قرار داده شد. برای تأمین تهویه لازم ظروف، سوراخی به قطر سه سانتی‌متر در درب بطری‌ها تعبیه و با توری ارگانزا پوشیده شد. درون هر ظرف یک غلاف لوبیا سبز به‌عنوان بستر تخم‌گذاری و تأمین رطوبت قرار داده شد و از تخم بید آرد به‌عنوان منبع تغذیه استفاده شد. روزانه غلاف‌ها خارج و غلاف جدید جایگزین شد. پرورش سن شکارگر در اتاقک رشد با شرایط دمایی ۱±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۱۰±۵۵ درصد و دوره نوری ۱۶:۸(۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی) صورت گرفت.

کلنی بید آرد *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep.: Pyralidae) و بید غلات *Sitotroga cerealella* Oliveir (Lep.: Gelechidae) از انسکتاریوم شرکت سبزآوران، واقع در پارس‌آباد مغان، استان اردبیل تهیه شد. سپس در اتاقک رشد حشرات دانشگاه بوعلی‌سینا پرورش انبوه داده شد. در پرورش بید آرد، نیم کیلو سبوس گندم با یک کیلو آرد که قبلاً در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس، استریل شده بود، مخلوط و داخل ظروف پلاستیکی به ابعاد ۱۰×۱۹×۲۶ سانتی‌متر که درب آن‌ها از قبل برای ایجاد تهویه به‌شکل مستطیل به ابعاد ۸ × ۱۲ سانتی‌متر برش داده شده بود، قرار داده شد. در این پرورش، ۰/۴ گرم از تخم‌های شب‌پره روی سطح این بستر غذایی به‌صورت یکنواخت پخش و درون اتاقک رشد با شرایط دمایی ۱±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۱۰±۵۵ درصد و دوره نوری ۱۶:۸ (۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی) نگهداری شد. با ظهور اولین حشرات کامل، روزانه شب‌پره‌ها به کمک آسپیراتور جدا و درون قیف که دهانه آن با تور معمولی محصور شده بود، انتقال یافت، تخم‌های جمع‌آوری شده روزانه جداسازی و درون ظرف‌های جدید با همان شرایط ذکر شده در بالا انتقال داده شد (Ozkan, 2007).

برای پرورش بید غلات نیز حدود یک کیلوگرم جو پس از ضدعفونی درون ظروف مشابه ظروف پرورش بید آرد ریخته و یک گرم تخم بید غلات روی سطح آن پاشیده و در اتاقک رشد با شرایط ذکر شده قرار داده شد. حشرات کامل پس از خروج ازمرحله شفیرگی به کمک آسپیراتور جمع‌آوری و به ظروف تخم‌گذاری انتقال داده شد (Throne & Weaver, 2013).

جدول زندگی دوجنسی سن شکارگر *O. laevigatus*

پس از دو نسل پرورش سن شکارگر *O. laevigatus* در اتاقک

رشد و با تغذیه از مخلوط تخم‌های بید آرد، بید غلات و دانه گرده کلزا، از حشرات بالغ این نسل برای انجام آزمایش‌های جدول زندگی این شکارگر روی پنج رژیم غذایی شامل تخم بید آرد، تخم بید غلات، دانه گرده کلزا به‌تنهایی، تخم بید آرد به همراه دانه گرده کلزا و تخم بید غلات به همراه دانه گرده کلزا استفاده شد. به این منظور، به‌ازای هر رژیم غذایی یک کوهورت[1] یا گروه هم‌زادگان با ۱۰۰ تخم سن شکارگر در مدت ۱۲ ساعت تهیه گردید. پوره‌های هر گروه رژیم غذایی به‌صورت انفرادی درون پتری به‌قطر شش سانتی‌متر قرار داده و از تکه‌های لوبیا به‌عنوان منبع تأمین رطوبت استفاده شد. ظروف روزانه بازدید و درصد زنده‌مانی و طول دوره زیستی آن‌ها ثبت گردید. با ظهور حشرات بالغ، ۶۰ حشره نر و ماده به‌صورت تصادفی جفت شده و درون ظروف استوانه‌ای مشابه ظروف پرورش به همراه یک غلاف لوبیا کامل (به‌عنوان بستر تخم‌گذاری) منتقل شد. حشرات بالغ روزانه بازبینی و میزان مرگ‌ومیر آن‌ها و تعداد تخم‌های گذاشته شده توسط هر فرد ماده شمارش گردید و این روند تا مرگ آخرین فرد ادامه یافت.

برای سهولت در خواندن رژیم غذایی از اختصارات در مقاله استفاده شده است: E.k (*Ephestia kuehniella*) و S.c (*Sitotroga cerealella*).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از مرگ آخرین فرد جمعیت و ثبت اطلاعات، تجزیه داده‌ها با استفاده از تئوری سن مرحله دو جنسی (Age-stage two sex life table theory) و با استفاده از نرم‌افزار Twosex – MsChart ver 2022.03.22 (Chi, 2022) انجام شد. از مزایای این روش، لحاظ نمودن طول دوره زیستی، تفاوت‌های نرخ رشدونمو و تلفات مراحل پیش از بلوغ، در نظر گرفتن جنسیت در طول دوره نمو مراحل مختلف زندگی، برآورد نقش حشرات نر در افزایش جمعیت و امکان پیش‌بینی رشد جمعیت است (Chi & Liu, 1985; Kavousi *et al*., 2009; Chi *et al*., 2020, 2022).

نرخ زنده‌مانی ویژه مرحله‌ای – سنی[2] (S_{xj}) (x: سن و j: مرحله)، باروری ویژه مرحله‌ای – سنی[3] (F_{xj})، میانگین باروری ماده (F)، نرخ تولیدمثل مرحله‌ای – سنی[4] (V_{xj})، امید به زندگی مرحله‌ای – سنی[5] (exj)، نرخ زنده‌مانی ویژه سن[6] (l_x)، باروری ویژه سنی (m_x) و پراسنجه‌های جمعیت (r: نرخ داتی افزایش جمعیت، λ: نرخ متناهی افزایش جمعیت، R_0: نرخ خالص تولیدمثل[7]، GRR: نرخ ناخالص تولیدمثل[8] و T: میانگین مدت زمان نسل، طبق روابط مربوط محاسبه شدند (Chi *et al*., 2022Chi & Su, 2006 ;).

محاسبه میانگین و خطای استاندارد آن برای کلیه مراحل زیستی و پراسنجه‌های فوق با روش حدود اطمینان تفاضل Bootstrap تخمین زده شد. در این روش، یک نمونه از n فرد در جمعیت گروه هم‌سن با یک تکرار مشخص (در این آزمایش ۱۰۰،۰۰۰ عدد) تخمین زده شد.

مقایسه‌های آماری و بررسی تفاوت معنی‌دار آماری میان سطوح مختلف رژیم‌های غذایی در همین نرم‌افزار و به‌روش Paired Bootstrap test در سطح احتمال پنج درصد اجرا شد. لازم به ذکر است که به‌منظور بررسی تغییرات آماری نسبت جنسی براساس رژیم غذایی، از آزمون کای اسکوئر (Chi-Square) در سطح احتمال پنج درصد با کمک نرم‌افزار SAS 9.4 استفاده شد. تمام شکل‌های مورد استفاده توسط نرم‌افزار Sigmaplot (ver. 14) ترسیم شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی طول دوره‌های زیستی سن شکارگر *O. laevigatus* روی رژیم‌های مختلف غذایی شامل تخم بید آرد، تخم بید غلات، دانه گرده کلزا، تخم بید آرد به همراه دانه گرده کلزا و تخم بید غلات به همراه دانه گرده کلزا در جدول ۱ ارائه شده است. براساس این نتایج، دوره جنینی تخم در کل جمعیت حشرات نر و ماده فاقد تفاوت معنی‌دار بود. بقیه مراحل زیستی این شکارگر شامل پوره، حشره کامل و طول عمر (از تخم تا مرگ حشره کامل) دارای تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد بود. در تیمارهایی که از دانه گرده کلزا به‌عنوان مکمل استفاده شده بود، طول دوره مراحل پیش از بلوغ کاهش و طول عمر حشره بالغ افزایش یافت و این افزایش طول عمر، فرصت کافی به حشرات بالغ ماده می‌دهد تا حداکثر تخم‌گذاری را داشته باشند و در واقع، شانس بیشتری برای گسترش دامنه انتشار و زنده‌مانی بعد از عمل رهاسازی را می‌دهد، ولی تغذیه افراد بالغ از رژیم غذایی گرده کلزا باعث افزایش طول دوره مراحل پیش از بلوغ و کاهش طول دوره زیستی حشره کامل شد، به نظر می‌رسد که اگرچه دانه گرده کلزا مکمل غذایی خوبی برای پرورش انبوه است، ولی به‌تنهایی تمام نیازهای غذایی شکارگر را فراهم نمی‌کند، اگرچه می‌تواند در صورت نبود طعمه مناسب، زنده‌مانی و دوام زیستی شکارگر را فراهم نماید. بیشترین تفاوت در طول دوره‌های مختلف زیستی در دو

1- Cohort
2- Survival rate to each age-stage interval
3- Age-stage-specific fecundity
4- Age-stage specific reproductive value
5- Age-stage-specific life expectancy
6- Age-specific survival rate
7- Net reproductive rate
8- Gross reproductive rate

تیمار تخم بید آرد همراه دانه گرده کلزا و دانه گرده کلزا مشاهده شد و در جدول ۱ طول دوره‌های زیستی به تفکیک جنسیت نر و ماده نیز همین روند را نشان می‌دهد.

جدول ۱- میانگین (± خطای استاندارد) طول دوره‌های مختلف رشدی نر و ماده *Orius laevigatus* با تغذیه از رژیم‌های غذایی مختلف

Table 1- Mean (± SE) duration of different development stages of the *Orius laevigatus* male and female fed by different diets

Life stage/sex	Feeding diet*	Egg period	Nymph period	Adult	Lifespan
Immature and adult stages	E.k. eggs	3.13±0.04a*	10.66±0.11b	10.15±0.91b	**23.92±0.91b**
	S.c. eggs	3.1±0.03a	10.8±0.1b	8.21±0.91bc	**21.56±0.44c**
	Canola pollen	3.12±0.04a	16.89±0.41a	7.67±0.43c	**27.67±1.01bc**
	E.k. eggs + canola pollen	3.19±0.04a	8.85±0.07b	17.06±1.01a	**29.26±1.15a**
	S.c. eggs + canola pollen	3.11±0.04a	9.85±0.09b	11.15±1.07b	**24.04±1.08b**
Adult females	E.k. eggs	3.09±0.05a	10.5±0.15b	10.94±1.24b	**24.53±1.23c**
	S.c. eggs	3.09±0.04a	10.65±0.17b	8.63±0.62bc	**22.37±0.63d**
	Canola pollen	3.18±0.12a	16.64±0.62a	7.82±1.42c	**27.64±1.72b**
	E.k. eggs + canola pollen	3.06±0.07a	8.82±0.1c	17.36±1.32a	**29.24±1.31a**
	S.c. eggs + canola pollen	3.03±0.03a	9.9±0.11bc	11.79±1.32b	**24.72±1.31c**
Adult males	E.k. eggs	3.05±0.07a	10.85±0.15b	9.15±1.35b	**23.15±1.36b**
	S.c. eggs	3.09±0.04a	10.98±0.09b	8.57±0.55c	**22.64±0.57b**
	Canola pollen	3.12±0.12a	17.25±0.49a	6.75±1.19bc	**27.12±1.47a**
	E.k. eggs + canola pollen	3.09±0.08a	8.89±0.1c	16.63±1.62a	**28.61±1.61a**
	S.c. eggs + canolapollen	3.06±0.06a	9.78±0.13bc	10.11±1.84b	**22.94±1.89b**

* حروف متفاوت در هر ستون نشانگر تفاوت معنی دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد است.

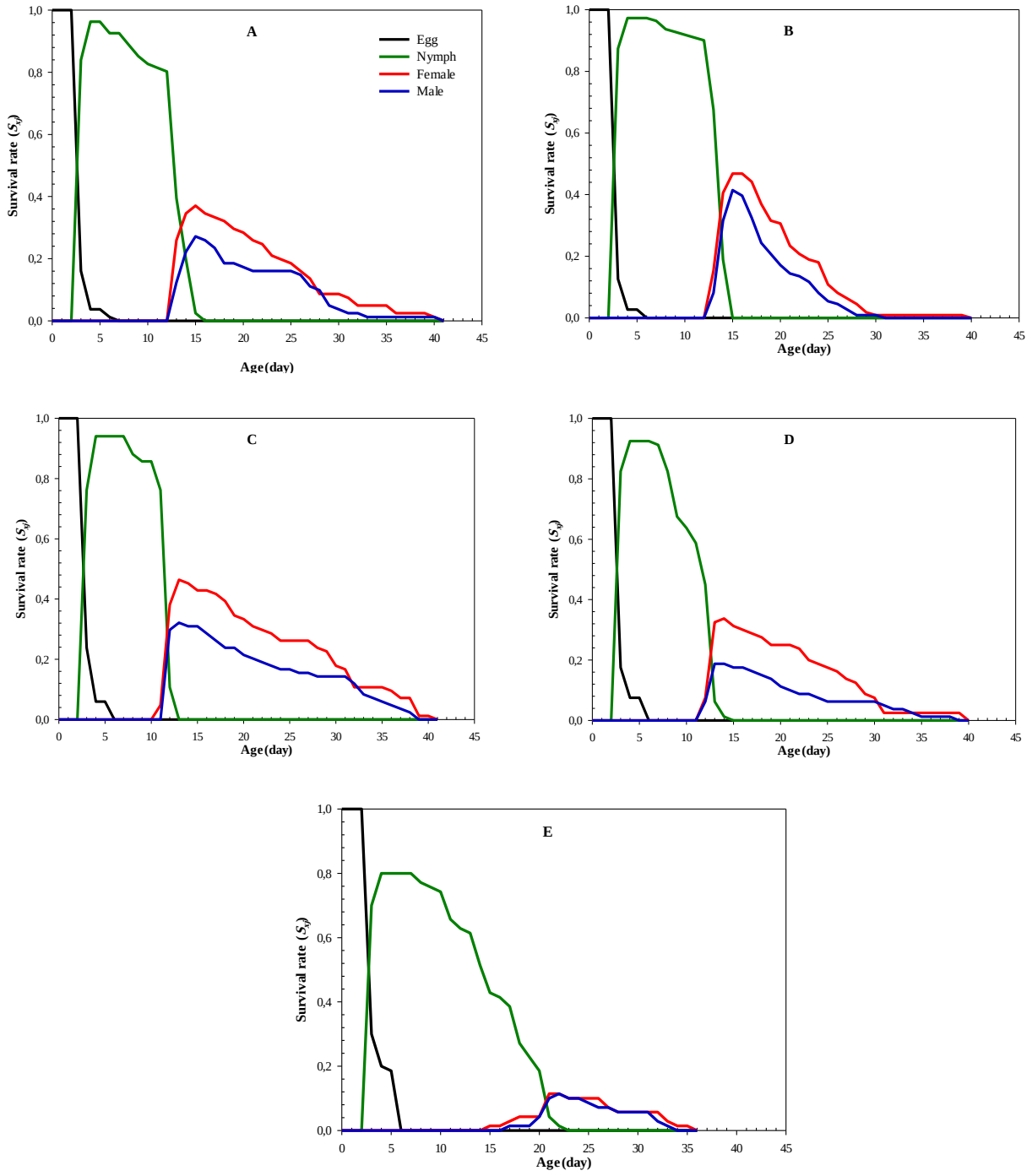
* Different lower-case letters in each column indicate significant differences between means at $P < 0.05$.

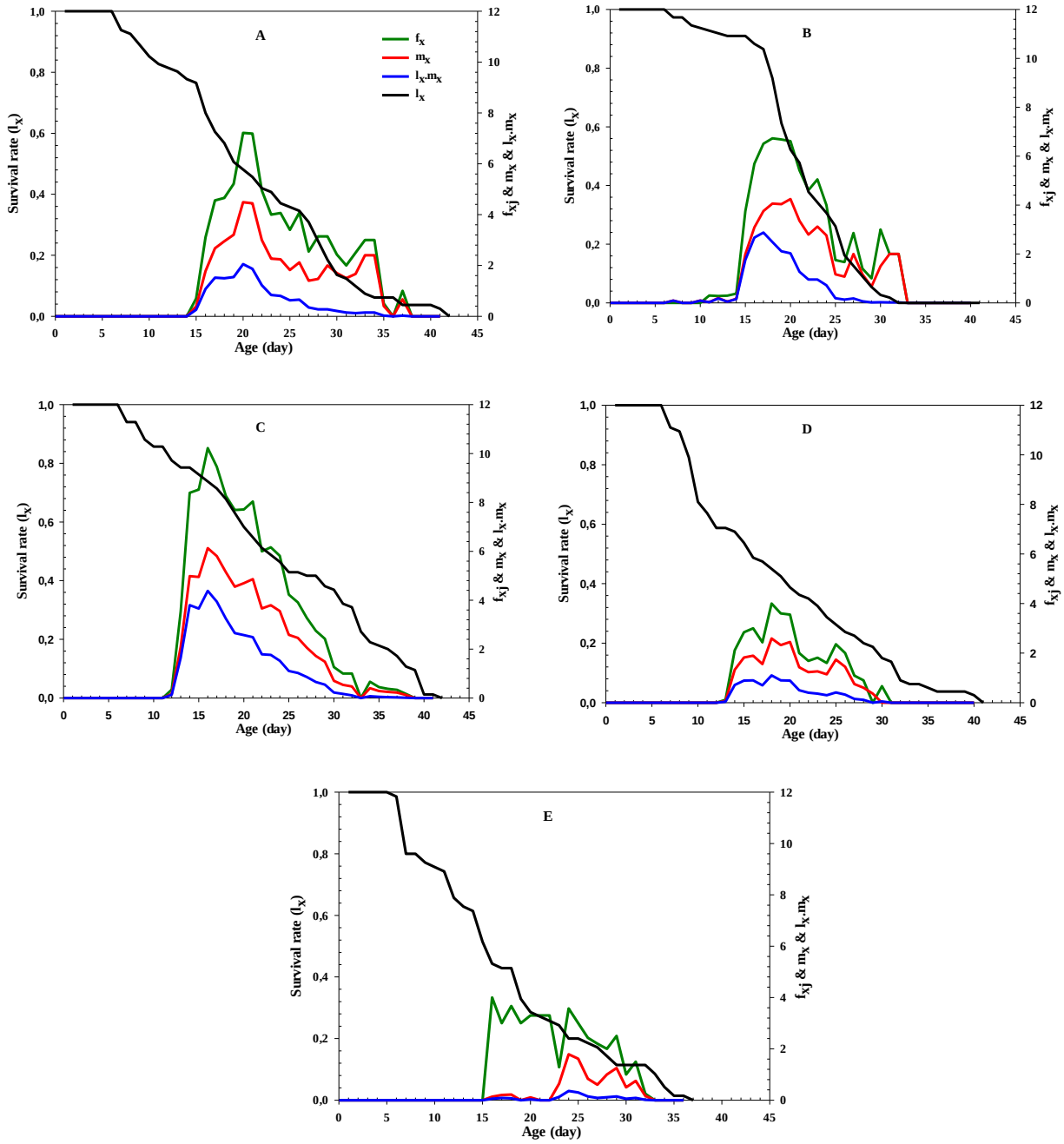
پراسنجه‌های تولیدمثلی که شایستگی افراد ماده را نشان می‌دهد در سن‌هایی که از تخم بیدآرد همراه با دانه گرده کلزا تغذیه کرده‌اند بیشترین مقدار را دارد همچنین طول دوره پیش از تخم‌ریزی، زمان ظهور حشرات بالغ تا شروع تخم‌ریزی (APOP[1]) و کل دوره پیش از تخم‌ریزی یعنی از زمان تشکیل تخم تا شروع تخم‌گذاری حشره ماده (TPOP[2]) در کلیه رژیم‌های غذایی در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار آماری داشتند و افزودن دانه گرده به رژیم غذایی باعث کاهش طول این دوره گردیده، امّا رژیم غذایی دانه گرده کلزا به‌تنهایی باعث افزایش دو برابری مدت زمان این دوره شده بود. بالاترین میزان طول دوره تخم‌ریزی و تعداد تخم گذاشته شده توسط هر فرد ماده در تغذیه از ترکیب تخم بید آرد و دانه گرده کلزا بدست آمد (جدول ۲).

براساس جدول ۲، نتایج حاصل از آزمون کای اسکوئر نشان داد که با وجود تفاوت میان تعداد افراد نر و ماده، نسبت جنسی فاقد تفاوت معنی‌دار آماری بود (Chisq.test, df = 4, Chisq= 0.9687, P-value= 0.548). به نظر می‌رسد که نسبت جنسی در این شکارگر خیلی متأثر از تغذیه نبوده و احتمالاً تحت تأثیر عوامل دیگری باشد. در مقایسه رژیم‌های غذایی مختلف در پرورش حشرات، زمانی یک رژیم غذایی نسبت به سایرین برتری دارد که نسبت جنسی حشرات پرورش یافته به‌نفع افراد ماده باشد و در عین حال، میزان زادآوری تا حد امکان افزایش یابد که در این پژوهش در رژیم غذایی مخلوط تخم بید آرد و دانه گرده کلزا این امر مشاهده شده است.

نرخ زنده‌مانی ویژه سن – مرحله (S_{xj}) سن شکارگر *O. laevigatus* با تغذیه از پنج رژیم غذایی در شکل ۱ ترسیم شده است. منحنی زنده‌مانی مربوط به مراحل مختلف زندگی *O. laevigatus* دارای هم‌پوشانی مشخصی است که در تمامی این شکل‌ها مشترک است. در حقیقت، این هم‌پوشانی به این دلیل بروز کرده است که افراد متعلق به این گونه در مراحل مختلف زندگی با نرخ‌های متفاوتی رشدونمو کرده‌اند، با توجه به شکل ۱، نقطه اوج منحنی زنده‌مانی در حشرات ماده با تغذیه از تخم بید غلات و ترکیب تخم بید آرد و دانه گرده کلزا به‌ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۴۷ به‌دست آمد، امّا در حشرات ماده که از تخم بید آرد و ترکیب تخم بید غلات و دانه گرده کلزا تغذیه کرده بودند، به‌ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۳۳ محاسبه شد و سن‌هایی که فقط از دانه گرده کلزا تغذیه نمودند در کلیه مراحل زیستی، کاهش چشم‌گیری نسبت به دیگر رژیم‌های غذایی از خود نشان دادند.

1- Adult preoviposition period
2- Total preoviposition period


A
B
C
D
E
Egg
Nymph
Female
Male
Survival rate (S_{xj})
Age(day)
0,0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45



شکل ۲– نرخ زنده‌مانی ویژه سنی (l_x)، زادآوری ویژه سنی (m_x)، زادآوری ویژه سن– مرحله زندگی (fxj) و نرخ سره ($l_x.m_x$) سن شکارگر *Orius laevigatus* با تغذیه از تخم *Ephestia kuehniella* (A)، تخم *Sitotroga cerealella* (B)، تخم *Ephestia kuehniella* + دانه گرده کلزا (C)، تخم *Sitotroga cerealella* + دانه گرده کلزا (D)، دانه گرده کلزا (E)

Figure 2- Age-specific survival rate (l_x), age-specific fecundity (m_x), and age-specific maternity ($l_x.m_x$) and female age-specific fecundity (fxj) of *Orius laevigatus* fed by *Ephestia kuehniella* eggs (A), *Sitotroga cerealella* eggs (B), *Ephestia kuehniella* eggs + canola pollen (C) and *Sitotroga cerealella* eggs + canola pollen (D), canola pollen (E)

جدول ۲- میانگین (± خطای استاندارد) دوره پیش از تخم‌ریزی، کل دوره پیش از تخم‌ریزی، دوره تخم‌ریزی و تعداد تخم گذاشته شده *Orius laevigatus* با تغذیه از رژیم‌های غذایی مختلف

Table 2- Mean (± SE) of APOP, TPOP, oviposition periods and fecundity of *Orius laevigatus* fed by different diet

Feeding diets*	Adult Preoviposition Period (day)	Total Preoviposition Period (day)	Oviposition period (day)	Fecundity (egg.female^{-1})	Sex ratio (female:male)
E.k. eggs	3.08±0.25^{a*}	16.73±0.29^{b}	8.08±1.10^{b}	48.81±7.13^{bc}	***55.7: 44.3***
S.c. eggs	1.5±0.13^{b}	15.27±0.21^{b}	6.08±0.50^{c}	44.06±5.28^{c}	***53.5 : 46.5***
Canola pollen	2.88±0.55^{ab}	22.88±1.01^{a}	4.62±0.84^{d}	22.88±1.01^{d}	***57.9 : 42.1***
E.k. eggs + canola pollen	1.69±0.41^{b}	13.75±0.40^{c}	10.75±0.96^{a}	89.75±9.24^{a}	***59.1 : 40.9***
S.c.eggs + canola pollen	1.85±0.3^{b}	14.69±0.35^{bc}	7.69±1.60^{bc}	54.23±12.57^{b}	***55.5 : 44.5***

* حروف متفاوت در هر ستون نشانگر تفاوت معنی دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد است.

* Different lower-case letters in each column indicate significant differences between means at P < 0.05.

میزان نتاج تولیدی در روزهای اول خروج حشرات کامل کم، ولی با گذشت زمان به‌سرعت بر میزان آن افزوده شد، به‌طوری‌که اوج نتاج در تغذیه با تخم بید آرد در روز بیست و سوم برابر ۴/۴۸ عدد، در تغذیه با تخم بید غلات در روز بیست و سوم برابر ۴/۲۴ عدد و با تغذیه از مخلوط تخم بید آرد و دانه گرده کلزا در روز نوزدهم به‌مقدار ۶/۱۳ عدد، مخلوط تخم بید غلات و دانه گرده کلزا در روز بیست و یکم به‌میزان ۳/۷۴ عدد و در دانه گرده کلزا در روز شانزدهم به‌میزان ۴/۰۳ عدد مشاهده شد. این پراسنجه، اثر مثبت تغذیه از دانه گرده کلزا به‌عنوان مکمل که باعث کاهش طول دوره رسیدن به حداکثر نتاج می‌شود را به‌خوبی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲، تأثیر رژیم غذایی بر ارتفاع منحنی $lx.m_x$ به‌خوبی مشهود است، به‌طوری‌که کمترین ارتفاع در تغذیه با دانه گرده کلزا و بیشترین ارتفاع در تغذیه با مخلوط تخم بید آرد و دانه گرده کلزا می‌باشد، با توجه به اهمیت این منحنی در مهار زیستی آفات گیاهی، به نظر می‌رسد که رژیم غذایی مخلوط تخم بید آرد و دانه گرده کلزا، گزینه مناسبی برای پرورش سن‌های شکارگر *O. laevigatus* باشد. همچنین مطابق منحنی f_x شکل ۲، بیشترین میزان زادآوری مربوط به سن‌هایی بود که از تخم بید آرد همراه با دانه گرده کلزا تغذیه کردند. آنچه که در کلیه رژیم-هایی غذایی مشاهده می‌گردد، این است که طول عمر حشرات ماده بیشتر از حشرات نر است که این امر می‌تواند ناشی از وزن بالا و ذخیره چربی بیشتر در حشرات ماده باشد.

پراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) طبق جدول ۳، تحت تأثیر نوع رژیم غذایی بود و تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت و کمترین مقدار پراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت در تغذیه از دانه گرده کلزا (۰/۰۱) و بیشترین مقدار در مخلوط تخم بید آرد و دانه گرده کلزا (۰/۱۹) بر روز مشاهده شد و برخلاف انتظار، ترکیب دانه گرده کلزا با تخم بید غلات منجر به کاهش این آماره نسبت به تغذیه از تخم بید غلات شده بود و سایر پراسنجه‌های جدول زندگی نیز تحت تأثیر رژیم غذایی تغییر یافت، به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار نرخ خالص تولیدمثل R_0 و نرخ ناخالص تولیدمثل GRR در تغذیه از مخلوط تخم بید آرد و دانه گرده کلزا مشاهده شد که این تفاوت می‌تواند ناشی از اثر کیفیت ماده غذایی در تغذیه این شکارگر باشد. کمترین نرخ متناهی افزایش جمعیت در تغذیه با دانه گرده کلزا مشاهده شد. میانگین طول دوره یک نسل که روشی متفاوت برای تشخیص کیفیت ماده غذایی است، کمترین مقدار را در رژیم غذایی مخلوط تخم بید آرد و دانه گرده کلزا و تخم بید غلات و بیشترین مقدار را در تیمار دانه گرده کلزا داشت.

نرخ ذاتی تولد، تابعی از نوع تغذیه شکارگر است، به‌طوری‌که نرخ ذاتی تولد در جمعیت پایدار این شکارگر در تغذیه از تخم‌های بید آرد و بید غلات به‌ترتیب ۱۵/ و ۰/۱۸ بود و افزودن دانه گرده کلزا به رژیم غذایی سن شکارگر باعث افزایش نرخ ذاتی تولد شد (جدول ۳). کمترین نرخ ذاتی تولد نیز با مقدار۰/۰۴۷در تیمار دانه گرده کلزا محاسبه شد. به نظر می‌رسد که دانه گرده کلزا به‌تنهایی نمی‌تواند تمام نیازهای غذایی این شکارگر را فراهم نماید، ولی در مخلوط با تخم‌های بال‌پولک‌داران، مکمل مناسبی برای تغذیه و پرورش شکارگر است. طبق نظر رایدر (Ryder, 1975) وقایع حیاتی رخ داده به‌ازای هر فرد از جمعیت (λ) این شکارگر که مجموع نرخ تولد و نرخ مرگ‌ومیر (1+d – b) است و در تحقیق حاضر، محاسبه اعداد مندرج در جدول ۳ با این فرمول مطابقت دارد. به‌طور کلی، در بین فاکتورهای مندرج در جدول ۳، نوع رژیم غذایی، بیشترین تأثیر را روی آماره‌های r و GRR داشته است که با توجه به اهمیت نرخ ذاتی افزایش جمعیت در کنترل بیولوژیک لازم است به اثر عامل تغذیه روی این عامل بیولوژیک توجه بیشتری مبذول شود.

جدول ۳- میانگین (± خطای استاندارد) پراسنجه‌های جدول زندگی سن شکارگر *Orius laevigatus* روی رژیم‌های غذایی

Table 3- Mean (± SE) life table parameters of adult *Orius laevigatus* on different diets

Feeding diet*	GRR (offspring)	R0 (offspring)	r (day $^{-1}$)	λ (day^{-1})	T (day)	Birth rate (b)	Death rate (d)	**Survival rate (s)**
E.k. eggs	46.9±9.81^{b}*	15.65±3.38^{b}	0.13±0.01^{bc}	1.13±0.01^{b}	21.30±0.47^{b}	0.15	0.02	**0.82**
S.c. eggs	43.66±7.47^{b}	19.04±3.06^{b}	0.15±0.01^{b}	1.16±0.01^{b}	18.38±0.43^{b}	0.18	1.14	**0.76**
Canola pollen	9.81±3.48^{d}	1.67±0.66^{d}	0.01±0.01^{d}	1.01±0.01^{c}	25.43±2.53^{a}	0.047	0.05	**0.59**
E.k. eggs + canola pollen	67.71±9.71^{a}	38.45±6.21^{a}	0.19±0.01^{a}	1.21±0.01^{a}	18.49±0.25^{b}	0.23	1.21	**0.85**
S.c. eggs + canola pollen	25.19±8.11^{c}	8.81±2.98^{c}	0.11±0.01^{c}	1.11±0.02^{b}	19.43±0.56^{b}	0.19	3.24	**0.78**

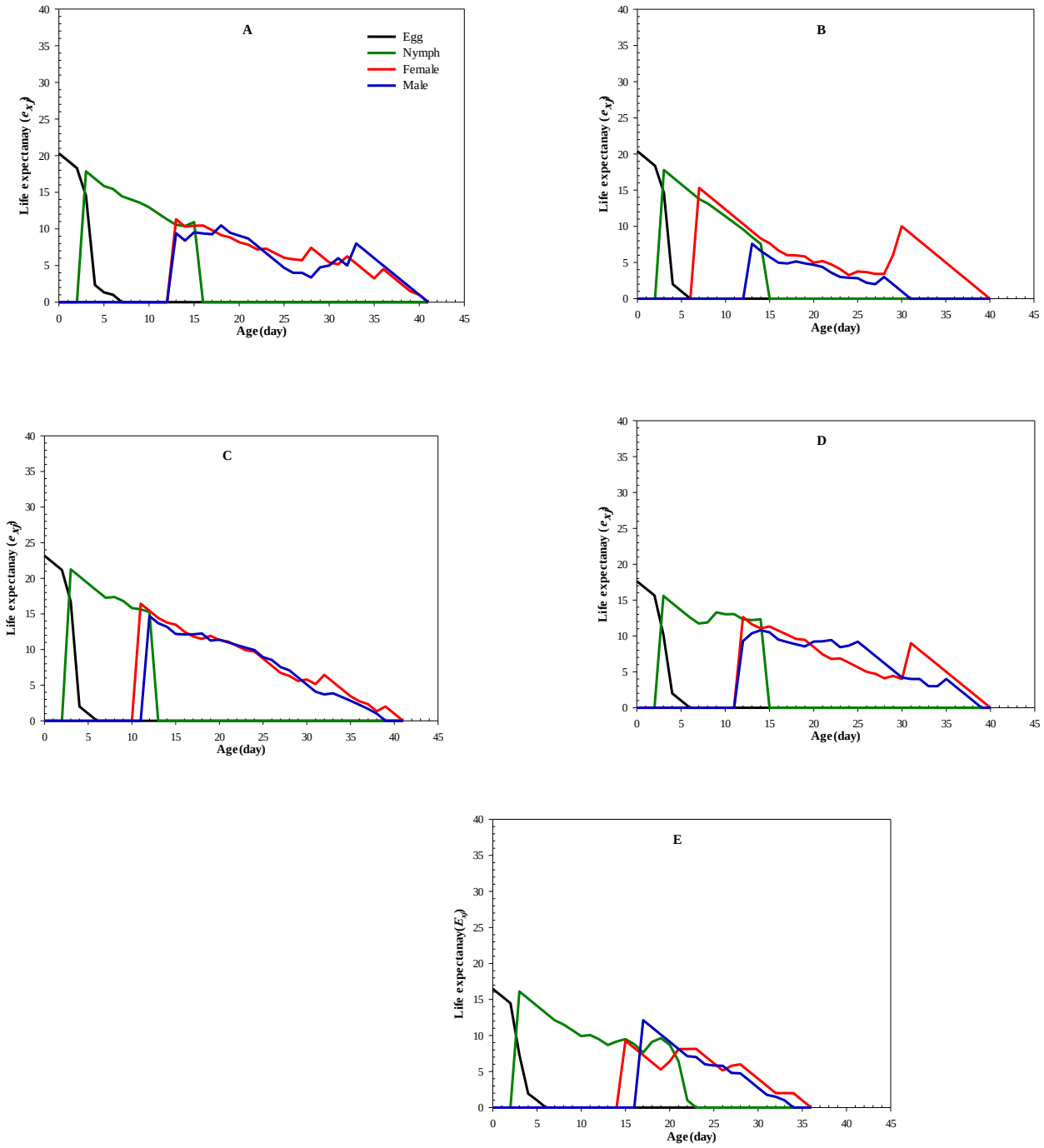
* حروف متفاوت در هر ستون نشانگر تفاوت معنی دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد است.

* Different lower-case letters in each column indicate significant differences between means at P < 0.05.

شکل ۳ نشان می‌دهد که امید به زندگی سن شکارگر *O. laevigatus* در مرحله تخم بیشترین مقدار و در حشرات کامل به‌خصوص حشره نر کمترین مقدار را دارد. به‌طور کلی، امید به زندگی با تغذیه از رژیم‌های مختلف با افزایش سن کاهش می‌یابد، به همین دلیل با مشاهده شکل منحنی‌های امید به زندگی می‌توان بیان داشت که حشرات بالغ بین مراحل زندگی، کمترین امید به زندگی را دارند (شکل ۳). این شکارگر در هنگام ظهور اولین تخم در رژیم غذایی تخم بید آرد، تخم بید غلات، تخم بید آرد به اضافه دانه گرده کلزا، تخم بید غلات به اضافه دانه گرده کلزا و دانه گرده کلزا به‌ترتیب ۲۰/۱، ۲۰/۳، ۲۳/۲، ۱۷/۸ و ۱۶/۴ روز و برای ظهور اولین حشره کامل که در تمام موارد ماده بوده به‌ترتیب رژیم‌های فوق ۱۱/۸، ۱۵/۳، ۱۶/۵، ۱۲/۹ و ۹/۴۳ روز محاسبه شد. نکته جالب توجه در تمام رژیم‌های غذایی به‌جز دانه گرده کلزا این است که منحنی حشرات نر کوتاه‌تر از حشرات ماده است. ازآن‌جاکه این آماره در هریک از روزهای زندگی متأثر از بقاء ویژه سنی (l_x) در روز مورد نظر و طول عمر است، لذا کمتر بودن آن در سه رژیم غذایی تخم بید آرد و مخلوط تخم بید غلات همراه دانه گرده کلزا و دانه گرده کلزا نسبت به دو رژیم غذایی دیگر بیانگر تأثیر منفی این سه رژیم غذایی در زنده‌مانی و طول عمر این شکارگر است.

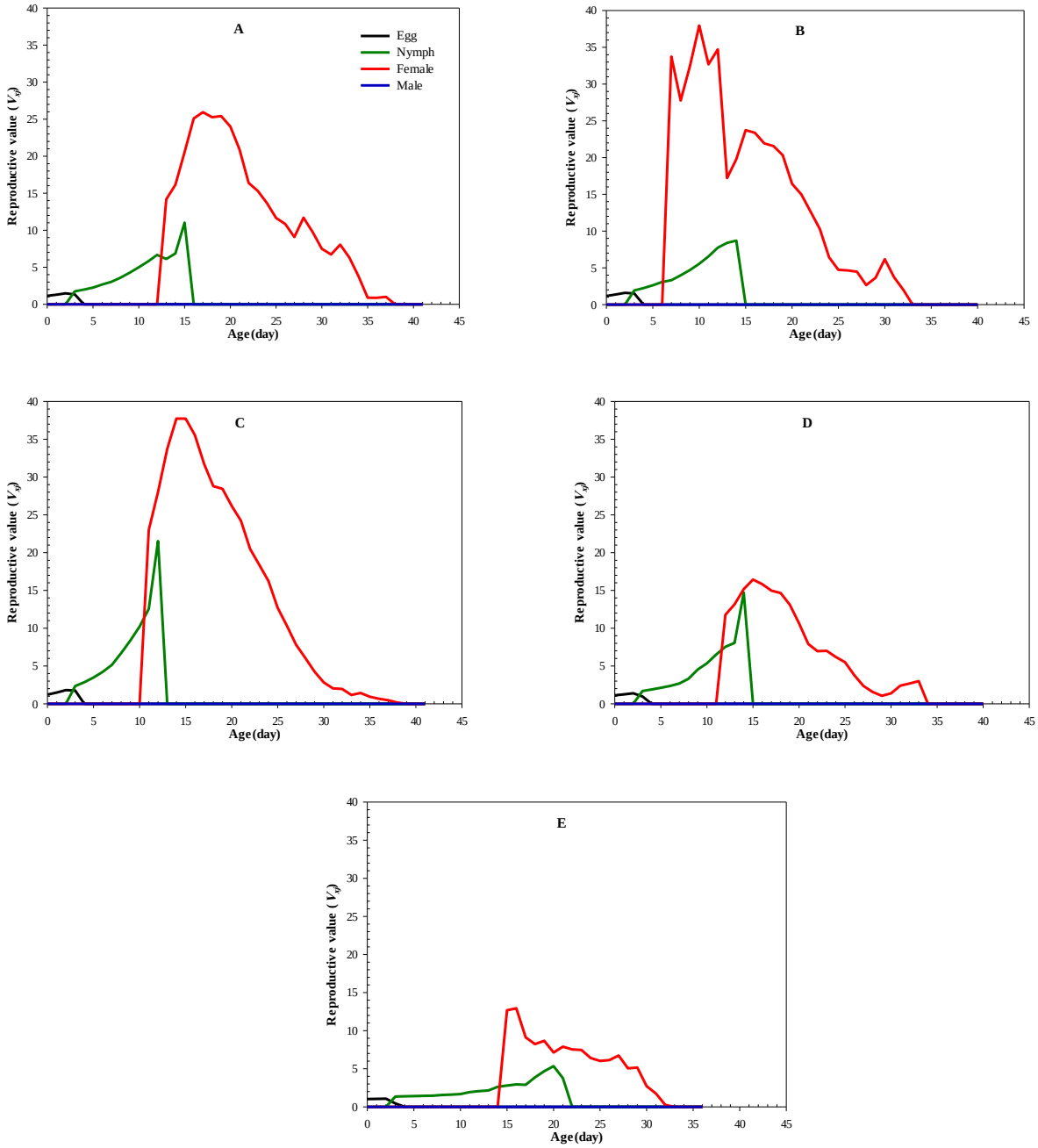
در این پژوهش، بیشترین ارزش تولیدمثلی مربوط به تیمار تخم بید غلات در روز سیزدهم (برابر ۳۷/۹۵) و مخلوط تخم بید آرد و دانه گرده کلزا در روز هفدهم (برابر ۳۷/۷۳) و کمترین میزان در سن‌های تغذیه شده از دانه گرده کلزا در روز پانزدهم به‌مقدار ۱۲/۷۳ محاسبه شد (شکل ۴). با توجه به اینکه هرچه میزان ارزش زادآوری دشمن طبیعی بالاتر باشد بیانگر مناسب بودن رژیم غذایی در تغذیه دشمن طبیعی برای تخم‌ریزی بوده است. حشرات ماده، بالاترین ارزش زادآوری نسبت به سایر مراحل زیستی را دارا می‌باشند، چون نقش و سهم بیشتری را در تولیدمثل و زنده‌مانی نسل دارند. به‌طور کلی، ارزش زادآوری در ابتدای هر مرحله زیستی کم و با گذشت زمان افزایش می‌یابد و در پایان مرحله زیستی به صفر می‌رسد، همین روند در تحقیق حاضر به‌خوبی مشاهده شد. افزایش مقدار ارزش تولیدمثلی در مراحل زیستی پیش از بلوغ به تعداد افراد زنده‌مانده و طول دوره زیستی بستگی دارد، در حالی‌که افزایش یا کاهش این پراسنجه در مرحله بلوغ بستگی به وضعیت تولیدمثلی حشره دارد (Caswell, 2001). در رهاسازی انبوه یک عامل بیولوژیک، مقادیر امید به زندگی و ارزش تولیدمثلی از اهمیت خاصی برخوردار هستند، چون بهترین زمان رهاسازی یک عامل بیولوژیک را تعیین می‌کند و نشان می‌دهد که مقدار تولیدمثل به حداکثر خود رسیده است (Kontodimas *et al.*, 2007)، به نظر می‌رسد که ترکیب تخم بید آرد و دانه گرده کلزا، منبع تغذیه مناسبی برای پرورش سن شکارگر *O. laevigatus* فراهم کرده است که این شکارگر توانسته است در روز بیستم تا بیست و پنجم زندگی زمان اوج تولیدمثلی خود را نشان دهد.

اگرچه پوره‌های *O. leavigatus* رشد خود را روی پنج رژیم غذایی آزمایشی تکمیل کردند، امّا همه رژیم‌ها به یک اندازه برای رشدونمو آن مناسب نبودند. به‌طور کلی، کمترین زمان رشد پوره‌ها و بیشترین زمان زنده‌مانی روی رژیم غذایی مخلوط تخم بید آرد و دانه گرده کلزا بود و این نتایج مشابه مطالعه واکانته و همکاران (Vacante *et al.*, 1997) بود که روی رژیم غذایی مخلوط تخم بید آرد و گرده زنبور عسل و گرده گیاه فلفل دلمه‌ای انجام شده است و بیان کردند که دوره رشدونمو *O. leavigatus* و *O. albidipennis* تحت تأثیرتخم بال‌پولک‌داران و گرده گیاهان در رژیم غذایی می‌باشد. شهیم (Shahim, 2011)، میانگین طول دوره پورگی سن *O. albidipennis* رادر سه رژیم غذایی شامل، تخم بید آرد همراه گرده ذرت، تخم بید آرد و گرده ذرت به‌ترتیب ۱۲/۴±۰/۱۴، ۱۲/۶۷±۰/۲۹ و ۱۷/۵۳±۰/۳۷ روز محاسبه کرد که نسبت به دوره پورگی در تحقیق حاضر طولانی‌تر است. نکته قابل توجه در این بررسی این است که دانه گرده کلزا علاوه‌بر تأمین مواد مغذی ضروری، با دارا بودن مواد معدنی (Yang *et al.*, 2013) و آنتی‌اکسیدان نیز می‌تواند به‌طور قابل توجهی باعث افزایش رشد و کاهش مرگ‌ومیر شود (Sun *et al.*, 2018).



شکل ۳- امید به زندگی (e_{xj}) سن شکارگر *Orius laevigatus* با تغذیه از تخم *Ephestia kuehniella* (A)، تخم *Sitotroga cerealella* (B)، تخم *Ephestia kuehniella* + دانه گرده کلزا (C)، تخم *Sitotroga cerealella* + دانه گرده کلزا (D)، دانه گرده کلزا (E)

Figure 3- Life expectanany (e_{xj}) of *Orius laevigatus* fed by *Ephestia kuehniella* eggs (A), *Sitotroga cerealella* eggs (B), *Ephestia kuehniella* eggs + canola pollen (C) and *Sitotroga cerealella* eggs + canola pollen (D), canola pollen (E)



شکل ٤– ارزش زادآوری (V_{xj}) سن شکارگر *Orius laevigatus* با تغذیه از تخم *Ephestia kuehniella* (A)، تخم *Sitotroga cerealella* (B)، تخم *Ephestia kuehniella* + دانه گرده کلزا (C)، تخم *Sitotroga cerealella* + دانه گرده کلزا (D) ، دانه گرده کلزا (E)

Figure 4- Reproductive value (V_{xj}) of *Orius laevigatus* fed by *Ephestia kuehniella* eggs (A), *Sitotroga cerealella* eggs (B), *Ephestia kuehniella* eggs + canola pollen (C) and *Sitotroga cerealella* eggs + canola pollen (D), canola pollen (E)

البته از منظر دیگر، برتری تخم بید آرد نسبت به تخم بید غلات‌است زیرا تخم بید آرد بالاترین مقدار پروتئین را نسبت به سایر تخم‌های بال‌پولک‌داران دارد (Ferkovich & Shapiro, 2005) و نیز میزان چربی (De Clercq *et al*., 2005) و اسیدآمینه (Specty *et al*., 2003) در تخم بید آرد بالاست که می‌تواند به افزایش نرخ رشدونمو این شکارگر کمک نماید. تحقیقات ثابت کرده است که حشراتی که از رژیم غذایی با پروتئین بالا تغذیه می‌کنند، می‌توانند به رشد و زنده‌مانی مطلوب دست یابند و حتی نرخ رشدونمو در سن

شکارگر *Perillus bioculatus* (Hem: Pentatomidae) به کیفیت پروتئین در رژیم غذایی نسبت داده می‌شود (Rojas *et al.*, 2000). بورگس و همکاران (Burgess *et al.*, 1991)، اثرات سطح پروتئین و پروتئاز را روی *Teleogryllus commodus* Walker مطالعه کردند و دریافتند که کیفیت پروتئین بر عوامل ضد تغذیه‌ای مهارکننده رشد تأثیر می‌گذارد که باعث بهبود رشد و توسعه حشره می‌شود.

طبق تحقیقات صورت گرفته، برخی از پراسنجه‌ها مانند طول عمر کل، دوره تخم‌گذاری و زادآوری سن *O. albidipennis* و *O. leavigatus* با تغذیه از تخم بید آرد و گرده ذرت افزایش یافت (Cocuzza *et al.*, 1997; Hassanpour *et al.*, 2014; Shahim, 2011) مطالعه فوق، نتیجه تحقیق حاضر را تأیید می‌کند که دانه گرده کلزا در ترکیب با تخم بال‌پولک‌داران باعث افزایش پراسنجه‌های ذکر شده می‌گردد و این را می‌توان به درصد پروتئین بالا در دانه گرده کلزا نسبت داد، زیرا تولیدمثل به منابع غذایی با پروتئین بالا نیاز دارد و هنگامی که طعمه جانوری و گرده گیاه با هم مخلوط شوند، تولیدمثل به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد (Lundgren, 2009)، درحالی‌که همین پراسنجه‌ها در سن *O.insidiosus* با تغذیه از تخم بید آرد و گرده زنبور عسل کاهش یافته است (Calixto *et al.*, 2013) که علت آن را می‌توان تفاوت در نوع گرده و شرایط انجام آزمایش دانست. همچنین کیفیت رژیم غذایی در مرحله پیش از بلوغ یک عامل کلیدی برای زادآوری بالغ‌ها می‌باشد (Awmack & Leather, 2002) در نتیجه، افزایش روزهای تخم‌گذاری و افزایش تعداد نتاج را یکی از اهداف اصلی پرورش انبوه عوامل کنترل زیستی می‌توان در نظر گرفت. ازآن‌جایی‌که ظرفیت شکار حشرات بالغ بیشتر از حشرات نابالغ است، افزایش طول عمر حشرات بالغ و در نتیجه، افزایش طول عمر کل منجر به مهار مؤثرتر آفت هدف می‌شود (Yazdanpanah *et al.*, 2021).

نرخ ذاتی افزایش جمعیت به‌عنوان مهم‌ترین خروجی جدول زندگی، مناسب بودن یا نبودن رژیم غذایی را مشخص می‌کند (Sabelis, 1985; Chi *et al.*, 2022)) علاوه‌براین، نرخ خالص و ناخالص تولیدمثل، متغیرهای مهمی هستند که همراه با نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نشان دهنده کیفیت رژیم غذایی می‌باشند. در تمام تحقیقات، مطلوب‌ترین رژیم غذایی باعث افزایش نرخ ذاتی افزایش جمعیت و کاهش مدت زمان یک نسل می‌شود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بیشترین مقادیر نرخ ناخالص تولیدمثل، نرخ خالص تولیدمثل، نرخ ذاتی افزایش جمعیت و کمترین مدت زمان یک نسل روی رژیم غذایی تخم بید آرد همراه با دانه گرده کلزا ثبت شده است. نرخ ذاتی افزایش جمعیت در پژوهشی که توسط شهیم (Shahim, 2011) روی سن *O. albidipennis* با رژیم غذایی شامل تخم بید آرد همراه با گرده ذرت انجام شده است، ۰/۰۰۵±۰/۱۴۹ (ماده/ ماده/ روز) بود که نسبت به تحقیق حاضر متفاوت است که علت این تفاوت را می‌توان به تفاوت نوع گرده مورد استفاده نسبت داد. در بررسی دیگری، نرخ ذاتی افزایش جمعیت سن *O. leavigatus* در تغذیه با تخم بید آرد و گرده ذرت ۰/۱۹ (ماده/ ماده/ روز) بود که با نتیجه تحقیق حاضر مشابهت دارد. توماسینی و همکاران (Tommasini *et al.*, 2004)، مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت *O. albidipennis* را با تغذیه از تخم بید آرد ۰/۰۸ و همچنین آراگون سانچز و همکاران (Aragon Sanchez *et al.*, 2018) میزان این پراسنجه را برای این شکارگر و همین رژیم غذایی ۰/۱۱ (ماده/ ماده/ روز) محاسبه نمودند که نشان می‌دهد، مخلوط رژیم غذایی تخم بال‌پولک‌داران با گرده می تواند باعث افزایش نرخ ذاتی افزایش جمعیت نسبت به هر یک از رژیم‌ها شود و ویژگی‌های تناسب اندام مختلف را در طیف وسیعی از سن‌های شکارگر افزایش دهد (Lundgren, 2009). نرخ خالص تولیدمثل سن شکارگر *O. albidipennis* روی رژیم‌های غذایی تخم بید آرد همراه گرده ذرت، تخم بید آرد و گرده ذرت به‌ترتیب ۷/۲۱±۵۱/۱۵، ۵/۴۳±۳۱/۳۵ و ۱/۱۱±۴/۹۱ تخم/ فرد می‌باشد. در بررسی دیگر، حسن‌پور و همکاران (Hassanpour *et al.*, 2014)، نرخ خالص تولیدمثل سن شکارگر *O. leavigatus* با تغذیه از تخم بید آرد و گرده ذرت، تخم بید آرد و گرده آفتابگردان را به‌ترتیب ۴/۱۲±۷۰/۹۴ و ۳/۰۹±۵۰/۴۴ تخم/ فرد محاسبه کردند و معتقدند که گرده ذرت و آفتابگردان سبب افزایش زادآوری این شکارگر شده و می‌تواند در پرورش انبوه آن مورد استفاده قرار گیرد که نتایج ما را تأیید می‌کند. در پرورش سن شکارگر *O. albidipennis* با تغذیه از تخم بید غلات همراه با گرده ذرت، میانگین تخم گذاشته شده ۳/۲±۱۵۰عدد و دوره تخم‌گذاری ۰/۶±۵۱/۳ روز محاسبه شد (Yari *et al.*, 2010) که با تحقیق حاضر تفاوت بسیاری دارد که می‌تواند ناشی از تفاوت نوع گرده و کیفیت تخم بید غلات باشد. در بررسی دیگری، میزان تخم‌گذاری حشرات ماده *O. leavigatus* با تغذیه از تخم بید آرد و گرده ذرت ۹/۹±۱۸۷/۹ عدد و با تغذیه از تخم بید آرد به‌تنهایی ۷/۸±۱۸۳/۷ عدد و همچنین طول عمر حشرات نر و ماده با تغذیه از تخم بید آرد و گرده ذرت به‌ترتیب ۲/۹±۴۳/۳ و ۲/۸±۵۸/۷ روز محاسبه شد (Cocuzza *et al.*, 1997). بونته و دکلرک (Bonte & De Clercq, 2008)، طول عمر سن *O. leavigatus* را با تغذیه از تخم بید آرد ۲/۳ ±۵۰/۲ روز و طول دوره رشدی را ۰/۱±۱۳/۱ روز محاسبه کردند که علت تفاوت زیاد آن نسبت به تحقیق حاضر را می‌توان به کیفیت غذایی پرورش یافته تخم بید آرد و شرایط پرورش سن شکارگر مربوط دانست. وجود ترکیبات با ارزش مانند اسیدآمینه، استرول، لیپیدها، کربوهیدرات‌ها و به‌ویژه پروتئین دلیل مناسب بودن دانه گرده می‌باشد که برای شکارگران مفید است (Sarwar, 2016Roulston & Cane, 2000;). براساس

مطالعه‌ای که روی دانه‌های گرده متفاوت صورت گرفت، میزان پروتئین در گرده کلزا (۲۷ درصد)، گرده بادام (۲۵ درصد) و پس از آن در گرده ذرت در سطح متوسط (۲۰ درصد) بود که محتوای پروتئینی در گرده یکی از بهترین شاخص‌ها برای کیفیت مواد مغذی است، زیرا ارتباط نزدیکی با عملکرد مصرف‌کننده دارد (Hocherl *et al.*, 2012) و برای رشد و تولیدمثل شکارگران ضروری است (Roulston & Cane, 2000). به نظر می‌رسد که کاهش در پراسنجه‌های رشدی روی رژیم غذایی تخم بید غلات همراه با دانه گرده کلزا می‌تواند به‌علت ترجیح غذایی این سن شکارگر به دانه گرده کلزا و عدم تأمین مواد ضروری اولیه باشد. امّا همانند تحقیق حاضر، در تحقیقات حسن-پور و همکاران (Hassanpour *et al.*, 2014)، ترکیب گرده شقایق با تخم بید آرد باعث کاهش آماره‌های رشد و جدول زندگی به‌خصوص نرخ ذاتی افزایش جمعیت سن شکارگر *O. leavigatus* شد.

تحقیقات صورت گرفته نشان داد که نرخ زادآوری و زنده‌مانی دشمنان طبیعی (شکارگر / پارازیتوئید) با تغذیه از گرده گیاهان مختلف به‌طور معنی‌داری تغییر می‌کند (Hulshof & Jurchenko, 2000)، در این راستا، شاکیا و همکاران (Shakya *et al.*, 2009)، نقش گرده را به‌عنوان مکمل غذایی *O. laevigatus* بررسی و دریافتند که زادآوری و کیفیت سن شکارگر افزایش پیدا می‌کند. از طرف دیگر، نشان داده شد که در مرحله گل‌دهی، تراکم سن‌های *Orius* در قسمت‌هایی از گیاه که دارای گرده است، حتی با وجود تراکم آفت کمتر نسبت به سایر قسمت‌های گیاه بیشتر بوده است، در نتیجه به نظر می‌رسد که ارتباط مستقیم و متقابلی بین میزان دسترسی به گرده و حضور شکارگر در آن قسمت گیاه وجود دارد و به‌خصوص حشرات ماده در مرحله تخم‌گذاری، حضور گرده را به تراکم آفت ترجیح می‌دهند. در یک بررسی ثابت شد که اضافه کردن گرده به محیط پرورش شکارگر باعث کاهش هم‌خواری می‌گردد که این امر پیامد مثبتی برای افزایش جمعیت و پرورش انبوه این سن شکارگر دارد (Leon-Beck & Coll, 2007). به همین دلیل، تأکید ویژه‌ای بر دستورالعمل رهاسازی این شکارگر در عرصه کشاورزی و به‌ویژه در گلخانه به هم‌زمانی با گل‌دهی نشاءها می‌شود و در دستورالعمل کنترل بیولوژیک تریپس غربی گل هفته پنجم بعد از انتقال نشاء در نظر گرفته شده است چون در این زمان، نشاء انتقال یافته به گلخانه دارای گل می‌باشد. فرانک (Frank, 2010) فراوانی سن شکارگر *O. insidiosus* در گیاهان گلدار و غیر گلدار را بررسی و دریافت که این شکارگر در گلخانه در مرحله گل‌دهی فراوانی بیشتری داشت، زیرا دانه گرده گیاهان بخشی از نیاز غذایی شامل پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی مورد نیاز حشرات (Goss, 1968)، چربی‌هایی مانند فسفواینوزیتول، فسفوکولین و ویتامین E (Stanley & Linskins, 1974) که در اسپرماتوژنز و اووژنز حشرات نقش دارند را تأمین می‌کند، ولی نسبت مواد مغذی ذکر شده در هر گرده گیاهی متفاوت است. محتوای پروتئین گرده یکی از بهترین شاخص‌های کیفیت غذایی است که برای تولیدمثل، رشد، توانایی سیستم ایمنی و طول عمر ضروری است (Roulston & Cane, 2000). در دانه گرده کلزا، میزان پروتئین و چربی به‌ترتیب ۲۷ درصد و شش درصد می‌باشد که در مقایسه با گرده ذرت که مکمل غذایی مهم و رایج در شکارگران است، بالاتر می‌باشد (۲۰ درصد ، ۴ درصد). کربوهیدرات موجود در دانه گرده کلزا منبع متابولیسم بسیار مهمی است که شکارگر ممکن است آن را به لیپید تبدیل کرده و در بافت چربی بدن انباشته کند (Yang *et al.*, 2013). ولی سایر مواد مغذی توسط طعمه جانوری فراهم می‌شود (Chapman,1998). در نتیجه، براساس متغیرهای بیولوژیکی به‌دست آمده، تخم بید آرد و دانه گرده کلزا یک رژیم با ارزش غذایی بالا برای پرورش سن *O. laevigatus* می‌باشد که در پرورش انبوه این سن شکارگر منجر به تسهیل پرورش و کاهش هزینه‌های تولید می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به توسعه روزافزون کشت محصولات گلخانه‌ای و تولید چشمگیر محصولات خارج از فصل به‌دلیل محدودیت منابع آب و خاک در کشور لازم است که توسعه عوامل بیولوژیک بیشتر مورد توجه قرار گیرد، زیرا استفاده از عوامل بیولوژیک علاوه بر تولید محصول سالم، روشی ایمن و مقرون‌به‌صرفه است. برای تأمین عوامل بیولوژیک لازم برای کنترل آفات در عرصه‌های کشاورزی لازم است که تولید انبوه عوامل با کیفیت بالا و مقرون به صرفه صورت گیرد. برای دستیابی به این هدف، باید پرورش انبوه آن‌ها روی ترکیبی غذایی انجام شود که کیفیت لازم را برای رهاسازی و مهار آفت مورد نظر را داشته باشد. ازآن‌جایی‌که کیفیت غذا برای حشرات شکارگر را می‌توان با اندازه‌گیری رشد مراحل زیستی، تخم‌ریزی و طول عمر مشخص کرد، بررسی رژیم غذایی در مراحل پیش از بلوغ و بلوغ دارای اهمیت است. دانه گرده کلزا یک منبع غذایی قابل دسترس و ارزان بوده که می‌تواند به‌خوبی در جیره غذایی قرار گیرد و به‌عنوان یک رژیم غذایی مکمل، زنده‌مانی و تولیدمثل شکارگر را افزایش دهد و همچنین می‌تواند هزینه‌های تولید انبوه شکارگر را کاهش دهد. بنابراین، این ترکیب تخم بید آرد و دانه گرده کلزا می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مناسب و مقرون‌به‌صرفه برای پرورش انبوه این سن شکارگر پیشنهاد شود. البته تنها با استفاده از آماره‌های اکولوژیک نمی‌توان در مورد برتری رژیم غذایی قضاوت نمود و بهتر است در کنار این‌گونه آزمایش‌ها، سطح ذخایر انرژی و میزان کارآیی دشمن طبیعی پرورش یافته روی این رژیم غذایی پس از رهاسازی در گلخانه‌ها مورد بررسی قرار گیرد. امید است که این مطالعه به بهبود

رژیم‌های غذایی برای پرورش انبوه *O. leavigatus* و سایر گونه‌های جنس *Orius* در آینده کمک شایانی نماید.

سپاسگزاری

این مقاله به‌عنوان بخشی از رساله دکتری نویسنده اول با استفاده از حمایت‌های مالی دانشگاه بوعلی سینا انجام شده استکه بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Amarathunga, D.C., Parry, H., Grundy, J., & Dorin, A. (2024). A predator–prey population dynamics simulation for biological control of *Frankliniella occidentalis* (Western Flower Thrips) by *Orius laevigatus* in strawberry plants. *Biological Control*, *188*, [105409]. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105409.
2. Aragón-Sánchez, M., Román-Fernández, L.R., Martínez-García, H., Aragón-García, A., Pérez-Moreno, I., & Marco-Mancebón, V.S. (2018). Rate of consumption, biological parameters, and population growth capacity of *Orius laevigatus* fed on *Spodoptera exigua*. *BioControl*, *63*, 785–794. https://doi.org/10.1007/s10526-018-9906-4.
3. Arijs, Y., & De Clercq, P. (2001). Development of an oligidic diet for *Orius laevigatus* nymphs using a deletion-addition approach. *Mededelingen Faculteit Landbouw Wetenschappen Universiteit Gent*, *66*(4), 315-320.
4. Awmack, C.S., & Leather, S.R. (2002). Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, *47*, 817–844. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145300.
5. Ballal, C.R., & Yamada, K. (2016). Anthocorid predators. In: Omkar (ed) Ecofriendly pest management for food security. *Elsevier*, *New York* , 183–216. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803265-7.00006-3
6. Barzman, M., Bàrberi, P., Birch., A.N.E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf., B. Hommel, B., Jensen, J., Kiss, J., & Kudsk, P. (2015). Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*(4), 1199-1215. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0327-9.
7. Bellows, T.S., & Fisher, T.W. (1999). *Handbook of Biological Control. Principles and Ap- plications of Biological Control*. Academic Press, 1st ed 1046 pp.
8. Bonte, M., & De Clercq, P. (2008). Developmental and reproductive fitness of *Orius laevigatus* (Hemiptera: Anthocoridae) reared on factitious and artificial diets. *Journal of Economic Entomology*, *101*, 1127–1133. https://doi.org/10.1093/jee/101.4.1127.
9. Bonte, M., & De Clercq, P. (2010 a). Influence of male age and diet on reproductive potential of *Orius laevigatus* (Hemiptera: Anthocoridae). *Annals of the Entomological Society of America*, *103*, 597–602. https://doi.org/10.1603/AN09180.
10. Bonte, M., & Clercq, P. (2010 b). Impact of artificial rearing systems on the developmental and reproductive fitness of the predatory bug, *Orius laevigatus*. *Journal Insect Scince*, *10*, 104. https://doi.org/10.1673/031.010.10401.
11. Bonte, M., & De Clercq, P. (2011). Influence of predator density, diet and living substrate on developmental fitness of *Orius laevigatus*. *Journal of Applied Entomology*, *135*, 343–350. https:// doi.org/10.1111/j.1439-0418.2010.01554.x.
12. Burgess, E.P.G., Stevens, P.S., Keen, G.K., Laing, W.A., & Christeller, J.T. (1991). Effects of protease inhibitors and dietary-protein level on the black field cricket *Teleogryllus commodus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *61*, 123–1. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1991.tb02404.x.
13. Burgio, G., Tommasini, M., & Van Lenteren, J. (2004). Population dynamics of *Orius laevigatus* and *Frankliniella occidentalis*: A mathematical modelling approach. *Bulletin of Insectology*, *57*(2), 131–135.
14. Calixto, A.M., Bueno, V.H.P., Montes, F.S., Silva, A.C., & Van Lenteren J.C. (2013). Effect of different diets on reproduction, longevityand predation capacity of *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae). *Biocontrol Science and Technology*, 23, 1245-1255. https://doi.org/10.1080/09583157.2013.822850.
15. Carey, J.R. (1993). *Applied Demography for Biologists*. Oxford University Press. Inc. New York, 206 pp.
16. Caswell, H. (2001). *Matrix Population Models*. 2nd (Ed). Sinauer Associates, Sunderlands. MA. 722 pp.
17. Chapman, R.F. (1998). *The Insects: Structure and Function*. 4th Edition. Cambridge University Press, Cambridge, 788 pp.
18. 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.
19. Chi, H., & Su, H.Y. (2006). Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Muzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. *Enviromental Entomology*, *35*, 10-21. https://doi.org/10.1603/0046-225X-35.1.10.
20. Chi, H., You, M., Smith, C.L., Kavousi, A., Özgökçe, M.S., Güncan, A., Tuan, S.J., Fu, J.W., Xu, Y.Y., Zheng,

F.Q., Ye,B.H., Chu, D., Yu, Y., Gharekhani, G., Saska, P., Gotoh, T., Schneider, M.I., Bussaman, P., Gökçe, A., & Liu,T.X. (2020). Age-stage, two-sex life table: An introduction to theory, data analysis, and application. *Entomologia Generalis*, *40*, 103-124. https://doi.org/10.1127/entomologia/2020/0936

21. Chi, H. (2022). *TWOSEX-MSChart: A computer program for the agestage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University. Taichung, Taiwan*. Available from: http://140.120.197.173/Ecology/Download/Twosex-MSChart.zip.
22. Chi, H., Güncan, A., Kavousi, A., Gharakhani, G.H., Atlihan, R., Salih Özgökçe, M., Shirazi, J., Amir-Maafi, M., Maroufpoor, M., & Taghizadeh, R. (2022). TWOSEX-MSChart: The key tool for life table research and education. *Entomologia Generalis*, *42*(6), 845–849. http://dx.doi.org/10.1127/entomologia/2022/1851.
23. Cocuzza, G.E., De Clercq, P., Lizzio, S., Van de Veire, M., Teirry, L., Degheele, L., & Vacante, V. (1997). Life tables and predation activity of *Orius laevigatus* and *O. albidipennis* at three constant temperatures. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *85*, 189-198. https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.1997.00249.x.
24. Coll, M., & Guershon, M. (2002). Omnivory in terrestrial arthropods: Mixing plant and prey diets. *Annual Review of Entomology*, *47*, 267–297. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.14520.
25. De Clercq, P., Arijs, Y., Van Meir, T., Van Stappen, G., Sorgeloos, P., Dewettinck, K., Rey, M., Grenier, S., & Febvay, G. (2005). Nutritional value of brine shrimp cysts as a factitious food for *Orius laevigatus* (Heteroptera: Anthocoridae). *Biocontrol Science Technology*, *15*, 467-479. https://doi.org/10.1080/09583150500086706.
26. De Puysseleyr, V., Höfte, M., & De Clercq, P. (2014). Continuous rearing of the predatory anthocorid *Orius laevigatus* without plant materials. *Journal Applied Entomology*, *138*, 45–51. http://doi.org/10.1111/jen.12063.
27. Dicke, F.F., & Jarvis, J.L. (1962). The habits and seasonal abundance of *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Heteroptera: Anthocoridae) on corn. *Journal of the Kansas Entomological Society*, *35*, 339-344.
28. Frank, S.D. (2010). Biological control of arthropod pests using banker plant systems: Past progress and future directions. *Biological Control*, *52*, 8–16. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.09.011.
29. Ferkovich, S.M., & Shapiro, J.P. (2005). Enhanced oviposition in the insidious flower bug, *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) with a partially puriÞed nutritional factor from prey eggs. *Florida Entomologist*, *88*, 253-257. https://doi.org/10.1653/00154040(2005)088[0253:EOITIF]2.0.CO;2.
30. Funao, T., & Yoshiyasu, Y. (1995). Development and fecundity of *Orius sauteri* (Poppius) (Hemiptera: Anthocoridae) reared on *Aphis gossypii* Glover and corn pollen. *Jpn. Journal of Applied Entomology and Zoo*logy, *39*, 84–85. https://doi.org/10.1303/jjaez.39.84
31. Gallego, F.J., Rodríguez-Gómez, A., Carmen Reche, M., Balanza, V., & Bielza, P. (2022). Effect of the amount of *Ephestia kuehniella* eggs for rearing on development, survival, and reproduction of *Orius laevigatus*. *Insects*, *13*(250), 1-8. https://doi.org/10.3390/insects13030250
32. Ge,Y., Liu, P., Zhang, L., Snyder, W.E., Smith, O.M., & Shi, W. (2019). A sticky situation: Honeydew of the pear psylla disrupts feeding by its predator *Orius sauteri*. *Pest Managment*. *Science*, *76*, 75–84. https://doi.org/10.1002/ps.5498.
33. Goss, J.A. (1968). Development, physiology, and biochemistry of corn and wheat pollen. *Botanical Review*. *34*, 333–359. https://doi.org/ 10.1007/BF02985391.
34. Hassanpour, M., Rostamian, P., Rafiee-Dastjerdi, H., Fathi, S.A.A., & Bagheri, M.R. (2014). Effect of feeding on pollen of different plants on life table parameters of the predatory bug, *Orius laevigatus* (Fieber) (Hem.: Anthocoridae). *Agricultural Pest Management*, *1*(2), 13-22. (In Persian)
35. Hocherl, N., Siede, R., Illies, I., Gatschenberger, H., & Tautz, J. (2012). Evaluation of the nutritive value of maize for honey bees. *Journal of Insect Physiology*, *58*, 278–285. https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2011.12.001.
36. Hulshof, J., & Jurchenko, O. (2000). *Orius laevigatus* in a choice situation: Thrips or pollen? Mededelingen Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen. *Universiteit Gent*, *65*, 351-358.
37. Isenhour, D.J., & Marston, N.L. (1981). Seasonal cycles of *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) in Missouri soybeans. *Journal of the Kansas Entomological Society*, *54*, 129-142.
38. Kalushkov, P., & Hodek, I. (2001). New essential aphid prey for *Anatis ocellata* and *Calvia quatuordecimguttata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biocontrol Science of Technology*, *11*, 35–39. http://dx.doi.org/10.1080/09583150020029727.
39. Kavousi, A., Chi, H., Talebi, K., Bandani, A., Ashouri, A., & Hosseininaveh, V. (2009). Demographic traits of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on leaf discs and whole leaves. *Journal of Economic Entomology*, *102*, 595-601. https://doi.org/10.1603/029.102.0217.
40. Khanamani, M., Basij, M., & Fathipour, Y. (2021). Effectiveness of factitious foods and artificial substrate in mass rearing and conservation of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *International Journal of Acarology*, *47*(4), 273–280. http://dx.doi.org/10.1080/01647954.2021.1895310.
41. Kontodimas, D.C., Milonas, P.G., Stathas, G.J., & Economou, L.P. (2007). Life table parameters of the pseudococcid predators *Nephus includens* and *Nephus bisignatus* (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal of Entomology*, *104*, 407-415. https://doi.org/ 10.14411/eje.2007.060.

42. Leon-Beck M., & Coll, M. (2007). Plant and prey consumption cause similar reductions in cannibalism by an omnivo-rous bug. *Journal of Insect Behavioral*, *20*, 67–76. http://dx.doi.org/10.1007/s10905-006-9063-y.
43. Lu, B., Sun, M., Zhai,Y.F., Chen, H., Zheng, L., & Yu, Y. (2017). Evaluation of the biocontrol capacity of predatory bug *Orius sauteri*, reared on *Sitotroga cerealella* eggs, on *Thrips palmi* based on predatory functional response. *Journal Plant Protection*, *44*, 875–876.
44. Lundgren, J.G. (2009). Relationships of natural enemies and non-prey foods. Progress in biological control series, *Springer*, *7*, 453. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9235-0.
45. Mendoza, J.E., Balanzaa, V., Cifuentesa, D., & Bielzaa, P. (2020). Selection for larger body size in *Orius laevigatus*: Intraspecific variability and effects on reproductive parameters. *Biological Control*, *148*, 104-110. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104310.
46. Montserrat, M., Albajes, R., & Castane, C. (2000). Functional response of four heteropteran predators preying on greenhouse whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) and western ßower thrips (Thysanoptera: Thripidae). *Environmental Entomology*, *29*, 1075-1082. http://dx.doi.org/10.1603/0046-225X-29.5.1075.
47. Mouden, S., Sarmiento, K.F., Klinkhamer, P.G., & Leiss, K.A. (2017). Integrated pest management in western flower thrips: past, present and future. *Pest Management Science*,*73*(5), 813–822. https://doi.org/10.1002/ps.4531.
48. Nomikou, M., Sabelis, M.W., & Janssen, A. (2010). Pollen subsidies promote whitefly control through the numerical response of predatory mites. *BioControl*, *55*(2), 253–260. http://dx.doi.org/10.1007/s10526-009-9233-x.
49. Nothnagl, M., Kosiba, A., Alsanius, B., Anderson, P., & Larsen, R. (2008). Modelling population dynamics of *Frankliniella occidentalis* Pergande (thysanoptera: Thripidae) on greenhouse grown chrysanthemum. *European Journal of Horticultural Science*, *73*(1), 12-22. https://doi.org/10.1079/ejhs.2008/539291
50. Omkar, G.K., & Jyotsna, S. (2009). Performance of a predatory ladybird beetle, *Anegleis cardoni* (Coleoptera: Coccinellidae) on three aphid species. *European Journal of Entomology*, *106*, 565–572. http://dx.doi.org/10.14411/eje.2009.071.
51. Ozkan, C. (2007). Effect of food, light, and host instar on the egg load of the synovigenic endoparasitoid *Venturia canescens* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Journal of Pest Science*, *80*, 79-83. http://dx.doi.org/10.1007/s10340-006-0155-4.
52. Pilcher, C.D., Obrycki, J.J., Rice, M.E., & Lewis, L.C. (1997). Preimaginal development, survival, and field abundance of insect predators on transgenic *Bacillus thuringiensis* corn. *Environmental Entomology*, *26*, 446-454. https://doi.org/10.1093/ee/26.2.446.
53. Rojas, M.G., Morales Ramos, J.A., & King, E.G. (2000). Two meridic diets for *Perillus bioculatus* (Heteroptera: Pentatomidae), a predator of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Biological Control*, *17*, 92–99. https://doi.org/10.1006/bcon.1999.0780.
54. Roulston, T.H., & Cane, J.H. (2000). Pollen nutritional content and digestibility for animals. *Plant Systematics and Evolution*, *222*, 187–209. http://dx.doi.org/10.1007/BF00984102.
55. Ryder, N.B. (1975). Notes on the stationary populations. *Population Index*, *41*, 3-28.
56. Sabelis, M.W. (1985). *Reproductive Strategies*. In W. Helle, & M.W. Sabelis, (Eds.), Spider Mites. Vol. 1A. Their Biology, Natural Enemies and Control, Amsterdam, Elsevier, pp. 265–278. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1987.tb03606.x
57. Sanchez, J., & Lacasa, A. (2002). Modelling population dynamics of *Orius laevigatus* and *O. albidipennis* (hemiptera: Anthocoridae) to optimize their use as biological control agents of *frankliniella occidentalis* (thysanoptera: Thripidae). *Bulletin of Insectology Research*, *92*(1), 77–88. https://doi.org/10.1079/BER2001136.
58. Sarwar, M. (2016). Comparative life history characteristics of the mite predator *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae) on mite and pollen diets. *International Journal of Pest Management*, *62*, 140–148. https://doi.org/10.1080/09670874.2016.1146806.
59. Shahim, K.H. (2011). Biology and reproductive life table of the predator *Orius albidipennis* (Reuter) on several different diets and some of its sexual and reproductive behaviors. M.Sc. Thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. 55 pp. (In Persian).
60. Shakya, S., Coll, M., & Weintraub, P.G. (2009). Incorporation of intraguild predation into a pest management decision-making tool: The case of thrips and two pollen-feeding predators in strawberry. *Journal of Economic Entomology*, *103*(4), 1086–1093. http://doi.org/10.1603/EC09373.
61. Southwood, T.R.E., & Henderson, P.A. (2000). Ecological methods.3rd ed. *Blackwell*, *Oxford*, United Kingdom, 575 pp.
62. Specty, O., Febvay, G., Gringer, S., Delobet, B., Piotte, C., Pageaux, J.F., Ferran, A., & Guillaud, J. (2003). Nutritional plasticity of the predatory lady beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae): Comparision between natural and substitional prey. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, *52*, 483-487. http://dx.doi.org/10.1002/arch.10070.
63. Stanley, R.G., & Linskins, H.F. (1974). *Pollen: Biology, Biochemistry, Management*. Springer, *New York*, 307 pp.
64. Sun, Y.X., Hao, Y.N., & Liu, T.X. (2018). A β -carotene-amended artificial diet increases larval survival and be

applicable inmass rearing of *Harmonia axyridis*. *Biological Control*, *123*, 105–110. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.04.010.

65. Tan, J.G., Paradise, M.S., Levine, S.L., Bachman, P.M., Uffman, J.P., Jiang, C.J., & Carson, D.B. (2011). Development and survival of *Orius insidiosus* (Say) nymphs on encapsulated bee pollen-based diet in a Tier-I toxicity assay. *Environmental Entomology*, *40*, 1613–1621. http://dx.doi.org/10.1603/EN11060.
66. Throne, J.E., & Weaver, D.K. (2013). Impact of temperature and relative humidity on life history parameters of adult *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Stored Products Research*, *55*, 128-133. http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2013.10.003.
67. Tommasini, M.G., van Lenteren, J.C., & Burgio, G. (2004). Biological traits and predation capacity of four *Orius* species on two prey species. *Bulletin of Insectology*, *57*, 79–93.
68. Vacante, V., Cocuzza, G.E., De Clercq, P., Van de Veire, M., & Teirry, L. (1997). Development and survival of *Orius albidipennis* and *O. laevigatus* (Het.: Anthocoridae) on various diets. *BioControl*, *42*, 493-495. http://dx.doi.org/10.1007/BF02769809.
69. Van de Veire, M. (1995). Integrated pest management in glasshouse tomatoes, sweet peppers and cucumbers in Belgium. Ph.D. Thesis, Ghent University, Belgium.
70. Van Rijn, P.C.J., & Tanigoshi, L.K. (1999). Pollen as food for the predatory mites *Iphiseius degenerans* and *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae): dietary range and life history. *Experimental and Applied Acarology*, *23*(10), 785–802. http://dx.doi.org/10.1023/A:1006227704122.
71. Venzon, M., Janssen, A., & Sabelis, M.W. (2002). Prey preference and reproductive success of the generalist predator *Orius laevigatus*. *Oikos*, *97*(1), 116–124. https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.970112.x.
72. Wang, K., & Shipp, J. (2001). Simulation model for population dynamics of *Frankliniella occidentalis* (thysanoptera: Thripidae) on greenhouse cucumber. *Environmental Entomology*, *30*(6), 1073–1081. https://doi.org/10.1603/0046-225X-30.6.1073.
73. Yang, K., Wu, D., Ye, X.Q., Liu, D.H., Chen, J.C., & Sun, P.L. (2013). Characterization of chemical composition of bee pollen in China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*, 708–718. http://dx.doi.org/10.1021/jf304056b.
74. Yari, S., Hajizadeh, J., Hoseini, R., & Hoseininia, A. (2010). Influence of three diets on some biological characteristics of predatory bug *Orius albidipennis* (Hemiptera: Anthocoridae). *Iranian Journal of Plant Protection Scince*, *41*(2), 293-303. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084781.1389.41.2.13.4.
75. Yazdanpanah, S., Fathipour, Y., & Riahi, E. (2021). Pollen grains are suitable alternative food for rearing the commercially used predatory mite *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae). *Systematic and Applied Acarology*, *26*, 1009–1020. http://dx.doi.org/10.11158/saa.26.5.14.
76. Zhang, L., Qin, Z., Liu, P., Yin, Y., Felton, G.W., & Shi, W. (2021). Influence of plant physical and anatomical characteristics on the ovipositional preference of *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae). *Insects*, *12*, 326. https://doi.org/10.3390/insects12040326.

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 1, 2025, p. 49-60

Etiology of Almond Yellows and Witches' Broom in the Khorasan Razavi Province

R. Tavanai-Sarab[1], M. Zakiaghl[2]*, M. Mehrvar[2]

1 and 2- Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran,
(*- Corresponding author's Email: zakiaghl@um.ac.ir)

Received: 28-04-2024
Revised: 28-07-2024
Accepted: 01-09-2024
Available Online: 29-04-2025

How to cite this article:
Tavanai-Sarab, R., Zakiaghl, M., & Mehrvar, M. (2024). Etiology of almond yellows and witches' broom in the Khorasan Razavi province. *Iranian Plant Protection Research*, *39*(1), 49-60. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.87817.1186

Introduction

Almond (*Prunus amygdalus* Batsch.) is a plant native to Iran, and Iran is one of the most important almonds producing countries in the world. Phytoplasmas are prokaryotic cells that lack a cell wall and are restricted to the phloem of their host plants and are mainly transmitted by leaf hoppers. One of the most important diseases of the almond tree is witches' broom disease, which is caused by phytoplasmas. This disease has caused great damage to almond trees in Iran and Lebanon, leading to the death of more than a hundred thousand almond trees. *C.*Phytoplasma phoenicium, which belongs to the pigeon pea witches' broom phytoplasma group, has been reported as the causative agent of almond witches' broom disease. Almond witches' broom has been reported from almonds, peaches, nectarines, bitter almonds and apricots in the Iranian provinces of Chaharmahal and Bakhtiari, Isfahan, Kerman, Fars and Kurdistan. Symptoms of the disease are yellows, small leaves, witches' broom and dieback. Almond witches' broom disease has been reported from Khorasan Razavi province, but different symptoms were observed on almond trees in different locations of this province. In this study, almond tree orchards in Khorasan Razavi province were examined for the symptoms of almond witches' broom and etiology of the disease was determined.

Materials and Methods

In 2022, the samples were collected from almond orchards of Khorasan Razavi province and grafted onto healthy almond seedlings and periwinkle plants. The DNA extraction from the main vein or bark of the stems was performed using CTAB method. Nested polymerase chain reaction was performed with universal phytoplasma primers (P1/P7 followed by R16F2n/R16R2), and the PCR products were electrophoresed and sequenced. After blasting in the NCBI database, phylogenetic trees were constructed using the maximum likelihood method in MegaX software with 1000 replicates in the bootstrap test.

Results and Discussion

In the northern, central and southern regions of Khorasan Razavi province, random sampling was carried out in almond plantations. In the northern region, symptoms of almond witches' broom were observed only in

https://doi.org/10.22067/jpp.2024.87817.1186

Chenaran. In the central region, symptoms of witches' broom were found in Mashhad and Nishapur. However, in the southern region, the symptoms of almond witches' broom were more frequent and observed in Kashmar, Koohsorkh, Torbat-Heydarieh and Sabzevar. The symptoms of infected almond trees in the northern region were small leaves, mild witches' broom and dieback. The symptoms in the central region were severe small leaves, yellows, severe stunting, witches' broom and decline. Infested almond trees in the southern region showed severe small leaves, severe witches' broom and proliferation, and dense growth of thin branches from the trunk. The disease symptoms in the northern areas of Khorasan Razavi were moderate and in the central and southern areas were severe. In addition, there were significant differences in the type of symptoms in the central and southern regions. In the nested polymerase chain reaction, a fragment of 1250 base pairs replicated from the infected samples. Sequencing and BLAST analysis revealed that the amplified fragments were similar to the phytoplasma 16S rRNA. Two months after inoculation, disease symptoms appeared on the inoculated almond seedlings. Almond seedlings inoculated with the northern strain showed symptoms such as terminal bud dieback, dieback of lateral branches and necrotic spots on the leaves. Almond seedlings inoculated with the isolate from the central areas showed symptoms such as yellows, severe witches' broom, stunting and small leaves. The symptoms in seedlings inoculated with the strain from the southern area of Khorasan Razavi province were severe proliferation, severe stunting, small leaves and necrotic spots on the leaves. In periwinkle plants, isolates from the northern and southern regions induced mild yellows and phyllody; however, isolates from the central region induced severe yellows and phyllodes. The sequence blast results showed that the Chenaran isolate from the northern region of Khorasan Razavi had 98.34% similarity with 16S rRNA strain Ei1090 of *C.* Phytoplasma phoenicium. The 16S rRNA sequence of the Kashmar isolate from the southern region was most closely related to the Khafr isolate (Khafr, Iran) of almond witches' broom phytoplasma. These two phytoplasma strains belong to the 16S rRNA (16SrIX) group of pigeon pea witches' broom phytoplasmas that can cause almond witches' broom. However, Ei1090 is a mild strain and the Khafer isolate is a severe strain of *C.* Phytoplasma phoenicium. The similarity of the isolates from Chenaran and Kashmar with other members of the 16SrIX group ranged from 98.79-99.33 and 98.48-98.95%, respectively. The 16S rRNA sequence of the Mashhad isolate from the central region of Razavi Khorasan was 94.99% similar to the CPh strain of Clover phyllody phytoplasma, a member of the Aster yellows phytoplasma group (16SrI). The similarity of the isolate from Mashhad with other members of the 16SrI group was between 90.99-95.98%. In the phylogenetic tree, the isolates from Chenaran and Kashmar were located in the same branch together with the reference strain of the pigeon pea phytoplasma group (16SrXI group). In addition, the isolates from Chenaran and Kashmar were placed in the same branch with subgroups B and A of the 16SrXI group. In addition, the Mashhad isolate was classified in the aster yellows phytoplasma group (16SrI group) within subtype C, which is a new strain of subgroup C that causes almond witches' broom disease.

Conclusion

Almond witches' broom is a devastating disease in almond orchards in the Khorasan Razavi Province. Symptoms include yellows, small leaves, witches' broom, growth of many thin branches on the main trunk, decline and death of the almond tree. Symptoms of the disease were moderate in the northern regions and more severe in the central and southern regions of Khorasan Razavi province. The results indicate that different strains of *C.* Phytoplasma phoenicium and Clover phyllody phytoplasma are associated with almond witches' broom disease in this province.

Keywords: Iran, Phylogeny, Phytoplasma, Prevalence

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص. ۶۰-۴۹

سبب‌شناسی زردی و جاروک درختان بادام در نواحی مختلف استان خراسان رضوی

رضا توانایی سراب[۱] - محمد زکی عقل[۲*] - محسن مهرور[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱

چکیده

بیماری جاروک بادام یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گیاه بادام (*Prunus amygdalus* Batsch.) است که سالانه خسارت‌های فراوانی به تولید بادام در ایران وارد می‌کند. این بیماری به‌خصوص در استان خراسان رضوی باعث محدود شدن کشت بادام در برخی مناطق شده است. همراهی چندین فیتوپلاسما و به‌ویژه *Candidatus* Phytoplasma phoenicium (16sIX-B) از گروه جاروک نخود کبوتر با این بیماری گزارش شده است. در طی سال ۱۴۰۲، بررسی گستردگی و نمونه‌برداری از مناطق شمالی، مرکزی و جنوبی در استان خراسان رضوی انجام شد. بررسی علائم بیماری در مناطق سه‌گانه استان نشان داد که شدت و نوع بروز علائم در مناطق مختلف متفاوت است. علائم بیماری جاروک بادام در نواحی شمالی جاروک خفیف، در نواحی مرکزی زردی و جاروک و در نواحی جنوبی جاروک شدید و رشد شاخه‌ها متراکم بود. از پیوند فیتوپلاسمای همراه با جاروک بادام از نواحی مختلف روی نهال‌های بادام علائم ریزبرگی، زردی، جاروک، افژولش شدید شاخه‌ها و سرخشکیدگی و در گیاهان محک پروانش زردی خفیف یا شدید و برگ‌سانی (فیلودی) ایجاد شد. علائم جدایه‌های مناطق سه‌گانه استان نیز برروی گیاهان محک با یکدیگر تفاوت داشت. استخراج DNA کل به‌روش CTAB انجام شد و با استفاده از واکنش زنجیره‌ای پلیمراز آشیانه‌ای با استفاده از آغازگرهای عمومی فیتوپلاسما، ردیابی عامل بیماری انجام شد. توالی‌یابی قطعه تکثیر شده و آنالیزهای تبارزایی نشان داد که فیتوپلاسماهای همراه با بیماری جاروک بادام در نواحی شمالی و جنوبی استان خراسان رضوی به‌ترتیب سویه‌های خفیف و شدید *C.* Phytoplasma phoenicium هستند و بیشترین شباهت را با زیرگروه‌های A و B از گروه جاروک نخود کبوتر دارند؛ همچنین فیتوپلاسمای همراه با بیماری جاروک بادام در نواحی مرکزی استان خراسان رضوی *Candidatus* Phytoplasma asteris است که بیشترین شباهت را با زیرگروه C از گروه زردی مینا دارد.

واژه‌های کلیدی: ایران، پراکنش، تبارزایی، فیتوپلاسما

مقدمه

بادام (*Prunus amygdalus* Batsch.) گیاه بومی ایران است و ایران یکی از مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده بادام در دنیا است (Ghayeb Zamharir, 2011; Salehi *&et al.*, 2015). در ایران، بادام به‌صورت آبی و دیم کشت می‌شود. براساس آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی، بیشترین سطح زیرکشت بادام در ایران در استان فارس با ۲۷۳۷۳ هکتار است و پس از آن، استان‌های خراسان رضوی و چهارمحال و بختیاری به‌ترتیب با ۲۴۹۴۸ و ۱۷۳۸۵هکتار سطح زیرکشت در رده‌های بعدی قرار دارند (Anonymous, 2021).

فیتوپلاسماها، پروکاریوت‌های فاقد دیواره سلولی و محدود به آوندهای آبکشی گیاهان میزبان هستند که باعث بروز خسارت شدید در گیاهان مختلف می‌شوند. از جمله بیماری‌های فیتوپلاسمایی مهم می‌توان به زردی کشنده نارگیل، زردی مو، جاروک بادام، جاروک لیموترش و بیماری ایکس هلو اشاره کرد. فیتوپلاسماها به‌وسیله حشرات مکنده و به‌صورت پایا و تکثیری از گیاهی به گیاه دیگر منتقل می‌شوند. دامنه میزبانی فیتوپلاسماها به گیاهان و حشرات محدود است و به‌طور کلی، دامنه میزبانی آن‌ها به دامنه میزبانی حشره ناقل بستگی دارد (Bertaccini & Duduk, 2009). به‌علاوه، این بیمارگرها به‌وسیله قلمه، پیوند، پاجوش، غده و پیاز هم منتقل می شوند (Caglayan *et al.*, 2019).

یکی از مهم‌ترین بیماری‌های درخت بادام، بیماری جاروک است.

۱ و ۲- گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: zakiaghl@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.87817.1186

این بیماری باعث خسارت‌های فراوانی به درختان بادام در کشورهای ایران و لبنان شده است (Verdin *et al.*, 2003). این بیماری در لبنان باعث زوال و نابودی بیش از ۱۰۰ هزار اصله درخت بادام شده است (Dakhil *et al.*, 2011). در ایران نیز بیماری جاروک بادام از چهارمحال و بختیاری، اصفهان، کرمان، فارس، کردستان و در میزبان‌های هلو، شلیل، بادام تلخ و زردآلو گزارش شده است (Pourali & Salehi, 2012; Salehi *et al.*, 2015). فیتوپلاسمای *C.* Phytoplasma phoenicium که عضوی از گروه فیتوپلاسمایی جاروک نخود کبوتر (Pigeon pea witches'-broom phytoplasma) است به‌عنوان بیمارگر همراه با بیماری جاروک بادام گزارش شده است (Molino Lova *et al.*, 2013). از مهم‌ترین علائم این بیماری می‌توان به زردی برگ‌ها، ریزبرگی و جارویی شدن شاخه‌ها، افزولش شاخه‌ها و کاهش فاصله میان‌گره‌ها اشاره کرد (Dakhil *et al.*, 2011). البته در ایران، فیتوپلاسماهای *Ca.* Phytoplasma asteris و *C.* Phytoplasma solani هم در درختان بادام ردیابی شده‌اند (Zirak *et al.*, 2009, 2021).

با توجه به تکثیر فیتوپلاسماها در بدن ناقل و میزبان گیاهی و عدم امکان کشت این بیمارگرها در محیط‌های رایج آزمایشگاهی، مطالعات مولکولی و مشخص کردن ژن‌ها و مسیرهای مؤثر در مقاومت گیاهان به بیماری‌های فیتوپلاسمایی می‌تواند راهکارهای جدیدی برای مدیریت بیماری‌های فیتوپلاسمایی ارائه دهد. در حال حاضر، برای بیماری جاروک بادام بهترین راه مدیریت بیماری، جلوگیری از انتقال مواد گیاهی آلوده به مناطق سالم و ریشه‌کنی درختان بادام آلوده است. بنابراین، بررسی گستردگی این بیماری در مناطق مختلف کشت بادام می‌تواند در جلوگیری از گسترش آن به مناطق سالم کمک کند. در لبنان برای مهار بیماری از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴ میلادی، شش هزار اصله درخت آلوده ریشه کن شد (Bianco *et al.*, 2019). همچنین پیوند بادام روی پایه‌های غیرمیزبان و مقاوم می‌تواند در مهار بیماری مؤثر باشد (Tawidian *et al.*, 2017).

بیماری جاروک بادام از منطقه کوه‌سرخ استان خراسان رضوی گزارش شده است (Karimi shahri *et al.*, 2014)، امّا علائم متنوعی مانند زردی، جارویی و زوال در درختان بادام در نواحی مختلف این استان مشاهده می‌شود. در این پژوهش، برای اولین بار در ایران، مناطق مختلف کشت بادام در استان خراسان رضوی از نظر آلودگی به بیماری جاروک بادام و ردیابی فیتوپلاسمای همراه با بیماری مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین در این پژوهش، علائم بیماری در درختان بادام مناطق مختلف استان خراسان رضوی و علائم ایجاد شده در گیاهان محک مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و مایه‌زنی گیاهان: در سال ۱۴۰۲ از درختان بادام مشکوک به آلودگی فیتوپلاسمایی در باغ‌های استان خراسان رضوی نمونه‌برداری شد. بلافاصله پس از انتقال نمونه‌های آلوده به گلخانه تحقیقاتی گروه گیاهپزشکی دانشگاه فردوسی، جوانه‌های شاخه‌های بادام آلوده به‌روش پیوند T روی نهال‌های سالم بادام، که سلامت آن‌ها در آزمون PCR تأیید شده بود، پیوند زده شدند. از گیاه انگل سس (Cuscuta campestris Yunck) برای انتقال آلودگی از نهال‌های بادام پیوند شده به گیاه محک پروانش استفاده شد (Přibylová & Špak, 2013).

استخراج DNA کل: استخراج DNA از رگبرگ اصلی و یا پوست ساقه‌های دارای علائم به‌روش CTAB انجام شد (Zhang *et al.*, 1998).

واکنش زنجیره‌ای پلی مراز: واکنش زنجیره‌ای پلیمراز با استفاده از آغازگرهای عمومی فیتوپلاسما (P1/P7) انجام شد (Salehi *et al.*, 2006). برای انجام واکنش، مقدار دو میکرولیتر از DNA به مخلوط واکنش شامل ۱۰ میکرولیتر از Master Red (Ampliqon; Cat no. A180301) و ۱۰ پیکومول از آغازگرهای عمومی فیتوپلاسما (P1: AAGAGTTTGATCCTGGCTCAGGATT و P7: CGTCCTTCATCGGCTCTT) افزوده شد و سپس لوله‌ها در دستگاه ترموسایکلر با برنامه دمایی ۹۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت پنج دقیقه برای واسرشت‌سازی اولیه، ۹۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ ثانیه برای واسرشت‌سازی، ۵۶ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۰ ثانیه برای اتصال آغازگر و ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک دقیقه و ۳۰ ثانیه به منظور گسترش و هفت دقیقه برای گسترش نهایی قرار گرفتند تا قطعه حدود ۱۸۰۰ جفت بازی تکثیر شود. برای انجام واکنش زنجیره‌ای پلیمراز آشیانه‌ای، یک میکرولیتر از محصول واکنش قبل با هشت میکرولیتر آب مقطر مخلوط و به لوله حاوی مخلوط واکنش شامل ۱۰ میکرولیتر از Master Red (Ampliqon; Cat no. A180301) و ۱۰ پیکومول از آغازگرهای R16F2n: ACGACTGCTAAGGACTGG و R16R2: TGAGGGGCGGTGTGTACAAACCCCG افزوده شد. برنامه واکنش شامل دمای ۹۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت چهار دقیقه برای واسرشت‌سازی اولیه، ۹۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۵۰ ثانیه برای واسرشت‌سازی، ۵۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۰ ثانیه برای اتصال آغازگر و ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو دقیقه به‌منظور گسترش و ۱۰ دقیقه برای گسترش نهایی بود تا قطعه ۱۲۵۰ جفت بازی تکثیر شود. محصول واکنش زنجیره‌ای پلیمراز در ژل آگاروز یک درصد حاوی ۲۰ میکروگرم در میلی‌لیتر اتیدیوم بروماید در بافر دی سدیم تترابورات دکا هیدرات (di-sodium tetraborate decahydrate)؛

(هشت گرم NaOH به همراه ۴۸ گرم اسید بوریک در ۰/۹ لیتر آب مقطر) الکتروفورز شد.

توالی‌یابی و آنالیزهای فیلوژنتیکی: به‌منظور توالی‌یابی، قطعه تکثیر شده حاصل از واکنش زنجیره‌ای پلیمراز آشیانه‌ای با استفاده از کیت DNA gel Purification kit-Gel Recovery شرکت کیاژن براساس دستورالعمل شرکت سازنده از ژل آگاروز خالص‌سازی شد. دو نمونه از ناحیه شمالی، چهار نمونه از ناحیه مرکزی و شش نمونه از ناحیه جنوبی برای توالی‌یابی انتخاب شدند. توالی‌یابی قطعه خالص‌سازی شده توسط شرکت ماکروژن کره جنوبی انجام شد. سپس ماهیت توالی به‌دست آمده با استفاده از ابزار blastn در پایگاه داده NCBI تعیین شد. بررسی رابطه فیلوژنتیکی فیتوپلاسمای همراه با بیماری جاروک بادام در مناطق مختلف استان خراسان رضوی با هم‌ردیف‌سازی توالی‌های به‌دست آمده از جدایه‌های این مناطق و توالی 16S rRNA سایر فیتوپلاسماهای شناخته شده و رسم درخت فیلوژنتیکی در نرم‌افزار MegaX به‌روش maximum likelihood با ۵۰۰ تکرار در آزمون بوت استرپ انجام شد.

نتایج و بحث

نمونه‌برداری و بررسی علائم بیماری جاروک بادام در استان خراسان رضوی: نمونه‌برداری از باغ‌های بادام در سه ناحیه شمالی، مرکزی و جنوب استان خراسان رضوی انجام شد. در ناحیه شمالی از باغ‌های بادام شهرستان‌های قوچان، درگز و چناران بازدید شد، ولی علائم جاروک بادام فقط در باغ‌های شهرستان چناران مشاهده و نمونه‌برداری انجام شد. در ناحیه مرکزی از باغ‌های شهرهای نیشابور، مشهد، فریمان و طرقبه شاندیز بازدید شد و باغ‌های شهرهای مشهد و نیشابور دارای علائم جاروک بودند. در ناحیه جنوبی استان خراسان رضوی از باغ‌های بادام در شهرستان‌های کاشمر، کوه‌سرخ، تربت‌حیدریه و سبزوار بازدید شدند. علائم بیماری جاروک در باغ‌های منطقه جنوبی استان فراوان‌تر بود و علائم بیماری در باغ‌های همه شهرهای نمونه‌برداری شده مشاهده شد. جزئیات مربوط به مناطق مورد نمونه‌برداری و علائم مشاهده شده در باغات هر منطقه در جدول ۱ نشان داده شده است.

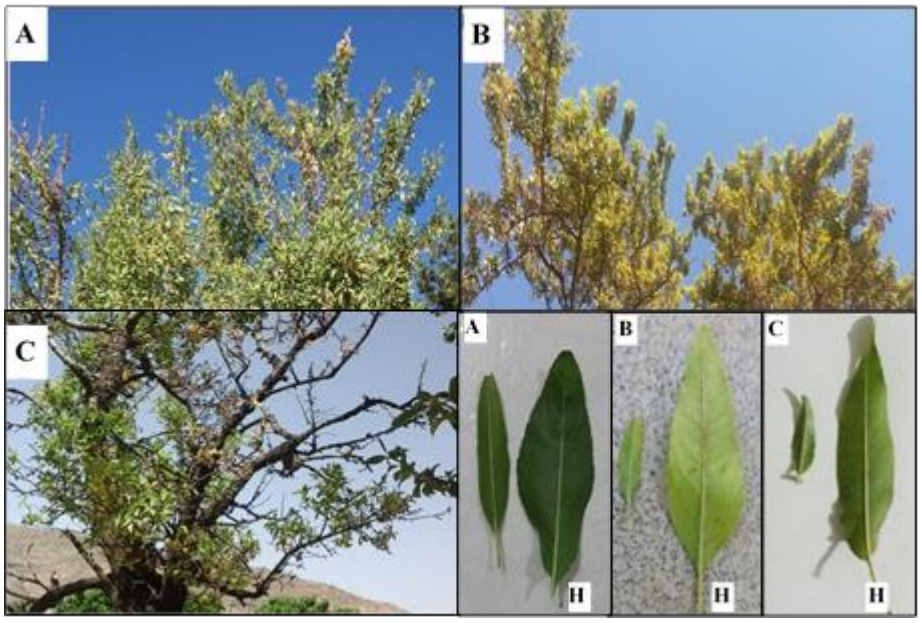
جدول ۱- مناطق نمونه‌برداری در استان خراسان رضوی و علائم بیماری جاروک در درختان بادام هر منطقه

Table 1- Sampling regions in Khorasan Razavi province and symptoms of witches' broom disease on almond trees of each region

City	Geographical coordinates	Number of samples	Number of infected samples	Symptoms
Quchan	37.060/58.340	5	0	–
Chenaran	36.394/59.063	5	2	Mild little leaf, dieback
Dargaz	37.252/59.042	5	0	–
Mashhad	36.132/59.381	5	4	Severe yellowing and little leaf
Neyshabur	36.120/58.524	5	3	Yellowing, internode shortening
Fariman	35.425/59.471	5	0	–
Torghabe-o-Shandiz	36.232/59.203	3	0	–
Kuhsorkh	35.285/58.272	5	5	Severe witches' broom
Kashmar	35.135/58.251	5	5	Severe witches' broom
Torbat-e Heydariyeh	35.222/59.102	5	3	Yellowing, witches' broom
Sabzevar	36.130/57.434	5	3	Yellowing, witches' broom

علائم در درختان بادام آلوده در ناحیه شمالی خراسان رضوی شامل ریزبرگی خفیف، جاروک خفیف و سرخشکیدگی برخی از شاخه‌های تاج درخت بود (شکل ۱- A). علائم بیماری در باغ‌های ناحیه مرکزی استان خراسان رضوی ریزبرگی شدید، زردی، کاهش شدید فاصله میان‌گره‌ها، جاروک و تحلیل تاج درخت بود (شکل ۱- B). درختان بادام آلوده در منطقه جنوبی خراسان رضوی علائم ریزبرگی شدید، جارویی شدن شاخه‌های جانبی، رشد متراکم شاخه‌های نازک از تنه و شاخه‌های اصلی داشتند (شکل ۱- C). علائم مشاهده شده در درختان بادام آلوده به فیتوپلاسما، در مطالعات سایر محققان نیز گزارش شده است (Salehi *et al.*, 2015 ; Molino Lova *et al.*, 2013). علائم بیماری در نواحی شمالی خراسان رضوی خفیف و در نواحی مرکزی و جنوبی شدید بود. به‌علاوه نوع علائم ایجاد شده در نواحی مرکزی و جنوبی دارای تفاوت‌های قابل توجهی بود. همچنین علائم مشاهده شده در نواحی جنوبی با علائم گزارش شده در مطالعه کریمی شهری و همکاران (Karimi Shahri *et al.*, 2014) از منطقه کوه‌سرخ تا حدودی تفاوت داشت و تورم جوانه‌ها و سرشاخه‌های جوان و زردی شدید برگ‌ها در پژوهش حاضر مشاهده نشد. در مطالعات قبلی نیز گزارش

شده است که جدایه‌های مختلف *C.* Phytoplasma phoenicium می‌توانند باعث بروز علائم متفاوتی در میزبان خود شوند (Salehi *et al.*, 2006).



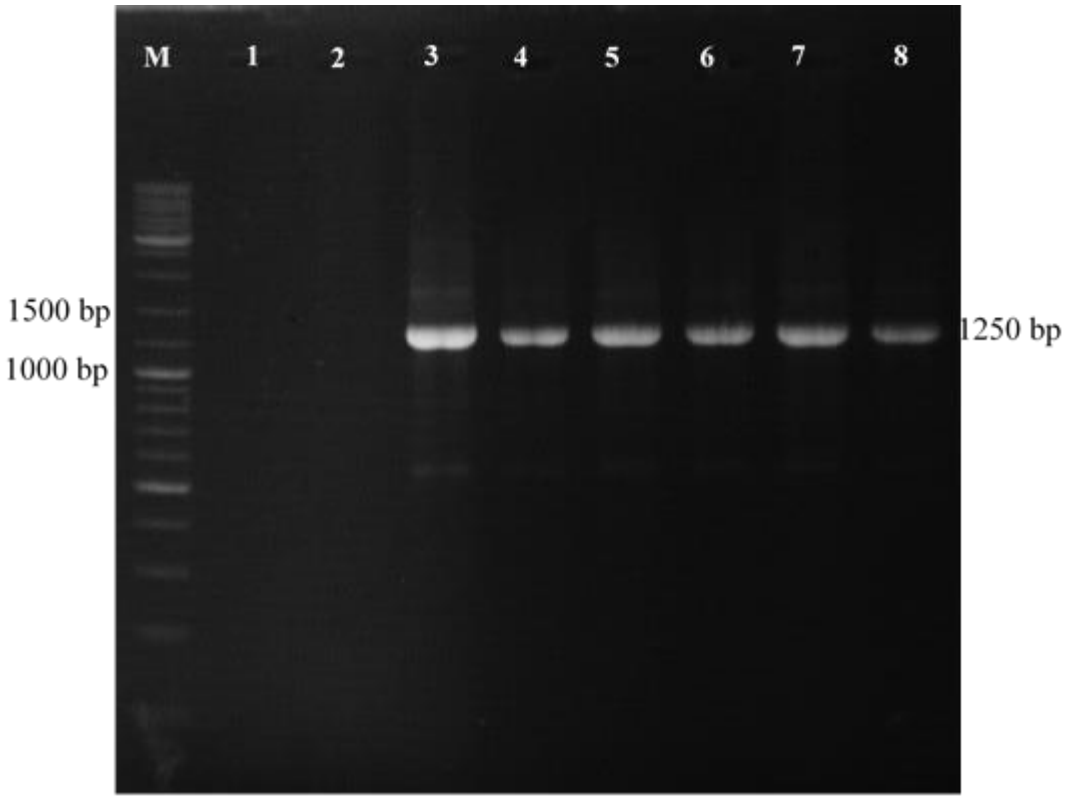
شکل ۱- علائم بیماری جاروک و ریزبرگی در درختان بادام در نواحی مختلف استان خراسان رضوی. A: نواحی شمالی، B: نواحی مرکزی، C: نواحی جنوبی و H: نشان‌دهنده برگ درخت سالم است

Figure 1- Symptoms of almond witches' broom disease and little leaf in various regions of Khorasan Razavi Province. A: northern areas, B: central areas, C: southern areas and H: indicate leaf of healthy almond

ردیابی فیتوپلاسما در واکنش زنجیره‌ای پلیمراز: در ابتدا از بافت رگبرگ اصلی و پوست شاخه‌های آلوده جهت ردیابی استفاده شد. نتایج واکنش زنجیره‌ای پلیمراز نشان داد که بافت رگبرگ اصلی، کارآیی بیشتری جهت ردیابی فیتوپلاسما در نمونه‌های آلوده دارد، بنابراین از این بافت برای استخراج DNA کل استفاده شد. با توجه به محدود بودن فیتوپلاسماها به آوندهای آبکشی، ردیابی آن‌ها از آوندها انجام می‌شود (Namba, 2019). در واکنش زنجیره‌ای پلیمراز اولیه قطعه ۱۸۰۰ جفت بازی و در واکنش زنجیره‌ای پلیمراز آشیانه‌ای قطعه ۱۲۵۰ جفت بازی از نمونه‌های مشکوک و دارای علائم تکثیر شد، درحالی‌که از نمونه سالم این قطعه تکثیر نشد (شکل ۲). قطعه‌های تکثیر شده از نمونه‌های باغ‌های بادام شهرستان‌های کوه‌سرخ، کاشمر، تربت‌حیدریه، مشهد، نیشابور و چناران توالی‌یابی شدند. نتیجه بلاست توالی‌ها نشان داد که قطعات توالی‌یابی شده با ناحیه ژنی 16S rRNA فیتوپلاسما شباهت دارند. از قطعه 16S rRNA برای ردیابی و تعیین روابط فیلوژنی در فیتوپلاسماها و فیتوپلاسمای جاروک بادام استفاده می‌شود (Kirdat *et al.*, 2023).

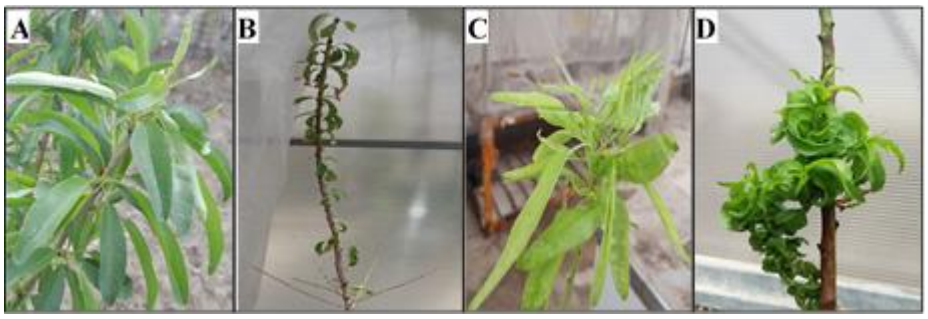
انتقال فیتوپلاسما و علائم در گیاهان پیوند شده: دو ماه پس از پیوند، علائم بیماری به‌تدریج روی نهال‌های بادام پیوند شده ظاهر شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده از مناطق سه‌گانه استان خراسان رضوی به‌صورت جداگانه روی نهال‌های بادام پیوند زده شدند. در نهال‌های بادام پیوند شده با نمونه‌های شمال استان خراسان رضوی، علائم توقف رشد جوانه انتهایی، سرخشکیدگی شاخه‌های جانبی و لکه‌های نکروزه در برگ‌ها ایجاد شد (شکل ۳- B). روی نهال‌های بادام پیوند شده با نمونه‌های نواحی مرکزی استان، علائم زردی، جاروک شدید، کاهش فاصله میان‌گره‌ها و ریزبرگی ایجاد شد (شکل ۳- C). نهال‌های بادام پیوند شده با نمونه‌های نواحی جنوبی استان، علائم افژولش شدید شاخه‌های جانبی، کاهش فاصله میان‌گره‌ها، ریزبرگی و پدیدار شدن لکه‌های نکروزه در برگهای مسن را نشان دادند (شکل ۳- D).

ده روز پس از استقرار گیاه سس، علائم بیماری در گیاهان پروانش ظاهر شد. جدایه‌های نواحی مختلف به‌وسیله سس به گیاهان پروانش منتقل شدند. انتقال جدایه نواحی شمالی استان خراسان رضوی باعث ایجاد برگ‌سانی و زردی خفیف در برگ‌های انتهایی پروانش شد (شکل ۴- B)، ولی در مایه‌زنی پروانش با نمونه‌های جنوب استان خراسان رضوی تنها برگ‌سانی ایجاد شد (شکل ۴- D). مایه‌زنی با جدایه‌های نواحی مرکزی استان در گیاهان پروانشف زردی شدید برگ و برگ‌سانی ایجاد کرد (شکل ۴- C). بروز این علائم در پروانش آلوده به فیتوپلاسمای جاروک بادام در مطالعات قبلی نیز گزارش شده است (Haghshenas *et al.*, 2015).



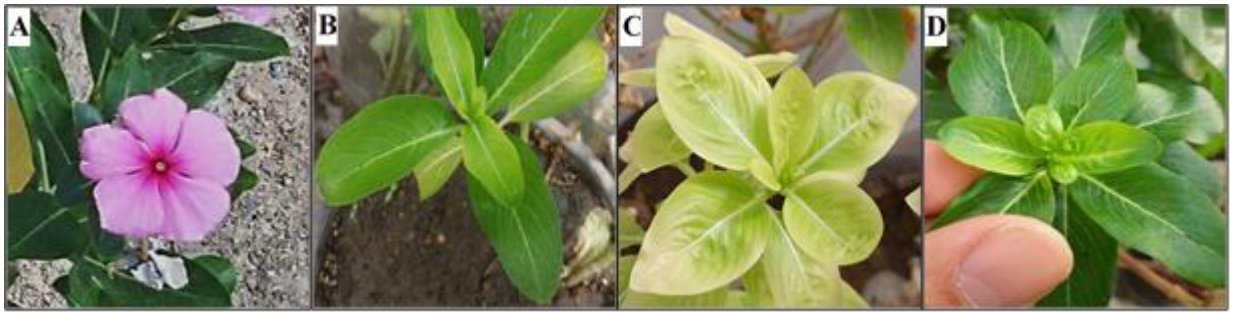
شکل ۲- الکتروفورز محصولات واکنش زنجیره‌ای پلیمراز آشیانه‌ای با آغازگرهای R16F2n/R16R2 از نمونه‌های بادام جمع‌آوری شده از مناطق مختلف استان خراسان رضوی. M: نشانگر مولکولی ۱۰۰ bp (Thermo Fisher Scientific, USA)، راهک شماره ۱: شاهد منفی(آب مقطر)، راهک شماره ۲: گیاه سالم، راهک‌های شماره ۳، ۴ و ۵: نمونه‌های جمع‌آوری شده از کوه‌سرخ، کاشمر و تربت‌حیدریه از ناحیه جنوبی، راهک‌های شماره ۶ و ۷: نمونه‌های جمع‌آوری شده از مشهد و نیشابور در ناحیه مرکزی، راهک شماره ۸: نمونه جمع‌آوری شده از چناران از منطقه شمالی.

Figure 2- Electrophoresis of products of the nested PCR using R16F2n/R16R2 primer pair from the almond samples collected from different regions of Khorasan Razavi province. M: 100 bp molecular size marker (Thermo Fisher Scientific, USA), Lane 1: negative control (distilled water), Lane 2: healthy almond, Lines 3, 4 and 5: samples collected from Koh-Sorkh, Kashmar, and Torbat-Hydariah in the southern area, Lines 6 and 7: samples collected from Mashhad and Neyshabur in the central area, Lane 8: sample collected from Chenaran in the northern area.



شکل ۳- علائم در نهال‌های بادام پیوند شده با جدایه‌های مختلف بیماری جاروک بادام از نواحی مختلف استان خراسان رضوی. A: گیاه سالم، B: توقف رشد جوانه انتهایی و سرخشکیدگی شاخه‌ها در اثر پیوند با جدایه نواحی شمالی، C: زردی، جاروک و کاهش فاصله میان‌گره‌ها ناشی از پیوند با جدایه نواحی مرکزی و D: افژولش شدید شاخه‌های جانبی، کاهش فاصله میان‌گره‌ها و ریزبرگی ایجاد شده با پیوند جدایه نواحی جنوبی

Figure 3- Symptoms in almond seedlings inoculated with different isolates of almond witches' broom phytoplasma from various regions of Khorasan Razavi province. A: healthy plant, B: suppression of the terminal bud growth and dieback as a result of inoculation with isolates from the northern area, C: yellows, witches' broom and shortening the internodes caused by inoculation with isolates of the central areas and D: severe witches' broom, stunting and little leaves generated by the isolates from the southern areas.



شکل ٤- علائم در گیاهان پروانش مایه‌زنی شده با نمونه‌های عامل بیماری جاروک بادام از نواحی مختلف استان خراسان رضوی. A: گیاه سالم، B: زردی خفیف و برگ‌سانی در اثر مایه‌زنی با جدایه نواحی شمالی، C: زردی شدید و برگ‌سانی ناشی از مایه‌زنی با جدایه نواحی مرکزی و D: برگ‌سانی ایجاد شده در اثر مایه‌زنی جدایه نواحی جنوبی

Figure 4- Symptoms of almond witches' broom in periwinkle plants inoculated with isolates from various regions of the Khorasan Razavi province. A: healthy, B: pale yellows and phyllody caused by inoculation with isolates from the northern areas, C: severe yellowness and phyllody as a result of inoculation by isolates of the central areas and D: Phyllody induced by inoculation of isolates from the southern areas

شناسایی و تعیین رابطه فیلوژنی فیتوپلاسماهای همراه با بیماری جاروک بادام در مناطق مختلف خراسان رضوی

نتیجه جستجوی توالی‌های به‌دست آمده از هر منطقه در پایگاه داده NCBI نشان‌دهنده ماهیت فیتوپلاسمایی آن‌ها بود. توالی حاصل از جدایه چناران (PP928397) از ناحیه شمالی خراسان رضوی، بیشترین شباهت را به‌میزان ۹۸/۳۴ درصد با 16S rRNA استرین Ei1090 از *C.* Phytoplasma phoenicium داشت. توالی 16S rRNA به‌دست آمده از جدایه کاشمر (PP928398) از ناحیه جنوبی خراسان رضوی، نزدیک‌ترین رابطه را با جدایه خفر (Khafr, Iran) از *C.* Phytoplasma phoenicium به‌میزان ۹۷/۷۴ درصد نشان داد. این دو استرین فیتوپلاسما متعلق به گروه فیتوپلاسمای جاروک نخود کبوتر (Pigeon pea witches'-broom phytoplasma) از گروه نه 16S rRNA (16SrIX) هستند که می‌توانند باعث بروز بیماری جاروک در بادام شوند. استرین Ei1090 سویه خفیف و جدایه خفر سویه شدید از *C.* Phytoplasma phoenicium هستند (Salehi *et al.*, 2006; Jakovljević *et al.*, 2020). شباهت جدایه چناران و جدایه کاشمر با سایر اعضای گروه 16SrIX به‌ترتیب بین ۹۹/۳۳ تا ۹۸/۷۹ و ۹۸/۴۸ تا ۹۸/۹۵ درصد بود.

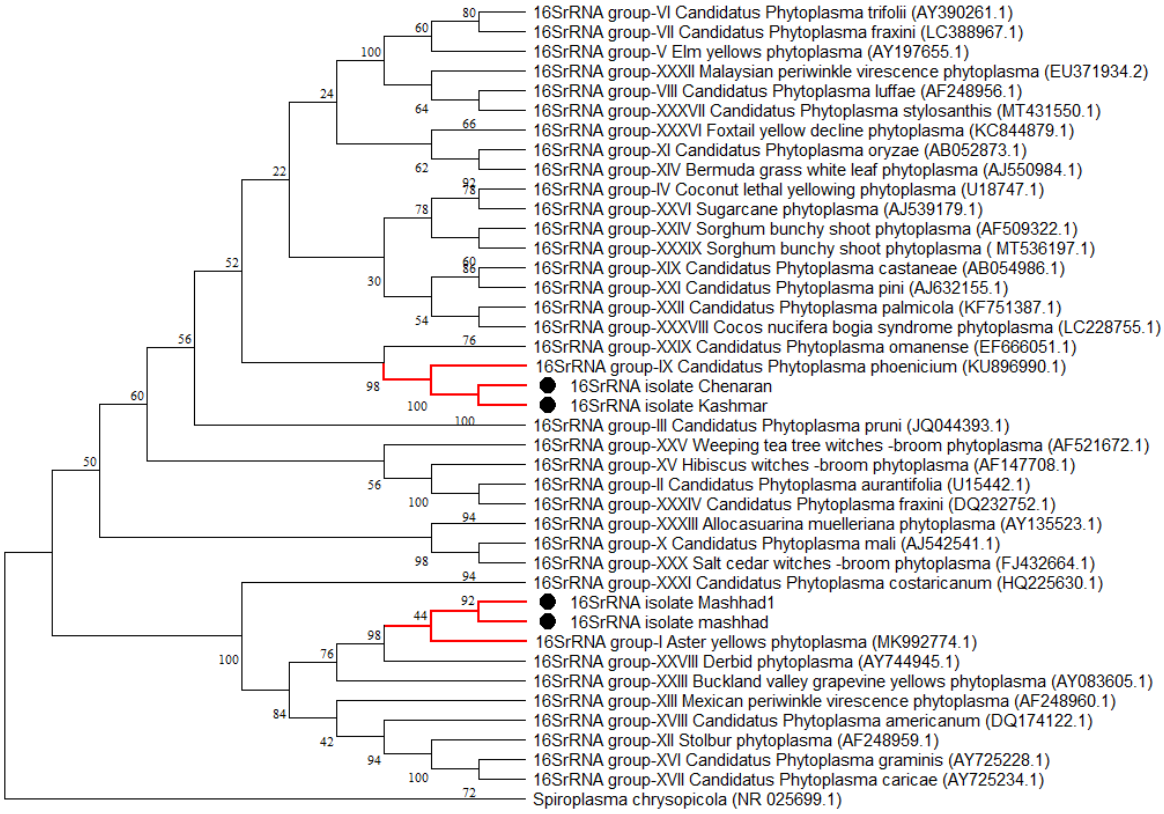
توالی به‌دست آمده از 16S rRNA جدایه مشهد (PP928399) از ناحیه مرکزی خراسان رضوی به‌میزان ۹۹/۹۴ درصد با استرین CPh از فیتوپلاسمای برگ‌سانی شبدر (Clover phyllody phytoplasma) شباهت داشت. این فیتوپلاسما عضوی از گروه فیتوپلاسمایی زردی گل مینا (Aster yellows phytoplasma) از زیرگروه یک 16S rRNA (16SrI) است (Fránová *et al.*, 2009). همراهی فیتوپلاسما از گروه زردی مینا با جاروک بادام در مطالعات قبلی نیز گزارش شده است (Zirak *et al.*, 2021). شباهت جدایه مشهد با سایر اعضای گروه 16SrI بین ۹۹/۹۰ تا ۹۵/۹۸ درصد بود.

برای رسم درخت فیلوژنی، توالی جدایه‌های چناران، کاشمر و مشهد به همراه توالی 16S rRNA استرین‌های مرجع از تمام گروه‌های فیتوپلاسمایی گزارش شده در نرم‌افزار MegaX هم‌ردیف‌سازی و درخت فیلوژنتیکی ترسیم شد (شکل ۵). در درخت فیلوژنتیکی نیز جدایه‌های چناران و کاشمر (به‌ترتیب نواحی شمالی و جنوبی خراسان رضوی) به همراه استرین مرجع گروه فیتوپلاسمای جاروک نخود کبوتر در یک شاخه قرار گرفتند. همچنین جدایه مشهد (ناحیه مرکزی خراسان رضوی) به همراه استرین مرجع گروه فیتوپلاسمایی زردی مینا و گروه 16SrXXVIII در یک شاخه قرار گرفتند. در مطالعات قبلی گزارش شده است که گروه فیتوپلاسمایی 16SrI و گروه 16SrXXVIII از نظر فیلوژنتیکی رابطه نزدیکی داشته و در درخت فیلوژنتیکی حاصل از ژن 16S rRNA در یک شاخه قرار می‌گیرند (Cao *et al.*, 2020).

به‌منظور تعیین رابطه جدایه‌های چناران و کاشمر با سایر زیرگروه‌های گروه جاروک نخود کبوتر توالی 16S rRNA، این جدایه‌ها به همراه توالی استرین‌های مرجع مهم‌ترین زیرگروه‌های گروه جاروک نخود کبوتر در نرم‌افزار MegaX هم‌ردیف‌سازی و درخت فیلوژنتیکی رسم شد (شکل ۶). در درخت فیلوژنتیکی، دو جدایه چناران و کاشمر با زیرگروه‌های B، A و F در یک شاخه قرار گرفتند. مشابه با پژوهش حاضر، در مطالعه کریمی شهری و همکاران (Karimi Shahri *et al.*, 2014) نیز گزارش شده است که جدایه فعال در منطقه کوهسرخ (ناحیه جنوبی خراسان رضوی) متعلق به زیرگروه A از گروه جاروک نخود کبوتر است. در مطالعات قبلی نیز نشان داده شده است که این سه زیرگروه از مهم‌ترین زیرگروه‌های همراه با بیماری جاروک درخت بادام هستند (Lova *et al.*, 2011; Ghayeb Zamharir, 2011). بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده به نظر می‌رسد که فیتوپلاسمای همراه با بیماری جاروک بادام در نواحی شمالی خراسان رضوی سویه خفیف و عامل بیماری جاروک بادام در نواحی جنوبی استان خراسان رضوی سویه شدید *C.*

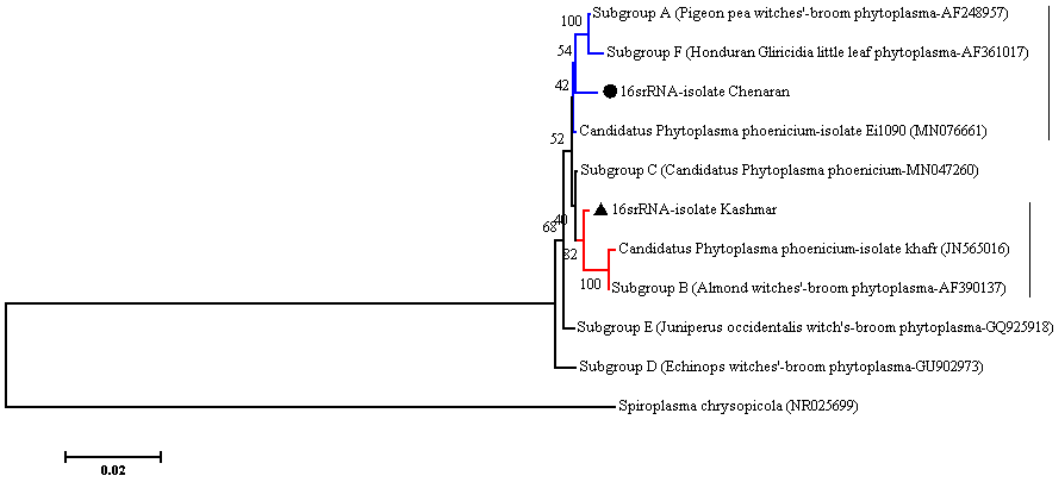
*Phytoplasma*phoenicium است.

برای تعیین رابطه فیلوژنی جدایه مشهد با سایر زیرگروه‌های فیتوپلاسمایی در گروه زردی گل مینا، توالی آن‌ها نیز در نرم‌افزار MEGAX هم‌ردیف‌سازی و درخت فیلوژنتیکی آن‌ها رسم شد. با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که جدایه مشهد در زیرگروه C از گروه زردی گل مینا قرار دارد و رابطه نزدیکی با Clover phyllody phytoplasma دارد. در مطالعات قبلی، حضور این زیرگروه روی برخی از گیاهان زینتی در ایران گزارش شده است (Babaie *et al.*, 2007). از گروه زردی گل مینا قبلاً زیرگروه B به‌عنوان فیتوپلاسمای همراه با جاروک بادام از ایران گزارش شده است (Zirak *et al.*, 2021)، ولی تاکنون همراهی یک فیتوپلاسما از زیرگروه C گروه زردی گل مینا (16SrI-C) با بیماری جاروک بادام گزارش نشده است. از این زیر گروه، همراهی یک فیتوپلاسما با بیماری پیچیدگی و قرمز شدگی برگ درختان هلو (Peach red leaf disease) گزارش شده است (Marcone *et al.*, 2014). بنابراین، فیتوپلاسمای همراه با بیماری جاروک بادام در نواحی مرکزی خراسان رضوی، استرینی از زیر گروه C گروه زردی گل مینا است.



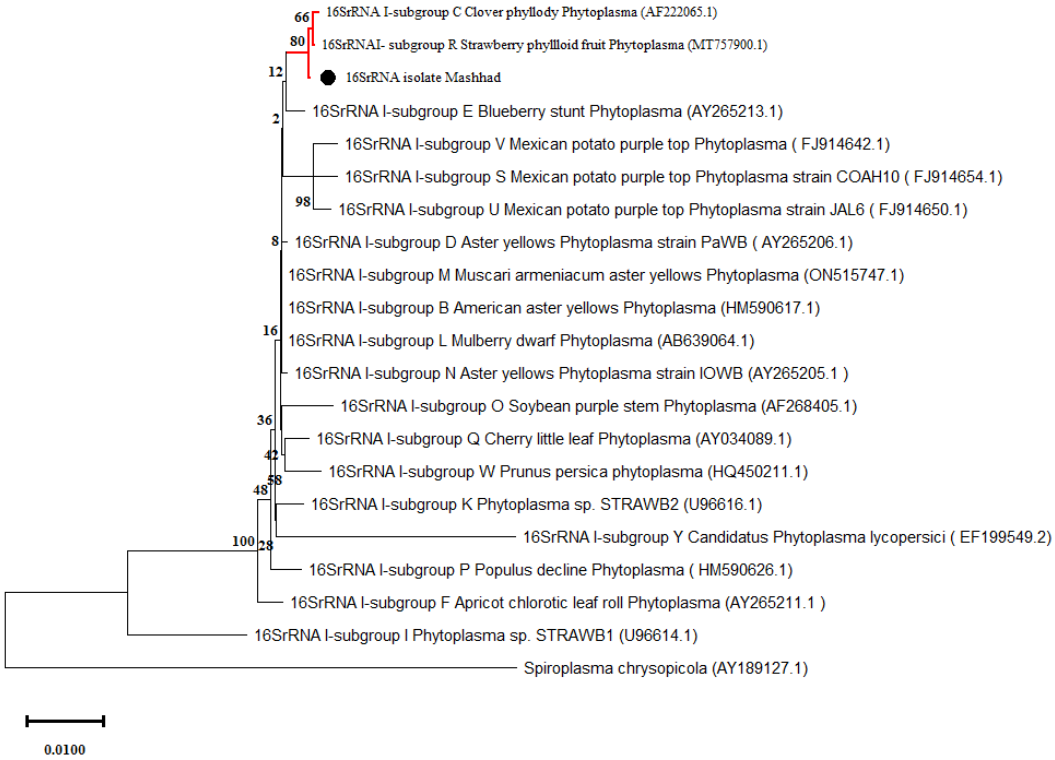
شکل ۵– درخت فیلوژنتیکی ترسیم شده با استفاده توالی 16S rRNA جدایه‌های چناران، کاشمر و مشهد فیتوپلاسماهای همراه با جاروک بادام در استان خراسان رضوی به همراه توالی 16S rRNA استرین‌های مرجع گروه‌های فیتوپلاسمایی گزارش شده به‌روش maximum likelihood در نرم‌افزار MegaX. *Spiroplasma chrysopicola* به‌عنوان گروه خارجی (outgroup) در نظر گرفته شده است. جدایه‌های این تحقیق با • مشخص شده اند.

Figure 5- Phylogenetic tree constructed from the 16S rRNA sequence of Chenaran, Kashmer and Mashhad isolates of phytoplasmas associated with almond witches' broom in Razavi-khorasan province along with the 16S rRNA sequence of the reference strains of the reported phytoplasma groups using the maximum likelihood method in MegaX *Spiroplasma chrysopicola* is used as outgroup .The isolates from this study are marked with•



شکل ٦– درخت فیلوژنتیکی ترسیم شده با استفاده از توالی 16S rRNA جدایه‌های چناران و کاشمر از *C.* Phytoplasma phoenicium به همراه توالی 16S rRNA استرین‌های مرجع تعدادی از مهم‌ترین زیرگروه‌های گروه فیتوپلاسمای جاروک نخود کبوتر (Pigeon pea witches'-broom phytoplasma) به‌روش maximum likelihood در نرم‌افزار MegaX. *Spiroplasma chrysopicola* به‌عنوان outgroup در نظر گرفته شده است. جدایه‌های این تحقیق با • مشخص شده اند.

Figure 6- Phylogenetic tree drawn using the 16S rRNA sequence of Chenaran and Kashmer isolates of *C.* Phytoplasma phoenicium together with the 16S rRNA sequence of the reference strains of the members of the major subgroups of the pigeon pea witches'-broom phytoplasma group using the maximum likelihood method in MegaX. *Spiroplasma chrysopicola* is considered as outgroup. The isolates from this study are labelled with•



شکل ۷– درخت فیلوژنتیکی ترسیم شده با استفاده از توالی 16S rRNA جدایه مشهد بیماری جاروک بادام به همراه توالی 16S rRNA استرین‌های مرجع مهم‌ترین زیرگروه‌های گروه فیتوپلاسمای زردی گل مینا به‌روش maximum likelihood در نرم‌افزار MegaX. *Spiroplasma chrysopicola* به‌عنوان outgroup استفاده شده است. جدایه مشهد با • مشخص شده است.

Figure 7- Phylogenetic tree drawn using the 16S rRNA sequence of the Mashhad isolate of almond witches' broom disease and the 16S rRNA sequence of the reference strains of the major subgroups in Aster yellows phytoplasma group using the maximum likelihood method in MegaX. *Spiroplasma chrysopicola* is used as outgroup. Mashhad isolate is marked with•

نتیجه‌گیری

بیماری جاروک بادام باعث خسارت زیادی در باغ‌های بادام در استان خراسان رضوی می‌شود. علائم بیماری شامل زردی، ریزبرگی، جارویی شدن شاخه‌های جانبی، رشد تعداد زیادی شاخه ار تنه اصلی، سرخشکیدگی، زوال و مرگ درختان بادام بود. علائم بیماری جاروک بادام در مناطق مختلف استان خراسان رضوی متفاوت بود. به‌طور کلی، علائم بیماری در نواحی شمالی ملایم‌تر و در نواحی مرکزی و جنوبی استان شدیدتر بود. با توجه به نتایج این پژوهش، سویه‌های مختلف *C.* Phytoplasma phoenicium و Clover phyllody phytoplasma به‌عنوان عوامل همراه با بیماری جاروک بادام در استان خراسان رضوی هستند. بنابراین، تفاوت در نوع و شدت علائم بیماری در مناطق مختلف را می‌توان ناشی از حضور فیتوپلاسماهای متفاوت از گروه‌ها و زیرگروه‌های مختلف در درختان بادام دانست (Gupta *et al*., 2023; Salehi *et al*., 2006). به‌علاوه گستردگی بیماری در نواحی شمالی استان خراسان رضوی کمتر بوده و با حرکت به‌سمت نواحی قسمت‌های جنوبی استان بر شدت گستردگی بیماری افزوده می‌شود. با توجه به اینکه مناطق شمالی استان خراسان رضوی از نظر آب‌وهوایی جزء نواحی سردسیر محسوب می‌شوند، بنابراین می توان نتیجه گرفت که گسترش بیماری که ناشی از فعالیت ناقل (شناخته نشده) بیماری است، در نواحی گرمسیر استان بیشتر خواهد بود. بنابراین، با توجه به تغییرات اقلیمی پیش رو و افزایش دما در مناطق سردسیر، احتمال دارد که در سال‌های آتی بر گسترش این بیماری در نواحی سردسیر افزوده شود. اثر افزایش دما بر افزایش سرعت گستردگی بیماری‌های فیتوپلاسمایی در مطالعات قبلی نیز گزارش شده است (Zamorzaeva *et al*., 2019). بررسی گستردگی بیماری جاروک بادام در استان خراسان رضوی نشان داد که تقریباً تمامی مناطق مهم کاشت بادام در این استان آلوده به بیماری است، بنابراین احداث باغ‌های بادام و یا تهیه و تولید نهال در این مناطق باید با احتیاط بیشتری صورت پذیرد.

References

1. Anonymous. (2021). Ministry of agriculture, information and communication technology center, agricultural statistics. vol. 3, p. 83-85, Ministry of Jahad-agriculture (In Persian)
2. Babaie, G., Khatabi, B., Bayat, H., Rastgou, M., Hosseini, A., & Salekdeh, G. (2007). Detection and characterization of phytoplasmas infecting ornamental and weed plants in Iran. *Journal of Phytopathology*, *155*(6), 368-372. https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2007.01247.x
3. Bertaccini, A., & Duduk, B. (2009). Phytoplasma and phytoplasma diseases: A review of recent research. *Phytopathologia Mediterranea*, *48*(3), 355-378.
4. Bianco, P.A., Romanazzi, G., Mori, N., Myrie, W., &Bertaccini, A. (2019). Integrated management of phytoplasma diseases. p. 237-258. In: *Phytoplasmas: Plant Pathogenic Bacteria-II: Transmission and Management of Phytoplasma-Associated Diseases*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2832-9_11
5. Caglayan, K., Gazel, M., & Škorić, D. (2019). Transmission of phytoplasmas by agronomic practices. p. 149-163. In: *Phytoplasmas: Plant Pathogenic Bacteria-II: Transmission and Management of Phytoplasma-Associated Diseases*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2832-9_11
6. Cao, Y., Trivellone, V., & Dietrich, C.H. (2020). A timetree for phytoplasmas (Mollicutes) with new insights on patterns of evolution and diversification. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *149*, 106-826. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.106826
7. Dakhil, H.A., Hammad, E.A.F., El-Mohtar, C., & Abou-Jawdah, Y. (2011). Survey of leafhopper species in almond orchards infected with almond witches'-broom phytoplasma in Lebanon. *Journal of insect Science*, *11*(1). https://doi.org/10.1673/031.011.6001
8. Fránová, J., Přibylová, J., & Petrzik, K. (2009). Purple coneflower with reddening and phyllody: A new host of clover phyllody phytoplasma. *European Journal of Plant Pathology*, *123*, 85-90. https://doi.org/10.1007/s10658-008-9320-3
9. Ghayeb Zamharir, M. (2011). Phytoplasmas associated with almond witches' broom disease: An overview. *African Journal of Microbiology Research*, *5*(33), 6013-6017. https://doi.org/10.5897/AJMRX11.021
10. Gupta, S., Handa, A., Brakta, A., Negi, G., Tiwari, R.K., Lal, M.K., & Kumar, R. (2023). First report of 'Candidatus Phytoplasma asteris' associated with yellowing, scorching and decline of almond trees in India. *Peer Journal*, *11*, e15926. https://doi.org/10.7717/peerj.15926
11. Haghshenas, F., Salehi, M., & Ghasemi, S. (2015). Biological and molecular characterization of phytoplasmas associated with GF-677 witches'-broom in Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology*, *51*(2), 229-244. (In Persian)
12. Jakovljević, M., Jović, J., Krstić, O., Mitrović, M., Marinković, S., & Toševski, I. (2020). Diversity of phytoplasmas identified in the polyphagous leafhopper *Euscelis incisus* (Cicadellidae, Deltocephalinae) in Serbia: Pathogen inventory, epidemiological significance and vectoring potential. *European Journal of Plant Pathology*,

156, 201-221. https://doi.org/10.1007/s10658-019-01878-w
13. Jensen, D. (1959). A plant virus lethal to its insect vector. *Virology*, *8*(2), 164-175. https://doi.org/10.1016/0042-6822(59)90002-9
14. Karimishahri, M.R., Kamali, H., Sajjadinezhad, M., & Aliakbari, R. (2014). Report on the presence of almond witches broom agent in Koohsorkh (Kashmar) region of Razavi Khorasan province. *The First National Congress of Biology and Natural Sciences of Iran* (Vol. 1), Iran.p.153. (In Persian)
15. Kirdat, K., Tiwarekar, B., Sathe, S., & Yadav, A. (2023). From sequences to species: Charting the phytoplasma classification and taxonomy in the era of taxogenomics. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1123783. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1123783
16. Lova, M.M., Quaglino, F., Abou-Jawdah, Y., Choueiri, E., Sobh, H., Casati, P., Tedeschi, R., Alma, A., & Bianco, P.A. (2011). Identification of new 16SrIX subgroups,-F and-G, among'Candidatus Phytoplasma phoenicium' strains infecting almond, peach and nectarine in Lebanon. *Phytopathologia Mediterranea*, *50*(2), 273-282.
17. Marcone, C., Guerra, L.G., & Uyemoto, J.K. (2014). Phytoplasmal diseases of peach and associated phytoplasma taxa. *Journal of Plant Pathology*, *96*(1) 15-28. https://doi.org/10.4454/JPP.V96I1.004
18. Molino Lova, M., Bianco, P.A., Casati, P., & Quaglino, F. (2013). Almond witches' broom phytoplasma: Disease monitoring and preliminary control measures in Lebanon. p. 71-75. In: Phytoplasmas and phytoplasma disease management: how to reduce their economic impact, IPWG - International Phytoplasmologist Working Group.
19. Namba, S. (2019). Molecular and biological properties of phytoplasmas. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, *95*(7), 401-418. https://doi.org/10.2183/pjab.95.028
20. Pourali, H., & Salehi, M. (2012). Genetic diversity of the phytoplasma isolates associated with almond witches' broom in Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology*, *48*(3), 353-366. (In Persian)
21. Přibylová, J., & Špak, J. (2013). Dodder transmission of phytoplasmas. *Phytoplasma: Methods and Protocols*, vol. 938, p. 41-46. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-089-2_40
22. Salehi, M., Izadpanah, K., & Heydarnejad, J. (2006). Characterization of a new almond witches' broom phytoplasma in Iran. *Journal of Phytopathology*, *154*(7-8), 386-391. https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2006.01109.x
23. Salehi, M., Salehi, E., Abbasian, M., & Izadpanah, K. (2015). Wild almond (*Prunus scoparia*), a potential source of almond witches' broom phytoplasma in Iran. *Journal of Plant Pathology*, 97(2), 377-381.
24. Tawidian, P., Jawhari, M., Bianco, P.A., & Sobh, H. (2017). The potential of grafting with selected stone fruit varieties for management of almond witches' broom. *Phytopathologia Mediterranea*, 56(3) 458-469. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-20609
25. Verdin, E., Salar, P., Danet, J.L., Choueiri, E., Jreijiri, F., Zammar, S.EI., Gelie, B., Bove, J.M., & Garnier, M. (2003). 'Candidatus Phytoplasma phoenicium'sp. nov., a novel phytoplasma associated with an emerging lethal disease of almond trees in Lebanon and Iran. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, *53*(3), 833-838. https://doi.org/10.1099/ijs.0.02453-0
26. Zamorzaeva, I., Bahșiev, L., & Mihnea, N. (2019). Spread of phytoplasma infection in the tomato field depending on the climatic conditions of the year. *Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Chisinau*. 2(4) 662-668
27. Zhang, Y.P., Uyemoto, J.K., & Kirkpatrick, B.C. (1998). A small-scale procedure for extracting nucleic acids from woody plants infected with various phytopathogens for PCR assay. *Journal of Virological Methods*, *71*(1), 45-50. https://doi.org/10.1016/S0166-0934(97)00190-0
28. Zirak, L., Bahar, M., & Ahoonmanesh, A. (2009). Characterization of phytoplasmas associated with almond diseases in Iran. *Journal of Phytopathology*, *157*(11-12), 736-741. https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2009.01567.x
29. Zirak, L., Khakvar, R., Zarrini, G., & Hasanpour, K. (2021). Detection and molecular characterization of phytoplasmas associated with stone fruit trees in northwest of Iran. *Crop Protection*, *142*, 105526. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105526

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 1, 2025, p. 61-83

Control of Tomato Early Blight (*Alternaria solani*) Disease by Aqueous Extract of Thyme (*Thymus vulgaris*)

A. Gholamzadeh-Bazar Bash[1], S. Qoli Tolouie[2], T. Allahverdipour[3], M. Salehzadeh[4*]

1, 2 and 3- Department of Plant Protection, College of Agriculture, Afaq Institute of Higher Education, Urmia, Iran
4- Plant Virology Research Center, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
(*- Corresponding author's Email: mehrdadsalehzadeh@hafez.shirazu.ac.ir)

Received: 07-04-2024
Revised: 19-01-2025
Accepted: 25-01-2025
Available Online: 29-04-2025

How to cite this article:
Gholamzadeh-Bazar Bash, A., Qoli Toloui, S., Allahverdipour, T., & Salehzadeh, M. (2025). Control of tomato early blight (*Alternaria solani*) disease by aqueous extract of thyme (*Thymus vulgaris*). *Iranian Plant Protection Research*, *39*(1), 61-83. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/10.22067/JPP.2025.87475.1183

Introduction

Tomato (*Solanum lycopersicum*) is the second most valuable agricultural product after potatoes. Early blight, caused by *Alternaria solani*, is a major disease affecting tomatoes, damaging stems, leaves, and fruits. This disease significantly reduces photosynthesis and can lead to leaf drop in severe cases across tomato-growing regions in Iran. Common control methods often involve chemical pesticides, but their excessive use can result in environmental pollution, pathogen resistance, and the emergence of dangerous strains, exacerbating the damage. As a safer alternative, researchers have increasingly focused on using natural compounds, or phytometabolites, for pest and pathogen management. Plant biocides offer numerous advantages, including rapid decomposition, specific toxicity, reduced bioaccumulation, and minimal harm to beneficial insects. This study aims to evaluate the effectiveness of thyme extract in managing tomato spot disease as a substitute for chemical pesticides, alongside an assessment of morphological and physiological characteristics in infected versus healthy plants.

Materials and Methods

Five fungal isolates were collected from tomato fields in various locations of West Azarbaijan province. Extraction and isolation of *A. solani* followed the Rigotti method (2003), while DNA extraction and PCR were conducted using Ji Cho's method (2016), with the amplified fragments subsequently sequenced. A phylogenetic tree was created using Mega 8 software, positioning the Iranian isolate alongside Asian *A. solani* isolates. Thyme extract's effect on fungal colony growth was tested in the lab, and pathogenicity was assessed on tomato variety 4129. Morphological traits, including plant and root length and biomass, along with physiological traits such as chlorophyll content and the expression of defense genes (*CAT*, *APX*, *POD*), as well as phenol and flavonoid levels were measured for UrmiaB isolate, as the most virulent among the collected isolates.

Results and Discussion

https://doi.org/10.22067/JPP.2025.87475.1183

All concentrations of thyme extract tested in this research exhibited significant inhibitory and antifungal effects at both 1% and 5% probability levels compared to the controls. Additionally, thyme extract showed moderate to high antifungal activity against *A. solani*, both in laboratory and greenhouse settings. In laboratory trials, thyme concentrations of 50, 100, and 150 mg mL^{-1} markedly reduced fungal growth, particularly at higher concentrations (100 and 150 mg mL^{-1}), which also corresponded with a decrease in pathogenicity affecting tomato fruits of cultivar 4129. Morphological and physiological assessments indicated that thyme extract improved traits in tomato variety 4129, including root and shoot lengths, biomass, chlorophyll content, and the expression of defense-related enzymes (*CAT*, *APX*, *POD*), as well as phenolic and flavonoid levels under greenhouse conditions. These findings demonstrate that thyme extract effectively mitigates early blight disease in tomatoes by inhibiting fungal growth.

Conclusion

The results indicated that thyme extract effectively reduced the activity of the pathogen responsible for tomato early blight in both laboratory and greenhouse conditions. Its antifungal properties make thyme extract a promising candidate for commercialization in agricultural pest management, particularly when used in combination with other compounds.

Keywords: Antifungal properties, Early blight, Morpho-physiological traits, Plant metabolite

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص. ۸۳-۶۱

مهار لکه موجی گوجه‌فرنگی (*Alternaria solani*) با استفاده از عصاره آبی آویشن (*Thymus vulgaris*)

علی غلامزاده بازار باش [۱]- سحر قلی طلوعی [۲]- توحید الهوردی پور [۳]- مهرداد صالح زاده [۴*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶

چکیده

در این بررسی، اثر سه غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر عصاره آویشن در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای روی قارچ بیمارگر *Alternaria solani*، عامل بیماری بلایت زودرس گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. تمامی غلظت‌های عصاره آویشن مورد استفاده در این تحقیق هر یک نسبت به تیمار کنترل مثبت خود خاصیت بازدارندگی و ضدقارچی در سطح احتمال پنج درصد نشان دادند. همچنین در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای، عصاره آویشن وابسته به غلظت، خاصیت ضدقارچی متوسط به بالایی علیه بیمارگر *A. solani* داشت. زمانی‌که قارچ بیمارگر در روش‌های آزمایشگاهی و کشت در پتری‌دیش، تحت تیمار با غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر آویشن قرار گرفت، میزان رشد قارچ مخصوصاً در تیمار غلظت‌های بالا (۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) کاهش چشمگیری پیدا کرد و به دنبال آن شدت بیماری‌زایی نیز وابسته به غلظت در میوه‌های گوجه‌فرنگی رقم ۴۱۲۹ کاهش یافت. بررسی صفات موفو-فیزیولوژیک نشان داد که عصاره آویشن وابسته به غلظت منجر به بهبود صفات مذکور در گوجه‌فرنگی رقم ۴۱۲۹ شامل: طول ریشه و شاخسار، وزن تر و خشک ریشه و شاخسار، افزایش محتوای کلروفیل بوته، افزایش بیان برخی آنزیم‌های دفاعی مانند کاتالاز، آسکوربات‌پراکسیداز، پراکسیداز، فنل‌ها و فلاونوئیدها تحت شرایط گلخانه‌ای شد. این نتایج نشان می‌دهد که عصاره آویشن روی قارچ بیمارگر عامل بلایت زودرس گوجه‌فرنگی تحت شرایط گلخانه‌ای و آزمایشگاهی به‌خوبی تأثیر گذاشته و باعث کاهش رشد قارچ و متعاقب آن کاهش میزان شدت بیماری شده است. قابلیت ضدقارچی عصاره آویشن بر روی بوته‌ها در کشت آزاد و گلخانه‌ای و همچنین میوه‌ها در شرایط انباری می‌تواند، این ترکیب را بعنوان یک پادزیست گیاهی مناسب برای مطالعه روی سایر بیمارگرهای گیاهی و تجاری‌سازی این محصول معرفی نماید.

واژه‌های کلیدی: بلایت زودرس، خواص ضدقارچی، صفات مورفو-فیزیولوژیکی، متابولیت گیاهی

مقدمه

گوجه‌فرنگی با نام علمی *Solanum lycopersicum* شناخته شده است. گوجه‌فرنگی بعد از سیب‌زمینی دومین محصول پر ارزش کشاورزی محسوب می‌گردد. از کل تولید گوجه‌فرنگی دنیا در سال ۲۰۲۱ که حدود ۱۶۵/۲۶۶ میلیون تن بوده است، حدود ۳۹/۱۴۴ میلیون تن در چین و ۲۲/۸۶۷ میلیون تن در ایالات متحده تولید شده است، که در این میان، میزان تولید در ایران تنها ۷/۲ میلیون تن می‌باشد (Liu *et al*., 2022). طبق گزارش سازمان FAO در سال ۲۰۱۸، سطح زیرکشت این محصول در دنیا و ایران به‌ترتیب ۴۸۰۴۶۸۰ و ۱۶۰۰۰۰ هکتار می‌باشد (Fatemi *et al*., 2024).

بیماری لکه‌موجی یا بلایت زودرس (Early blight) با عامل *Alternaria solani* یکی از بیماری‌های مهم در گوجه‌فرنگی در ایران و سراسر دنیا می‌باشد. این بیماری به ساقه، برگ و میوه گوجه‌فرنگی خسارت وارد می‌کند. تقریباً در تمام مناطق ایران که تحت کشت گوجه‌فرنگی هستند، بیماری لکه‌موجی گسترش داشته و سطح فتوسنتزکنندگی گیاه را شدیداً کاهش می‌دهد و به‌دنبال آن ریزش برگ‌های گیاه (در مواردی که شدت بیماری بالا باشد)، مشاهده می‌گردد. با توجه به اینکه بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی به تمام قسمت

۱،۲ و ۳- گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، مؤسسه آموزش عالی آفاق، ارومیه، ایران
۴- مرکز تحقیقات ویروس شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
(*- نویسنده مسئول:
(Email: mehrdadsalehzadeh@hafez.shirazu.ac.ir
https://doi.org/10.22067/JPP.2025.87475.1183

های هوایی گیاه خسارت وارد می‌کند و منجر به آسیب کمّی و کیفی روی میوه می‌شود، از مهم‌ترین بیمارگرهای قارچی گوجه‌فرنگی محسوب می‌گردد (Haghpanah *et al.*, 2023). *Alternaria* با فرم جنسی Lewia در سال ۱۸۸۲ برای اولین‌بار توسط الیس و مارتین از روی برگ‌های خشک‌شده سیب‌زمینی در کلکسیون نیوجرسی جداسازی و شناسایی شد و در سال ۱۸۹۶ بیماریزایی آن به اثبات رسید. ایشان عامل این بیماری را *Alternaria solani* نام‌گذاری کردند (Narware *et al.*, 2023). *Alternaria* spp. متعلق‌به شاخه Ascomycota، زیرشاخه Pezizimycotina، رده Dothideomycete، زیررده Pleosporemycetidae، راسته Pleosporales و خانواده Pleosporaceae است. این جنس نزدیک به ۱۰۰ گونه داشته که در سراسر دنیا و در مناطق متنوع اکولوژیکی حضور داشته و اغلب بیماری‌های شدیدی روی محصولات کشاورزی ایجاد می‌نمایند. گونه‌های این جنس به‌صورت ساپروفیت یا بیمارگر ضعیف قادر به بقاء و ادامه چرخه زندگی هستند (Nejhad *et al.*, 2024). *Alternaria* توانایی رشد در دامنه وسیعی از دماها از ۵ تا ۳۶ درجه سیلسیوس را دارد. این قارچ برای ایجاد آلودگی، به دوره کوتاهی از رطوبت نیاز دارد.

یکی از روش‌های متداول مهار بیماری‌های گیاهی، استفاده از سموم و ترکیبات شیمیایی است. استفاده بیش از حد و مداوم از ترکیبات و سموم شیمیایی باعث آلودگی‌های زیست‌محیطی، ایجاد مقاومت در عوامل بیمارگر گیاهی، ایجاد سویه‌های خطرناک از بیمارگرها و در نهایت، منجر به افزایش شدت خسارت در محصولات کشاورزی می‌گردد. یکی از روش‌های کاهش این مخاطرات، استفاده از ترکیبات طبیعی یا فیتومتابولیت‌ها در مهار اقتصادی آفات و بیمارگرهای گیاهی می‌باشد. ازاین‌رو در سال‌های اخیر، محققان بسیاری به مطالعه اثرات ضدقارچی و زیست‌پادی عصاره‌های مختلف گیاهی در مدیریت عوامل بیماریزای گیاهی پرداخته‌اند. زیست‌پادها، اغلب دارای دوره کارنس کمتری بوده، باقی‌مانده‌های سمی روی محصولات نداشته، دارای رایحه قوی بوده و به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم (بهبود صفات مورفو-فیزیولوژیکی) در مدیریت پایدار بیمارگرهای گیاهی نقش دارند. پادزیست‌های گیاهی به‌دلیل تجزیه سریع، سمیّت کمتر، عملکرد اختصاصی، تجمع زیستی پایین، طیف عملکردی بالا و کاهش آسیب بر محیط‌زیست و حشرات مفید، در حال گسترش و تجاری‌سازی هستند. امّا با وجود مزیت‌های اشاره‌شده، محدودیت‌هایی مانند پایداری پایین، عدم سیستمیک شدن و نفوذ به گیاه، تجزیه در مقابل شرایط محیطی و شیمیایی (رطوبت، pH، اکسیژن، نور و تبخیر) را نیز دارند (Farashah Serag *et al.*, 2023 ; & Salehzadeh, 2023). با توجه به اهمیت پادزیست‌های گیاهی در مهار بیمارگرهای مهم گیاهی، اهداف این تحقیق شامل کاربرد عصاره آویشن برای مهار بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی به‌جای کاربرد سموم و ارزیابی صفات مورفو-فیزیولوژیکی گیاهان آلوده به قارچ در مقایسه با گیاهان سالم و گیاهان کنترل مثبت (تلقیح شده فقط با قارچ) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۴۰۱ در آزمایشگاه کارشناسی ارشد دانشگاه غیرانتفاعی آفاق ارومیه صورت پذیرفت. جهت انجام این تحقیق، تعداد پنج جدایه قارچی از مناطق مختلف استان آذربایجان‌غربی و از مزارع گوجه‌فرنگی جمع‌آوری گردید و پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و گلخانه، کارهای جداسازی و تلخیص *A. solani* صورت گرفت.

جداسازی، تلخیص و آزمون بیماری‌زایی جدایه‌ها

جدایه‌های مختلف این قارچ روی محیط کشت Potato Dextrose Agar (PDA) کشت شدند. در ادامه، طول ابعاد کنیدی، کنیدیوفور، شکل و رنگ پرگنه قارچ مورد بررسی قرار گرفت. آزمون بیماری‌زایی مطابق روش ریگوتی و همکاران در سال ۲۰۰۳ (Rigotti *et al.*, 2003) روی بوته‌ها با سه تکرار (هر تکرار شامل سه میوه) و یک جدایه خالص قارچی انجام شد.

شناسایی و تفریق جدایه‌های *آلترناریا* براساس روش‌های ملکولی

استخراج دی.ان.ای و بررسی کیفیت آن

روش استخراج براساس روش جی چوی و همکاران (ji Cho *et al.*, 2016) با کمی تغییران صورت گرفت. غلظت (کمیت) دی.ان.ای، به‌وسیله اسپکتروفتومتری با جذب فرابنفش با طول موج ۳۴۰ نانومتر (Thermo Scientific NanoDrop™ 8000 Multi-Sample Micro-Volume UV-Vis Spectrophotometer) اندازه‌گیری شد.

واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز (PCR)

برای انجام مراحل PCR، از مواد و محلول‌هایی استفاده شد که امروزه به‌صورت کیت‌های تجاری در دسترس هستند (کیت استخراج DNA، شرکت سیناکلون). آغازگرهای سنتزشده از شرکت متابیون آلمان تهیه شد. آغازگرهای مورد استفاده در این مطالعه که جهت تکثیر ناحیه بین ژنی یا ITS (Kasahara *et al.*, 2010) به کار برده شده‌اند عبارتند از:

ITS۱: TCC GTA GGT GAA CCT GCG G

ITS۴: TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC

به‌طور کلی، جهت انجام واکنش PCR، در یک واکنش ۲۵ میکرولیتری شامل ۱۲/۵ میکرولیتر مسترمیکس (شرکت دنازیست)، دو میکرولیتر آغازگر (از هر آغازگر رفت و برگشتی)، دو میکرولیتر دی.ان.ای، ۸/۵ میکرولیتر آب مقطر استریل (شرکت دنازیست) انجام شد. سیکل حرارتی مناسب روی دستگاه تنظیم و واکنش پی.سی.آر شامل مرحله واسرشت‌سازی اولیه DNA ژنومی (۹۰۰ ثانیه در دمای ۹۵ درجه سلسیوس، یک مرتبه)، واسرشت‌سازی (۹۴ درجه سلسیوس، ۳۰ ثانیه، ۲۳ مرتبه)، اتصال آغازگر به رشته الگو (۵۶/۴ درجه سلسیوس، ۹۰ ثانیه، ۲۳ مرتبه)، گسترش رشته جدید (۷۲ درجه سلسیوس، ۹۰ ثانیه) و گسترش نهایی (۷۲ درجه سلسیوس، ۶۰ ثانیه، یک مرتبه) شروع شد.

تعیین توالی نوکلئوتیدی ناحیه ITS حاصل از پی.سی.آر

در این مرحله، ۳۰ میکرولیتر از محصول PCR و قطعات ITS۱/ITS۴ حاصل از تکثیر در میکروتیوپ‌های ۰/۵ میکرولیتری به شرکت زیست‌فن‌آوری پیشگام جهت تعیین توالی دوطرفه فرستاده شد. نتایج تعیین توالی با برنامه Bioedit و Finch TV بررسی شدند. توالی‌های حاصل از ویرایش با قطعات مشابه ثبت‌شده در بانک جهانی ژن (NCBI) مطابقت داده شد. گونه‌ها و جدایه‌هایی که دارای بیشترین تشابه در توالی نوکلئوتیدی با توالی مورد نظر را داشتند، انتخاب شدند و به‌فرم FASTA ذخیره شدند، سپس اطلاعات به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار MEGA0.8 (Tamura *et al.*, 2007) بررسی شد و ارتباط تبارزایی بین جدایه‌های *آلترناریا* جداسازی شده ایرانی با سایر جدایه‌ها تعیین شد.

آزمون بیماری‌زایی جدایه‌ها

پس از خالص‌سازی و نگهداری جدایه‌ها، آزمون بیماری¬زایی جدایه‌های موجود روی میوه گوجه‌فرنگی انجام شد. در این آزمون، براساس مقایسه میانگین و محاسبه میانگین قطر لکه‌های بافت‌مرده حاصل از تلقیح میوه با جدایه‌های مختلف قارچی، بیماری‌زایی جدایه-های مورد آزمایش مقایسه شده و قوی‌ترین جدایه از نظر بیماری¬زایی برای انجام آزمایشات بعدی انتخاب شد.

تهیه فرموالسیون‌های قارچ جمعیت 10^8 اسپور فعال در هر میلی-لیتر تهیه شده از کشت ۵ روزه در محلول Nutrient Broth برای تهیه مایه تلقیح قارچ (۵۰٪ W/V) استفاده شد و ترکیبات چسباننده و حمل‌کننده برای این فرمولاسیون با روش بهرامی‌نژاد و همکاران (Bahraminejad *et al.*, 2016) انتخاب و استفاده شدند. از سوسپانسیون اسپور با جمعیت 10^8 اسپور هر یک از جدایه‌های مورد مطالعه در هر میلی‌لیتر برای تهیه فرموالسیون گرانول، با روش فراول و همکاران (Fravel *et al.*, 2005) استفاده شد. برای تهیه فرموالسیون پودر از پودر تالک و کشت جامد هر یک از جدایه‌ها با جمعیت 10^8 اسپور در میلی‌متر مکعب استفاده شد.

بررسی تأثیر آزمایشگاهی عصاره آویشن بر پرگنه قارچ *A. solani*

برای بررسی تأثیر عصاره آویشن در سه غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار (اسانس آویشن ۹۰ درصد، شرکت نیکوشیمی) در بازدارندگی از رشد قارچی *A. solani* از محیط کشت PDA استفاده شد. سه حلقه از پرگنه قارچ به قطر یک سانتی‌متر از محیط کشت PDA سه روزه از جدایه *A. solani* در محیط کشت مایع زاپکس (دنازیست) در داخل شیکر چرخان (۱۰۴ دور در دقیقه) به‌مدت هفت روز در دمای ۲۳–۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس محتویات ارلن به‌وسیله میلی‌پور و میکرو خلاء و با استفاده از میکروفیلترهای ۰/۲۲ صاف شده و عصاره *A. solani* تهیه شد. عصاره *A. solani* در این تحقیق با غلظت‌های 10^8 اسپور در هر میلی‌لیتر استفاده شد. محیط در پتری‌های استریل ریخته شد و بعد از گذشت ۲۴ ساعت و اطمینان از عدم آلودگی محیط‌ها، حلقه‌های میسیلیومی به قطر پنج میلی‌متر از محیط کشت پنج روزه *A. solani* در مرکز پتری‌های حاوی غلظت‌های مختلف آویشن قرار گرفت. برای هر غلظت آویشن، سه تکرار در نظر گرفته شد. این آزمایش در قالب طرح فاکتوریل دوعاملی (گونه *A. solani* و غلظت عصاره‌ها) با سه تکرار، ۷۲ ساعت پس از کشت قارچ *A. solani* انجام شد. تمامی تیمارها با آزمون توکی در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفتند. در هر مورد سطح بازدارندگی توسط معادله ۱ (Dev *et al.*, 2004) محاسبه شد. بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف آویشن بر رشد قارچ عامل *A. solani* در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد و نتایج شش روز بعد از رشد قارچ به‌وسیله معادله ۲ ثبت و اندازه‌گیری شد.

$$IP = (C - T)/C \times 100 \quad (\text{بازدارندگی } \%) \qquad (۱)$$

بررسی تأثیر عصاره آویشن در برخی ویژگی‌های رویشی گوجه‌فرنگی آلوده به *A. solani* در شرایط گلخانه ای

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار شامل سه سطح عصاره آویشن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و یک رقم گوجه‌فرنگی (۴۱۲۹) در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. زمانی‌که نشاءها به مرحله چهار برگی حقیقی رسیدند، با قارچ خالص‌شده *A. solani* با غلظت 10^8 اسپور فعال در هر میلی‌لیتر مایه‌زنی شده و ۴۸ ساعت بعد، عصاره آویشن با غلظت-های مذکور به گیاه محلول‌پاشی شدند. پس از گذشت ۲۰ روز از اعمال تیمارها (۲۰dpi) و شاخص‌های رویشی گیاه (مانند طول و قطر ساقه، طول میان‌گره، تعداد شاخه‌های جانبی، طول و وزن تر و خشک

ریشه) و شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه (بررسی محتوای کلروفیل کل، فنل و فلاونوئید کل، آنزیم پراکسیداز، اسکوربات پراکسیداز و کاتالاز) اقدام به نمونه‌برداری و اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل پس از ۶، ۱۲ و ۱۸ روز پس از تیمار ترکیبات با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS ver. 25.0 (Abu-Bader, 2021) تجزیه و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون توکی (the Tukey multiple comparison statistic) (Driscoll, 1996) انجام شد. نمودارهای مربوطه نیز با نرم‌افزار Genex6 (He *et al*., 2016) ترسیم شدند.

اندازه‌گیری شدت بیماری

شدت علائم به‌صورت درصدی از برگ‌های بیمار بیان گردید (Sudhakar *et al*., 2007). در این روش، براساس شدت بیماری و علائم برگی ناشی از آن، کدهایی به‌صورت اعداد ۵-۰ در نظر گرفته شد، به‌طوری‌که عدد صفر برگ‌های گوجه‌فرنگی فاقد علائم قارچی و اعداد بالاتر بیانگر افزایش شدت علائم قارچی روی برگ را نشان می‌دادند. سپس توسط معادله ۲ (Sudhakar *et al*., 2007) شدت بیماری (DS) در زمان‌های ۷، ۱۴ و ۲۱ روز پس از مایه‌زنی (dpi) انجام گرفت.

(۲)

$$DS = \frac{\text{کد بیماری هر برگ} \times \text{مجموع تعداد نمونه برگ}}{\text{تعداد نمونه‌های برگ} \times \text{حداکثر کد بیماری مشاهده شده طی آزمایش}}$$

به‌منظور بررسی شاخص‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی، نمونه‌برداری از برگ‌های بالایی بوته (تیمارشده) در dpi ۱۲ انجام گرفت.

اندازه‌گیری کلروفیل کل

برای اندازه‌گیری کلروفیل در dpi ۱۲ از روش لیشتن تالر و ولبورن (Lichtenthaler & Wellburn, 1983) استفاده شد. طول موج جذبی (A) قرائت، و کلروفیل براساس معادله‌های ۳ زیر محاسبه شد (Lichtenthaler & Wellburn. 1983).

$$\text{Chlorophyll a } (\mu g/ml) = 12.21\,(A_{663}) - 2.81\,(A_{646}) \quad (۳)$$

$$\text{Chlorophyll b } (\mu g/ml) = 20.13\,(A_{646}) - 5.03\,(A_{663})$$

از گیاهان گوجه‌فرنگی آلوده به *A. solani* (تیمار نشده با عصاره آویشن) و گیاهان سالم به‌ترتیب به‌عنوان کنترل منفی و مثبت استفاده شد.

سنجش آنزیم پراکسیداز (POD)

سنجش آنزیم پراکسیداز در dpi ۱۲ با روش همدا و کلاین (Hemeda & Kelin, 1990) صورت گرفت، تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر در مدت ۶۰ ثانیه با فواصل زمانی در سه قرائت ثبت‌شده و در نهایت، فعالیت آنزیم پراکسیداز برحسب میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه‌شده در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه ارائه شد (Abdelgawad *et al*., 2015).

$$\text{Activity } (u / ml) = \Delta A\ 290x\ 0/5 \times Vt \times df / \varepsilon l \times t \times Vs \quad (۴)$$

که در آن، ضریب مولکولی اجزاء واکنش Vt= ۰/۵ حجم مخلوط واکنش، Df: فاکتور رقیق‌کننده (آب مقطر استریل)، Vs: حجم عصاره آنزیمی، ε: ضریب خاموشی ($۸\ mM^{-1}cm^{-1}$) و l: طول مسیر عبور نور از مخلوط واکنش است.

بررسی فعالیت آنزیم کاتالاز (کاتالاز)

در این پژوهش، اثر تیمار عصاره آویشن در سه غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار روی آنزیم‌های کاتالاز (کاتالاز) در بوته‌های گوجه‌فرنگی آلوده به *A. solani*، ۱۲ روز بعد از مایه‌زنی عصاره آویشن براساس روش چنس و ملی (Chance & Maehly, 1955) مورد-ارزیابی قرار گرفت. میزان فعالیت کاتالاز با استفاده از معادله ۵ محاسبه شد:

$$\text{فعالیت کاتالاز} = (\Delta A\ 470\ nm \times 1000 \times 2)/X \quad (۵)$$

که در آن، ΔA 470 nm: تغییرات میزان جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر و X: ضریب خاموشی (Extinction coefficient) می‌باشد که برابر ۲۶/۶ است.

آنالیز آماری

آزمایش‌ها برای هر نمونه در سه تکرار مستقل انجام شده و داده‌های حاصل از تحقیق با استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS ver. 25 تجزیه و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال یک و پنج درصد بررسی شد.

نتایج

شناسایی ریخت‌شناختی قارچ *A. solani*

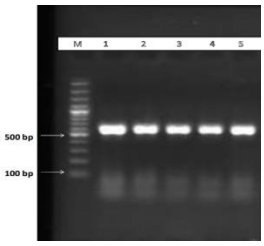
در جدایه‌های جمع‌آوری‌شده، فرم‌های رشد جدایه‌های جمع‌آوری شده از لحاظ اسپوردهی متعدد و انبوه و رشد میسلیومی بسیار زیاد و پرگنه‌های خاکستری تا زیتونی با رشد سریع حاصل شد. سطح پرگنه، کرکی و پرزدار به نظر می‌رسید. مشاهدات میکروسکوپی نشان داد که هیفها قهوه‌ای و دیواره‌دار بوده که کنیدیوفورها را تشکیل می‌دهند و کنیدیوفورها هم دیواره‌دار هستند. کنیدی‌ها بزرگ، کشیده، به‌صورت منفرد، نوک آن‌ها چماغی بوده و طول کنیدی‌ها بین ۲۵ تا ۶۰ میکرومتر و عرض آن‌ها سه تا شش میلی‌متر است (Kumar *et al*., 2008). (شکل-۱).

شکل ۱- کلنی ماکروسکوپی *Alternaria solani* در محیط کشت PDA و تصویر ریخت‌شناسی کنیدی‌های قارچ بیمارگر

Figure 1- *Alternaria solani* colony on PDA and conidia morphology.

الکتروفورز محصولات پی.سی.آر جدایه‌های *آلترناریا سولانی*

با استفاده از آغازگرهای مذکور قطعاتی به‌طول ۵۷۰ جفت‌باز که مختص گونه‌های *A.solani* است، در ۵ جدایه مورد آزمایش در واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز تکثیر شدند (شکل-۲).

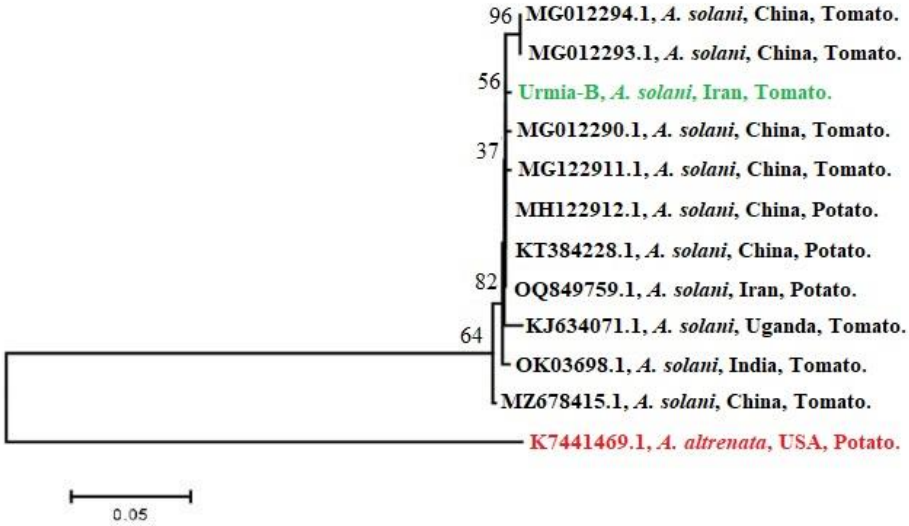


شکل ۲- نتیجه واکنش پی.سی.آر جدایه‌های قارچ *Alternaria solani* با آغازگرهای عمومی (ITS1, ITS4): مارکر ۱۰۰ bp

Figure 2- PCR products of *Alternaria solani* isolates using general primers ITS1/ITS4 (100 bp marker).

نتایج حاصل از تعیین توالی نواحی ITS۱ و ITS۴ گونه‌های *آلترناریا* و آنالیز تبارزایی جدایه UrmiaB

در این مرحله، نتایج حاصل از توالی‌یابی به‌فرم FASTA ذخیره شدند و جدایه‌های منتخب ایرانی با توالی‌های مشابه موجود در پایگاه اطلاعات ژنومی با استفاده از نرم‌افزار Blastn مقایسه و بررسی شدند. درخت تبارنما برای جدایه UrmiaB (دارای بیشترین شدت بیماری بین جدایه‌ها) با استفاده از نرم‌افزار MEGA 0.8 با بوت استرپ ۵۰۰ براساس توالی ناحیه ITS۱/۴ ترسیم شد (شکل ۳). براساس درخت تبارنمای حاصل، جدایه UrmiaB در کنار جدایه‌های گونه‌های *آلترناریا سولانی* آسیایی (جدایه‌های چینی) قرار گرفتند. یک جدایه از گونه *A. alternata* نیز به‌عنوان out group انتخاب شدند (رنگ آبی) (شکل-۳).



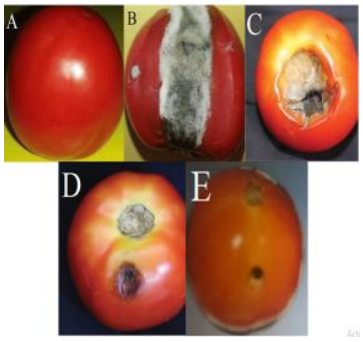
شکل ۳- درخت تبارزایی حاصل از توالی‌یابی قطعات مرتبط با بخشی از ناحیه ITS قارچ و مقایسه با جدایه‌های موجود در بانک ژن وترسیم درخت تبارزایی به‌روش Maximum likelihood با نرم‌افزار MEGA0.8

Figure 3-Phylogenetic tree of fungal ITS region fragments, constructed using the Maximum Likelihood method (MEGA0.8) and compared to gene bank isolates.

جدول ۱- آنالیز تجزیه واریانس میانگین شدت بیماری‌زایی *Alternaria solani* جدایه UrmiaB روی میوه‌ی گوجه‌فرنگی

Table 1- ANOVA of *Alternaria solani*-UrmiaB pathogenicity on tomato fruit

تیمارها	میانگین شدت بیماری (٪)
Control treatment (distilled water + healthy plant)	0
Control treatment (distilled water + healthy plant)	66/96±5.12
50 mM thyme extract and inoculation of 50 CFU/ml *Alternaria solani* isolate UrmiaB	28/32±1.25
100 mM thyme extract and inoculation of 50 CFU/ml *Alternaria solani* isolate UrmiaB	18/21±1.63
150 mM thyme extract and inoculation of 50 CFU/ml *Alternaria solani* isolate UrmiaB	11/32±1.14



شکل ۴- خاصیت بازدارندگی عصاره آویشن بر روی میوه های گوجه فرنگی تلقیح شده با قارچ *A. solani* A:کنترل مثبت (گیاه سالم + آب مقطر)، B: کنترل مثبت (تلقیح‌شده فقط با قارچ *A. solani*)، C: تیمار ۵۰ میلی‌مولار عصاره آویشن + تیمار *A. solani*، D: تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار عصاره آویشن + تیمار *A. solani*، E: تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار عصاره آویشن + تیمار *A. solani* (تمامی تیمار A. solani با غلظت 10^8 اسپور در هر میلی لیتر انجام شده است).

Figure 4- illustrates the inhibitory effect of thyme extract on tomato fruits inoculated with *A. solani*. Treatments: A) Healthy control (distilled water only); B) *A. solani* control (10^8 spores/mL); C) *A. solani* (10^8 spores/mL) + 50 mM thyme extract; D) *A. solani* (10^8 spores/mL) + 100 mM thyme extract; E) *A. solani* (10^8 spores/mL) + 150 mM thyme extract.

آزمون بیماری¬زایی جدایه‌ها

در این آزمایش، جدایه UrmiaB بیشترین اندازه لکه نکروتیک (۳/۰۸ سانتی‌متر) را ایجاد کرده و بنابر میانگین قطر لکه‌های نکروتیک ایجادشده، بیشترین شدت بیماری¬زایی را داشت (جدول ۱). با توجه به اینکه در ابتدای آزمایش‌های انجام‌شده، جدایه‌های موجود فقط شامل پنج جدایه مزرعه‌ای بود، میانگین قطر لکه نکروتیک روی میوه گوجه‌فرنگی (۲/۹سانتی‌متر) بود. جدایه UrmiaB با بیشترین شدت بیماری¬زایی برای انجام آزمایش‌های بعدی انتخاب و استفاده شد (آزمایش با سه تکرار و هر تکرار با سه عدد میوه انجام شد) (جدول-۱، شکل- ۴).

اثر بازدارندگی عصاره آویشن در جلوگیری از رشد میسلیومی قارچ *A. solani* در آزمایشگاه

نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش غلظت عصاره آویشن از ۵۰ به ۱۵۰ میلی‌مولار، درصد بازدارندگی و ضدقارچی این ماده افزایش می‌یابد، براساس نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌داری بین تیمارها با غلظت‌های مختلف مشاهده شد. به‌طوری‌که در غلظت ۵۰ میلی-مولار (T1)، کمترین درصد بازدارندگی (۳۸/۹۵ درصد) و در غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار ((۷۹/۱۶ درصد) T2 و (۸۱/۱۹ درصد) T3) میزان بازدارندگی افزایش یافت. میانگین قطر رشد پرگنه با افزایش غلظت عصاره آویشن کاهش یافته (T1 (۱۳/۹۵ میلی‌متر)، T2 (۹/۵۰ میلی‌متر)، T3 (۷/۸۳ میلی‌متر) و در تیمار شاهد (۳۸/۵۸ میلی‌متر) و درصد بازدارندگی عصاره آویشن افزایش یافت. (داده‌های آزمایش برحسب میانگین سه تکرار می‌باشند. آنالیز تجزیه واریانس در این آزمایش و آزمایش‌های بعدی با احتمال خطای ۰/۰۰۰۱> α و مقایسه میانگین‌ها برمبنای آزمون توکی با احتمال خطای کمتر از پنج درصد محاسبه شد) (جدول ۲، شکل ۵).

بررسی محتوای کلروفیل کل

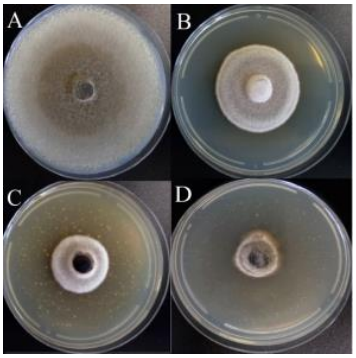
محتوای کلروفیل کل بوته بعد از اعمال تیمار غلظت‌های مختلف آویشن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در ۱۲ dpi در سطح احتمال پنج درصد در گیاهان تیمارشده نسبت به گیاهان کنترل منفی (گیاهان سالم و تلقیح شده با آب مقطر) معنادار بود. بیشترین محتوای کلروفیل کل بوته در گیاهان آلوده‌شده با *A. solani* و تیمارشده با عصاره آویشن مربوط به غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار در روز ۱۲ بعد از اعمال تیمار در سطح احتمال پنج درصد بود. کمترین طول بوته در گیاهان کنترل منفی یا آلوده شده فقط با *A. solani* مشاهده شد (شکل ۶،

جدول ۳).

جدول ۲- درصد بازدارندگی از رشد قارچ بیمارگر، میانگین فراوانی و شدت بیماری ناشی از *Alternaria solani* با کاربرد غلظت‌های مختلف عصاره آویشن

Table 2- Inhibition of fungal growth, disease frequency, and severity after thyme extract treatment.

تیمار (UrmiaB)	میانگین شدت بیماری	میانگین فراوانی بیماری (٪)	درصد بازدارندگی عصاره آویشن روی پرگنه UrmiaB (٪)
Control (distilled water + healthy plant)	0	0^{a}	0^{a}
Negative control (*A. solani*)	16.5±71.96	0^{a}	0^{a}
Treatment with 50 mM thyme extract + inoculation of *A. solani* with a concentration of CFU/ml (T1)	30.32±1.20	25.95^{b}	38.95^{b}
Treatment with 50 mM thyme extract + inoculation of *A. solani* with a concentration of CFU/ml (T1)	24.21±1.61	14.16^{c}	79.16^{c}
Treatment with 50 mM thyme extract + inoculation of *A. solani* with a concentration of CFU/ml (T1)	16.32±1.18	13.19^{cd}	81.19^{cd}



شکل ۵- اثر بازدارندگی غلظت‌های مختلف عصاره آویشن در جلوگیری از رشد میسلیومی قارچ *Alternaria solani* در آزمایشگاه

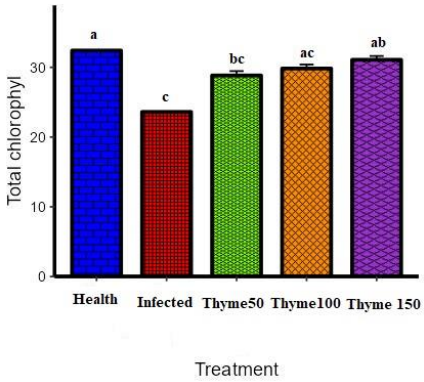
A: *A. solani* + آب مقطر، B: *A. solani* + ۵۰ میلی‌مولار آویشن، C: *A. solani* + ۱۰۰ میلی‌مولار آویشن، D: *A. solani* + ۱۵۰ میلی‌مولار آویشن

Figure 5: Inhibition of Alternaria solani mycelial growth by thyme extract in vitro. Treatments: A, distilled water (control); B, 50 mM thyme; C, 100 mM thyme; D, 150 mM thyme.

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر محتوای کلروفیل کل گیاه گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Table 3- Average effect of thyme extract on total chlorophyll content in *Alternaria solani*-infected tomato plants.

Groups	Variable	N of groups	Kruskal Wallis	df	P
Treatment	Total chlorophyl	5	17.93960	4	0.00127



شکل ٦- نمودار مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر محتوای کلروفیل کل گیاه گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Figure 6- Average effect of thyme extract on chlorophyll content in tomato plants infected with *Alternaria solani*.

بررسی طول بوته

طول بوته بعد از اعمال تیمار غلظت‌های مختلف آویشن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در سطح احتمال پنج درصد در ۱۲ dpi در گیاهان آلوده تیمارشده با عصاره آویشن نسبت به گیاهان کنترل مثبت (گیاهان آلوده به *A. solani*) معنادار بود. بیشترین طول بوته در گیاهان آلوده به قارچ و تیمارشده با عصاره آویشن در غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار در سطح احتمال پنج درصد مشاهده شد که بین این دو تیمار اختلاف معناداری در سطح احتمال پنج درصد وجود نداشت. بیشترین طول بوته در گیاهان سالم و کمترین طول بوته در گیاهان کنترل مثبت یا آلوده شده فقط با *A. solani* مشاهده شد (شکل ۷، جدول ۴).

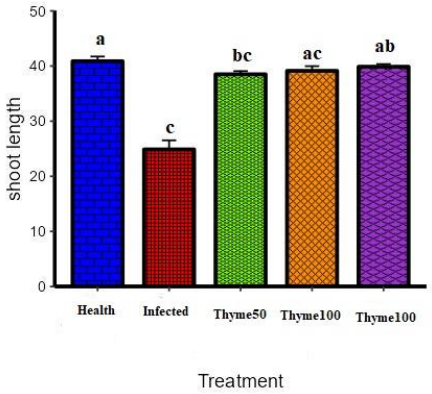
بررسی طول ریشه

اندازه طول ریشه در گیاهان آلوده به قارچ و تیمارشده با غلظت‌های مختلف آویشن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در سطح احتمال پنج درصد نسبت به گیاهان کنترل مثبت (گیاهان آلوده شده فقط با *A. solani*) معنادار بود. درحالی‌که تیمار غلظت‌های مختلف آویشن بین خود تیمارها در گیاهان آلوده به قارچ تفاوت معناداری در سطح احتمال پنج درصد نشان نداد. بیشترین طول ریشه در گیاهان سالم (کنترل منفی) و کمترین طول ریشه در گیاهان کنترل مثبت یا آلوده شده فقط با *A. solani* مشاهده شد (جدول ۵، شکل ۸).

جدول ٤– مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر روی طول بوته گیاه گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Table 4- Average Effect of Thyme Extract on Tomato Plant Length Affected by *Alternaria solani*

Treatment	Variable	Method	Statistic	P.value	Normal?
Health	Shoot length	Shapiro Wilk	0.97137	0.84997	Yes
Infected	Shoot length	Shapiro Wilk	0.97973	0.90041	Yes
Thymus100	Shoot length	Shapiro Wilk	0.97137	0.84997	Yes
Thymus150	Shoot length	Shapiro Wilk	0.86337	0.27245	Yes
Thymus50	Shoot length	Shapiro Wilk	0.72863	0.02386	Yes



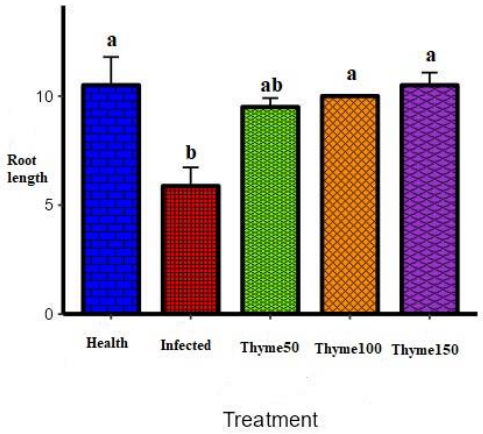
شکل ۷– نمودار مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر طول بوته گیاه گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Figure 7: Average effect of thyme extract on tomato plant length after *Alternaria solani* infection

جدول ٥– مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر طول ریشه گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Table 5- Average Effect of Thyme Extract on Root Length in Tomato Plants Infected with *Alternaria solani*

Treatment	Variable	Method	Statistic	P.value	Normal?
Health	Root length	Shapiro Wilk	0.99291	0.97188	Yes
Infected	Root length	Shapiro Wilk	0.97137	0.84997	Yes
Thymus100	Root length	Shapiro Wilk	0.62978	0.00124	Yes
Thymus150	Root length	Shapiro Wilk	0.72863	0.02386	Yes
Thymus50	Root length	Shapiro Wilk	0.94466	0.68296	Yes



شکل ۸- مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر طول ریشه گیاه گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Figure 8- Average effect of thyme extract on root length in *Alternaria solani*-infected tomato plants.

بررسی وزن تر بوته

اندازه وزن تر بوته بعد از اعمال تیمار غلظت‌های مختلف آویشن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در گیاهان آلوده‌شده با قارچ در سطح احتمال پنج درصد نسبت به گیاهان کنترل مثبت معنادار بود. با افزایش غلظت از ۵۰ به ۱۵۰ میلی‌مولار افزایش معناداری در وزن تر بوته در گیاهان تیمارشده با عصاره آویشن و آلوده به قارچ بین خود تیمارهای آویشن مشاهده نشد. بیشترین وزن تر بوته مربوط به گیاهان کنترل منفی و کمترین وزن تر بوته مربوط به گیاهان کنترل مثبت بود (شکل ۹، جدول ۶).

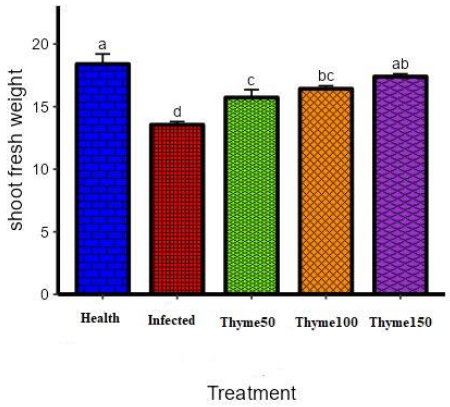
بررسی وزن تر ریشه

وزن تر ریشه بعد از اعمال تیمار غلظت‌های مختلف آویشن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در گیاهان آلوده به قارچ در سطح احتمال پنج درصد نسبت به گیاهان کنترل مثبت (گیاهان آلوده به *A. solani*) معنادار بود. بیشترین وزن تر ریشه در گیاهان آلوده به قارچ و تیمار شده با عصاره آویشن در غلظت۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد که بین این دو تیمار اختلاف معناداری در سطح احتمال پنج درصد وجود نداشت. در کل، بیشترین وزن تر ریشه در گیاهان کنترل منفی و کمترین آن در گیاهان کنترل مثبت مشاهده شد (جدول ۷، شکل ۱۰).

جدول ٦- مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر وزن تر بوته گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Figure 6- Average effect of thyme extract on root length in *Alternaria solani*-infected tomato plants.

Parameter	df	Sum.Sq	Mean.Sq	F.value	P
Treatment	4	54.11500	13.52875	55.98103	0.00000
Residuals	15	3.62500	0.24167		
Total	19	57.74000	13.77042		



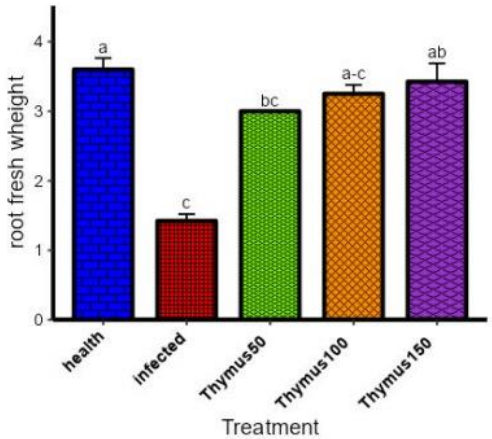
شکل ۹- مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر وزن تر گیاه گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Figure 9- Average effect of thyme extract on fresh weight of tomato plants infected with *Alternaria solani*.

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر وزن تر ریشه گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Table 7- Average Effect of Thyme Extract on Fresh Weight of *A. solani*-Infected Tomato Roots

Treatment	Variable	Method	Statistic	P.value	Normal?
Health	Root fresh wheight	Shapiro Wilk	0.94466	0.68296	Yes
Infected	Root fresh wheight	Shapiro Wilk	0.99179	0.96644	Yes
Thymus100	Root fresh wheight	Shapiro Wilk	0.99291	0.97188	Yes
Thymus150	Root fresh wheight	Shapiro Wilk	0.88691	0.369	Yes
Thymus50	Root fresh wheight	Shapiro Wilk	0.62978	0.00124	Yes



شکل ۱۰- مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر وزن تر ریشه گیاه گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Figure 10- Average effect of thyme extract on fresh root weight of tomato plants infected with *Alternaria solani*.

بررسی وزن خشک بوته

افزایش محتوای وزن خشک بوته بعد از اعمال تیمار غلظت‌های مختلف آویشن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در سطح احتمال پنج درصد در گیاهان تیمارشده با قارچ نسبت کنترل مثبت (گیاهان آلوده به *A. solani*) معنادار بود. بیشترین وزن خشک بوته در گیاهان آلوده به قارچ و تیمارشده با عصاره آویشن در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد. در بین گیاهان شاهد نیز بیشترین وزن خشک بوته در گیاهان کنترل منفی و کمترین وزن خشک بوته در گیاهان کنترل مثبت یا آلوده شده فقط با *A. solani* مشاهده شد (جدول ۸، شکل ۱۱).

بررسی وزن خشک ریشه

افزایش وزن خشک ریشه بعد از اعمال تیمار غلظت‌های مختلف آویشن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در سطح احتمال پنج درصد در گیاهان تیمارشده نسبت به گیاهان شاهد معنادار بود. بیشترین وزن خشک ریشه در گیاهان آلوده به قارچ و تیمارشده با عصاره آویشن در غلظت۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد که بین این دو تیمار اختلاف معناداری در سطح احتمال پنج درصد وجود نداشت. در گیاهان شاهد نیز بیشترین وزن خشک ریشه در گیاهان کنترل منفی و کمترین طول بوته در گیاهان کنترل مثبت یا آلوده شده فقط با *A. solani* مشاهده شد (جدول ۹، شکل ۱۲).

بررسی محتوای آنزیم کاتالاز

بررسی افزایش محتوای آنزیم کاتالاز بعد از اعمال تیمار غلظت‌های مختلف آویشن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در سطح احتمال پنج درصد در گیاهان آلوده‌شده با قارچ در ۱۲ dpi نسبت به گیاهان کنترل مثبت بود. بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز بوته در گیاهان آلوده به قارچ و تیمارشده با عصاره آویشن در غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار در سطح احتمال پنج درصد مشاهده شد که بین این دو تیمار اختلاف معناداری در سطح احتمال پنج درصد وجود نداشت. بیشترین محتوای آنزیم کاتالاز در گیاهان کنترل منفی و کمترین طول بوته در گیاهان کنترل مثبت یا آلوده‌شده فقط با *A. solani* مشاهده شد (جدول ۱۰، شکل ۱۳).

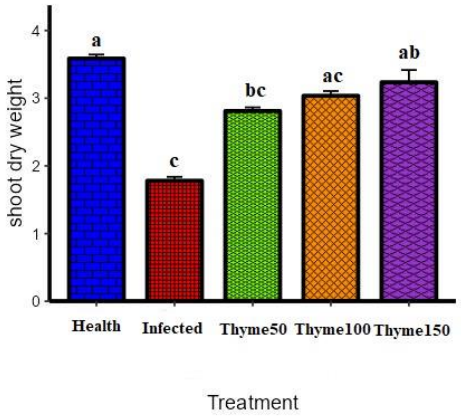
بررسی محتوای فلاونوئیدها

نتایج نشان داد که محتوای فلاونوئیدهای بوته بعد از اعمال تیمار غلظت‌های مختلف آویشن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ در سطح احتمال پنج درصد نسبت به گیاهان کنترل مثبت (گیاهان آلوده به *A. solani*) معنادار بود. بیشترین محتوای فلاونوئیدهای کل در گیاهان آلوده به قارچ و تیمارشده با غلظت‌های مختلف آویشن در غلظت۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد که بین این دو تیمار اختلاف معناداری در سطح احتمال پنج درصد وجود نداشت. بیشترین تولید فلاونوئید بوته در گیاهان کنترل منفی و کمترین محتوای فلاونوئید کل در گیاهان کنترل مثبت مشاهده شد (جدول ۱۱، شکل ۱۴).

جدول ۸- مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر وزن خشک شاخسار گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Table 8- Effect of thyme extract on dry weight of *Alternaria solani* -infected tomato shoots

Treatment	Variable	Method	Statistic	P.value	Normal?
Health	Shoot dry weight	Shapiro Wilk	0.86521	0.27929	Yes
Infected	Shoot dry weight	Shapiro Wilk	0.72863	0.02386	Yes
Thymus100	Shoot dry weight	Shapiro Wilk	0.62978	0.00124	Yes
Thymus150	Shoot dry weight	Shapiro Wilk	0.82229	0.14857	Yes
Thymus50	Shoot dry weight	Shapiro Wilk	0.77291	0.06185	Yes



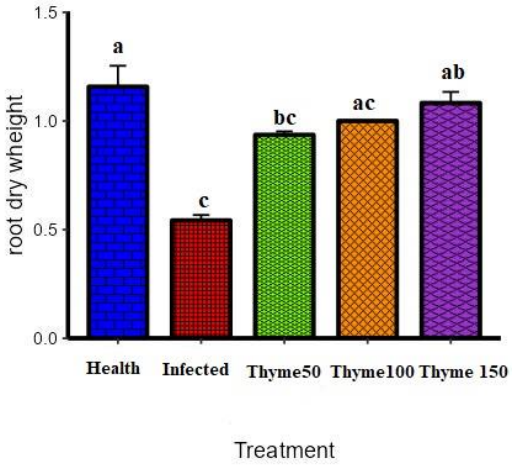
شکل ۱۱- مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر وزن خشک شاخسار گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Figure 11- Average effect of thyme extract on dry weight of tomato shoots infected with *Alternaria solani.*

جدول ۹- مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر وزن خشک ریشه گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Table 9- Effect of thyme extract on dry weight of tomato roots infected with *Alternaria solani*.

Treatment	Variable	Method	Statistic	P.value	Normal?
health	Root dry wheight	Shapiro Wilk	0.78211	0.07381	Yes
infected	Root dry wheight	Shapiro Wilk	0.62978	0.00124	Yes
Thymus100	Root dry wheight	Shapiro Wilk	0.62978	0.00124	Yes
Thymus150	Root dry wheight	Shapiro Wilk	0.89888	0.42554	Yes
Thymus50	Root dry wheight	Shapiro Wilk	0.91068	0.486	Yes



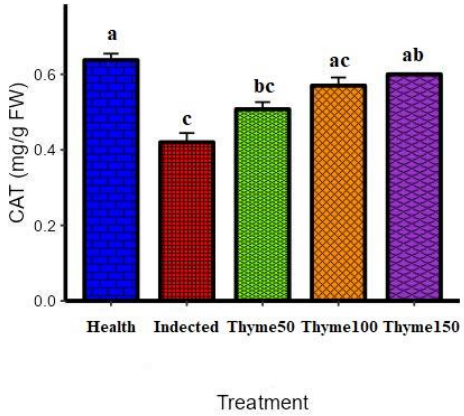
شکل ۱۲- مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر وزن خشک ریشه گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Figure 12- Average Effect of Thyme Extract on Dry Weight of Tomato Roots Infected with *Alternaria solani*

جدول ۱۰– مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر سنتز آنزیم کاتالاز گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Table 10- Effect of Thyme Extract on Catalase Synthesis in *Alternaria solani*-Infected Tomatoes

Treatment	Variable	Method	Statistic	P.value	Normal?
Health	کاتالاز ($mg.g^{-1}$ FW)	Shapiro Wilk	0.97137	0.84997	Yes
Infected	کاتالاز ($mg.g^{-1}$ FW)	Shapiro Wilk	0.86038	0.26157	Yes
Thymus100	کاتالاز ($mg.g^{-1}$ FW)	Shapiro Wilk	0.92708	0.57735	Yes
Thymus150	کاتالاز ($mg.g^{-1}$ FW)	Shapiro Wilk	0.62978	0.00124	Yes
Thymus50	کاتالاز ($mg.g^{-1}$ FW)	Shapiro Wilk	0.79065	0.08649	Yes



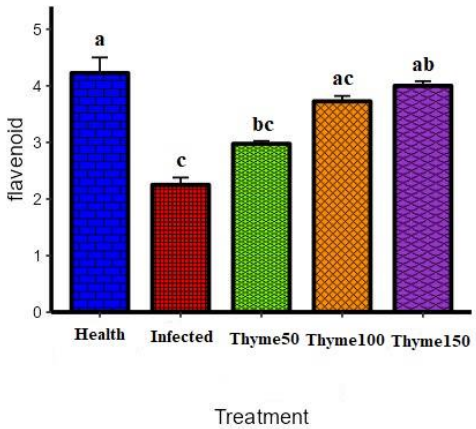
شکل ۱۳– مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر سنتز آنزیم کاتالاز گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Figure 13- Average effect of thyme extract on catalase synthesis in *Alternaria solani*-infected tomatoes.

جدول ۱۱– مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر فلاونوئیدکل گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Table 11- Average Effect of Thyme Extract on Total Flavonoids in *Alternaria solani* -Infected Tomatoes

Treatment	Variable	Method	Statistic	P.value	Normal?
Health	Flavenoid	Shapiro Wilk	0.93927	0.64988	Yes
Infected	Flavenoid	Shapiro Wilk	0.99291	0.97188	Yes
Thymus100	Flavenoid	Shapiro Wilk	0.86337	0.27245	Yes
Thymus150	Flavenoid	Shapiro Wilk	0.94466	0.68296	Yes
Thymus50	Flavenoid	Shapiro Wilk	0.62978	0.00124	NO



شکل ۱٤– مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر فلاونوئیدهای کل گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Figure 14-Average effect of thyme extract on total flavonoid content in *Alternaria solani*-infected tomatoes.

بررسی محتوای فنل بوته‌ها

بررسی محتوای کل فنل بوته‌ها بعد از اعمال تیمار غلظت‌های مختلف آویشن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در سطح احتمال پنج درصد در گیاهان آلوده‌شده به قارچ نسبت به گیاهان کنترل مثبت در سطح احتمال پنج درصد در ۱۲ dpi معنادار نبود. با افزایش غلظت تیمارهای عصاره آویشن، تفاوت معناداری در افزایش سطح فنل در گیاهان تیمارشده با آویشن و آلوده به قارچ در سطح احتمال پنج درصد مشاهده نشد. بیشترین سطح فنل کل بوته در گیاهان کنترل منفی و کمترین طول بوته در گیاهان کنترل مثبت مشاهده شد (جدول ۱۲، شکل ۱۵).

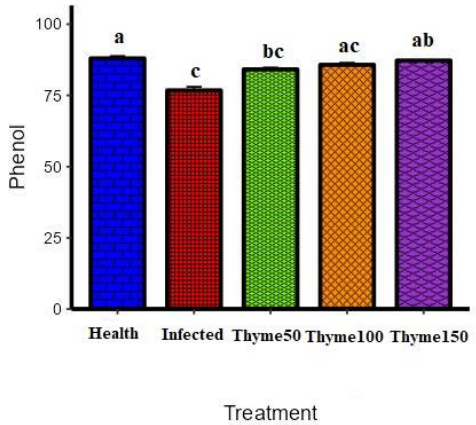
بررسی محتوای پرواکسیداز بوته‌ها

بررسی افزایش محتوای پروکسیداز بوته‌ها بعد از اعمال تیمار غلظت‌های مختلف آویشن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در سطح احتمال پنج درصد در گیاهان آلوده به قارچ و تیمارشده با عصاره آویشن نسبت به گیاهان کنترل مثبت (گیاهان آلوده به *A. solani*) فقط در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار آویشن در ۱۲ dpi معنادار بود. با افزایش غلظت آویشن، تفاوت معناداری در افزایش بیشترین محتوای آنزیم پراکسیداز در گیاهان آلوده در سطح احتمال پنج درصد مشاهده نشد. بیشترین محتوای پراکسیداز بوته در گیاهان کنترل منفی و کمترین آن در گیاهان کنترل مثبت ثبت شد (جدول ۱۳، شکل ۱۶).

جدول ۱۲– مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر سنتز فنل کل گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Table 12- Effect of Thyme Extract on Total Phenol Synthesis in *Alternaria solani*-Infected Tomatoes

Treatment	Variable	Method	Statistic	P.value	Normal?
Health	Phenol	Shapiro Wilk	0.88609	0.3653	Yes
Infected	Phenol	Shapiro Wilk	0.89495	0.40639	Yes
Thymus100	Phenol	Shapiro Wilk	0.7622	0.04991	NO
Thymus150	Phenol	Shapiro Wilk	0.8494	0.22423	Yes
Thymus50	Phenol	Shapiro Wilk	0.89345	0.39925	Yes



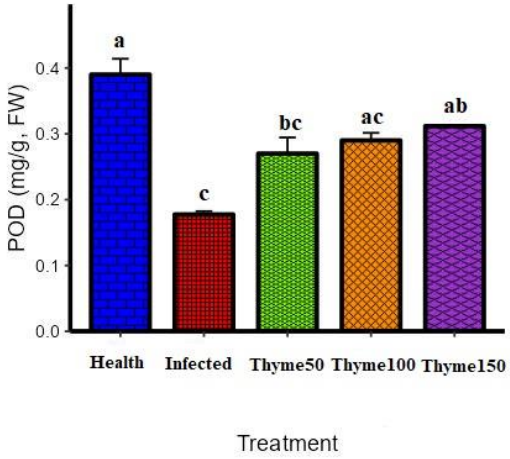
شکل ۱۵– مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر فنل کل گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Figure 15- Effect of thyme extract on total phenolics in *Alternaria solani* -infected tomatoes.

جدول ۱۳– مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر محتوای آنزیم پرواکسیداز گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Table 13- Average Effect of Thyme Extract on Peroxidase in *Alternaria solani* -Infected Tomatoes

Treatment	Variable	Method	Statistic	P.value	Normal?
Health	POD (mg.g^{-1}, FW)	Shapiro Wilk	0.8211	0.14575	Yes
Infected	POD (mg.g^{-1}, FW)	Shapiro Wilk	0.62978	0.00124	NO
Thymus100	POD (mg.g^{-1}, FW)	Shapiro Wilk	0.72863	0.02386	NO
Thymus150	POD (mg.g^{-1}, FW)	Shapiro Wilk	0.97137	0.84997	Yes
Thymus50	POD (mg.g^{-1}, FW)	Shapiro Wilk	0.86038	0.26157	Yes



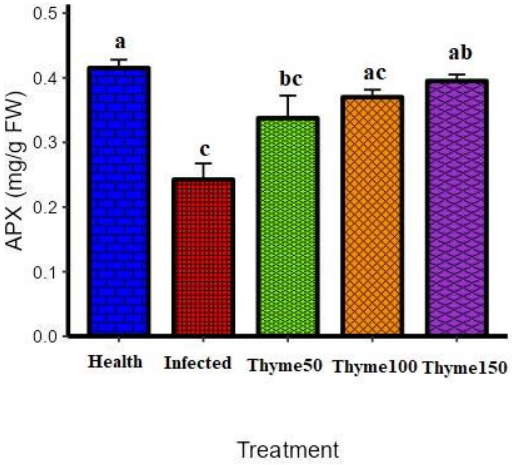
شکل ۱۶- مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر محتوای پراکسیداز گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Figure 16- Average effect of thyme extract on peroxidase content in *Alternaria solani*-infected tomatoes.

جدول ۱۴- مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر سنتز آنزیم آسکوربات پراکسیداز گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Table 14- Comparison of the average effect of thyme extract treatment on the synthesis of ascorbate peroxidase enzyme in tomatoes infected with *Alternaria solani*

Treatment	Variable	Method	Statistic	P.value	Normal?
Health	APX (mg/g FW)	Shapiro Wilk	0.99291	0.97188	Yes
Infected	APX (mg/g FW)	Shapiro Wilk	0.62978	0.00124	Yes
Thymus100	APX (mg/g FW)	Shapiro Wilk	0.72863	0.02386	Yes
Thymus150	APX (mg/g FW)	Shapiro Wilk	0.62978	0.00124	Yes
Thymus50	APX (mg/g FW)	Shapiro Wilk	0.97865	0.89407	Yes



شکل ۱۷- مقایسه میانگین تأثیر تیمار عصاره آویشن بر آسکوربات پراکسیداز کل گوجه‌فرنگی آلوده به *Alternaria solani*

Figure 17- Average effect of thyme extract on Ascorbate peroxidase content in *Alternaria solani*-infected tomatoes.

بررسی محتوای آسکوربات پرواکسیداز (APX) بوته‌ها

افزایش محتوای آنزیم آسکوربات پرواکسیداز بوته‌ها بعد از اعمال تیمار غلظت‌های مختلف آویشن (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در سطح احتمال پنج درصد در گیاهان آلوده به قارچ و تیمارشده با عصاره آویشن نسبت به گیاهان کنترل مثبت فقط در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار آویشن در سطح احتمال پنج درصد در dpi ۱۲معنادار بود. بیشترین تولید آسکوربات پرواکسیداز در بین بوته‌های مربوط به گیاهان کنترل منفی و کمترین طول بوته در گیاهان کنترل مثبت یا آلوده‌شده فقط با *A. solani* مشاهده شد (جدول ۱۴، شکل ۱۷).

بحث

یکی از راهبردهای مدیریت پایدار در مهار بیماری‌های گیاهی،

شناخت، به‌کارگیری و توسعه ترکیبات زیستی سازگار با محیط زیست و ترکیبات مختل‌کننده در برهم‌کنش سازگار بین بیمارگر و گیاه است (Ribera & Zuñiga, 2012). بیمارگر *A. solani* یکی از مخرب ترین عوامل خسارت‌زا روی گوجه‌فرنگی می‌باشد (Meena *et al.*, 2021). مطالعات زیادی نشان داده است که یکی از منابع مقرون به‌صرفه، ایمن و پایدار در برابر بیمارگرهای قارچی در گیاهان استفاده از عصاره‌های گیاهی می‌باشد (Sánchez-Gómez *et al.*, 2024; Ashrafi *et al.*, 2020). پادزیست‌های گیاهی علاوه‌بر خواص ضدقارچی، فاقد اثرات زیان‌بار انسانی و زیست‌محیطی می‌باشند. مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از روش‌های انفرادی در مهار بیمارگرها منجر به ایجاد مقاومت شده و استفاده از روش‌های ترکیبی و تلفیقی با تأکید بر پیشگیری از ورود بیماری به مزارع غیرآلوده ضروری است (Younesi *et al.*, 2023Meena *et al.*, 2021;). در این تحقیق، ابتدا اقدام به شناسایی ریخت‌شناختی و مولکولی *A. solani* مطابق با منابع معتبر علمی موجود و آغازگرهای اختصاصی شد (Kumar *et al.*, 2008).

نتایج حاصل از تأثیر عصاره‌های گیاهی آویشن در سه غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر بر رشد نخینه قارچ بیمارگر در محیط کشت نشان داد که عصاره مورد استفاده در این تحقیق از رشد *A. solani* در شرایط آزمایشگاهی به‌ویژه در غلظت‌های بالا جلوگیری به عمل آوردند (۸۰ درصد و ۸۲ درصد بازدارندگی از رشد میسیلیوم در غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار). نتایج این مطالعات نشان داد که بازدارندگی و کاهش شدت بیماری عصاره آویشن وابسته به غلظت می‌باشد (جدول ۱ و ۲، شکل ۵).

کارواکرول یکی از ترکیباتی است که به‌وفور در عصاره گیاهان آویشن وجود دارد. به نظر می‌رسد که کارواکرول از طریق افزایش pH واکوئل و خروج پروتون‌ها از لومن واکوئل منجر به اسیدی شدن سیتوزول شده و توازن یون کلسیم را مختل می‌کند و نوسان سریع و شدید کلسیم سیتوزولی فرآیندی است که توسط دو ایزومر فنولی کارواکرول و تیمول منجر به مرگ سلول‌های قارچی می‌گردد. بررسی‌های بیوشیمیایی روی آویشن نشان داده است که ترکیبات فلاونوئیدی موجود در این گیاه از جمله کورستین، لوتئولین، مشتقات فنولی مانند مشتقات بنزوئیک اسید، مشتقات رزمارینیک اسید و توکوفرول، ترپنوئیدهای مهم مانند پاراسایمون و در نهایت، روغن‌های فرار آویشن شامل تیمول، کارکرول، پاراسایمن و بتاکاریوفیلن شناسایی شده است که بیشتر این ترکیبات دارای خاصیت ضدقارچی هستند (Campolo *et al.*, 2018).

نتایج تحقیقات متعددی نشان داد که عصاره آویشن منجر به بازداری از رشد قارچ در محیط کشت می‌گردد. نتایج حاصل از این آزمایش با بررسی‌های تأثیر عصاره آویشن بر قارچ‌های *Pythium aphanidermatum*، *Rhizoctonia solani* (AG4)، *Fusarium graminearum* و *Sclerotinia sclerotiorum* نشان داد که بیشترین درصد بازدارندگی روی قارچ‌های مذکور در غلظت‌های بالا صورت می‌گیرد که با نتایج حاصل از این پژوهش هم‌پوشانی نشان می‌دهد (Amini *et al.*, 2012).

کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2020) اثر عصاره رازیانه، میخک، آویشن و مریم‌گلی را روی رشد قارچ بیمارگر *A. flavus* بررسی کردند و نشان دادند که آویشن و میخک در غلظت ۶۰۰ پی‌پی‌ام به‌طور کامل رشد قارچ را مهار می‌کنند. نتایج تحقیقات لطفی و همکاران (Lotfi *et al.*, 2010) نشان داد که استفاده از عصاره گیاهان آویشن، زنیان و پونه اثرات بازدارندگی بالایی بر رشد ریسه‌های قارچ *F. oxysporum* دارند، به‌طوری‌که در غلظت ۴۰۰ و ۳۰۰ پی‌پی‌ام از عصاره گیاه آویشن، رشد نخینه قارچ *F. oxysporum* به‌طور کامل مهار شد و در هر سه نمونه عصاره با افزایش غلظت عصاره رشد قارچ کاهش یافت. نتایج تحقیقات افشاری و همکاران (Afshari *et al.*, 2020) در راستای بررسی اثرات عصاره رازیانه و آویشن بر رشد قارچ *Aspergillus flavus* نشان داد که این عصاره‌ها در غلظت ۶۰۰ پی‌پی‌ام دارای بیشترین قدرت بازدارندگی رشد قارچ هستند. گزارش‌های متعددی وجود دارد که نشان‌دهنده خواص ضدمیکروبی و ضدقارچی عصاره و عصاره آویشن است. ترکیباتی مانند بتا پینن، آلفا پینن، لینالول و کامفور از جمله آن‌ها است. از دیگر ترکیباتی که خاصیت ضدقارچی دارند، می‌توان به سینئول، سیمن، کامفن و آلفا ترپ ینئول، کارواکرول، لیمونن، کارون و برنئول اشاره نمود (Soltani & Moghaddam, 2014). تیمول یکی از مهم‌ترین ترکیبات ضدقارچی موجود در عصاره گیاهانی مانند اسطوخودوس، رازیانه و آویشن است (Stepanova *et al.*, 2022). مطالعات دنایی و همکاران (Danaei *et al.*, 2014) نشان داد علاوه‌بر اینکه رشد قارچ بیمارگر *Alternaria alternata* تحت تیمار با عصاره ۵۰۰ پی‌پی‌ام آویشن در محیط کشت مورد مطالعه کاهش یافت، در این مطالعه، کاهش میزان اسپورزایی قارچ و ایجاد اسپورهای تغییرشکل‌یافته نیز در محیط کشت مورد مشاهده قرار گرفت. زمانی‌که تولید زیست‌توده قارچ بیمارگر کاهش می‌یابد، متعاقب آن شدت بیماری‌زایی قارچ نیز کمتر شد. از طرفی، مطالعه عصاره آویشن بر قارچ *A. flavus* نشان داد که عصاره مذکور گیاهی باعث تجزیه مستقیم آفلاتوکسین در محیط کشت می‌شود (Rana *et al.*, 2021).

تحقیقات مختلفی برای شناسایی ترکیبات ضدقارچی جدید سازگار با محیط‌زیست و تجدیدشونده انجام شده است، به‌عنوان مثال، اثر پنج گونه گیاهی شامل *Thymus daenensis*، *Artemisia aucheri*، *Mentha aquatic*، *Myrtus commisia* و *Vitex agnus- castus* بر رشد مسیلیومی قارچ‌های بیمارگر گیاهی شامل *Gaeumannomyces graminis*، *Rhizoctonia solani*،

Pythium ultimum و *F. oxysporum* مورد پژوهش قرار گرفت. نتایج تحقیقات نشان داد که مقاوم‌ترین قارچ در برابر عصاره‌های گیاهی فوق، *R. solani* و حساس‌ترین آن‌ها *P. ultimum* می‌باشند. همچنین از بین عصاره‌های مورد آزمایش عصاره‌های *M. aquatic* و *T. daensis* بیش‌ترین اثر را در مهار رشد پرگنه قارچ‌های مورد مطالعه داشتند و *V. aqnus- castus* کم‌ترین اثر را در مهار رشد پرگنه نشان داد (Sepehrvand *et al.*, 2017). در یک پژوهش دیگر جهت کاهش میزان رشد *A. flavus* از غلظت‌های مختلف عصاره‌های باریچه، آویشن، مورد و میخک استفاده شد و نتایج نشان داد که قدرت بازدارندگی همگی این عصاره‌ها بر کاهش میزان رشد قارچ مورد نظر معنی‌دار هستند (Jia et al., 2022). کارآیی عصاره میخک (*Dianthus caryophyllus*)، گیاه کاسیا (*Cassia floribunda*) و آویشن در کاهش آلودگی‌های بذر ذرت ناشی از قارچ‌های *Chaetomium indicum* و *A. flavus* نشان داده شد (Verma *et al.*, 2021). از گذشته تاکنون عصاره آویشن به‌عنوان یک میکروب‌کش مهم مطرح بوده است و خاصیت ضدمیکروبی آن بیشتر به‌دلیل وجود کارواکرول و تیمول است. جهت مهار رشد پرگنه قارچ *A. alterata* از عصاره گیاه آویشن استفاده شد و نتایج نشان داد که قدرت بازدارندگی رشد این قارچ به‌وسیله عصاره مذکور بسیار مطلوب بوده و نتایج خوبی در غلظت‌های مختلف تیمارشده نشان داد (Mahmudi *et al.*, 2012). در یک بررسی، تأثیر عصاره متانولی آویشن بر قارچ‌های خاکزاد در توتون شامل *R. solani* و *Phytophtora nicotianae* نشان داد که بهترین غلظت برای خاصیت ضدقارچی عصاره در شرایط آزمایشگاهی، غلظت ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام است (Sajjadi & Assemi, 2014).

در مطالعاتی که سپهروند و همکاران (Sepehrvand *et al.*, 2017) روی اثرات بازدارندگی چهار عصاره نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.)، اکالیپتوس (*Eucalyptus camadulensis*)، آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss.) و رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller.) علیه دو عامل بیماری پوسیدگی ریشه و طوقه لوبیا (*Fusarium solani* و *Rhizoctonia solani*) انجام دادند، گزارش کردند که عصاره آویشن شیرازی علیه هر دو بیمارگر بیشترین اثر بازدارندگی (به‌ترتیب ۸۵ و ۸۳ درصد) را نشان داد. عصاره‌های آویشن، رزماری و زیره سیاه در شرایط *In vitro* یا درون شیشه‌ای بر رشد قارچ *پنی‌سیلیوم* و کپک خاکستری مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که عصاره‌های آویشن و زیره می‌توانند از رشد نخینه‌های پنی‌سیلیوم به‌طور کامل ممانعت کنند (Iraji *et al.*, 2020). اثر عصاره‌های آویشن کوهی، آویشن باغی و آویشن شیرازی روی قارچ بیماری‌زای گیاهی *Rhizoctonia solani* نشان داد که در غلظت ۲۰۰ میکرولیتر بر لیتر محیط کشت اثر مهارکنندگی ۱۰۰ درصد بر قارچ‌های مذکور داشت (Amini *et al.*, 2018). در تحقیقات جو و همکاران (Ju *et al.*, 2023)، اثر ضدقارچی عصاره آویشن و رازیانه و نیز تلفیق این دو عصاره در نسبت‌های مختلف روی قارچ *A. alternate* بررسی شد و نتایج نشان داد که در برخی نسبت‌های تلفیقی، اثرات هم‌افزایی دارند. عصاره روغنی چهار گونه دارویی از جمله کاکوتی (یک گیاه نزدیک به گونه آویشن) را بر مهار *آلترناریا* مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که هر چهار عصاره قابلیت کاهش رشد قارچ را دارند و با افزایش غلظت بخار، کارآیی آن نیز افزایش داشت (Hong *et al.*, 2018). احمد و همکاران (Ahmed *et al.*, 2022) عصاره روغنی آویشن را برای مهار کپک خاکستری و پژمردگی فوزاریومی گوجه‌فرنگی بررسی کردند. در این پژوهش عصاره آویشن به‌صورت محلول‌پاشی و به‌صورت کاربرد ریشه‌ای در محیط هیدروپونیک استفاده شد. نتایج نشان داد که عصاره آویشن موجب مهار کپک خاکستری به‌میزان ۶۰ درصد و مهار *فوزاریوم* به‌میزان ۳۰ درصد گردید و کاربرد ریشه‌ای عصاره مؤثرتر از محلول‌پاشی بود. گوپتا و همکاران (Gupta *et al.*, 2023)، فعالیت ضدقارچی غلظت‌های مختلف (۴۰۰ و ۳۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰ پی‌پی‌ام) عصاره چهار گیاه دارویی آویشن شیرازی (*Thymus vulgaris*)، زیره سبز (*Cuminum cyminum*)، سیر (*Allium sativum*) و آلوورا (*Aloe vera*) را مورد پژوهش قرار دادند. نتایج نشان داد که عصاره آویشن با غلظت ۴۰۰ پی‌پی¬ام بیشترین بازدارندگی را بر قارچ *Penicillium digitatum* عامل بیماری کپک سبز در درختان مرکبات دارد. این گیاه به‌دلیل دارا بودن کاروتن‌ها (پیش‌ساز ویتامین A)، انواع ویتامین‌ها مانند ویتامین C و ویتامین‌های گروه B همچنین، املاح مهم معدنی مانند پتاسیم، کلسیم، آهن و فسفر، از مهم‌ترین سبزیجات در رژیم غذایی انسان محسوب می‌شود (Ferrigo *et al.*, 2020). نتایج آزمایشگاهی حاصل از این تحقیق بر روی اثر بازدارندگی عصاره آویشن بر *A. solani* و شدت بیماری‌زایی آن در گوجه‌فرنگی رقم ۴۱۲۹ نیز در این تحقیق نشان داده شد که با نتایج ضدقارچی این عصاره روی سایر بیمارگرهای قارچی هم‌پوشانی دارد.

از طرفی دیگر، در این آزمایش مشخص شد که عصاره آویشن وابسته به غلظت منجر به به بهبود برخی صفات مورفو-فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی شامل طول ریشه و شاخسار، وزن تر و خشک ریشه و شاخسار، افزایش محتوای کلروفیل، افزایش بیان برخی آنزیم‌های دفاعی مانند کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، پروکسیداز، فنل‌ها و فلاونوئیدها تحت شرایط گلخانه‌ای شد. همچنین نتایج این تحقیقات نشان داد که بهبود صفات مورفو-فیزیولوژیکی در غلظت‌های بالای تیمارهای آویشن رخ می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که عصاره آویشن روی قارچ *A. solani* تحت شرایط گلخانه‌ای و آزمایشگاهی به‌خوبی عمل نموده و باعث کاهش رشد قارچ و متعاقب آن کاهش میزان شدت بیماری شده است. برای مهار *A. flavus* تولیدکننده

آفلاتوکسین در پسته از عصاره‌های گیاهانی چون مرزه بختیاری، مرزه خوزستانی، آویشن باغی، مریم‌گلی و ملیس و همچنین عصاره گیاهان مرزه خوزستانی، مریم‌گلی، آویشن باغی و ملیس استفاده شد که از بین این‌ها سه عصاره مرزه بختیاری، مرزه خوزستانی و آویشن باغی در غلظت‌های بالا باعث کاهش وزن خشک پرگنه قارچ شدند (Gandomi *et al*., 2009). مؤثر بودن عصاره آویشن بر کاهش آفلاتوکسین در میوه‌های پسته انباری آلوده نشان می‌دهد که در شرایط انباری این عصاره‌ها علاوه‌بر خاصیت ضدقارچی، سریعاً تجزیه شده و باقی‌مانده سمی کمتری روی محصول دارند (Doehlemann *et al*., 2017) و می‌توان با فرموله کردن این عصاره‌ها با ترکیبات مناسب در آینده آن‌ها در انبارداری گوجه‌فرنگی نیز از آن استفاده نمود. شهریاری و همکاران (Shahriari *et al*., 2017) نشان دادند که عصاره آویشن در ترکیب با عصاره زنیان خاصیت قارچ‌کشی بالایی علیه *R. solani* در سیب‌زمینی دارند. ترکیب این دو عصاره منجر به بهبود شاخص‌های رشدی گیاه مانند وزن تر و خشک بوته، همچنین وزن تر و خشک شاخسار سیب‌زمینی شد.

محتوای آنزیم‌های پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز، کاتالاز، پراکسیداز، فنیل آلانیل آمونیالیاز در گیاهان خیار تیمارشده با عصاره آویشن روند افزایشی نشان داد (Aghazadeh Naeini *et al*., 2022).

تیمار عصاره آویشن بر روی برنج آلوده به *R. solani* منجر به کاهش علائم شیت بلایت شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که عصاره آویشن در القاء آنزیم‌های پراکسیدازی و مسیر ساخت ترکیبات فنیل پروپانوئیدی نقش مهمی دارد (Sareana *et al*., 2006). نتایج مطالعات نشان داد که عصاره‌های متانولی آویشن، در شرایط گلخانه‌ای نیز موجب افزایش وزن تر و خشک ریشه‌ها و ساقه های گندم آلوده به *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* در مقایسه با گیاهان شاهد آلوده شدند (Rehmany *et al*., 2003) که با نتایج حاصل از این تحقیق هم‌پوشانی نشان می‌دهد. کمانگر و همکاران (Kamangar *et al*., 2012) اثر ضدقارچی عصاره آویشن علیه بیمارگرهای *R. solani* و *F. solani* در لوبیا را تحت شرایط گلخانه-ای بررسی کرده و نشان دادند که این عصاره علاوه‌بر خاصیت ضدقارچی منجر به بهبود شاخص‌های رشدی مانند وزن تر، وزن خشک ریشه و شاخسار و افزایش ارتفاع گیاه می‌گردد.

در یک تحقیق، اثر مهارکنندگی عصاره گیاهان آویشن دنایی بر میزان رشد قارچ بیمارگر *R. solani* و تغییرات میزان فعالیت آنزیم های دفاعی پراکسیداز و کاتالاز و همچنین تغییرات میزان بیان ژن این دو آنزیم در شرایط آزمایشگاه و گلخانه در گیاه خیار در برهمکنش با بیماگر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که علاوه‌بر خاصیت ضد قارچی و بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی خیار باعث افزایش محتوای آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، فنل و فلاونوئیدها در خیار آلوده به قارچ مذکور شد (Aghazadeh Naeini *et al*., 2022).

تأثیر خواص ضدقارچی عصاره آویشن بر *R. solani* در سیب زمینی مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که تیمار عصاره آویشن در غلظت‌های بالا موجب بهبود شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی در سیب‌زمینی می‌شود (Aksit *et al*., 2022).

بررسی‌ها نشان داد که عصاره آویشن به‌دلیل داشتن مونوترپین های اکسیژنه (تیمول) و هیدروکربن‌های مونوترپین از رشد قارچ‌های *Drechslera spicifera* و *Macrophomina phaseolina* در محیط کشت جلوگیری کردند (Moghaddam & Mehdizadeh, 2020).

بررسی‌ها نشان داد که عصاره آویشن تأثیر بالایی در ممانعت از جوانه‌زنی، اسپوردهی و رشد *R. solani* در محیط آزمایشگاهی داشته و در گیاه با افزایش محتوای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث بهبود مقاومت گیاه در برابر قارچ عامل بیماری می‌گردد (Nateqi & Mirghazanfari, 2018).

عصاره متانولی آویشن خاصیت ضدقارچی بالایی علیه *Fusarium oxysporum* و *Pythium* aphanidermatum در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای داشته و باعث بهبود شاخص‌های رشدی گوجه‌فرنگی مانند وزن تر و خشک بوته و افزایش محتوای آنتی‌اکسیدانی، آنتوسیانین، کاتالاز، پرواکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در گیاه شد (Al-Rahmah *et al*., 2013).

در یک بررسی دیگر مشاهده شد که عصاره آویشن خاصیت ضدقارچی بالایی بر کپک صورتی گوجه‌فرنگی (*Trichothecium roseum*) در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای دارد. این ترکیب همچنین از جوانه‌زنی و رشد قارچ در محیط کشت تا حد زیادی ممانعت کرده و با القاء تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدان و ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در گوجه‌فرنگی، مقاومت گیاه در برابر این قارچ را افزایش داد (Balkan *et al*., 2017).

در یک بررسی دیگر مشاهده شد که عصاره آویشن علاوه‌بر خاصیت ضدقارچی در برابر *R. solani*، باعث افزایش فنل و فلاونوئید در ریشه گیاهان گوجه‌فرنگی آلوده به قارچ تیمارشده با آویشن شد. علاوه‌بر این، آویشن منجر به بهبود شاخص‌های رشدی در گیاهان گوجه‌فرنگی آلوده به قارچ و تیمارشده با عصاره آویشن شد (Abd-Ellatif *et al*., 2022).

عصاره متانولی آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss.) و سیر (*Allium sativum* L.) از رشد کپک سبز پرتقال با عامل *Penicillium digitatum* Sacc، در شرایط آزمایشگاهی و در انبار روی میوه ممانعت نمودند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که عصاره آویشن و سیر باعث القاء بیان آنزیم‌های پراکسیداز، پلی فنل-اکسیداز و فنیل آلانین آمونیالیاز تا روز ۱۲ ام بعد از تیمار در میوه

پرتقال شدند (Gholamnezhad *et al*., 2019).

علی‌رغم اینکه سازوکار دقیق ضد میکروبی عصاره‌های گیاهی هنوز به‌طور کامل شناخته نشده است، ولی چندین سازوکار ضدقارچی برای آن‌ها پیشنهاد شده است. تجمع عصاره‌ها و اسانس‌های گیاهی در سلول منجر به بیان برخی از ژن‌های دفاعی در گیاه شده، عصاره‌ها روی نفوذپذیری غشاء سلولی قارچ‌ها تأثیر داشته و با ایجاد اختلال در سلولی و تغییر در شکل غشاء و ریخت‌شناسی قارچ‌های بیمارگر گیاهی موجب نشت محتویات درون سلول به بیرون سلول و مرگ آن‌ها می‌شوند فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز، کاتالاز، فنیل آلانیل آمونیالیاز در گیاهان گوجه‌فرنگی آلوده بلایت زودرس و تیمارشده با آویشن در این تحقیق افزایش بیان نشان داد، درحالی‌که در گیاهان کنترل مثبت بیان این ژن‌ها در حضور بیمارگر سرکوب شد. بنابراین بیان ژن‌های دفاعی نیز به‌صورت غیرمستقیم تحمل گیاه در برابر قارچ را بیشتر می‌کنند (Pusztahelyi *et al*., 2007). فعال شدن این ژن‌ها منجر به تغییرات فیزیکی و بیوشیمیایی در سلول‌های گیاهی می‌شود و در نهایت تغییرات فیزیولوژیکی در گیاه، محیط گیاه میزبان را برای استقرار و گسترش قارچ بیمارگر نامطلوب می‌نماید (Pusztahelyi *et al*., 2007). پراکسیدازها همچنین در بیان پروتئین‌های مرتبط با بیماریزایی یا پروتئین‌های گروه PR نقش مهمی دارند. بیان ژن‌های گروه PR در تولید کیتینازها، پلی-ساکاریدهای دیواره سلولی، افزایش ضخامت دیواره سلولی، محدودیت منافذ سلولی و در نهایت القاء واکنش‌های دفاعی سیستمیک یا SAR نقش مهمی دارند (Shalaby & Horwitz, 2015). کیتینازها با تجزیه پلی‌ساکاریدهای دیواره قارچ‌ها تولید فرآورده‌های کیتینی می کنند. فرآورده‌های کیتینی به‌عنوان الیسیتورهای قارچی عمل کرده و منجر به به ایجاد واکنش فوق حساسیت (HR) یا القاء SAR در گیاهان می‌شود (Ferreira *et al*., 2007). پراکسیدازها همچنین با رسوب ترکیبات فنلی در دیواره سلول‌های گیاهی در طول پاسخ‌های دفاعی با القاء تشکیل موانع ساختاری از قبیل افزایش سنتز دیواره سلولی و رسوب ترکیبات مختلف در دیواره سلولی از گسترش قارچ در گیاه ممانعت می‌کنند. ترکیبات فنلی القاءشده نیز منجر به الیگومریزاسیون لیگنین و سوبرین شده و علاوه‌بر این مواد فنولی به‌صورت مستقیم بر روی قارچ‌ها خاصیت ضدمیکروبی نشان می‌دهند (Pusztahelyi *et al*., 2007). افزایش بیان پراکسیدازها، پلی فنل اکسیدازها و آسکوربات پراکسیدازها نشان‌دهنده تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن علیه بیمارگرهای قارچی است که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم روی قارچ‌های بیمارگر تأثیر می‌گذارند (Shalaby & Horwitz, 2015).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج تحقیق حاضر این‌چنین نتیجه‌گیری می‌شود که عصاره آویشن مورد مطالعه در این تحقیق به‌خصوص به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم تأثیر قابل توجهی در مهار و کاهش شدت بیماری ناشی از بلایت زودرس در گوجه‌فرنگی رقم ۴۱۲۹ در غلظت های بالای این عصاره دارد. بنابراین استفاده از عصاره آویشن یکی از راهکارهای کاهش خسارت در مدیریت بلایت زودرس گوجه‌فرنگی در کنترل تلفیقی این بیمارگر می‌تواند مطرح باشد.

منابع

1. Abd-Ellatif, S., Ibrahim, A.A., Safhi, F.A., Abdel Razik, E.S., Kabeil, S.S., Aloufi, S., & Elshafie, H.S. (2022). Green synthesized of *Thymus vulgaris* chitosan nanoparticles induce relative WRKY-genes expression in *Solanum lycopersicum* against *Fusarium solani*, the causal agent of root rot disease. *Plants*, *11*(22), 3129. https://doi.org/10.3390/plants11223129
2. Abu-Bader, S.H. (2021). Using Statistical Methods in Social Science Research: With a complete SPSS Guide. Oxford University Press, USA.
3. Abdelgawad, Z.A., Mohamed, T.R., Afiah, S., & Al-Agwany, H. (2015). Effect of drought and salt stress on growth, osmolytes, protein, and isozymes in *Vicia faba* L. genotypes. *Egyptian Journal of Agronomy*, *37*, 93-119. https://doi.org/10.21608/agro.2015.67
4. Aghazadeh Naeini, S.S., Maleki, M., Gholamnezhad, J., & Shirmardi, M. (2022). Evaluation of the effect of some plant extracts in controlling *Rhizoctonia* rot in the greenhouse cucumber. *BioControl in Plant Protection*, *9*(2), 87-113. HTP//DOI.ORG/10.22092/BCPP.2022.128595.
5. Ahmed, M., Sajid, A. R., Javeed, A., Aslam, M., Ahsan, T., Hussain, D., & Ji, M. (2022). Antioxidant, antifungal, and aphicidal activity of the triterpenoids spinasterol and 22, 23-dihydrospinasterol from leaves of *Citrullus colocynthis* L. *Scientific Reports*, *12*(1), 4910. https://doi.org/10.1038/s41598-022-08999-z .
6. Aksit, H., Bayar, Y., Simsek, S., & Ulutas, Y. (2022). Chemical composition and antifungal activities of the essential oils of thymus species (*Thymus pectinatus*, *Thymus convolutus*, *Thymus vulgaris*) against plant pathogens. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *25*(1), 200-207. https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2043189 .
7. Amini, J., Farhang, V., Javadi, T., & Nazemi, J. (2018). Antifungal effect of plant essential oils on controlling *Phytophthora* species. *The Plant Pathology Journal*, *32*(1), 16. https://doi.org/10.5423/ppj.oa.05.2015.0091

8. Amini, M., Safaie, N., Salmani, M. J., & Shams-Bakhsh, M. (2012). Antifungal activity of three medicinal plant essential oils against some phytopathogenic fungi. *Trakia Journal Sciences*, *10*(1), 1-8.
9. Al-Rahmah, A. N., Mostafa, A. A., Abdel-Megeed, A., Yakout, S. M., & Hussein, S. A. (2013). Fungicidal activities of certain methanolic plant extracts against tomato phytopathogenic fungi. *African Journal of Microbiology Research*, *7*(6), 517-524. https://doi.org/10.5897/AJMR12.1902 .
10. Ashrafi, A., Salehzadeh, M., & Khezrinezhad, N. (2020). Detection and identification of tomato wilt disease in East Azerbaijan province and controlling it using antagonist bacteria. *Genetic Engineering and Biosafety Journal*, *9*(1), 28-39. http://dorl.net/dor/20.1001.1.25885073.1399.9.1.2.5 .
11. Bahraminejad, S., Seifolahpour, B., & Amiri, R. (2016). Antifungal effects of some medicinal and aromatic plant essential oils against *Alternaria solani*. *Journal of Crop Protection*, *5*(4), 603-616. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22519041.2016.5.4.14.9.
12. Balkan, B., Balkan, S., Aydoğdu, H., Güler, N., Ersoy, H., & Aşkın, B. (2017). Evaluation of antioxidant activities and antifungal activity of different plants species against pink mold rot-causing *Trichothecium roseum*. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *42*(6), 2279-2289. https://doi.org/10.1007/s13369-017-2484-4.
13. Campolo, O., Giunti, G., Russo, A., Palmeri, V., & Zappalà, L. (2018). Essential oils in stored product insect pest control. *Journal of Food Quality*, *2018*, 1-18. https://doi.org/10.1155/2018/6906105.
14. Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methodes in Enzymology*, 2 (1), 764-765. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8.
15. Danaei, M., Baghizadeh, A., Pourseyedi, S., Amini, J., & Yaghoobi, M. M. (2014). Biological control of plant fungal diseases using volatile substances of *Streptomyces griseus*. *Europian Journal of Experimental Biooqyl*, *4*(1), 334-339.
16. Doehlemann, G., Ökmen, B., Zhu, W., & Sharon, A. (2017). Plant pathogenic fungi. *Microbiology Spectrum*, *5*(1), 5-1. https://doi.org/10.1128/microbiolspec.funk-0023-2016
17. Dev, U., Devakumar, C., Mohan, J., & Agarwal, P. C. (2004). Antifungal activity of aroma chemicals against seed-borne fungi. *Journal of essential oil Research*, *16*(5), 496-499. https://doi.org/10.1080/10412905.2004.9698780.
18. Driscoll, W. C. (1996). Robustness of the ANOVA and Tukey-Kramer statistical tests. *Computers and Industrial Engineering*, *31*(1-2), 265-268. https://doi.org/10.1016/0360-8352(96)00127-1
19. Farashah, S. D., & Salehzadeh, M. (2023). Effect of antagonistic bacterial agents isolated from the pistachio orchards on *Aspergilus flavus*. *Journal of Microbial World*, *16*(2), 143-155. https://doi.org/10.30495/jmw.2023.1968442.2038.
20. Fatemi, M., Azadi, H., Rafiaani, P., Taheri, F., Dubois, T., Van Passel, S., & Witlox, F. (2018). Effects of supply chain management on tomato export in Iran: Application of structural equation modeling. *Journal of Food Products Marketing*, *24*(2), 177-195. https://doi.org/10.1080/10454446.2017.1266552
21. Ferreira, R. B., Monteiro, S. A. R. A., Freitas, R., Santos, C. N., Chen, Z., Batista, L. M., Duarte, j., Borges, A., & Teixeira, A. R. (2007). The role of plant defence proteins in fungal pathogenesis. *Molecular Plant Pathology*, *8*(5), 677-700. https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00419.x.
22. Ferrigo, D., Mondin, M., Ladurner, E., Fiorentini, F., Causin, R., & Raiola, A. (2020). Effect of seed biopriming with *Trichoderma harzianum* strain INAT11 on *Fusarium* ear rot and *Gibberella* ear rot diseases. *Biological Control*, *147*, 104286. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104286.
23. Fravel, D. R. (2005). Commercialization and implementation of biocontrol. *Annual Review of Phytopathology Journal*, *43*(1), 337-359. https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.032904.092924.
24. Gandomi, H., Misaghi, A., Basti, A. A., Bokaei, S., Khosravi, A., Abbasifar, A., & Javan, A. J. (2009). Effect of *Zataria multiflora* Boiss. essential oil on growth and aflatoxin formation by *Aspergillus flavus* in culture media and cheese. *Food and chemical toxicology*, *47*(10), 2397-2400. https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.05.024.
25. Gholamnezhad, J., Arsalani, S., & Maleki, M. (2019). The investigation of the effect of garlic and thyme extracts on orange green mold (*Penicillium digitatum*), defense enzymes and genes expression. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *42*(1), 91-118. https://doi.org/10.22055/ppr.2019.14495
26. Gupta, P., Gupta, H., Tripathi, S., & Poluri, K. M. (2023). Biochemical and metabolomic insights into antifungal mechanism of berberine against *Candida glabrata*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *107*(19), 6085-6102. https://doi.org/10.1007/s00253-023-12714-x.
27. Haghpanah, M., Najafi-Zarini, H., & Babaeian-Jelodar, N. (2023). Differential physiological and molecular responses of susceptible and resistant tomato genotypes to *Alternaria solani* infection. *Journal of Crop Protection*, *12*(3), 227-240. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22519041.2023.12.3.1.3.
28. Hemeda, H. M., & Klein, B. P. (1990). Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetable extracts. *Journal of Food Science*, *55*(1), 184-185. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06048.x.
29. He, Y., Yan, H., Hua, W., Huang, Y., & Wang, Z. (2016). Selection and validation of reference genes for quantitative real-time PCR in Gentiana macrophylla. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 945. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00945

30. Hong, J. K., Jo, Y. S., Ryoo, D. H., Jung, J. H., Kwon, H. J., Lee, Y. H., & Park, C. J. (2018). *Alternaria* spots in tomato leaves differently delayed by four plant essential oil vapours. *Research in Plant Disease*, *24*(24), 292-301. https://doi.org/10.5423/RPD.2018.24.4.292
31. Iraji, A., Yazdanpanah, S., Alizadeh, F., Mirzamohammadi, S., Ghasemi, Y., Pakshir, K., & Zomorodian, K. (2020). Screening the antifungal activities of monoterpenes and their isomers against *Candida* species. *Journal of Applied Microbiology*, *129*(6), 1541-1551. https://doi.org/10.1111/jam.14740.
32. ji Cho, H., Hong, S. W., Kim, H. J., & Kwak, Y. S. (2016). Development of a multiplex PCR method to detect fungal pathogens for quarantine on exported cacti. *The Plant Pathology Journal*, *32*(1), 53. https://doi.org/10.5423%2FPPJ.NT.09.2015.0184.
33. Jia, J., Ford, E., Hobbs, S. M., Baird, S. M., & Lu, S. E. (2022). Occidiofungin is the key metabolite for antifungal activity of the endophytic bacterium *Burkholderia* sp. MS455 against *Aspergillus flavus*. *Phytopathology®*, *112*(3), 481-491. https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-21-0225-R
34. Karimi, S., Gholamnezhad, J., & Maleki, M. (2020). Control of *Aspergillus* and related aflatoxin production by using different plant extracts. *BioControl in Plant Protection*, *8*(1), 117-136. https://doi.org/10.22092/bcpp.2020.124008.
35. Kamangar, H., Hemmati, R., Yazdinejad, A., & Movahedi Fazel, M. (2014). Study on antifungal effects of five plant species extract against *Fusarium solani and Rhizoctonia solani* on bean. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, *45*(1), 49-58. https://doi.org/10.22059/ijpps.2014.52246.
36. Kasahara, K., Miyamoto, T., Fujimoto, T., Oguri, H., Tokiwano, T., Oikawa, H., & Fujii, I. (2010). Solanapyrone synthase, a possible Diels–Alderase and iterative type I polyketide synthase encoded in a biosynthetic gene cluster from *Alternaria solani*. *ChemBioChem*, *11*(9), 1245-1252. https://doi.org/10.1002/cbic.201000173.
37. Kumar, V., Haldar, S., Pandey, K. K., Singh, R. P., Singh, A. K., & Singh, P. C. (2008). Cultural, morphological, pathogenic and molecular variability amongst tomato isolates of *Alternaria solani* in India. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *24*, 1003-1009. https://doi.org/10.1007/s11274-007-9568-3.
38. Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biological Society Transaction*, 11 (5), 591-592. https://doi.org/10.1042/bst0110591.
39. Liu, W., Liu, K., Chen, D., Zhang, Z., Li, B., El-Mogy, M. M., & Chen, T. (2022). *Solanum lycopersicum*, a model plant for the studies in developmental biology, stress biology and food science. *Foods*, *11*(16), 2402. https://doi.org/10.3390/foods11162402.
40. Lotfi, A., Kottb, M., Elsayed, A., & Shafik, H. (2021). Antifungal activity of some Mediterranean seaweed against *Macrophomina phaseolina* and *Fusarium oxysporum in vitro*. *Alfarama Journal of Basic and Applied Sciences*, *2*(1), 81-96. https://doi.org/10.21608/ajbas.2020.41969.1031.
41. Mahmoudi, E., Ahmadi, A., & Naderi, D. (2012). Effect of *Zataria multiflora* essential oil on *Alternaria alternata in vitro* and in an assay on tomato fruits. *Journal of Plant Diseases and Protection*, *119*, 53-58. https://doi.org/10.1007/BF03356420.
42. Meena, B. R., Meena, S., Chittora, D., & Sharma, K. (2021). Antifungal efficacy of *Thevetia peruviana* leaf extract against *Alternaria solani* and characterization of novel inhibitory compounds by Gas Chromatography-Mass Spectrometry analysis. *Biochemistry and Biophysics Reports*, *25*, 100914. https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2021.100914.
43. Moghaddam, M., & Mehdizadeh, L. (2020). Chemical composition and antifungal activity of essential oil of *Thymus vulgaris* grown in Iran against some plant pathogenic fungi. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *23*(5), 1072-1083. https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1843547.
44. Nejhad, A. A., Behbahani, B. A., Hojjati, M., Vasiee, A., & Mehrnia, M. A. (2024). Investigation of the inhibitory, fungicidal and interactive effects of the aqueous extract of *Calotropis procera* on *Alternaria alternata*, *Alternaria solani*, *Saccharomyces cerevisiae*, and *Fusarium solani* "*in vitro*". *Journal of Food Science and Technology (2008-8787)*, *20*(143).
45. Narware, J., Singh, S. P., Manzar, N., & Kashyap, A. S. (2023). Biogenic synthesis, characterization, and evaluation of synthesized nanoparticles against the pathogenic fungus *Alternaria solani*. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1159251. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1159251.
46. Nateqi, M., & Mirghazanfari, S. M. (2018). Determination of total phenolic content, antioxidant activity and antifungal effects of *Thymus vulgaris*, *Trachyspermum ammi* and *Trigonella foenum-graecum* extracts on growth of *Fusarium solani*. *Cellular and Molecular Biology*, *64*(14), 39-46. https://doi.org/10.14715/cmb/2018.64.14.7.
47. Pusztahelyi, T., Holb, I. J., & Pócsi, I. (2015). Secondary metabolites in fungus-plant interactions. *Frontiers in plant Science*, *6*, 573. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00573.
48. Rana, K. M., Maowa, J., Alam, A., Dey, S., Hosen, A., Hasan, I., & Kawsar, S. M. (2021). *In silico* DFT study, molecular docking, and ADMET predictions of cytidine analogs with antimicrobial and anticancer properties. *In Silico Pharmacology*, *9*, 1-24. https://doi.org/10.1007/s40203-021-00102-0.
49. Rehmany, A. P., Grenville, L. J., Gunn, N. D., Allen, R. L., Paniwnyk, Z., Byrne, J., & Beynon, J. L. (2003). A

genetic interval and physical contig spanning the *Peronospora parasitica* (At) avirulence gene locus ATR1Nd. *Fungal Genetics and Biology*, *38*(1), 33-42. https://doi.org/10.1016/S1087-1845(02)00515-7.

50. Ribera, A. E., & Zuñiga, G. (2012). Induced plant secondary metabolites for phytopatogenic fungi control: A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *12*(4), 893-911. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000040.
51. Rigotti, S., Viret, O., & Gindrat, D. (2003). Fungi from symptomless strawberry plants in Switzerland. *Phytopathologia Mediterranea*, *42*(1), 85-88.
52. Sajjadi, S. A., & Assemi, H. (2014). Study of antifungal activity of plant extracts of catmint, tobacco and thyme on tobacco pathogens fungal. *Biological Control of Pests and Plant Diseases*, *3*(1), 41-52.
53. Sánchez-Gómez, T., Santamaría, Ó., Martín-García, J., & Poveda, J. (2024). Seed extracts as an effective strategy in the control of plant pathogens: Scalable industry bioactive compounds for sustainable agriculture. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 103332. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103332.
54. Sareena, S., Poovannan, K., Kumar, K. K., Raja, J. A. J., Samiyappan, R., Sudhakar, D., & Balasubramanian, P. (2006). Biochemical responses in transgenic rice plants expressing a defence gene deployed against the sheath blight pathogen, *Rhizoctonia solani*. *Current Science*, *91* (11), 1529-1532.
55. Sepehrvand, A., Ezatpour, B., Tarkhan, F., Bahmani, M., Khonsari, A., & Rafieian-Kopaei, M. (2017). Phytotherapy in fungi and fungal disease: A review of effective medicinal plants on important fungal strains and diseases. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, *8*(11), 4473-4495. https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.8(11).4473-95.
56. Serag, A., Salem, M. A., Gong, S., Wu, J. L., & Farag, M. A. (2023). Decoding metabolic reprogramming in plants under pathogen attacks, a comprehensive review of emerging metabolomics technologies to maximize their applications. *Metabolites*, *13*(3), 424. https://doi.org/10.3390/metabo13030424.
57. Shahriari, D., Alibeyk Tehrani, N., & Maleki, M. (2017). The inhibitory effect of *Thymus vulgaris* and *Carum copticum* essential oil on the growth of *Rhizoctonia solani*, the causal agent of potato stem canker *in vitro* and greenhouse conditions. *Applied Plant Protection*, *6*(2), 97-107.
58. Shalaby, S., & Horwitz, B. A. (2015). Plant phenolic compounds and oxidative stress: Integrated signals in fungal–plant interactions. *Current genetics*, *61*, 347-357. https://doi.org/10.1007/s00294-014-0458-6.
59. Soltani, J., & Moghaddam, M. S. H. (2014). Diverse and bioactive endophytic Aspergilli inhabit *Cupressaceae* plant family. *Archives of Microbiology*, *196*, 635-644. https://doi.org/10.1007/s00203-014-0997-8.
60. Stepanova, M., & Korzhikova-Vlakh, E. (2022). Modification of cellulose micro-and nanomaterials to improve properties of aliphatic polyesters/cellulose composites: A review. *Polymers*, *14*(7), 1477. https://doi.org/10.3390/polym14071477.
61. Sudhakar, N., Nagendra-Prasad, D., Mohan, N., & Murugesan, K. (2007). Induction of systemic resistance in *Lycopersicon esculentum* cv. *PKM1* (tomato) against cucumber mosaic virus by using ozone. *Journal of Virological Methods*, *139*(1), 71-77. https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2006.09.013.
62. Tamura, K., Dudley, J., Nei, M., & Kumar, S. (2007). MEGA4: Molecular evolutionary genetics analysis (MEGA) software version 4.0. *Molecular Biology and Evolution*, *24*(8), 1596-1599. https://doi.org/10.1093/molbev/msm092
63. Verma, P. K., Verma, S., Pandey, N., & Chakrabarty, D. (2021). Antimicrobial products from plant biodiversity. *Bioprospecting of Plant Biodiversity for Industrial Molecules*, *8* (1). 153-173. https://doi.org/10.1002/9781119718017.ch8.
64. Younesi, S., Salehzadeh, M., & Soleymani Pari, M. J. (2023). Control of strawberry gray mold fungus with combined application of different species of *Trichoderma* and salicylic acid. *Journal of Microbial World*, *16*(1), 88-72.

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 1, 2025, p. 85-96

Effect of Salinity and Drought Stress on Germination Characteristics and Seedling Growth of Sophora (*Sophora pachycarpa* Schrenk ex C. A. Mey)

F. Pourhasan[1], M. H. Rashed Mohassel[2], E. Izadi Darbandi[2*]

1 and 2- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding author's Email: e-izadi@um.ac.ir)

Received: 25-12-2022
Revised: 23-04-2024
Accepted: 14-10-2024
Available Online: 29-04-2025

How to cite this article:
Pourhasan, F., Rashed Mohassel, M. H., & Izadi Darbandi, E. (2024). Effect of salinity and drought stress on germination characteristics and seedling growth of sophora (*Sophora pachycarpa* Schrenk ex C. A. Mey). *Iranian Plant Protection Research*, *39*(1), 85-96. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/10.22067/JPP.2024.80242.1120

Introduction

Sophora (*Sophora pachycarpa* Schrenk ex C. A. Mey) is a perennial weed of Fabaceae family which can propagated by seeds and through perennial roots. It is one of the invasive plants that can be seen in the most regions of Iran, especially in the wheat fields, pastures and drylands, of Khorasan. The biology of weeds and its importance in management has received a lot of attention in recent years. In fact, it is necessary to know the biological characteristics and key relationships between weeds and crops to control weeds in an agricultural ecosystem. Also, the role of environmental conditions on weed management is very important. Given this, the present study seeks to investigate the effects of environmental conditions (salinity and drought stress) on germination characteristics of Sophora.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of salinity and drought stress on germination characteristics and seedling growth of Sophora, two separate experiments were conducted in germination stage as a completely randomized design with four replications in the year 2017-2018 in research laboratories at Agricultural College of Ferdowsi University of Mashhad. PEG 6000 was used for drought stress and NaCl, for salinity stress. The treatments included drought and salinity stress levels (0, -0.1, -0.2, -0.4, -0.8, -1, -1.2, -1.4 and -1.5 Mpa). Seeds were disinfected with sodium hypochlorite (1%) solution for 2 minutes, and were then washed with distilled water. The measured traits were germination percentage, germination rate, average germination time, radicle length, plumule length and fresh weight of radicle, plumule and seedling. The statistical analysis of the data was done by SAS 9.1 and Sigma Plot 12.3 software.

Results and Discussion

Analysis of variance results showed that the effect of salinity levels on all traits was very significant ($P \leq 0.01$). Maximum germination was observed in control treatment and at the level of -1.5 Mpa salinity, the

https://doi.org/10.22067/JPP.2024.80242.1120

germination stopped. Also, the effect of drought levels on all traits was very significant ($P \leq 0.01$) and at the level of -1 Mpa drought, the germination stopped. Fitting of the three-parameter sigmoid model provided a successful estimation of the relationship between salt and drought stress levels and germination percentage of Sophora.This model showed that salinity and drought stress at -1.08 and -0.43 Mpa, respectively, caused a 50% reduction in maximum germination percentage of sophora, and it can be concluded that the sensitivity of this weed to drought is more than to salinity, and the existence of salinity and drought stress can decrease growth indices of this weed at germination and seedling stages.

Conclusions

It was concluded that with the increase in both the drought and salinity stress, all the growth characteristics of Sophora significantly decreased and the effect of salinity stress on percentage of germination and germination rate resulted from the toxic effect of ion salts. Whereas, the reduction of seedling growth traits was both the toxic effect of ion salts and osmotic potential. It seems that sufficient information about this weed is vital for the selection of the best control method, could help us to come up with new control approaches for this invasive weed. Considering the increase of salinity and drought in the country's soils due to the decrease of rainfall and climate change, and with the according to Sophora tolerance to salinity and its relative tolerance to drought, there is a possibility of expanding the range of presence of this weed in the conditions of salinity and drought of the soil, but for more accurate evaluation, it is necessary to conduct complementary experiments in the field and in the greenhouse conditions.

Keywords: Germination percentage, Germination rate, Polyethylene glycol, Sodium chloride

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص. ۹۶-۸۵

بررسی تأثیر تنش شوری و خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تلخ بیان (Sophora pachycarpa Schrenk ex C.A.Mey)

فریبا پورحسن[۱]- محمد حسن راشد محصل[۲]- ابراهیم ایزدی دربندی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۳

چکیده

به‌منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف کلرید سدیم و پلی‌اتیلن گلایکول در مراحل جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تلخ بیان (*Sophora pachycarpa Schrenk ex C.A.Mey*) آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف پتانسیل اسمزی و ماتریک ناشی از تنش شوری و خشکی در نه سطح (۰ ، ۰/۱- ، ۰/۲- ، ۰/۴- ، ۰/۸- ، ۱- ، ۱/۲- ، ۱/۴- و ۱/۵- مگاپاسگال) بودند. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری و خشکی به‌صورت معنی‌داری از درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر گیاهچه، ریشه‌چه و ساقه‌چه تلخ بیان کاسته شد ($P\leq0/01$). با افزایش شدت تنش شوری و خشکی از ۰/۱- به ۱/۵- مگاپاسگال، درصد جوانه‌زنی ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت و این کاهش در تنش خشکی به‌طور معنی‌داری در اکثر صفات نسبت به تنش شوری بیشتر بود. کاهش طول ساقه‌چه در هر دو تنش بیشتر از ریشه‌چه بود که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر این صفت می‌باشد. برازش مدل سیگموئیدی سه پارامتری، رابطه بین سطوح مختلف تنش شوری و خشکی را با درصد جوانه‌زنی به‌خوبی توجیه نمود. پارامتر X_{50} مدل نشان داد که تنش شوری و خشکی به‌ترتیب در پتانسیل‌های ۱/۰۸- و ۰/۴۳- مگاپاسگال منجر به کاهش ۵۰ درصدی حداکثر جوانه‌زنی شدند که نشان دهنده تأثیر بیشتر تنش خشکی بر تلخ بیان می‌باشد و وجود تنش‌های شوری و خشکی می‌تواند باعث کاهش شاخص‌های رشدی این علف‌هرز در مراحل جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای شود.

واژه‌های کلیدی: پلی‌اتیلن گلایکول، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، کلرید سدیم

مقدمه

تلخ بیان (*Sophora pachycarpa Schrenk ex C.A.Mey*) گیاهی چند ساله از خانواده بقولات، که هم توسط بذر و هم از طریق ریشه‌های چند ساله تکثیر می‌یابد و به‌عنوان یکی از گیاهان مهاجمی است که در اکثر مناطق ایران نیز مشاهده می‌شود (Rashed Mohassel *et al.*, 2001). در ایران، این گیاه در مزارع گندم و در مراتع و دیم‌زارها دیده می‌شود و در خراسان بزرگ (شمالی، رضوی و جنوبی) پراکنش بیشتری دارد (Mozaffarian, 1994 ; Ghahraman, 2004). محل‌های پراکنش گونه *S. pachycarpa* عبارتند از: بخش مرکزی: اصفهان؛ بخش شرق و جنوب شرقی: بیرجند،کرمان و یزد؛ بخش شمال شرقی: مشهد، سرخس، سبزوار، بین رباط سفید و تربت حیدریه، بین قوچان و باجگیران، گنبد، بجنورد، بسطام، اسفراین، میامی، شاهرود، جنت آباد و چشمه باغستان (Parsa, 1980). مین باشی و همکاران (Min Bashi *et al.*, 2015) علف‌های‌هرز گندم آبی کشور را ۴۰۰ گونه ذکر کرده‌اند که با توجه به استان و شرایط اقلیمی، تراکم و حضور علف‌های‌هرز متفاوت است. گونه‌های پیچک[۲]، خارشتر[۱]، خارلته[۲]، گلرنگ وحشی[۳]، گاوچاق

۱ و ۲- گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: e-izadi@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/JPP.2024.80242.1120

1- *Convolvulus arvensis* L

کن[۴]، تلخ بیان و سلمه تره[۵] از مهم‌ترین رستنی‌های مزاحم برداشت گندم آبی هستند. عوامل مختلفی در تهاجم گونه‌های گیاهی مؤثر هستند و ازآن‌جایی‌که جوانه‌زنی و سبز شدن از اولین مراحل نمو گیاه می‌باشد، لذا شناخت آن‌ها در علف‌های‌هرز در پیش‌بینی دامنه اکولوژیکی و پتانسیل‌گسترش آن‌ها به مناطق جدید و نیز تدوین برنامه‌های‌کنترلی، مفید است (Koyro & Eisa, 2008). تحمل تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی از مهم‌ترین عوامل در استقرار اولیه گیاهان هستند که به‌خصوص در مراحل جوانه‌زنی و سبز شدن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به سازگاری بالای علف‌های‌هرز به شرایط محیطی جدید، احتمال غلبه آن‌ها بر گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی خاک وجود دارد و این مسئله قدرت تهاجم آن‌ها را به دنبال خواهد داشت (Chauhan & Johnson, 2008). شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی کاهنده رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد (Tester & Davenport, 2003; Forieri *et al*., 2016). در شرایط شوری، رشد گیاهان تحت تأثیر تنش اسمزی ناشی از تجمع نمک در محیط اطراف ریشه و سمیت یونی ناشی از تجمع یون‌های سدیم و کلر در برگ‌ها قرار می‌گیرد (Fricke, 2004; Rahnama *et al*., 2010). دان و همکاران (Duan *et al*., 2015) نشان دادند که شوری بالا، رشد ریشه را با کاهش تقسیم و طویل شدن سلول سرکوب می‌نماید و توسعه سلول در طول محور شعاعی در اپیدرم و کورتکس افزایش می‌یابد. اثر منفی تنش شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر علف‌های‌هرز خردل وحشی[۶] (Loti Far *et al*., 2015), خربزه وحشی[۷] (Sohrabi *et al*., 2013) مورد بررسی قرار گرفته و مشاهده شده است که شوری سبب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه علف‌های‌هرز مذکور گردید. طبق پژوهشی روی گیاه گاوزبان اروپایی[۸]، خرفه[۹]، شنبلیله[۱۰] و گل راعی[۱۱] مشاهده شد که افزایش سطوح مختلف شوری به‌وسیله اثرات سمی یون‌ها که بر رشد گیاه می‌گذارند، باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه شد (Dehkordi *et al*., 2015). گیاه با تولید ترکیباتی مانند بتائین[۱۲]، پلی‌ال‌ها[۱۳]، قندها و آمینواسیدهایی مانند پرولین، پتانسیل درون سلولی خود را کاهش می‌دهد (McNeil *et al*., 1999). تنش اسمزی به نوبه خود باعث ایجاد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و در نهایت تنش اکسیداتیو می‌شود (Murshed *et al*., 2014). گونه‌های فعال اکسیژن علاوه بر وظیفه پیام‌رسانی خود در تنش، با بر هم زدن عملکرد غشاء، آنزیم‌ها و دیواره سلولی، آسیب به بافت ریشه و اندام هوایی گیاهان را موجب می‌شوند (Munns & Gilliham, 2015). تنش خشکی جزء مهم‌ترین تنش‌های محیطی است و همراه با سایر تنش‌ها به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم رشدونمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Springer, 2005). پتانسیل کم‌آبی، به‌ویژه در ابتدای فرآیند جوانه‌زنی، باعث اختلال در جذب آب توسط بذر شده و جوانه‌زنی گیاه را به تأخیر می‌اندازد (Ansari *et al*., 2016; Bagheri *et al*., 2011). کاهش ۹۰ درصدی جوانه‌زنی در پتانسیل ماتریک ۱۰- بار و هم‌چنین کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در اثر تنش خشکی در علف‌هرز خردل وحشی نیز گزارش شده است (Lotfi Far *et al*., 2015). با توجه به مطالعات محدود در خصوص تأثیر شوری و خشکی که از شرایط معمول در بسیاری از بوم‌نظام‌های کشاورزی ایران می‌باشند، این پژوهش با هدف بررسی واکنش شاخص‌های جوانه‌زنی علف‌هرز تلخ بیان در سطوح مختلف شوری و خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

بذور رسیده علف‌هرز تلخ بیان در اواسط مهرماه سال ۱۳۹۶ از محوطه پردیس دانشگاه فردوسی مشهد جمع‌آوری و در داخل پاکت‌های کاغذی با ذکر مشخصات محل و تاریخ جمع‌آوری جهت اجرای آزمایش‌های مورد نظر در محیطی خشک و خنک (۱۰-۵ درجه سانتی‌گراد) تا زمان اجرای آزمایش نگه‌داری شدند. جهت رفع پوسته سخت بذرهای مورد آزمایش، با استناد به تحقیق مظهری (Mazhari, 2013) که روی از بین بردن سختی بذر تلخ بیان با استفاده از پیش تیمارهای مختلف انجام شده بود، بهترین تیمار آزمایشی که شامل قرار دادن بذرها به‌مدت ۲۰ دقیقه با استفاده از اسید سولفوریک غلیظ ۹۸ درصد بود، انتخاب گردید. به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری و خشکی روی خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تلخ بیان، دو آزمایش جداگانه در مرحله جوانه‌زنی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه تحقیقات علوم علف‌های هرز دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل سطوح مختلف پتانسیل اسمزی و

2- *Alhagi camelorum* Fisch
3- *Cirsium arvense* L
4- *Carthamus oxycantha* M.B
5- *Lactuca serrila* L
6- *Chenopodium album* L
7- *Sinapis arvensis*
8- *Cucumis melo*
9- *Borago officinalis*
10 – *Portulaca oleracea*
11- *Trigonella foenum- graecium*
12- *Hypericum perforatum*
13- Betaine
14 - Polyols

ماتریک ناشی از غلظت‌های مختلف سدیم کلرید و پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ در نه سطح ۰، ۰/۱-، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۸-، ۱-، ۱/۲-، ۱/۴- و ۱/۵- مگاپاسگال بودند. به‌منظور تهیه پتانسیل‌های مختلف شوری از NaCl (مرک) و از طریق معادله وانت‌هوف معادله ۱ استفاده شد.

$$\Psi S = -miRT \quad (۱)$$

که در آن، ΨS: پتانسیل اسمزی بر حسب مگاپاسگال، m: غلظت نمک براساس مولاریته، i: ضریب یونیزاسیون (۱/۸)، R: ثابت عمومی گازها (۰/۰۰۸۳۱۴) و T: دما بر حسب کلوین می‌باشد. تیمارهای پتانسیل آب با استفاده از محلول پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ که با استفاده از روش (Michel & Kaufmann, 1973; Michel, 1983) معادله ۲ تهیه شدند.

$$\Psi = -(1.18\times10^{-2})\,c - (1.18\times10^{-4})\,c^2 + (2.67\times10^{-4})\,ct + (8.39\times10^{-7})\,c^2 t \quad (۲)$$

که در آن، Ψ: پتانسیل آب محلول پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ بر حسب مگاپاسگال، c: غلظت پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ بر حسب گرم در کیلوگرم (لیتر) آب مقطر و t: دما بر حسب سانتی‌گراد می‌باشد. در این آزمایش، با توجه به پژوهش نیازی (Niazi, 2003) روی بذر تلخ بیان میانگین دمای محیط ۲۵ درجه سانتی‌گراد (دمای بهینه جوانه‌زنی) در نظر گرفته شد. آزمایش در پتری‌دیش‌هایی با قطر دهانه نه سانتی‌متر انجام گرفت که در هر پتری ۲۰ بذر تلخ بیان قرار داده شد و به هر تکرار، پنج میلی‌لیتر محلول سدیم کلرید در آزمایش شوری و پنج میلی‌لیتر محلول پلی‌اتیلن گلایکول در آزمایش خشکی با پتانسیل مربوطه اضافه شد. به‌منظور جلوگیری از تبخیر آب، پتری‌دیش‌ها داخل نایلون قرار داده شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده از ۲۴ ساعت پس از شروع آزمایش به‌صورت روزانه و به‌مدت ۱۰ روز صورت گرفت و پس از اطمینان از عدم جوانه‌زنی، آزمایش پایان‌یافته تلقی شد. شاخص جوانه‌زنی خروج نوک ریشه‌چه از پوسته بذر و قابل رؤیت بودن آن بود (Chauhan & Johnson, 2008) و در انتهای آزمایش درصد، سرعت و متوسط زمان جوانه‌زنی محاسبه شد و نیز طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر گیاهچه، ریشه‌چه و ساقه‌چه اندازه‌گیری شد. پتانسیل آب پایه براساس رگرسیون زمان جوانه‌زنی ۵۰ درصد در برابر پتانسیل آب محاسبه شد. به‌منظور ارزیابی پتانسیل‌های مختلف شوری و خشکی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی تلخ بیان، از برازش به مدل سیگموئیدی سه پارامتری توسط نرم‌افزار Sigma Plot 12.3 استفاده شد (Chauhan *et al.*, 2006; Mojab *et al.*, 2010) معادله مذکور (۳) عبارت است از:

$$y = \frac{a}{1+e^{-\left(\frac{X-X_0}{b}\right)}} \quad (۳)$$

که در آن، y: درصد جوانه‌زنی تلخ بیان در سطوح مختلف شوری و خشکی، a: بیشینه درصد جوانه‌زنی در تیمار مورد نظر، X_0: غلظتی از NaCl و PEG که باعث ۵۰ درصد بازدارندگی حداکثر جوانه‌زنی در تیمار مورد نظر می‌شود و b: شیب منحنی در نقطه X_0 را نشان می‌دهد. به‌منظور مقایسه اثرات ناشی از تنش PEG در برابر NaCl نیز مقایسه گروهی بین تیمارهای فوق انجام شد. قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها وضعیت نرمال بودن تمامی داده‌ها بررسی و در صورت نیاز، تبدیل مناسب (تبدیل جذری) روی آن‌ها اعمال گردید. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9. 1 و Sigma Plot 12. 3 و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌دار[1] (در سطح احتمال پنج درصد) انجام شد و نمودارها در محیط نرم‌افزار Sigma Plot 12. 3 ترسیم شدند.

نتایج و بحث

تنش شوری

مجموع مربعات حاصل از سطوح مختلف شوری در کلیه صفات اندازه‌گیری‌شده از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سطوح مختلف شوری، درصد جوانه‌زنی تا پتانسیل ۰/۴- مگاپاسگال نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت و پتانسیل‌های ۰/۸-، ۱-، ۱/۲-، ۱/۴- و ۱/۵- مگاپاسگال به‌ترتیب باعث کاهش ۲۵/۹، ۳۷/۶، ۷۱/۴، ۹۲/۲ و ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد شدند (جدول ۲). سرعت جوانه‌زنی نیز با منفی‌تر شدن سطوح مختلف شوری به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد و پتانسیل‌های ۰/۱-، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۸-، ۱-، ۱/۲-، ۱/۴- و ۱/۵- مگاپاسگال به‌ترتیب باعث کاهش ۱/۵۱، ۴/۸۲، ۲/۸۹، ۵/۳۱، ۶/۳۹، ۷/۸۴، ۸/۶۶ و ۸/۹۳ بذر در روز نسبت به شاهد گردید (جدول ۲). پورحسن و همکاران (Pourhasan *et al.*, 2019) در تحقیق خود مشاهده کردند که با افزایش تنش شوری و خشکی، صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه چاودار (*Secale cereale*) کاهش یافت و این تأثیر در تنش خشکی در اکثر صفات نسبت به تنش شوری بیشتر بود. طی پژوهشی روی گیاه خارشتر مشاهده شد که با افزایش سطح شوری از ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر و بالاتر، درصد جوانه‌زنی در بذور خارشتر کاهش یافت (Pirasteh-Anosheh, 2020).

1- Least Significant Difference (LSD)

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مختلف جوانه‌زنی تلخ بیان تحت تأثیر سطوح شوری مختلف

Table 1- Analysis of variance of different germination traits of *Sophora pachycarpa* Influence by different levels of salinity

S.O.V	df	Mean of squares							
		Germination percentage	Germination rate	Average germination time	Plumule length	Radicle length	Plumule fresh weight	Radicle fresh weight	Seedling fresh weight
Salinity	8	384.53**	32.99**	11.87**	13.63**	18.08**	10.14**	1.58**	11.66**
Error	27	9.13	0.83	3.87	0.34	0.39	0.43	0.088	0.42

** نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

** indicates a significant effect at the probability level of 1%.

جدول ۲- اثر سطوح مختلف شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای گیاه تلخ بیان

Table 2- The effect of different salinity levels on the characteristics of germination and seedling growth of *Sophora pachycarpa*

Salinity levels (Mpa)	Germination percentage	Germination rate (seed.day^{-1})	Average germination time (day)	Seedling fresh weight (g)	Radicle fresh weight (g)	Plumule fresh weight (g)	Radicle length (cm)	Plumule length (cm)
0.0	96.25^{a*}	8.93^{a}	2.54^{c}	3.54^{a}	0.65^{a}	2.89^{a}	5.00^{a}	3.47^{a}
-0.1	91.25^{a}	7.42^{b}	2.69^{c}	2.66^{b}	0.49^{bc}	2.17^{b}	5.17^{a}	3.15^{a}
-0.2	85.00^{ab}	4.10^{b}	3.00^{bc}	1.60^{c}	0.40^{c}	1.20^{c}	3.97^{b}	3.05^{a}
-0.4	82.50^{ab}	6.04^{b}	3.23^{bc}	1.97^{c}	0.52^{b}	1.45^{c}	3.65^{b}	3.40^{a}
-0.8	71.25^{bc}	3.61^{c}	4.11^{b}	0.67^{d}	0.25^{d}	0.42^{d}	2.40^{c}	1.82^{b}
-1.0	60.00^{c}	2.53^{d}	4.93^{ab}	0.29^{e}	0.13^{e}	0.16^{e}	1.40^{d}	1.32^{c}
-1.2	27.50^{d}	1.08^{e}	5.17^{a}	0.23^{ef}	0.11^{e}	0.12^{e}	1.35^{d}	1.22^{c}
-1.4	7.51^{e}	0.26^{f}	5.20^{a}	0.00^{f}	0.00^{f}	0.00^{e}	0.00^{e}	0.00^{d}
-1.5	0.00^{f}	0.00^{g}	0.00^{d}	0.00^{f}	0.00^{f}	0.00^{e}	0.00^{e}	0.00^{d}

* وجود حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد طبق آزمون LSD است.

* Means followed by similar letters in each column don't show a significant difference based on LSD test at 5% probability.

مطالعات نشان داده است که گیاهان جهت تحمل شرایط تنش ناچار به ساخت مواد آلی مانند پرولین و گلایسین و تجمع املاح معدنی جهت انجام تنظیم اسمزی می‌باشند و با توجه به اینکه ساخت این مواد نیازمند صرف انرژی است، لذا در این شرایط، رشد گیاه با کاهش مواجه می‌شود (Yadegari & Shakerian, 2014; Hadi *et al.*, 2016). اکیو و همکاران (Okcu *et al.*, 2005) با مطالعه روی نخود فرنگی[1] دریافتند که تنش شوری موجب تخریب غشاء سلول گیاهچه، تأخیر در ظهور و اختلال رشد گیاهچه می‌گردد.

بیش‌ترین وزن تر گیاهچه (۳/۵۴ گرم) در شاهد و کم‌ترین وزن تر آن (۰/۲۳ گرم) در تیمار ۱/۲- مگاپاسگال مشاهده شد و با افزایش سطوح شوری به بیش از ۱/۲- مگاپاسگال صفر شد، همچنین وزن تر ریشه‌چه در پتانسیل‌های ۰/۱-، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۸-، ۱- و ۱/۲- مگاپاسگال به‌ترتیب باعث کاهش ۰/۱۶، ۰/۲۵، ۰/۱۳، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۵۴ گرم (۲۴/۶، ۳۸/۴، ۲۰، ۶۱/۵، ۷۹/۲۳ و ۸۳ درصد) و وزن تر ساقه‌چه با ۰/۷۲، ۱/۶۹، ۱/۴۴، ۲/۷۴، ۲/۷۳ و ۲/۷۷ گرم (۲۴/۹، ۵۸/۵، ۴۹/۹، ۸۵/۶، ۹۴/۳ و ۹۵/۷ درصد) نسبت به شاهد کاهش نشان دادند (جدول ۲). تاکنون مطالعات زیادی روی گیاهان مختلف انجام شده و به این نتیجه رسیده اند که با افزایش تنش شوری و خشکی، طول ریشه‌چه بذور به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش می‌یابد (Ahmadvand *et al.*, 2018; Halima *et al.*, 2014). نتایج پژوهش ایزدی و همکاران (Izadi *et al.*, 2014) روی سه گونه کنجد (*Sesamum indicum* L.) نشان داد که تنش‌های شوری و خشکی بر تمامی صفات مورد مطالعه (درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه) اثر معنی‌داری داشتند، به‌طوری‌که در همه ژنوتیپ‌های کنجد با افزایش تنش شوری از ۸- بار و تنش خشکی از ۴- بار از مقدار این صفات به‌طور معنی‌داری کاسته شد. براساس مطالعات انجام شده، کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی بذور (درصد جوانه‌زنی، سرعت

1- *Pisum sativum*

جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ...) تحت تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی را می‌توان به کاهش سرعت و میزان جذب اولیه آب و نیز اثرات منفی پتانسیل‌های اسمزی پایین و سمیت یون‌های کلر و سدیم بر فرآیندهای بیوشیمیایی مراحل کاتابولیک و آنابولیک جوانه‌زنی نسبت داد (Lynch & Lauchli, 1988; Zadeh & Naeni, 2007; Zhang *et al*., 2012; Yadegari,2014).

تنش خشکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای سطوح مختلف پتانسیل آب از نظر آماری اثر بسیار معنی‌داری (P≤0/01) بر درصد، سرعت و متوسط زمان جوانه‌زنی، طول گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن تر گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه تلخ بیان داشتند (جدول ۳). افزایش سطوح مختلف پتانسیل آبی موجب کاهش درصد جوانه‌زنی تلخ بیان شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۹۹/۱۵ درصد) در شاهد (پتانسیل صفر) به‌دست آمد (شکل ۱ و جدول ۴). قادری و همکاران (Ghaderi *et al*., 2011) طی تحقیقی روی گیاه ماشک گل‌خوشه‌ای[1] گزارش کردند که تنش خشکی و شوری موجب کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و طول ریشه‌چه، ضریب آلومتری و بنیه بذر شدند. آل ابراهیم و همکاران (Alebrahim *et al*., 2013) در بررسی تنش شوری و خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر علف‌هرز کهورک[2] بیان کردند که طول ساقه‌چه بذر با افزایش میزان شوری و خشکی به‌طور منظم کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد که با نتیجه مطالعه زال نژاد (Zalnezhad, 2016) روی گیاه گچ دوست[3] مطابقت دارد.

سرعت جوانه‌زنی با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد و پتانسیل‌های ۰/۱-، ۰/۲-، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسگال به‌ترتیب باعث کاهش ۱/۸۳، ۴/۳۶، ۶/۵ و ۸/۶ بذر در روز (۲۰/۵۵، ۴۸/۸۱، ۷۲/۸۶ و ۹۷/۱ درصد) نسبت به شاهد گردید (جدول۴). متوسط زمان جوانه‌زنی تلخ بیان در هنگام مواجهه با سطوح مختلف پتانسیل اسمزی تا تیمار ۰/۸- مگاپاسگال افزایش یافت و سپس روند نزولی داشت و در تیمار ۱- مگاپاسگال و بعد از آن به صفر رسید. با منفی‌تر شدن سطوح مختلف پتانسیل اسمزی وزن تر گیاهچه، ریشه‌چه و ساقه‌چه روند کاهشی یافت، به‌طوری‌که ساقه‌چه در شاهد با بیش‌ترین وزن (۲/۸۹ گرم) تفاوت معنی‌داری با تیمارهای اعمال‌شده پتانسیل اسمزی داشت. همچنین بیش‌ترین طول ساقه‌چه در شاهد با ۳/۴۷ سانتی‌متر مشاهده شد و در پتانسیل‌های ۱-، ۱/۲-، ۱/۴- و ۱/۵- مگاپاسگال ساقه‌چه رشدی نداشت و این صفت با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی، حساسیت بیشتری نسبت به ریشه‌چه نشان داد (جدول۴)، و به‌منظور ارزیابی اثر بازدارندگی تنش شوری و خشکی، یک مقایسه گروهی مستقل بین تنش شوری و خشکی برای صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه انجام شد (جدول ۵) نتایج این مقایسه نشان داد که تنش ناشی از PEG به‌طور معنی‌داری اثر بازدارندگی بیشتری نسبت به تنش ناشی از NaCl در مورد صفات مورد بررسی داشت، به‌طوری‌که طول ساقه‌چه نسبت به طول ریشه‌چه بیشتر تحت تأثیر این تنش قرار گرفت. در این ارتباط نیز نتیجه مشابهی توسط ایزدی و همکاران (Izadi *et al*., 2014) از نظر حساسیت ریشه‌چه و ساقه‌چه کنجد به تنش خشکی و شوری گزارش شد که نشان داد، طول ساقه‌چه نسبت به ریشه‌چه خسارت بیشتری را متحمل شد. توکل افشاری و مجنون حسینی (Tavakkol-Afshari & Majnoun-Hossini, 2002) علت کاهش طول ساقه‌چه کلزا (*Brassica napus*) و گندم (*Triticum aestivum*) در شرایط تنش خشکی را کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از بافت‌های ذخیره‌ای بذر به جنین ذکر کرده‌اند. نتایج پژوهش جمالی و اعتماد (Jamali & Etemad, 2022) روی گیاه ریش پری دو شاخ[4] نشان داد که درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه با افزایش شدت تنش شوری تا ۲۰۰ میلی مولار افزایش و پس از آن کاهش یافت و همچنین در تنش خشکی صفات مورد مطالعه تا ۶- بار افزایش یافته و پس از آن شروع به کاهش کردند. نتایج این آزمایش نشان داد که گیاه ریش پری دو شاخ گیاهی نسبتاً مقاوم به تنش شوری و خشکی می‌باشد. کایا و همکاران (Kaya *et al*., 2006) درصد جوانه‌زنی کمتر ناشی از PEG نسبت به NaCl را بیشتر به تجمع یون‌های خاص مرتبط دانستند.

بررسی خصوصیات جوانه‌زنی تلخ بیان از طریق مطالعات وایازی

با توجه به اهمیت درصد نهایی جوانه‌زنی در مطالعات جوانه‌زنی بذر، تأثیرپذیری این شاخص از طریق مدل لجستیک سه پارامتری مورد بررسی قرار گرفت (Chauhan *et al*., 2006; Elahifard *et al*., 2013).

1- *Vicia villosa*
2- *Prosopis farcta*
3- *Gypsophila pilosa*
4- *Pennisetum divisum*

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مختلف جوانه‌زنی تلخ بیان تحت تأثیر سطوح مختلف خشکی

Table 3- Analysis of variance of different germination traits of *Sophora pachycarpa* influence by different levels of drought

S.O.V	df	Mean of squares							
		Germination percentage	Germination rate	Average germination time	Plumule length	Radicle length	Plumule fresh weight	Radicle fresh weight	Seedling fresh weight
Drought	8	664.05**	42.82**	23.97**	13.28**	19.55**	8.03**	1.40**	9.03**
Error	27	14.99	0.82	3.87	0.12	0.35	0.066	0.031	0.08

** نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

** indicates a significant effect at the probability level of 1%.

جدول ٤- اثر سطوح مختلف خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای گیاه تلخ بیان

Table 4- The effect of different drought levels on the characteristics of germination and seedling growth of *Sophora pachycarpa*

Salinity levels (Mpa)	Germination percentage	Germination rate (seed.day^{-1})	Average germination time (day)	Seedling fresh weight (g)	Radicle fresh weight (g)	Plumule fresh weight (g)	Radicle length (cm)	Plumule length (cm)
0.0	99.15^{a*}	8.93^{a}	2.60^{a}	3.54^{a}	0.65^{a}	2.89^{a}	3.60^{a}	3.47^{a}
-0.1	91.25^{a}	7.09^{b}	3.16^{a}	0.69^{c}	0.20^{c}	0.49^{c}	2.97^{ab}	2.52^{b}
-0.2	88.75^{a}	4.57^{c}	4.26^{a}	1.21^{b}	0.33^{b}	0.86^{b}	3.45^{a}	1.55^{c}
-0.4	53.80^{b}	2.42^{d}	4.83^{a}	0.52^{d}	0.21^{c}	0.30^{d}	2.70^{b}	1.10^{d}
-0.8	6.30^{c}	0.26^{e}	4.90^{b}	0.06^{e}	0.02^{d}	0.04^{e}	0.82^{c}	0.72^{e}
-1.0	0.00^{d}	0.00^{e}	0.00^{b}	0.00^{e}	0.00^{d}	0.00^{e}	0.00^{d}	0.00^{f}
-1.2	0.00^{d}	0.00^{e}	0.00^{b}	0.00^{e}	0.00^{d}	0.00^{e}	0.00^{d}	0.00^{f}
-1.4	0.00^{d}	0.00^{e}	0.00^{b}	0.00^{e}	0.00^{d}	0.00^{e}	0.00^{d}	0.00^{f}
-1.5	0.00^{d}	0.00^{e}	0.00^{b}	0.00^{e}	0.00^{d}	0.00^{e}	0.00^{d}	0.00^{f}

* وجود حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد طبق آزمون LSD است.

* Means followed by similar letters in each column don't show a significant difference based on LSD test at 5% probability.

جدول ۵- مقایسه گروهی بین تنش شوری و خشکی بر کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه تلخ بیان

Table 5- Group comparison between salinity and drought stress on reducing the percentage and rate of germination, the plumule length and radicle *Sophora pachycarpa*

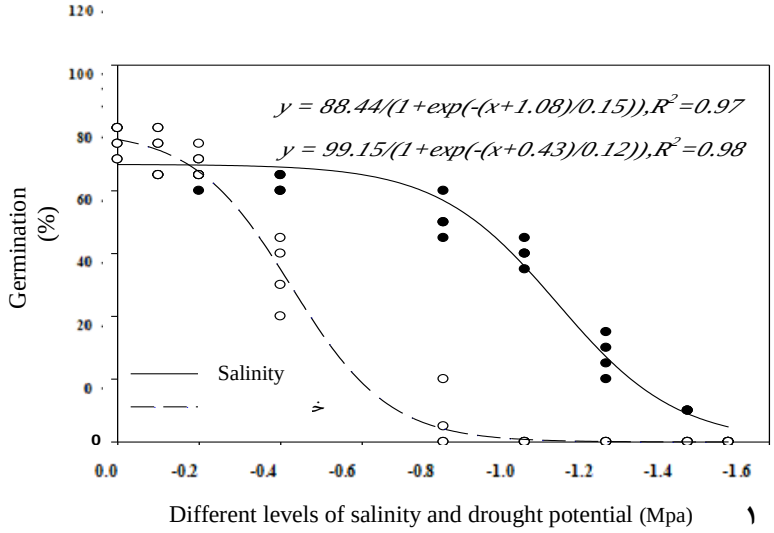
Group comparison	Comparison coefficients	Mean			
		Radicle length (cm)	Plumule length (cm)	Germination rate (seed.day^{-1})	Germination (%)
Salinity	+1	2.36	1.91	57.92	4.12
Drought	-1	37.38	2.60	1.03	1.5
Significant level		0.03	0.05	0.004	0.03

مدل سیگموئیدی سه پارامتره توانست رابطه میان تنش شوری و خشکی تلخ بیان را به‌خوبی توجیه کند، به‌طوری‌که تمامی پارامترها (a, b, X_{50}) و ضریب تبیین (R^2) برای هر دو صفت معنی‌دار ($P\leq0/01$) شد (شکل ۱ و جدول ۱). پارامتر X_{50} مدل نشان داد که تنش شوری و خشکی به‌ترتیب در پتانسیل‌های اسمزی ۱/۰۸- و ۰/۴۳- مگاپاسگال باعث کاهش ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی تلخ بیان شدند که این امر حساسیت بیشتر تلخ بیان را به تنش خشکی نشان می‌دهد. امیری و همکاران (Amiri *et al.*, 2012) حد آستانه تحمل به شوری خارشتر[1] را حدود ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر دانستند. تقوایی و قائدی (Taghvaei & Ghaedi,2014) دریافتند که تنش اسمزی اثرات قابل توجهی روی درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن خشک گیاهچه سیاه تاغ[2] داشت. با توجه به این اطلاعات مشخص می‌شود که تلخ بیان می‌تواند تنش شوری و خشکی را به‌ترتیب تا

1- *Alhaji pseudalhagi*

2- *Haloxylon aphyllum*

۱/۴- و ۰/۸- مگاپاسگال تحمل کند، به‌طوری‌که در پتانسیل ۰/۸- مگاپاسگال، درصد جوانه‌زنی تحت تنش خشکی در مقایسه با شوری ۹۱/۱۵ درصد کاهش داشته است که می‌تواند نشان‌گر مقاومت گیاه در برابر تنش شوری باشد (شکل ۱).



شکل ۱- درصد نهایی جوانه‌زنی تلخ بیان تحت تأثیر سطوح مختلف پتانسیل شوری و خشکی

Figure 1- The final germination percentage of *Sophora pachycarpa* under the influence by different levels of salinity and drought potential

نقاط نمایانگر داده‌های مشاهده‌شده و خطوط، حاصل برازش داده‌ها با معادله لجستیک می‌باشند.

The points representing the observed data and the lines are the result of fitting the data with the logistic equation.

جدول ٦- پارامترها، ضریب تبیین و ریشه مربعات خطای معادله سیگموئیدی سه پارامتره برای تعیین درصد جوانه‌زنی بذور تلخ بیان در سطوح مختلف پتانسیل شوری و خشکی حاصل از کلرید سدیم و پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰

Table 6- Parameters, coefficient of explanation and square root of the error of the three-parameter sigmoid equation to determine the germination percentage of *Sophora pachycarpa* seeds at different levels of salinity and drought potential of NaCl and PEG6000

	X0	*a*	*b*	R^2	RMSE
Salinity	-1.08 (0.02)	88.44 (1.67)	0.15 (0.01)	0.97	6.53
Drought	-0.43 (0.02)	99.15 (3.51)	0.12 (0.02)	0.98	5.53

1

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد می باشد.

The numbers in the parenthesis indicate the standard error

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج بررسی حاضر نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری و خشکی به‌صورت معنی‌داری از درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر گیاهچه، ریشه‌چه و ساقه‌چه تلخ بیان کاسته شد ($P\leq0/01$). پارامتر X_{50} مدل نشان داد که تنش شوری و خشکی به‌ترتیب در پتانسیل‌های ۱/۰۸- و ۰/۴۳- مگاپاسگال منجر به کاهش ۵۰ درصدی حداکثر جوانه‌زنی شدند که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر تنش خشکی بر تلخ بیان می‌باشد، بر این اساس احتمالاً گیاه در زمین‌های شور قدرت رقابت خود را تا حد زیادی حفظ خواهد کرد، امّا در مناطقی با پتانسیل ماتریک بالا با توجه به توان پایین جوانه‌زنی، قدرت رقابت کمتری خواهد داشت و می‌توان از این عامل بوم‌شناختی (تنش خشکی) در مرحله جوانه‌زنی برای مدیریت اکولوژیک این گونه علف‌هرز در جهت تأخیر در زمان جوانه‌زنی و کاهش تراکم آن نسبت به گیاه زراعی با کاشت رقم‌های مقاوم به خشکی بهره جست.

References

1. Ahmadvand, G., Dehghan Banadaki, M., Alimoradi, J., Goudarzi, S., & Ardalani, S. (2018). Reaction of germination and seedling growth of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) to salinity and drought stress. *Iranian Journal of Seed Research*, *4*(2), 23-35. (In Persian with English abstract).

http://doi.org/10.29252/yujs.4.2.23
2. Alebrahim, M.T., Sharifi, K., & Darwishi, M. (2013). Effects of salinity stress on *Prosopis farcta* seed germination. *Iranian Weed Science Conference*. (In Persian with English abstract)
3. Amiri, B., Rasouli, B., Assareh, M.H., Jafari, M., & Jafari, A.A. (2012). Effect of NaCl & Na_2SO_4 on germination and seedling growth of *Salicornia herbacea* & *Alhagi persarum*. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, *19*(2), 233-243. (In Persian with English abstract)
4. Ansari, K., Salehi, A., Dehnavi, M.M., & Heydari, S. (2016). Effect of different seed priming on germination characteristics and some antioxidant enzymes activity of *Echinacea purpurea*. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, *3*(3), 125-135. (in Persian)
5. Bagheri, M., Yeganeh, H., Esfahan, E.Z., & Savadroodbari, M.B. (2011). Effects of water stress on seed germination of *Thymus koteschanus* Boiss. and Hohen and *Thymus daenensis* Celak. *Middle East Journal of Scientific Research*, *8*(4), 726-731.
6. Chauhan, B.S., Gill, G., & Preston, C. (2006). Factors affecting seed germination of annual sowthistle (*Sonchus oleraceus*) in Southern Australia. *Weed Science*, *54*(5), 854-860. https://doi.org/10.1614/WS-06-047R.1
7. Chauhan, B.S., & Johnson, D.E. (2008). Germination ecology of Chinese sprangletop (*Leptochloa chinensis*) in the Philippines. *Weed Science*, *56*(6), 820-825. https://doi.org/10.1614/WS-08-070.1
8. Chauhan, B.S., & Johnson, D.E. (2008). Seed germination and seedling emergence of giant sensitiveplant (*Mimosa invisa*). *Weed Science*, *56*(2), 244-248. https://doi.org/10.1614/WS-07-120.1
9. Dehkordi, R.M., Yadegari, M., & Hamedi, B. (2015). Effect of temperature, drought and salinity stresses on germination of *Portulaca oleracea* L., *Trigonella foenum-graecium* L., *Borago officinalis* L. and *Hypericum perforatum* L. Advances in Environmental Biology, *9*, 148-152.
10. Duan, L., Sebastian, J., & Dinneny, J.R. (2015). Salt-stress regulation of root system growth and architecture in *Arabidopsis* seedlings. *Plant Cell Expansion: Methods and Protocols*, vol. 1242, 105-122.
11. Elahifard, E., Mijani, S., Kheyrandish, S., Kazerooni, E., & Tokasi, S. (2013). Investigation of dormancy and the effect of some environmental factors on germination of Junglerice (*Echinocloa colona* L.) seeds. *Journal of Plant Protection*, *27*(3), 342-350. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.v27i3.26762
12. Forieri, I., Hildebrandt, U., & Rostas, M. (2016). Salinity stress effects on direct and indirect defense metabolites in maize. *Environmental and Experimental Botany*, *122*, 68-77. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.09.007
13. Fricke, W. (2004). Rapid and tissue -specific accumulation of solutes in the growth zone of barley leaves in response to salinity. *Planta*, *219*, 515-525. https://doi.org/10.1007/s00425-004-1263-0
14. Ghaderi, S., Ghorbani, J., Gholami, P., Karimzadeh, A., & Salarian, F. (2011). The effect of drought and salinity stress on the germination indices of (*Vicia villosa* L.). *Journal of Agricultural Ecology*, *3*(1),121-130. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v3i1.9977
15. Ghahraman, A. (2004). *Plant Systematic: Coromophytes of Iran*. Vol. 1. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran. 520 p. (In Persian).
16. Hadi, H., Seyed Sharifi, R., & Namour, A. (2016). *Phytoprotectants and Abiotic Stresses*. Urmia University Publication, Iran. 341 p. (In Persian)
17. Halima, N.B., Ben Saad, R., Ben Slima, A., Khemakhem, B., Fendri, I., & Abdelkafi, S. (2014). Effect of salt stress on stress-associated genes and growth of *Avena sativa* L. *Isesco Journal of Science and Technology*, *10*, 73-80.
18. Izadi, E., Zarghani, H, Mohammadian, M., & Yanegh, A. (2014). Evaluation of germination and seedling growth characteristics of three sesame (*Sesamum indicum*) cultivars in salt and drought stress condition. *Agricultural Applied Research*, *27*(102), 92-100. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/aj.2014.100934
19. Jamali, F., & Etemad, V. (2022). Investigating different levels of salinity and drought stress on the germination and growth of *Pennisetum divisum*. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *11*(3), 89-102. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22092/ijsst.2022.359459.1443
20. Kaya, M.D., Okcu, G., Atak, M., Cikili, Y., & Kolsarici, O. (2006). Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annus* L.). *European Journal of Agronomy*, *24*(4), 291-295. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.08.001
21. Koyro, H.W., & Eisa, S.S. (2008). Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Journal of Plant and Soil*, *302*, 79-90. https://doi.org/10.1007/s11104-007-9457-4
22. Lotfifar, O., Allahdadi, I., Zand, E., Akbari, G.A., & Mottaghi, S. (2015). Effects of salinity and drought stresses due to Nacl and poly ethylene glycol on germination characteristics and seedling growth of wild mustard (*Sinapis arvensis*). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *4*(1), 97-108. (In Persian with English abstract)
23. Lynch, J., & Lauchli, A. (1988). Salinity affects intracellular calcium in corn root protoplasts. *Plant*

Physiology, *87*(2), 351-356. https://doi.org/10.1104/pp.87.2.351
24. Mazhari, M. (2013). Study and failure of weed seeds dormancy in Shahrekord region. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. 120 p. (In Persian).
25. McNeil, S.D., Nuccio, M.L., & Hanson, A.D. (1999). Betaines and related osmoprotectants. Targets for metabolic engineering of stress resistance. *Plant Physiology*, *120*(4), 945-949. https://doi.org/10.1104/pp.120.4.945
26. Michel, B.E., & Kaufmann, M.R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, *51*(5), 914-916. https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914
27. Michel, B.E. (1983). Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. *Plant Physiology*, *72*(1), 66-70. https://doi.org/10.1104/pp.72.1.66
28. Min Bashi Moini, M., Esfandiari, H., Pourazer, R., Baghestani, M.A., Zand, A., Veisey, M., Sabeti, P., Jamali, M.R., Hatami, S., Haghighi, A., McNally, A., Mousavi, K., Nazerkakhki, H., Narimani, V., Noor Alizadeh, M., Valiallh-Pour, R., & Norouzadeh, R. (2015). Evaluation of some problems of weed management in wheat fields in different regions of the country. *Journal of Weed Knowledge*, *11*, 13-26.
29. Mojab, M., Zamani, G.H., Eslami, V., Hossieni, M., & Naseri, A. (2010). Effects of salinity and drought caused by different concentrations of sodium chloride and PEG 6000 on seed germination and seedling growth of this barnyardgrass (*Echinocloa crus-galli* Var: oryzicola). *Journal of Plant Protection*, *24*(1), 108-114. (In Persian with English abstract)
30. Mozaffarian, V. (1994). *Plant classification*. Tehran: Contemporary Culture Publication, Iran. 960 p. (In Persian).
31. Munns, R., & Gilliham, M. (2015). Salinity tolerance of crops–what is the cost?. *New Phytologist*, *208*(3), 668-673. https://doi.org/10.1111/nph.13519
32. Murshed, R., Lopez-Lauri, F., & Sallanon, H. (2014). Effect of salt stress on tomato fruit antioxidant systems depends on fruit development stage. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *20*, 15-29. https://doi.org/10.1007/s12298-013-0209-z
33. Niazi, M. (2003). Study of some methods of breaking dormancy and germination in the seeds of some weeds. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
34. Okcu, G., Kaya, M.D., & Atak., M. (2005). Effect of salt and drought stress on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *29*(4), 237-242.
35. Parsa, A. (1980). *Flora of Iran*. Tehran: Tehran University Press, Iran. 1488 p. (In Persian).
36. Pirasteh-Anosheh, H. (2020). Breaking seed dormancy of camelthorn (*Alhagi maurorum*) using different treatments and salinity tolerance threshold level evaluation at germination stage. *Iranian Journal of Seed Research*, *7*(1), 181-192. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.29252/yujs.7.1.181
37. Pourhasan, F., Rashed Mohassel, M.H., & Izadi Darbandi, E. (2019). Effects of salinity and drought stresses due to Nacl and PEG 6000 on germination characteristics and seedling growth of rye (*Secale cereale* L.). *In the First National Conference of Agricultural and Environmental Sciences of Iran*. (In Persian)
38. Rahnama, A., James, R.A., Poustini, K., & Munns, R. (2010). Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. *Functional Plant Biology*, *37*, 255-263. https://doi.org/10.1071/FP09148
39. Rashed Mohassel, M.H., Najafi H., & Akbarzadeh M.D. (2001). *Weed Biology and Control*. Publications of Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 404 pages.
40. Sohrabi, S., Ghanbari, A., Mohassel, M.H.R., Mahalati, M.N., & Gherekhloo, J. (2013). Effect of desiccation and salinity stress on seed germination and initial plant growth of *Cucumis melo*. *Planta Daninha*, *31*(4), 833-841. https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000400009
41. Springer, T.L. (2005). Germination and early seedling growth of chaffy-seeded grasses at negative water potentials. *Crop Science*, *45*(5), 2075-2080. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0061
42. Taghvaei, M., & Ghaedi, M. (2014). The effect of osmotic conditions on germination of (*Haloxylon aphyllum* L.) seeds and recovery under water stress. *Agricultural Journal*, *9*(3), 167-172.
43. Tavakkol-Afshari, R., & Majnoun-Hossini, N. (2002). Responses of wheat and canola cultivars simulated drought conditions. In *International Conference on Environmentally Sustainable Agriculture for Dry Areas for* (Vol. 3).
44. Tester, M., & Davenport, R. (2003). Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. *Annals of Botany*, *91*(5), 503-527. https://doi.org/10.1093/aob/mcg058
45. Yadegari, M., & Shakerian, A. (2014). Irrigation Periods and Fe, Zn foliar application on agronomic characters of *Borago officinalis*, *Calendula Officinalis*, *Thymus vulgaris* and *Alyssum desertorum*. *Advances in Environmental Biology*, 8(4), 1054-1063.
46. Yadegari, M. (2014). Study of ratio and speed germination of twelve medicinal plants under several treatments of salinity. *Advances in Environmental Biology*, 8(4), 425-431.
47. Zadeh, H.M., & Naeini, M.B. (2007). Effects of salinity stress on the morphology and yield of two cultivars of

canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy*, *6*, 409-414.

48. Zalnezhad, F. (2016). Investigation of ecophysiology of seed germination of (*Gypsophila pilosa*) Hudson. M.Sc. Thesis, Faculty of Agricultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
49. Zhang, Q., Rue, K., & Wang, S. (2012). Salinity effect on seed germination and growth of two warm-season native grass species. *HortScience*, *47*(4), 527-530. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.4.527

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 1, 2025, p. 97-114

Competitive Effects of Wild Mustard (*Sinapis arvensis* L.) on Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Yield and its Components under Water-Deficit Stress Conditions

A. Yavari Ghavitool[1], V. Sarabi[2*], K. Azizpour[3]

1, 2 and 3- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran, respectively.
(*- Corresponding author's Email: Sarabi20@azaruniv.ac.ir)

Received: 14-08-2024
Revised: 12-11-2024
Accepted: 23-11-2024
Available Online: 29-04-2025

How to cite this article:
Yavari Ghavitool, A., Sarabi, V., & Azizpour, K. (2024). Competitive effects of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) on chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield and its components under water-deficit stress conditions. *Iranian Plant Protection Research*, *39*(1), 97-114. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.89385.1202

Introduction

As the third crop among beans in the world and the first crop in West Asia and North Africa, chickpea is an important grain crop. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds are a rich source of protein (15 to 25 percent) and essential amino acids such as lysine that has high nutritional value. Among the important problems of chickpea cultivation, we can mention the water-deficit stress and weeds especially at the high densities. Water deficit-stress has a negative effect on crops during their life cycle and causes losses and decrease in their yield. Weeds are considered as competitors of agricultural plants and cause their yield loss, so if they are not controlled, the yield of crops will decrease between 10 to 100% depending on the competitive ability of the weed species. Therefore, the aim of this study was to investigate the the response of chickpea to these stresses and determine the threshold of economic yield loss caused by them in chickpea.

Materials and Methods

Considering the limitation of water resources and the problems caused by weed competition, the morphological characteristics, yield and its components were investigated in chickpea under condition of water shortage and wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) competition. Experiment was conducted as a split plot based on randomized complete block design with three replications at research farm, Ministry of Agriculture Jihad, Kalibar-Iran in 2021. Factors were irrigation regimes (irrigation at the 55%, 35% and 10% of total available soil water content) as the main plot and wild mustard density (0, 5, 10, and 15 plants m^{-2}) as the subplot. At the end of the growing season, when the chickpea pods fully ripened and turned yellow, the morphological traits, yield and its components were measured in the cultivated chickpea plants. All data were subjected to an analysis of variance using the PROC GLM by slicing interactions in Minitab ver. 17.0 and SAS ver. 9.2.0 statistical softwares. The assumption of the variance analysis was tested by ensuring that the residuals were random, homogeneous, and with a normal distribution about a mean of zero using residual plots and the Anderson-Darling test. The LSD test was used at a probability level of 0.05 to compare main effects or interactions (after

https://doi.org/10.22067/jpp.2024.89385.1202

slicing).

Results and Discussion

The results showed that water-deficit stress reduces the morphological traits, yield and its components of cultivated chickpea due to its effect on various processes including photosynthesis, and high densities of wild mustard due to intense competition with chickpea plants in receiving water and nutrients, and further by shading on chickpea plants. Ineraction effects revealed that the main root length, number of secondary roots, dry weight of roots, height, number of secondary stems, number of pods per plant, number of seeds per plant, 100-seed weight, biological yield, seed yield and harvest index in chickpea are greatly reduced under the severe water-deficit stress condition and high weed densities. Morphological traits in field chickpea were less affected by increasing the wild mustard density under water-deficit stress conditions compared to yield and its components. As mentioned, the yield of cultivated chickpea decreased under water stress conditions and wild mustard competition, especially at high densities. The greatest reduction was observed after depleting 90% of the available water capacity in the soil at the 15 wild mustard plants per m^2 (202 $kg.ha^{-1}$), so that in this treatment seed yield was reduced by 91.39% compared to the control treatment under field capacity condition. The main reason for this can be the reduction of photosynthetic efficiency in the conditions of water-deficit stress and high weed density during the growing season, especially during flowering and seed formation, along with the effective competition of weeds to obtain environmental resources such as light, water, nutrients and even CO_2. These factors have caused a decrease in the 100-seed weight and finally a decrease in the seed yield in cultivated chickpea significantly.

Conclusions

Therefore, it is necessary to prevent the occurrence of severe water-deficit stress conditions in the soil and the presence of wild mustard especially at the high densities in sensitive phenological growth stages in order to prevent a noticeable yield loss. In addition, control approaches should be taken against this weed species from its low densities, which is more important in the water-deficit stress conditions in the soil.

Keywords: Beans, Growth characteristics, Seed yield, Water-deficit stress, Weed density

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص. ۱۱۴-۹۷

اثرات رقابتی خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) بر عملکرد و اجزاء عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت شرایط تنش کم‌آبی

افسانه یاوری قویطول[۱] - وحید سرابی[۲*] - کامبیز عزیزپور[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آبی کشور و مشکلات ناشی از رقابت علف‌های هرز در زراعت نخود (*Cicer arietinum* L.)، خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد نخود در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی شهرستان کلیبر در سال ۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. پژوهش حاضر به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی، تنش کم‌آبی در سه سطح (آبیاری در حد ظرفیت زراعی، آبیاری در زمان ۶۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک و آبیاری در زمان ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک) و عامل فرعی، تراکم‌های خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع) بود. بدین منظور، بذور علف هرز در تراکم بسیار بالا در کرت‌های آزمایشی پخش شده و پس از رسیدن به ارتفاع پنج سانتی‌متری، برای رسیدن به تراکم‌های دلخواه تنک شدند. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی (۶۵ درصد و ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی در خاک) با تأثیر بر فرآیندهای مختلف گیاهی و تراکم‌های بالای علف هرز خردل وحشی (۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع) به‌واسطه رقابت شدید با نخود برای دریافت آب و عناصر غذایی و در ادامه با سایه‌اندازی بر بوته‌های نخود موجب کاهش صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزاء آن در نخود شدند. اثر متقابل تراکم علف هرز خردل وحشی در هر یک از تیمارهای تنش کم‌آبی نشان داد که صفات مورفولوژیک، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت تحت تأثیر تنش شدید کم‌آبی و تراکم‌های بالای علف هرزی، کاهش شدیدی یافتند. کمترین عملکرد دانه نخود (۲۰۲ کیلوگرم در هکتار) پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی در خاک و با حضور ۱۵ بوته خردل وحشی در هر مترمربع به‌دست آمد، به‌طوری‌که در این تیمار عملکرد دانه نسبت به شاهد تحت شرایط ظرفیت زراعی ۹۱/۳۹ درصد کاهش یافت. ازاین‌رو، باید از بروز تنش شدید کم‌آبی و تداوم حضور علف هرز خردل وحشی در تراکم‌های بالا به‌خصوص در مراحل حساس فنولوژیکی در زراعت این محصول جلوگیری کرد تا از کاهش محسوس عملکرد نخود ممانعت به‌عمل آید.

واژه‌های کلیدی: بقولات، تراکم علف هرز، تنش کم‌آبی، عملکرد دانه، ویژگی‌های رشدی

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) دومین حبوبات غذایی مهم در جهان است که عمدتاً در مناطق گرمسیری خشک و نیمه‌خشک جهان کشت و مصرف می‌شود (Varshney *et al.*, 2014). بر طبق مطالعات پیشین، سطح برداشت نخود در جهان حدود ۱۵ میلیون هکتار برآورد شده است (FAOSTAT, 2022). دانه نخود با برخورداری از ۱۵ تا ۲۵ درصد پروتئین، غنی از اسیدهای آمینه ضروری نظیر لیزین بوده و نقش مهمی در رژیم غذایی مناطق محروم به‌عنوان منبع مناسبی از پروتئین باکیفیت بالا ایفا می‌کند (Jukanti *et al.*, 2012). چین (با ۵/۵ تن در هکتار) بزرگ‌ترین کشور تولیدکننده نخود است. سایر کشورهای عمده تولیدکننده نخود شامل اردن، سودان، مولداوی و بوسنی هستند (FAOSTAT, 2022).

۱، ۲ و ۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Sarabi20@azaruniv.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.89385.1202

بااین‌وجود، تولید نخود در اکثر کشورها کمتر از میزان تقاضا است و این شکاف با رشد جمعیت در حال افزایش است.

با توجه به تغییرات اقلیمی در ایران و جهان و کاهش چشمگیر میزان بارندگی‌ها و به دنبال آن، وقوع تنش کم‌آبی که تهدید بزرگی در جهت تولید محصولات کشاورزی است، گیاه نخود نیز از این امر مستثنی نیست. تنش کم‌آبی با اثرات منفی موجب تلفات و کاهش عملکرد محصولات زراعی می‌شود که میزان کاهش به مدت و شدت تنش بستگی دارد و می‌تواند از حد متوسط تا شدید موجب کاهش زیست‌توده گیاهی، عملکرد دانه و اجزاء عملکرد شود (Siddique *et al.*, 2001). تنش کم‌آبی یکی از محدودیت‌های اصلی در تولید نخود است که وقوع آن در طی مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه‌ها می‌تواند عملکرد آن را در حدود ۵۰ درصد کاهش دهد (Rani *et al.*, 2020). در شرایط تنش کم‌آبی، گیاهان زراعی با کاهش پتانسیل آب مواجه می‌شوند و انتقال عناصر غذایی از طریق محلول خاک مختل می‌گردد، لذا با وجود دسترسی گیاه به عناصر غذایی، امکان انتقال این عناصر و مواد مغذی خاک امکان‌پذیر نمی‌باشد (Selvakumar *et al.*, 2012). ازاین‌رو، درک الگوها و سازوکارهای دقیق واکنش گیاهان نسبت به تنش کم‌آبی برای پیش‌بینی عملکرد و انعطاف‌پذیری گیاه در آینده در مواجهه با دوره‌های کم‌آبی فزاینده، بسیار مهم می‌باشد.

از دیگر مواردی که در صورت عدم کنترل می‌تواند عملکرد کمّی و کیفی محصولات تولیدی را تحت تأثیر قرار دهد، می‌توان به علف‌های هرز اشاره کرد. برآوردها حاکی از آن است که سالانه حدود ۱۱ درصد تولیدات کشاورزی جهان در اثر خسارت علف‌های هرز کاهش می‌یابند (Mahé *et al.*, 2022). علف‌های هرز از مهم‌ترین محدودیت‌های زیستی برای تولید محصولات کشاورزی در کشورهای در حال توسعه هستند (Oerke, 2006) و می‌توانند منجر به کاهش ۱۰ تا ۱۰۰ درصدی تولید محصول شوند (Hussain *et al.*, 2015). رقابت علف‌های هرز در زراعت نخود می‌تواند منجر به کاهش ۴۰ تا ۹۰ درصدی عملکرد آن شود (Nosratti *et al.*, 2020) . همچنین، راتنام و همکاران (Ratnam *et al.*, 2011) دریافتند که تداخل علف‌های هرز می‌تواند بهره‌وری نخود را به‌دلیل کندی رشد اولیه و محدود بودن سطح برگ در مراحل اولیه رشد و استقرار، تا بیش از ۸۵ درصد کاهش دهد. از جمله مهم‌ترین و رقابتی‌ترین علف‌های هرز تیره بقولات به‌ویژه مزارع نخود می‌توان به خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) اشاره کرد. خردل وحشی گیاهی یک‌ساله از تیره شب بو است که از طریق بذر تکثیر شده و به‌دلیل سرعت بالا در به حداکثر رساندن سطح برگ، از قدرت رقابت بالایی جهت کسب نور برخوردار است و خسارت جبران‌ناپذیری بر گونه‌های زراعی وارد می‌کند (Warwick *et al.*, 2000). این گیاه هرز به‌دلیل نداشتن الگوی خاص در جوانه‌زنی (به‌دلیل وجود خواب در بذور)، از مشکل‌سازترین علف‌های هرز مزارع مختلف به‌شمار می‌رود، به‌طوری‌که هم در کشت‌های بهاره و هم در کشت‌های پاییزه مشکل‌ساز شده و می‌تواند عملکرد دانه را به‌میزان ۲۰ درصد یا بیشتر کاهش دهد (Behdarvandi *et al.*, 2006). عملکرد لوبیا سفید با افزایش تراکم خردل وحشی کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین کاهش در عملکرد لوبیا سفید (۵۷ درصد) مربوط به تراکم ۲۰ بوته در مترمربع این علف هرز بود (Wall, 1993). در مطالعه‌ای دیگر، با افزایش تعداد بوته علف هرز خردل وحشی از صفر تا ۲۰ بوته در مترمربع، میزان عملکرد دانه، شاخص کلروفیل برگ و محتوای نیتروژن کلزا در دو سال آزمایش به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Naderi & Ghadiri, 2009). همچنین، کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد کاپیتول در گیاه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه با افزایش تراکم علف هرز خردل وحشی در زراعت گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) نیز گزارش شده است (Serim, 2021). در برخی مواقع نیز خسارت ناشی از این علف هرز گاهی به‌قدری زیاد است که تنها سه درصد از عملکرد قابل برداشت بوده است (Anafjeh *et al.*, 2010).

ازآنجایی‌که خردل وحشی یکی از مهم‌ترین علف‌های هرز آلوده‌کننده مزارع نخود کشت بهاره در شهرستان کلیبر است، هدف از اجرای این پژوهش بررسی پاسخ مورفولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد نخود به شرایط رقابت با تراکم‌های خردل وحشی در شرایط تنش کم‌آبی بود تا مشخص گردد که تداوم این تنش‌ها در مراحل حساس فنولوژیکی چه تأثیری بر نخود دارد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تراکم‌های خردل وحشی بر عملکرد و اجزاء آن در نخود تحت شرایط تنش کم‌آبی، پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی شهرستان کلیبر استان آذربایجان شرقی با عرض جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی با اقلیم معتدل کوهستانی در فصل بهار ۱۴۰۰ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عوامل آزمایش شامل سطوح مختلف آبیاری (آبیاری در حد ظرفیت زراعی، آبیاری در زمان ۶۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک و آبیاری در زمان ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک) به‌عنوان عامل اصلی و تراکم‌های صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع علف هرز خردل وحشی به‌عنوان عامل فرعی بودند. در این آزمایش، قطعه زمینی به مساحت ۳۵۱ مترمربع در پاییز شخم زده شد و در اواخر زمستان پس از دیسک‌زنی، تسطیح و کرت‌بندی شد. به‌منظور تغذیه خاک، شش ماه قبل از کاشت از کود دامی کاملاً پوسیده به‌میزان ۲۰ تن در هکتار استفاده شد و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط گردید. هر کرت از ۱۰ ردیف به‌طول سه و عرض دو متر تشکیل شده بود، فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۰

سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (۲۶/۶۷ بوته در مترمربع). همچنین، بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر و مابین تکرارها دو متر فاصله در نظر گرفته شد. بذور نخود رقم محلی جم از جهاد کشاورزی واحد کلیبر تهیه شد و در کرت‌هایی که به‌صورت جوی-پشته‌ای آماده شده بودند، به‌روش دستی در اوایل اردیبهشت‌ماه در محل داغ‌آب ردیف‌ها کشت شدند. در هر محل کاشت، دو تا سه عدد بذر کشت شد و پس از سبز شدن، بوته‌های اضافی تنک شدند. تیمارهای تنش کم‌آبی در زمانی اعمال شدند که گیاهچه‌های نخود در زمین اصلی به‌خوبی مستقر شده بودند (چهار تا شش برگی حقیقی). بر این اساس، میزان رطوبت قابل دسترس خاک در کرت-های آزمایشی با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج خاک (مدل Lotron PMS-714؛ ساخت تایوان) در چندین نقطه از کرت‌های آزمایشی اندازه-گیری شد و بر طبق آن، زمان دقیق آبیاری مشخص گردید. بذور سیاه رنگ علف هرز خردل وحشی از جمعیت‌های اطراف محل آزمایش در تابستان سال قبل همزمان با زرد شدن خورجین‌های آن‌ها، قبل از باز شدن و ریزش جمع‌آوری شدند. این بذور، در دمای پنج درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۲۵ درصد در طول زمستان نگهداری شدند و در بهار در تیمارهای آزمایشی کشت شدند. قبل از کاشت، جوانه‌زنی بذور خردل وحشی در پتری‌های آزمایشی در دمای ۱۰ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد مورد ارزیابی قرار گرفت. بذور علف هرز خردل وحشی در دو طرف ردیف‌های کاشت نخود و در عمق ۰/۵ سانتی‌متری خاک همزمان با بذور نخود کاشته شدند. بذور این علف هرز در تراکم بیش از نیاز در کرت‌های آزمایشی پخش شده و پس از سبز شدن و رسیدن گیاهچه‌ها به ارتفاع پنج سانتی‌متر، برای رسیدن به تراکم‌های دلخواه تنک شدند. به‌منظور محدود کردن رقابت، سایر علف‌های هرز روییده در کرت‌های آزمایشی در دو نوبت وجین شدند. آبیاری به‌روش نشتی در کرت‌ها انجام شد و دور آبیاری مطابق با شرایط منطقه در نظر گرفته شد. در زمان شروع گل‌دهی و به‌منظور اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک، پنج بوته نخود از ردیف‌های مرکزی هر کرت (از سطحی معادل ۰/۱۸۷۵ مترمربع) به‌طور کامل همراه با ریشه برداشت شد و پس از خاک‌زدایی و شست‌وشوی ریشه‌ها، طول ریشه اصلی و تعداد ریشه‌های فرعی و در نهایت، وزن کل ریشه‌ها اندازه‌گیری شد. به‌علاوه، ارتفاع آن‌ها از سطح خاک تا انتهای گل‌آذین با خط‌کش بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد و همزمان با آن، تعداد ساقه‌های فرعی در بوته‌های مورد هدف شمارش و یادداشت‌برداری گردید. در انتهای فصل رشد، زمانی‌که غلاف‌های نخود به‌طور کامل رسیدند و زرد شدند، عملکرد و اجزاء عملکرد در بوته‌های نخود اندازه‌گیری شد. بدین‌منظور، در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی بذور نخود، ۱۰ بوته از قسمت‌های مرکزی هر کرت (از سطحی معادل ۰/۳۷۵ مترمربع) برداشت شد و در پاکت‌های کاغذی به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه، تعداد غلاف و تعداد دانه در هر بوته شمارش شد و دانه‌های نخود توسط دست، خرمن‌کوبی و بوجاری شدند.

سپس، تمامی بخش‌های تفکیک شده به‌مدت ۷۲ ساعت به داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و زمانی‌که به وزن ثابت رسیدند، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه اندازه‌گیری و شاخص برداشت (معادله ۱) محاسبه شد.

$$Harvest\ \ index = \left(\frac{Seed\ \ yield}{Biological\ \ yield} \times 100 \right) \qquad (۱)$$

برای محاسبه وزن ۱۰۰ دانه نیز ۱۰۰ عدد بذر نخود به‌طور تصادفی انتخاب شد و با ترازوی حساس (با دقت ۰/۰۱ گرم) توزین شدند. همزمان با برداشت بوته‌های نخود و به‌منظور عدم انتشار بذور خردل وحشی در مزرعه، بوته‌های این علف هرز جمع‌آوری شده و معدوم شدند. تجزیه داده‌های آزمایش در نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۷ و برش‌دهی اثرات متقابل در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شده و مقایسه میانگین بین تیمارها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی-داری (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. آزمون نرمالیته به‌روش آندرسون- دارلینگ (Anderson-Darling) انجام شد و روی داده‌هایی که نرمال نبودند، تبدیل داده به‌روش جانسون ترانسفورماسیون (Johnson Transformation) انجام شد.

نتایج و بحث

در اکثر صفات مورد بررسی، اثرات متقابل بین تنش کم‌آبی × تراکم خردل وحشی (به‌جز تعداد ساقه‌های فرعی) معنی‌دار بودند. ازاین¬رو، اثرات متقابل عوامل آزمایش بر صفات توصیف شدند.

طول ریشه اصلی

اثرات متقابل تنش کم‌آبی × تراکم خردل وحشی بر طول ریشه اصلی نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج نشان داد که بیشترین طول ریشه اصلی در وضعیت شاهد، بدون حضور خردل وحشی با آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۱۴/۶۹ سانتی‌متر) و کمترین آن در تراکم ۱۵ بوته علف هرز خردل وحشی با آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۲/۶۷ سانتی‌متر) در خاک به-دست آمد (جدول ۲). مطالعات مشابه نیز نشان دادند که تنش کم‌آبی روی طول ریشه اصلی نخود اثر کاهنده دارد (Shaban *et al.*, 2012). ریشه‌های گیاهان، کمبود آب در خاک را طی تنش کم‌آبی حس کرده و یاخته‌های ریشه از نظر رشد و تمایز واکنش نشان می‌دهند و پس از آن پیام‌هایی را به شاخساره منتقل می‌کنند که نتیجه آن، کاهش رشد ریشه اصلی گیاه در شرایط وقوع تنش است.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) سطوح مختلف آبیاری و تراکم خردل وحشی بر شاخص‌های ریخت‌شناختی در نخود

Table 1- Analysis of variance (mean of squares) of morphological characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different irrigation regimes and wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) densities

S.O.V	d.f	Main root length	Lateral roots number	Roots dry weight	Height	Lateral shoots number
Block	2	14.01	2.32	212.70	22.02	6.69
Water-deficit stress (A)	2	171.27**	93.42**	3592.70**	1032.85**	146.19**
Error A	4	4.09	5.79	274.98	30.42	1.32
Weed density (B)	3	25.30**	23.27**	579.09**	218.59**	51.33**
A × B	6	7.37*	2.83*	279.56**	24.68**	4.53 ns
Total error	18	2.02	1.19	43.41	6.06	5.63
The slicing for effects of irrigation regimes × weed density – mean squares						
Field capacity	3	19.28**	17.31**	807.12**	161.58**	–
65% depletion of the water capacity	3	19.11*	10.39**	326.85**	17.42*	–
90% depletion of the water capacity	3	1.64 ns	1.22 ns	4.26 ns	88.96**	–

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهند.

* and **: show significantly different at α = 0.05 and α = 0.01, respectively, and ns: is not significantly different.

همچنین، حشمت‌نیا و آرمین (Heshmatnia & Armin, 2016) گزارش کردند که علف‌های هرز موجب کاهش طول ریشه نخود می‌شوند. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که تداخل علف‌های هرز در گیاه نخود موجب کاهش رشد ریشه می‌شود (Mohammadi *et al.*, 2004). به نظر می‌رسد که در شرایط تنش رطوبتی در خاک، حضور علف هرز خردل وحشی، تنش رقابتی بیشتری را بر بوته‌های نخود تحمیل می‌کند یا به عبارتی، حساسیت بوته‌های نخود نسبت به دیگر تنش‌ها بیشتر می‌شود. بنابراین، با توجه به نبود آب و منابع کافی در شرایط رقابت با علف هرز خردل وحشی، طول ریشه اصلی در بوته‌های نخود کاهش معنی‌داری یافت. در تمامی تیمارهای رطوبتی در خاک، با افزایش تراکم علف هرز خردل وحشی، از طول ریشه اصلی بوته‌های نخود کاسته شد. بااین‌حال، در هر سطح آبیاری افزایش تراکم خردل وحشی تأثیر متفاوتی بر طول ریشه اصلی نخود داشت. در شرایط رطوبت ظرفیت زراعی، تراکم‌های بالای پنج بوته در مترمربع علف هرز خردل وحشی منجر به کاهش معنی‌دار طول ریشه اصلی نخود شد. درحالی‌که، در شرایط ۶۵ درصد تخلیه رطوبتی در خاک، تراکم ۱۵ بوته در مترمربع علف هرز خردل وحشی منجر به کاهش معنی‌دار طول ریشه اصلی بوته‌های نخود نسبت به شاهد بدون علف‌هرز شد و در شرایط ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی در خاک، افزایش تراکم علف هرز خردل وحشی تأثیر معنی‌داری بر کاهش طول ریشه اصلی در بوته‌های نخود نداشت (جدول ۲). به نظر می‌رسد که در شرایط تنش شدید رطوبتی در خاک، علف هرز خردل وحشی نیز درگیر تنش رطوبتی در خاک بوده و ازاین¬رو، افزایش تراکم آن تأثیر چندانی بر کاهش طول ریشه اصلی نخود نداشته است. ضمن آنکه تمامی انرژی بوته‌های نخود صرف مقابله با تنش کم‌آبی و جذب آب و عناصر غذایی محدود خاک در شرایط رقابتی با بوته‌های خردل وحشی شده است.

تعداد ریشه‌های فرعی و وزن خشک ریشه‌ها

اثرات متقابل تنش کم‌آبی × تراکم خردل وحشی بر تعداد ریشه‌های فرعی نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج نشان داد که بیشترین تعداد ریشه‌های فرعی مربوط به وضعیت شاهد و آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۱۱/۵۶ عدد) و کمترین آن مربوط به تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی و آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۲/۳۳ عدد) در خاک بود (جدول ۲). مطالعات نشان داده‌اند که تأثیر تنش کم‌آبی بر تعداد ریشه‌های فرعی گیاه نخود معنی‌دار بوده و بیشترین تعداد ریشه‌های فرعی در نمونه‌های مورد مطالعه مربوط به شرایط نرمال و بدون اعمال تنش بوده است (Shaban *et al.*, 2012). محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2004) نیز نشان دادند که تداخل علف‌های هرز در نخود موجب کاهش معنی‌دار تعداد ریشه‌های فرعی آن گردید. در شرایط رطوبت ظرفیت زراعی و ۶۵ درصد تخلیه رطوبتی، در تراکم پنج بوته در مترمربع خردل وحشی و تراکم‌های بالاتر از آن تعداد ریشه‌های فرعی به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد بدون علف‌هرز کاهش یافتند. بااین‌حال، در شرایط ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی در خاک با افزایش تراکم خردل وحشی (حتی تراکم پنج بوته در مترمربع) تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای علف هرزی و شاهد مشاهده نشد (جدول ۲).

نتایج اثرات متقابل تنش کم‌آبی و تراکم خردل وحشی نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه‌های نخود مربوط به شاهد بدون علف‌هرز و آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۵۳/۸۰ گرم در مترمربع) و کمترین آن مربوط به تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی و آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۵/۰۷ گرم در مترمربع) در خاک بود (جدول ۳). تنش کم‌آبی و تراکم بالای خردل وحشی در زراعت نخود باعث کاهش محسوس وزن خشک ریشه‌ها شد که این امر به‌دلیل عدم امکان جذب آب و عناصر غذایی محلول در آن، رقابت بالای بوته‌های خردل وحشی برای کسب منابع و نبود فضای کافی برای رشد ریشه‌های گیاه در خاک بود. افزایش وزن خشک گیاهی مربوط به افزایش سطح برگ و آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی و استفاده از آن جهت افزایش وزن بخش‌های مختلف گیاهی به‌خصوص ریشه‌ها است که در شرایط تنش کم‌آبی در خاک و حضور بوته‌های علف هرز خردل وحشی و سایه‌اندازی آن‌ها به‌نحو مقتضی انجام نگرفته است که نهایتاً این امر منجر به کاهش وزن خشک ریشه‌های نخود گردید. بااین‌حال، به‌نظر می‌رسد که تنش کم‌آبی به‌مراتب تأثیر بیشتری بر کاهش وزن خشک ریشه‌های نخود داشته است، به‌طوری‌که در تیمارهای تنش کم‌آبی (به‌خصوص تنش شدید)، وزن خشک ریشه‌های نخود تحت تأثیر تراکم خردل وحشی کاهش چندانی نداشت. در کل، در شرایط تنش‌زا بوته‌های نخود جهت مقابله با تنش کم‌آبی و رقابت مؤثر با علف‌های هرز در جذب آب و عناصر غذایی، انرژی بیشتری را صرف نگه داشت طول ریشه، تعداد ریشه‌ها و وزن خشک ریشه‌ها می‌کنند. ضمن آنکه بوته‌های خردل وحشی نیز تحت تنش رطوبتی در خاک بوده و سرعت جذب آب و عناصر غذایی در آن‌ها محدود شده است. این عوامل موجب شده‌اند تا طول ریشه اصلی، تعداد ریشه‌های فرعی و وزن خشک ریشه‌های نخود تحت تأثیر تراکم‌های علف هرزی قرار نگرفته و مقادیر این صفات کاهش چندانی نداشته باشند.

ارتفاع بوته و تعداد ساقه‌های فرعی

نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه در بین تمامی تیمارهای تنش کم‌آبی و تراکم‌های علف هرز خردل وحشی مربوط به شاهد و آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۵۱/۱۱ سانتی‌متر) و کمترین آن مربوط به تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی و آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۱۷/۰۵ سانتی‌متر) در خاک بود (جدول ۳). در مطالعه حاضر نیز تنش کم‌آبی و تراکم بالای خردل وحشی موجب کاهش ارتفاع نخود

شد که ناشی از نبود فضای کافی برای رشد گیاه در حضور علف‌هرز خردل وحشی و سایه‌اندازی بوته‌های خردل وحشی در پی بستن زودهنگام تاج‌پوشش آن بود که منجر به کاهش ارتفاع در بوته‌های نخود به‌خصوص در شرایط محدودیت منابع گردید. حضور خردل وحشی در مزرعه گندم به‌طور معنی‌داری موجب کاهش ارتفاع بوته، کاهش تعداد دانه در سنبله، کاهش وزن خشک و عملکرد دانه گندم شد (Siyahpoosh *et al.*, 2012). زیمدال (Zimdahl, 2007) بیان داشت که رقابت علف‌های هرز و گیاه زراعی در استفاده از منابع غذایی موجود منجر به کاهش عناصر غذایی در دسترس گیاه و به تبع آن کاهش رشد و ارتفاع گیاه زراعی می‌شود. ازاین‌رو، به نظر می‌رسد که به‌دلیل کندی سرعت رشد نخود در ابتدای فصل رشد، خردل وحشی به‌خصوص در تراکم‌های بالا موفق‌تر عمل کرده و از طریق سایه‌اندازی و استفاده بیشتر از منابع موجود موجب کاهش رشد و ارتفاع بوته‌های نخود گردیده است. لازم به ذکر است که در تراکم ثابت خردل وحشی، تأثیر تنش کم‌آبی بر کاهش ارتفاع بوته‌های نخود بیش از افزایش تراکم خردل وحشی در هر تیمار تنش رطوبتی بود، به‌طوری‌که شیب کاهشی ارتفاع بوته‌های نخود با افزایش تنش رطوبتی در خاک بیشتر از شیب کاهشی ارتفاع بوته‌ها با افزایش تراکم خردل وحشی بود. این امر نشان می‌دهد که در شرایط تنش رطوبتی در خاک، بوته‌های خردل وحشی نیز تحت شرایط تنش‌زا بوده و به‌دلیل دشواری جذب منابع جهت توسعه سطح فتوسنتز و ماده خشک به‌خصوص در مرحله رشد رویشی، نتوانسته‌اند اثرات رقابتی شدیدی را بر بوته‌های نخود وارد کنند.

نتایج اثرات متقابل تنش کم‌آبی × تراکم خردل وحشی روی تعداد ساقه‌های فرعی در نخود معنی‌دار نبود. بااین‌حال، تعداد ساقه‌های فرعی نخود تحت تأثیر اثرات اصلی تنش کم‌آبی و تراکم خردل وحشی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۱). کمترین تعداد ساقه‌های فرعی مربوط به آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۳/۲۵ عدد در هر بوته) و بیشترین آن مربوط به حد ظرفیت زراعی (۱۰ عدد در هر بوته) بود (شکل ۱-A). تنش کم‌آبی روی تعداد شاخه‌های اصلی سویا (Mirakhori *et al.*, 2009) و گلرنگ نیز تأثیری معنی‌دار داشته و موجب کاهش این صفت شد (Kaykhazaleh *et al.*, 2022). همچنین، کمترین تعداد ساقه‌های فرعی در بین تیمارهای تراکم علف هرزی مربوط به تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی (۳/۷۸ عدد در هر بوته) و بیشترین آن مربوط به شاهد بدون علف‌هرز (۹/۳۳ عدد در هر بوته) بود (شکل ۱-B).

جدول ۲- اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و تراکم علف هرز خردل وحشی روی طول ریشه اصلی و تعداد ریشه‌های فرعی نخود در شرایط مزرعه‌ای

Table 2- Interaction effects between different irrigation regimes and wild mustard density on a main root length and lateral roots number of chickpea (*Cicer arietinum* L.)

Wild mustard density	Main root length (cm)			Lateral roots number		
	Field capacity	65% depletion of the water capacity	90% depletion of the water capacity	Field capacity	65% depletion of the water capacity	90% depletion of the water capacity
Control	14.69 a*	9.67 a	4.33 a	11.56 a	6.64 a	3.67 a
5 plants.m^{-2}	11 b	9.51 a	4 a	7.75 b	4.67 ab	3 a
10 plants.m^{-2}	9.34 b	9.10 a	3.33 a	7.72 b	3.33 b	2.33 a
15 plants.m^{-2}	9.28 b	4.4 b	2.67 a	5.83 c	2.33 b	2.33 a
LSD 5%	2.21	3.66	2.42	1.68	2.49	2.28

* میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* The means followed by the same letter in a column were not significantly different at p≤0.05 (LSD test).

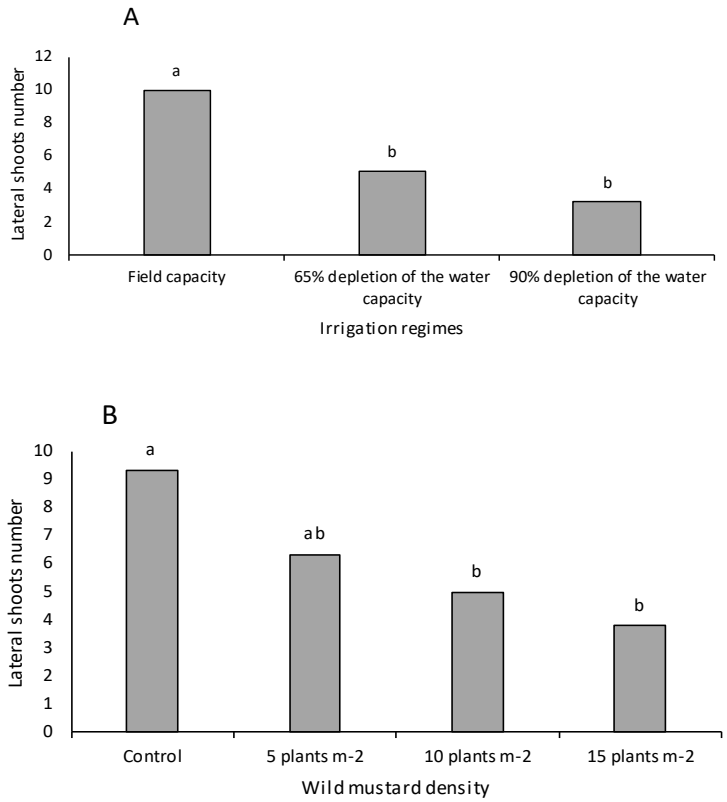
جدول ۳- اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و تراکم خردل وحشی روی وزن خشک ریشه‌ها و ارتفاع نخود در شرایط مزرعه‌ای

Table 3- Interaction effects between different irrigation regimes and wild mustard density on a roots dry weight and height of chickpea (*Cicer arietinum* L.)

Wild mustard density	Roots dry weight (g.m^{-2})			Height (cm)		
	Field capacity	65% depletion of the water capacity	90% depletion of the water capacity	Field capacity	65% depletion of the water capacity	90% depletion of the water capacity
Control	53.80 a*	31.17 a	7.98 a	51.11 a	34.33 a	29.67 a
5 plants.m^{-2}	53.32 a	11.88 ab	6.63 a	44.67 ab	32.67 ab	25.67 a
10 plants.m^{-2}	32.58 ab	11.18 ab	6.55 a	36.81 bc	32.67 ab	21.33 ab
15 plants.m^{-2}	20.40 b	8.45 b	5.07 a	35.33 c	28.67 b	17.05 b
LSD 1%	25.88	20.01	11.10	8.23	5.32	8.40

* میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال یک درصد ندارند.

* The means followed by the same letter in a column were not significantly different at p≤0.01 (LSD test).



شکل ۱- تأثیر سطوح آبیاری (A) و تراکم خردل وحشی (B) بر روی تعداد ساقه‌های فرعی نخود

Figure 1- Changes in chickpea (*Cicer arietinum* L.) lateral shoots number under different irrigation regimes (A) and wild mustard density (B)

تعداد غلاف در بوته

اثرات متقابل تنش کم‌آبی و تراکم خردل وحشی بر تعداد غلاف در بوته‌های نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در تمامی سطوح آبیاری با افزایش تراکم خردل وحشی، از تعداد غلاف در بوته‌های نخود کاسته شد. بیشترین تعداد غلاف در بوته مربوط به شاهد بدون علف‌هرز و آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۱۳/۹۷ عدد در هر بوته) و کمترین آن مربوط به تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی و آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۲/۳۳ عدد در هر بوته) در خاک بود (کاهش ۸۳/۳۲ درصدی نسبت به شاهد بدون علف‌هرز در شرایط حد ظرفیت زراعی) (جدول ۵). تنش شدید کم‌آبی در لوبیا نیز موجب کاهش تعداد غلاف در بوته‌های آن به‌میزان ۳۹/۸ درصد نسبت به شرایط آبیاری نرمال شد (Habibpour Kashefi *et al.*, 2017). دلیل کاهش تعداد غلاف در بوته‌های نخود در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند به‌واسطه اختلال در عمل گرده‌افشانی، کاهش تعداد گل‌ها و ریزش آن‌ها و غلاف‌ها در شرایط تنش رطوبتی باشد. از سوی دیگر، تعداد غلاف در بوته از مهم‌ترین و حساس‌ترین اجزاء عملکرد دانه بقولات محسوب می‌شود که به‌شدت تحت تأثیر رقابت علف‌های هرز قرار می‌گیرد (Malek Maleki *et al.*, 2013). مطالعات نشان داده‌اند که تیمار عدم وجین علف‌های هرز به‌ترتیب موجب کاهش ۵۰/۳، ۵۱/۸، ۵۰/۸ و ۴۱/۱ درصدی تعداد غلاف در بوته ارقام آزاد، آرمان، هاشم و عادل نخود دیم در مقایسه با تیمار وجین علف‌های هرز شد، به‌طوری‌که کمترین تعداد غلاف در بوته مربوط به رقم آرمان در تیمار عدم وجین علف‌های هرز بود (Fallahi *et al.*, 2021). نادری و غدیری (Naderi & Ghadiri, 2009) نیز بیان داشتند، زمانی‌که نسبت کاشت خردل وحشی/کلزا سه به یک افزایش می‌یابد، تعداد خورجین در بوته‌های کلزا به‌شدت کاهش می‌یابد. بااین‌حال، شیب کاهش تعداد غلاف در بوته‌های نخود در شرایط ظرفیت زراعی با افزایش تراکم علف هرز خردل وحشی بیشتر از شرایط ۶۵ و ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی در خاک بود. به نظر می‌رسد که در شرایط تنش رطوبتی در خاک، به‌دلیل تنش اکسیداتیو ایجاد شده در بوته‌های خردل وحشی از اعمال قدرت رقابتی این علف هرز بر بوته‌های نخود با افزایش تراکم علف هرزی کاسته شده باشد که این امر موجب شده است که در شرایط تنش شدید رطوبتی در خاک، تعداد غلاف در بوته-های نخود شیب کاهشی کندتری داشته باشد.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) سطوح مختلف آبیاری و تراکم خردل وحشی بر عملکرد و اجزاء آن در نخود

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of yield and its components in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different irrigation regimes and wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) densities

S.O.V	d.f.	Legume numner.plant^{-1}	Seed number.plant^{-1}	100-seed weight	Biological yield	Seed yield	Harvest index
Block	2	0.91	16.29	0.73	2252040	79266	7.23
Water-deficit stress (A)	2	129.47**	334.80**	78.21**	56764992**	5348406**	28.51 ^{ns}
Error A	4	3.63	20.16	10.43	2226233	219376	182.26
Weed density (B)	3	44.47**	45.53**	11.63**	5105267**	1016169**	88.26**
A × B	6	5.45*	15.39*	3.08*	311103**	91842*	33.25*
Total error	18	1.67	4.04	0.79	64007	31316	13.66
The slicing for effects of irrigation regimes × weed density – mean squares							
Field capacity	3	35.28**	70.31**	1.94*	2262018**	817742**	53.73*
65% depletion of the water capacity	3	17.56**	2.78 ^{ns}	0.78 ^{ns}	2729041**	271744**	73.59**
90% depletion of the water capacity	3	2.53 ^{ns}	3.22*	15.08**	736414**	110366*	27.43 ^{ns}

^{ns}، * و **: ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهند.

* and **: show significantly different at α = 0.05 and α = 0.01, respectively, and ns: is not significantly different.

تعداد دانه در بوته

اثرات متقابل تنش کم‌آبی و تراکم خردل وحشی بر تعداد دانه در بوته‌های نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد که در تمامی تیمارهای آبیاری، با افزایش تراکم خردل وحشی از تعداد دانه در بوته‌های نخود کاسته می‌شود. در بین تمامی تیمارها، بیشترین تعداد دانه در بوته مربوط به شاهد بدون علف هرز و آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۱۸/۶۷ عدد در هر بوته) و کمترین آن مربوط به تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی و آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۲/۳۳ عدد در هر بوته) در خاک بود (کاهش ۸۷/۵۲ درصدی نسبت به شاهد بدون علف‌هرز در شرایط آبیاری در حد ظرفیت زراعی) (جدول ۵). در شرایط تنش‌زا ، تعداد گل‌های شکفته در گیاهان کاهش یافته و برخی گل‌ها نیز ممکن است قبل از باروری یا پس از آن ریزش یابند که در نتیجه آن، تعداد غلاف در بوته کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، در هر غلاف از بوته‌های نخود معمولاً یک یا حداکثر دو عدد بذر دیده می‌شود که در شرایط تنش شدید رطوبتی در خاک یا شرایط رقابتی با علف‌های هرز می‌تواند به یک عدد بذر در هر غلاف یا عدم وجود آن کاهش یابد. صفاهانی لنگرودی و همکاران (Safahani Langeroudi *et al.*, 2008) بیان داشتند که تعداد دانه در خورجین رقم Option 500 کلزا در شرایط تنش شدید رقابتی با خردل وحشی در مقایسه با شاهد از ۱۴ به هفت عدد در هر خورجین کاهش می‌یابد. با افزایش سایه‌اندازی علف هرز و در نتیجه، کاهش فتوسنتز و به دنبال آن کاهش تجمع ماده خشک گیاهی، مواد کمتری به دانه‌ها اختصاص یافته و رقابت بین دانه‌ها برای جذب بیشتر مواد فتوسنتزی موجب می‌شود تا دانه‌هایی که به‌عنوان مخزن قوی‌تر عمل می‌کنند، مانع از رشد دانه‌هایی شوند که دارای قدرت کمتری در جذب مواد هستند. ازاین¬رو، به‌دلیل محدودیت تولید مواد فتوسنتزی در شرایط تنش‌زا، جنین دانه‌هایی که در بدو تشکیل هستند، سقط می‌شود که نتیجه آن، کاهش تعداد دانه در غلاف و بوته بوده و نهایتاً این امر منجر به پوک شدن کامل غلاف‌ها می‌شود. در شرایط تنش‌زا به‌ویژه در مرحله رشد زایشی، روند تغییرات تعداد دانه در بوته متأثر از تعداد غلاف در بوته بوده و مادامی‌که تعداد غلاف در بوته کاهش یابد، تعداد دانه در بوته نیز به تبع آن کاهش خواهد یافت که این امر در شرایط ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی در خاک با افزایش تراکم علف هرز خردل وحشی بیشتر مشهود است (جدول ۵).

وزن ۱۰۰ دانه

اثرات متقابل تنش کم‌آبی × تراکم خردل وحشی بر وزن ۱۰۰ دانه نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد که بیشترین وزن ۱۰۰ دانه از شاهد بدون علف‌هرز و تراکم پنج بوته در مترمربع علف هرز در شرایط آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۳۱/۱۴ گرم) و کمترین آن از تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی در شرایط آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۲۲/۶۱ گرم) به‌دست آمد (جدول ۵). بر این اساس، وزن ۱۰۰ دانه نخود در بالاترین تراکم خردل وحشی تحت تنش شدید رطوبتی در خاک نسبت به شاهد بدون علف‌هرز و حد ظرفیت زراعی ۲۷/۴ درصد کاهش یافت. تأثیر تنش کم‌آبی بر وزن ۱۰۰ دانه لوبیای قرمز نیز معنی‌دار بود و در شرایط تنش شدید کم‌آبی، مقدار آن به‌میزان ۱۴/۹ درصد نسبت به شرایط آبیاری نرمال کاهش یافت (Habibpour Kashefi *et al.*, 2017). عباسلو و همکاران (Abasluo *et al.*, 2014) نیز گزارش کردند که وزن ۱۰۰ دانه نخود در تیمارهای قطع آبیاری دو هفته بعد از سبز شدن و قطع آن در مرحله گل‌دهی در مقایسه با تیمار آبیاری نرمال به‌ترتیب به‌میزان ۵/۵ و ۵/۹ درصد کاهش یافت. بروز تنش کم‌آبی و استمرار آن تا زمان گل‌دهی و پس از آن حتی در زمان پر شدن دانه‌ها به‌دلیل محدودسازی منابع فتوسنتزی، تأثیر قابل توجهی بر کاهش وزن دانه در گیاهان زراعی دارد. از سوی دیگر، حضور علف‌های هرز در تراکم بالا در زراعت گیاهانی نظیر نخود که تاج‌پوشش و سطح برگ چندان قوی ندارند، می‌تواند منجر به کاهش قدرت فتوسنتزی بوته‌ها در زمان گل‌دهی و پر شدن دانه‌ها گشته و از این طریق موجب کاهش وزن دانه‌ها و تعداد آن‌ها گردد. در واقع، حضور علف‌های هرز در تراکم بالا در زمان پر شدن دانه‌ها موجب می‌شود تا از مقادیر مواد غذایی که باید جهت تشکیل دانه‌ها و ذخیره در آن‌ها صرف شود، کاسته شده و نهایتاً دانه-های تشکیل شده در چنین شرایطی از اندازه کوچک‌تر و وزن کمتری برخوردار باشند. در مطالعه مشابه صورت گرفته روی کلزا نیز اثبات شد که وزن ۱۰۰۰ دانه در ارقام Hayola 401، RGS003، Option500 و Sarigol بر اثر تداخل علف هرز خردل وحشی و با افزایش تراکم این علف هرز به هشت بوته در مترمربع به‌شدت نسبت به شاهد بدون علف هرز کاهش می‌یابد (Safahani Langeroudi *et al.*, 2008). سیدی و حمزه‌ئی (Seyedi & Hamzei, 2021) نیز نشان دادند که کمترین وزن هزار دانه نخود با ۲۱۶/۹۰ گرم (۱۰/۸۰ درصد کاهش نسبت به تیمار وجین کامل علف‌های هرز) از تیمار عدم وجین علف‌های هرز به‌دست آمد. ازاین¬رو، می‌توان نتیجه گرفت که تداوم تنش کم‌آبی و حضور علف‌هرز خردل وحشی با کاهش فرآیندهایی همچون فتوسنتز، جذب آب و عناصر غذایی در مراحل حساس فنولوژیکی گیاه موجب نرسیدن مواد غذایی به دانه‌ها و در نتیجه، کوتاه شدن طول دوره مؤثر پر شدن آن‌ها گردیده و نهایتاً کاهش وزن ۱۰۰ دانه در نخود را به همراه داشته‌اند.

جدول ۵- اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و تراکم خردل وحشی روی تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن ۱۰۰ دانه نخود در شرایط مزرعه‌ای

Table 5- Interaction effects between different irrigation regimes and wild mustard density on a legume number per plant, seed number per plant and 100-seed weight of chickpea (*Cicer arietinum* L.)

Wild mustard density	Legume numner plant^{-1}			Seed number plant^{-1}			100-seed weight (g)		
	Field capacity	65% depletion of the water capacity	90% depletion of the water capacity	Field capacity	65% depletion of the water capacity	90% depletion of the water capacity	Field capacity	65% depletion of the water capacity	90% depletion of the water capacity
Control	13.97 a*	8.86 a	4.33 a	18.67 a	6.28 a	4.67 a	31.14 a	28.16 a	27.87 a
5 plants m^{-2}	10.86 b	5 b	3.67 a	16.33 a	5.67 a	4 ab	31.14 a	27.65 a	26.34 ab
10 plants m^{-2}	7.62 c	4.33 b	2.67 a	10 b	5.28 a	3 ab	30.22 ab	27.10 a	24.84 b
15 plants m^{-2}	6.33 c	3.33 b	2.33 a	8.67 b	4 a	2.33 b	29.48 b	27.10 a	22.61 c
LSD 5%	2.29	2.70	2.73	5.10	4.36	1.79	1.47	1.94	1.89

* میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* The means followed by the same letter in a column were not significantly different at $p \leq 0.05$ (LSD test).

عملکرد بیولوژیک

اثرات متقابل نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک از شاهد بدون علف‌هرز و در شرایط آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۶۳۸۲/۷۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن از تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی در شرایط آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۷۹۸/۳۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۶). بر این اساس، عملکرد بیولوژیک نخود تحت تنش شدید کم‌آبی با حضور بالاترین تراکم خردل وحشی نسبت به شاهد بدون علف‌هرز در شرایط ظرفیت زراعی ۸۷/۵ درصد کاهش یافت. مطالعات نشان داده‌اند که عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد که از جمله اثرات تنش کم‌آبی می‌توان به کاهش ارتفاع گیاه و تعداد گره در ساقه اشاره کرد که به موجب آن تقسیمات سلولی در گیاه کاهش یافته، آسیمیلاسیون کمتری صورت گرفته و این امر در نهایت موجب کاهش عملکرد بیولوژیک در گیاه می‌شود (Zabet & Hosseinzadeh, 2011). با کاهش مقدار آب در دسترس، تجمع مواد فتوسنتزی و سرعت رشد نسبی کاهش یافته و این امر بیانگر کاهش ماده خشک تولید شده در اثر کاهش رشد شاخ و برگ در مرحله رشد سبزینه‌ای است که می‌تواند از علل کاهش عملکرد زیستی گیاهان باشد (Molden *et al.*, 2001). به‌علاوه، عوامل دیگری از جمله کاهش محتوای کلروفیل و تأثیر آن روی کاهش فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جذب دی‌اکسید کربن نیز موجب می‌گردد که عملکرد بیولوژیک در اثر تنش کم‌آبی کاهش یابد. از سوی دیگر، به نظر می‌رسد که تشابه در عمق گسترش ریشه‌ها در جهت دستیابی به منابع مشترک از جمله آب و عناصر غذایی با برتری علف‌هرز خردل وحشی همراه بوده است. علف‌های هرز در شرایط رقابتی عموماً از ابتدای فصل رشدی تمایل به جذب حداکثری آب و عناصر غذایی محدود در خاک را داشته و این منابع را در اندام‌های هوایی و زیرزمینی خود ذخیره می‌کنند که این امر در شرایط تنش رطوبتی در خاک، وضعیت را برای گیاه زراعی حادتر می‌کند. در ادامه فصل رشدی، علف‌های هرز به‌خصوص در تراکم بالا با افزایش سایه‌اندازی بر بوته‌های گیاه زراعی موجب اختلال در رشد، فتوسنتز و اندوخته ماده خشک گیاهی شده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک می‌گردند (Heshmatnia & Armin, 2016). دیما و الفتروهورینوس (Dhima & Eleftherohorinos, 2005) مشاهده کردند که در حضور تراکم ۱۴۰ بوته در مترمربع علف هرز خردل وحشی، زیست‌توده گندم و ترتیکاله به‌ترتیب ۳۱ و ۲۶ درصد کاهش یافت. مقایسه ماده خشک تجمعی ارقام گندم در تراکم‌های مختلف خردل وحشی حاکی از آن بود که مقدار کل ماده خشک ذخیره شده گندم در حضور چهار بوته خردل وحشی در همه ارقام به مراتب بیشتر از سایر تراکم‌هاست. امّا با افزایش تراکم خردل وحشی از چهار به ۳۲ بوته در مترمربع به‌شدت از مقدار ماده خشک ذخیره شده در بوته‌های گندم کاسته شد (Rezvani *et al.*, 2019). در مطالعه حاضر نیز تنش کم‌آبی و علف‌های هرز موجب کاهش عملکرد بیولوژیک در نخود گردید که احتمال می‌رود به‌دلیل عوامل ذکر شده باشد.

عملکرد دانه

اثرات متقابل تنش کم‌آبی و تراکم خردل وحشی بر عملکرد دانه نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه مربوط به شاهد بدون علف‌هرز در شرایط آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۲۳۴۹ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن مربوط به تراکم ۱۵ بوته در مترمربع خردل وحشی در شرایط آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۲۰۲/۳۳ کیلوگرم در هکتار) در خاک بود. بر این اساس، عملکرد دانه نخود نسبت به شاهد بدون علف‌هرز در شرایط آبیاری در حد ظرفیت زراعی، ۹۱/۳۹ درصد کاهش یافت. ساچدوا و همکاران (Sachdeva *et al.*, 2022) بیان داشتند که ۳۳/۲۳ درصد کاهش در عملکرد بوته‌های نخود تحت شرایط تنش ملایم رطوبتی در خاک (۳۵ تا ۴۰ درصد حد ظرفیت زراعی) به‌دست آمد. بااین‌حال، کوربو و همکاران (Korbu *et al.*, 2022) گزارش کردند که تحت تنش شدید رطوبتی در خاک، عملکرد نخود بیش از ۷۰ درصد کاهش می‌یابد. در تمامی شرایط آبیاری با افزایش تراکم خردل وحشی، از عملکرد دانه نخود کاسته شد. بیشترین کاهش در عملکرد دانه مربوط به ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی در خاک بود که در بالاترین تراکم خردل وحشی به یک سوم شاهد رسید. این در حالی بود که در شرایط حد ظرفیت زراعی با افزایش تراکم خردل وحشی به ۱۵ بوته در مترمربع، عملکرد دانه به یک‌دوم شاهد تقلیل یافت (جدول ۶). تنش کم‌آبی موجب کاهش رطوبت در خاک شده و در نتیجه آن جوانه‌های گل تحت تأثیر این تنش قرار گرفته و ریزش گل در آن‌ها رخ می‌دهد که این ریزش موجب کاهش عملکرد دانه نیز می‌گردد (Courtney & Mullen, 2008). همچنین، تحت شرایط تنش رطوبتی در خاک، مرحله پر شدن دانه‌ها زودتر از موعد شروع شده و تعداد روزهای رسیدن به بلوغ فیزیولوژیکی کاهش می‌یابد که این امر موجب کاهش وزن دانه‌ها و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌گردد. عدم مهار علف‌های هرز موجب رقابت مؤثر آن‌ها با گیاه زراعی شده و به‌دلیل کاهش احتمالی کارآیی فتوسنتز، در نهایت عملکرد دانه تأثیر می‌پذیرد (Akbari *et al.*, 2011). حضور تراکم ۱۰ بوته در مترمربع از خردل وحشی در مزارع کلزا، عملکرد دانه آن را در حدود ۲۰ درصد کاهش داد، این درحالی بود که تراکم ۲۰ بوته در مترمربع این علف هرز، عملکرد دانه کلزا را بیش از ۳۶ درصد کاهش داد (Warwick *et al.*, 2000).

جدول ٦- اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و تراکم خردل وحشی روی عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت نخود در شرایط مزرعه‌ای

Table 6. Interaction effects between different irrigation regimes and wild mustard density on a biological yield, seed yield and harvest index of chickpea (*Cicer arietinum* L.)

Wild mustard density	Biological yield ($kg.ha^{-1}$)			Wild mustard density	Seed yield ($kg.ha^{-1}$)			Harvest index (%)		
	Field capacity	65% depletion of the water capacity	90% depletion of the water capacity		Field capacity	65% depletion of the water capacity	90% depletion of the water capacity	Field capacity	65% depletion of the water capacity	90% depletion of the water capacity
Control	6382.70 a*	3541 a	1940 a	Control	2349 a	1226.50 a	643.33 a	36.65 a	34.68 a	33.24 a
5 plants.m^{-2}	5925 a	2506.70 b	1510 ab	5 plants m^{-2}	1930.20 a	792.70 b	485.83 a	32.94 ab	31.60 ab	32.13 ab
10 plants.m^{-2}	4838.70 b	1825 c	1101.70 bc	10 plants m^{-2}	1286.50 b	521.50 bc	323.83 b	29.04 b	28.85 ab	29.89 ab
15 plants.m^{-2}	4558.30 b	1416 c	798.30 c	15 plants m^{-2}	1283.80 b	369.50 c	202.33 b	27.13 b	26.03 b	25.05 b
LSD 1%	967.48	653.85	629.29	LSD 5%	434.99	400.22	160.02	7.17	7.17	7.29

* میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج یا یک درصد ندارند.

* The means followed by the same letter in a column were not significantly different at $p \leq 0.05$ or $p \leq 0.01$ (LSD test).

مطالعات نشان داده‌اند که تنش کم‌آبی منجر به افزایش قدرت رقابتی علف‌های هرز در برابر گیاه زراعی می‌شود. بابایی و همکاران (Babaei *et al.*, 2016) گزارش کردند که عملکرد نسبی خلّر در رقابت با تاج خروس وحشی کمتر می‌باشد که بیانگر قدرت رقابتی علف هرز تاج خروس وحشی در شرایط تنش رطوبتی در خاک است. نراقی و همکاران (Naraghi *et al.*, 2022) نیز بیان داشتند که کمترین عملکرد دانه کینوآ (۱۳۹ گرم در مترمربع) تحت تنش شدید کم‌آبی و رقابت بوته‌های آن با علف‌های هرز در تمام طول فصل رشدی به‌دست می‌آید. نخود به‌دلیل سرعت رشد کند و سطح برگ محدود در مراحل اولیه رشدی، در مقابل علف‌های هرز رقیب ضعیفی است، به‌طوری‌که رشد سریع علف‌های هرز در ازای قدرت جذب آب و عناصر غذایی حتی در شرایط تنش رطوبتی در خاک موجب می‌شود که در صورت عدم مهار آن‌ها، با افزایش سطح برگ و ماده خشک به‌راحتی بر بوته‌های نخود غلبه نمایند (Sadidi & Armin, 2015). در این مطالعه، تنش کم‌آبی و حضور بوته‌های علف هرز خردل وحشی در تراکم بالا موجب کاهش عملکرد دانه در نخود گردید که می‌تواند به‌دلیل کاهش کارآیی فتوسنتز در شرایط بروز و تداوم تنش کم‌آبی و نیز رقابت علف هرز خردل وحشی به‌خصوص در مراحل حساس فنولوژیکی گیاه نظیر گل‌دهی و دانه‌بندی باشد.

شاخص برداشت

اثرات متقابل تنش کم‌آبی و تراکم خردل وحشی بر شاخص برداشت نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد که بیشترین شاخص برداشت در تمامی شرایط آبیاری مربوط به شاهد بدون علف هرز و تراکم‌های پایین علف هرز و کمترین شاخص برداشت مربوط به تراکم بالای علف هرز خردل وحشی (۱۵ بوته در مترمربع) بود (جدول ۶). اعمال تنش کم‌آبی موجب پیری زودهنگام برگ‌ها شده و از مرحله گل‌دهی تا شروع مرحله رشد غلاف، بر عملکرد دانه نخود تأثیر گذاشته و سبب کاهش تعداد برگ می‌گردد (Boote *et al.*, 1995). فراهمی رطوبت تأثیر مثبتی بر فتوسنتز جاری دارد و تنش‌هایی که در محیط رشد گیاه وجود دارند، می‌توانند بر اختصاص مواد فتوسنتزی به قسمت‌های مختلف گیاه تأثیر داشته باشند. وقوع این تنش‌ها عمدتاً در اختصاص مواد به اندام‌های زایشی اثرگذار بوده و عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک را بیشتر کاهش می‌دهند. ازاین¬رو، به‌دلیل کمبود آب لازم برای فتوسنتز و در نتیجه کاهش ساخت‌وساز مواد فتوسنتزی، وزن دانه‌ها بیشتر از وزن خشک بوته کاهش یافته و متعاقب آن، شاخص برداشت در گیاه کاهش می‌یابد (Abdeshahian *et al.*, 2014). نتایج این مطالعه نیز نشان داد که شرایط تنش کم‌آبی و رقابت علف‌های هرز موجب کاهش شاخص برداشت در نخود می‌گردد که احتمال می‌رود این امر به‌دلیل حساسیت عملکرد دانه بیش از عملکرد بیولوژیک باشد. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2004) بیان داشتند که شاخص برداشت نخود در تیمار آلوده به علف‌های هرز در کل فصل رشدی در مقایسه با شاهد ۴۲/۸ درصد کاهش می‌یابد و کاهش آن در نخود را به تأثیر سوء علف‌های هرز بر تعداد شاخه‌های بارور و اجزاء عملکرد به‌ویژه تعداد غلاف در بوته و وزن دانه‌ها در نخود مرتبط دانستند. در شرایط رقابت با علف هرز، منابع در دسترس گیاه کاهش یافته و گیاه زراعی لزوماً جهت افزایش سطح و حجم ریشه‌ها در دسترسی بیشتر به آب و عناصر غذایی، مواد فتوسنتزی بیشتری را به اندام‌های زیرزمینی منتقل می‌کند. بنابراین، در زمان رشد زایشی، عملکرد بیولوژیک و دانه گیاه کاهش می‌یابند و این کاهش بیشتر در تعداد و وزن دانه‌ها اتفاق می‌افتد. این امر نشان می‌دهد که وقوع تنش‌های مختلف به‌خصوص در زمان گل‌دهی و پر شدن دانه‌ها می‌تواند تأثیر بسیار قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد دانه در مقایسه با عملکرد بیولوژیک و در نهایت، شاخص برداشت در گیاهان زراعی داشته باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی و افزایش تراکم علف هرز خردل وحشی به‌طور معنی‌داری موجب کاهش مقادیر صفات اندازه‌گیری شده در نخود شدند. عملکرد دانه نخود در شرایط تنش کم‌آبی و رقابت خردل وحشی به‌خصوص در تراکم‌های بالا کاهش یافت که دلیل عمده آن می‌تواند کاهش کارآیی جذب منابع محیطی با رقابت مؤثر علف هرز جهت کسب نور، آب، عناصر غذایی و حتی دی‌اکسیدکربن در تراکم‌های بالا در طول فصل رشدی به‌خصوص در زمان گل‌دهی و دانه‌بندی باشد که می‌تواند منجر به کاهش تعداد غلاف در دانه، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و در نهایت، کاهش عملکرد دانه نخود گردد. به نظر می‌رسد که با توجه به فشاری که بر بوته‌های خردل وحشی در شرایط تنش رطوبتی در خاک وارد می‌شود، از شدت رقابت خردل وحشی کاسته شد. بااین‌حال، به‌دلیل سازگاری بیشتر خردل وحشی به شرایط تنش‌زا از جمله تنش کم‌آبی و شرایط رقابتی و ساختار ژنومی گسترده‌تر آن، بوته‌های این علف‌هرز توانستند با جذب بیشتر آب و عناصر غذایی نسبت به بوته‌های نخود و در ادامه با سایه‌اندازی بر آن‌ها موجب کاهش قابل توجه عملکرد و اجزاء آن حتی در شرایط تنش رطوبتی در خاک شوند. ازاین¬رو، با توجه به خسارت‌هایی که علف‌هرز خردل وحشی به نخود در بررسی ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد و اجزاء آن تحمیل می‌کند، باید اقدامات کنترلی مناسبی را تحت شرایط بروز تنش کم‌آبی حتی در تراکم‌های پایین علف‌هرزی بر علیه آن اتخاذ

نمود تا از کاهش محسوس عملکرد آن جلوگیری به‌عمل آید.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری گروه زراعت و اصلاح نباتـات و مسـئولین محترم دانشکده کشاورزی دانشـگاه شـهید مـدنی آذربایجـان کـه در اجرای این تحقیق کمال همکاری را داشتند، صمیمانه قـدردانی مـی-گردد.

References

1. Abdeshahian, M., Nabipour, M., Kashani, A., Mesgarbashi, M., & Rahdarian, S. (2014). Evaluation of SLA and SLW changes in wheat plants under water stress. In *13th Iranian Crop Science Congress and 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference*, Aug. 1-5, 2014, Karaj, Iran. (in Persian)
2. Abasluo, L., Kazemeini, S.A., & Edalat, M. (2014). Effects of drought stress and planting methods on yield and yield components of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Pulses Research*, *5*(1), 79-90. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/IJPR.V1393I1.46203
3. Akbari, A., Zand, E., & Mousavi, K. (2011). Evaluation the effect of row space and weed management approaches on biomass, chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield, and yield components in Khorramabad dryland conditions. *Crop Production*, *3*(3), 1-21. (in Persian with English abstract)
4. Anafjeh, Z., Bakhshandeh, A.M., Chaab, A.N., Ebrahimpour, F., & Zand, E. (2010). Evolution of various wild mustard densities on some quality parameters and yield of canola. *Journal of Plant Production Science*, *2*(5), 29-41. (in Persian with English abstract)
5. Babaei, M.J., Jami Al-Ahmadi, M., Zamani, G.R., & Golestanifar, F. (2016). Competition between grass pea (*Lathyrus sativus* L.) and pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) under deficit water stress condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *8*(2), 179-189. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2016.214
6. Behdarvandi, B., Fathi, G., Siadat, A., & Madhaj, A. (2006). Integrated control (mechanical and chemical) of rapeseed weeds in the environmental conditions of Khuzestan. In *9th Iranian Crop Science Congress*, 6-10 Aug., Tehran, Iran. (in Persian)
7. Boote, K.J., Schubert, A.A., Stansell, J.R., & Stone, J.F. (1995). Irrigation, water use and water relation. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *5*, 164-205
8. Courtney, R.G., & Mullen, G. (2008). Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. *Journal of Bioresource Technology*, *99*, 2913-2918. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.034
9. Dhima, K., & Eleftherohorinos, I. (2005). Wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) competition with three winter cereals as affected by nitrogen supply. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *191*(4), 241-248. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2005.00152.x
10. Fallahi, A., Ahmadvand, G., Mondani, F., & Aliverdi, A. (2021). Response of yield components of rainfed chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) to plant density and weed interference. *Iranian Journal of Pulses Research*, *12*(1), 41-57. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/IJPR.V12I1.74983
11. FAOSTAT. (2022). *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. FAOSTAT database for agriculture. http://fao.org/faostat/en/#data/QCL (accessed 01 April 2022).
12. Habibpour Kashefi, E., Gharineh, M.H., Shafeinia, A.R., & Roozrokh, M. (2017). Effect of different levels of zeolite on yield of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress in Kermanshah climate condition. *Plant Production Technology*, *9*(1), 141-151. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22084/PPT.2017.2209
13. Heshmatnia, M., & Armin, M. (2016). Effects of weed interference duration on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum*) in two different production system. *Crop Production*, *9*(1), 25-47. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/EJCP.2016.2955
14. Hussain, S., Khaliq, A., Matloob, A., Fahad, S., & Tanveer, A. (2015). Interference and economic threshold level of little seed canary grass in wheat under different sowing times. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*(1), 441-449. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3304-y
15. Jukanti, A., Gaur, P., Gowda, C., & Chibbar, R. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *British Journal of Nutrition*, *108*, S11-S26. https://doi.org/10.1017/S0007114512000797
16. Kaykhazaleh, M., Ramroudi, M., Galavi, M., Ghanbari, A., & Fanayi, H.R. (2022). Effect of drought stress on some morphophysiological traits and yield of safflower (*Carthamus tinctorious* L.) in response to use of potassium. *Journal of Crops Improvement*, *24*(4), 1133-1145. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2022.330328.2610
17. Korbu, L., Fikre, A., Tesfaye, K., Funga, A., Bekele, D., & Ojiewo, C.O. (2022). Response of chickpea to varying moisture stress conditions in Ethiopia. *Agrosystems, Geosciences and Environment*, *5*(1), e20234. https://doi.org/10.1002/agg2.20234
18. Mahé, I., Chauvel, B., Colbach, N., Cordeau, S., Gfeller, A., Reiss, A., & Moreau, D. (2022). Deciphering field-based evidences for crop allelopathy in weed regulation. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *42*(3), 1-20. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00749-1

19. Malek Maleki, F., Majnoun Hosseini, N., & Alizadeh, H. (2013). A survey on the effects of weed control treatments and plant density on lentil growth and yield. *Electronic Journal of Crop Production*, *6*(2), 135-148. (in Persian with English abstract)
20. Mirakhori, M., Paknejad, F., Moradi, F., Ardakani, M.R., Zahedi, H., & Nazeri, P. (2009). Effect of drought stress and methanol on yield and yield components of soybean max (L 17). *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, *5*(4), 162-169. https://doi.org/10.3844/ajbbsp.2009.162.169
21. Mohammadi, G.R., Javanshir, A., Rahimzadeh-Khoie, F., Mohammadi, A., & Zehtab-Salmasi, S. (2004). The effect of weed interference on shoot and root growth and harvest index in chickpea. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *6*(3), 181-191. (in Persian with English abstract)
22. Molden, D., Murry-Rust, H., Sakthivandival, R., & Makin, I. (2001). A water productivity framework for understanding and action. Workshop on Water Productivity. Wadduwe, Sri Lanka, 12-13. https://doi.org/10.1079/9780851996691.0001
23. Naderi, R., & Ghadiri, H. (2009). Competition of different densities of wild mustard (*Brassica kaber*) and rapeseed (*Brassica napus*) in greenhouse. *Desert*, *14*, 151-155. https://doi.org/10.22059/JDESERT.2009.36335
24. Naraghi, M., Majnoun Hosseini, N., Oveisi, M., Rahimian Mashhadi, H., & Bagheri, M. (2022). Modelling the effects of drought stress and weeds competition on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) yield. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(3), 17-29. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2021.326750.654841
25. Nosratti, I., Sabeti, P., Chaghamirzaee, G., & Heidari, H. (2020). Weed problems, challenges, and opportunities in Iran. *Crop Protection*, *134*, 104371. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.007
26. Oerke E. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, *144*, 31–43. https://doi.org/10.1017/S0021859605005708
27. Rani, A., Devi, P., Jha, U.C., Sharma, K.D., Siddique, K.H., & Nayyar, H. (2020). Developing climate-resilient chickpea involving physiological and molecular approaches with a focus on temperature and drought stresses. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 1759. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01759
28. Ratnam, M., Rao, A., & Reddy, T. (2011). Integrated weed management in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Indian Journal of Weed Science*, *43*, 70-72.
29. Rezvani, H., Asgari, J., Ehteshami, M.R., & Kamkar, B. (2019). Effect of different densities of wild mustard (*Sinapis arvensis*) on the growth indices of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Gorgan. *Applied Research in Field Crops*, *32*(2), 42-59. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/AJ.2019.122380.1317
30. Sachdeva, S., Bharadwaj, C., Siddanagouda Patil, B., Pal, M., Roorkiwal, M., & Varshney, R.K. (2022). Agronomic performance of chickpea affected by drought stress at different growth stages. *Agronomy*, *12*, 995. https://doi.org/10.3390/agronomy12050995
31. Sadidi, A., & Armin, M. (2015). The effect of competition period on yield and yield components of chickpea in conventional and dormant sowing conditions. *Journal of Crop Production Research*, *7*(3), 223-237. (in Persian with English abstract)
32. Safahani Langeroudi, A.R., Kamkar, B., Zand, E., Bagherani, N., & Bagheri, M. (2008). Reaction of grain yield and its components of canola (*Brassica napus* L.) cultivars in competition with wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) in Gorgan. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *9*(4), 356-370. (in Persian with English abstract)
33. Selvakumar, G., Panneerselvam, P., & Ganeshamurthy, A.N. (2012). Bacterial Mediated Alleviation of Abiotic Stress in Crops. p. 205–224. In: D.K. Maheshwari, (Ed.), *Bacteria in Agrobiology: Stress Management*. Springer Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23465-1_10
34. Serim, A.T. (2021). Economic threshold of wild mustard (*Sinapis arvensis L.*) in safflower (*Carthamus Tinctoreus L.*). *Fresenius Environmental Bulletin*, *30*, 4477-4485.
35. Seyedi, M., & Hamzei, J. (2021). Evaluation of yield components, yield and competitive power of chickpea cultivars under weed interference. *Iranian Journal of Pulses Research*, *12*(1), 100-110. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/IJPR.V12I1.84964
36. Shaban, M., Mansourifar, S., Ghobadi, M., & Ashrafi Parchin, R. (2012). Effect of drought stress and starter nitrogen fertilizer on root characteristics and seed yield of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Seed and Plant Production*, *27*(4), 451-470. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/SPPJ.2017.110448
37. Siddique, K.H.M., Regan, K.L., Tennant, D., & Thomson, B.D. (2001). Water use and water use efficiency of cool season grain legumes in low rainfall Mediterranean-type environments. *European Journal of Agronomy*, *15*(4), 267-280. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00106-X
38. Siyahpoosh, A., Zand, E., Bakhshande, A., & Gharineh, M.H. (2012). Competitiveness of different densities of two wheat cultivars with wild mustard weed species (*Sinapis arvensis*) in different densities. *Weed Applied Science*, *20*(5), 748-752. https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.20.05.2248
39. Varshney, R.K., Thudi, M., Nayak, S.N., Gaur, P.M., Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Jaganathan, D., Koppolu, J., Bohra, A., Tripathi, S., Rathore, A., Jukanti, A.K., Jayalakshmi, V., Vemula, A., Singh, S.J., Yasin, M., Sheshshayee, M.S., & Viswanatha, K.P. (2014). Genetic dissection of drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, *127*, 445-462. https://doi.org/10.1007/s00122-013-2230-6
40. Wall, D.A. (1993). Wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) competition with navy beans. *Canadian Journal of Plant*

Science, *73*, 1309-1313. https://doi.org/10.4141/cjps93-170

41. Warwick, S.I., Beckie, H.J., Thomas, A.G., & McDonald, T. (2000). The biology of Canadian weeds. 8. *Sinapis arvensis* L. *Canadian Journal Plant Science*, *80*(4), 939-961. https://doi.org/10.4141/P99-139
42. Zabet, M., & Hosseinzadeh, A.H. (2011). Determination of the most effective traits on yield in mung bean (*Vigna radiata* L. wilczek) by multivariate analysis in stress and non-stress conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, *2*(1), 87-98. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v2i1.12020
43. Zimdahl, R.L. (2007). *Weed-Crop Competition, A Review*. International Plant Protection Center (2nd Ed.). Oregon State University, USA.

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 1, 2025, p. 115-131

Investigating Weed Species Flora and Community Structure in Iranian Borage (*Echium amoenum* Fisch & Mey.) Fields in Azadshahr Region

Valiollah Mirdar[1], Faezeh Zaefarian[2*], Sajedeh Golmohammadzadeh[3], Ebrahim Gholamalipour Alamdari[4]

1 and2- Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3-Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4– Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
(*- Corresponding author's Email: fa.zaefarian@sanru.ac.ir)

Received: 27-11-2024
Revised: 01-02-2025
Accepted: 02-02-2025
Available Online: 29-04-2025

How to cite this article:
Mirdar, V., Zaefarian, F., Golmohammadzadeh, S., & Gholamalipour Alamdari., E. (2025). Investigating of weed species flora and community structure in Iranian borage (*Echium amoenum* Fisch & Mey.) fields in Azadshahr county. *Iranian Plant Protection Research*, *39*(1), 115-131. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JPP.2025.89616.1203

Introduction

Iranian borage (*Echium amoenum* Fisch & Mey.) is a plant from the Boraginaceae family that is widespread in various regions of Iran. This species is used in traditional Iranian medicine. There are many different factors that affect the yield and quality of agricultural crops, including weed management. The abundance, distribution, density and composition of weed species in a cropped field vary due to the nature of the crop, cultural practices and cropping pattern/system, soil type, moisture availability, location and season, therefore identification of weed flora is important to identify the proper weed control options and enable farmers to use the best management strategies. One of the appropriate solutions in the management of agricultural systems is the use of precision agriculture; and one of the technologies used in precision agriculture is Geographic Information System (GIS). The results of the Geographic Information System can improve agricultural patterns, allow more precise management of agricultural systems and enhance the level of development. Considering the importance of monitoring weeds in agricultural ecosystems, the high medicinal and economic importance of borage, the cultivation of this plant in recent years in Azadshahr city and the non-chemical management of weed control, attention to maintaining the quality and level of its production is also crucial. Additionally, due to the lack of basic information about the condition of weeds in borage fields in Azadshahr city, this study was conducted with the aim of identifying weeds in borage fields and investigating the community structure and species and functional diversity of borage fields in Azadshahr city.

https://doi.org/10.22067/JPP.2025.89616.1203

Materials and Methods

The present study was conducted to investigate the community structure and species diversity of weeds in the *E. amoenum* fields of Azadshahr in 2022. Twenty *E. amoenum* fields in four geographical directions (north, south, east and west) of the Azadshahr region were selected and the weed species were sampled and identified based on the W pattern in these fields. Based on the existing relationships, the density, frequency, uniformity and predominance of each species were determined. At each farm, the latitude, longitude and elevation above sea level of the sampling site were recorded using a GPS device. The information obtained was processed using GIS software (Ver. 9.3) and a distribution map of all weeds in the fields of *E. amoenum* was produced.

Results and Discussion

The results showed that there are 19 weed species belonging to 12 plant families in the fields of *E. amoenum* in Azadshahr, Iran. Among them, 31.57%, 10.52%, 10.52% of the species belonged to the Poaceae Asteraceae, and Polygonaceae families, respectively, and the rest of species belonged to 9 other plant families. Overall, 68% and 32% of the species were annual, and perennial, respectively. In addition, 68% and 32% of species were dicotyledonous and monocotyledonous. *Cynodon dactylon*, *Convolvulus arvensis* and *Chenopodium album* had the highest weed density with 2.40, 2.36 and 2.30 (plants m^{-2}) respectively. The highest percentage of weed uniformity (90-95%) was observed in *C. dactylon*, *C. arvensis*, *C. album*, *Sorghum halepense* and *Hordeum murinum*. Among the 19 weed species, *C. arvensis*, *C. dactylon* and *C. album* showed the highest relative dominance; these weeds had a relative dominance of 22.31%, 22.49%, and 21.91%, respectively. According to the results, the high frequency values of these weed species indicated their high compatibility with the climatic and soil conditions. Also, the highest relative dominance of the weeds in the fields of *E. amoenum* was observed in the broad-leaved weeds, which can be attributed to the poor management of perennial weeds in these areas. According to the weed distribution map, 18 species of weeds identified in the *E. amoenum* fields were observed in all the investigated fields and they are scattered throughout the studied points, while, *Papaver rhoeas* was distributed only in the southern fields of the study area.

Conclusion

By knowing the weed species present in *E. amoneum* fields, their density and distribution, and by using correct management practices, the impact of problematic species can be reduced and the spread of weeds, especially problematic species, from one area to another susceptible area can be prevented. Based on the information obtained on the presence of broadleaf and narrowleaf weed species in *E. amoneum* fields, it is possible to develop a comprehensive management plan and reduce weed density by combining different management methods. By studying the weather, climate and soil conditions in the region, as well as information on the management practices commonly used in the region, it is also possible to understand the reasons for the presence and density changes of some species in some regions. This information has been used in the integrated management of weeds and the provision of appropriate weed control solutions.

Keywords: Abundance, Density, Dominance index, Species composition

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص. ۱۳۱-۱۱۵

بررسی فلور و ساختار جوامع علف‌های هرز مزارع گل‌گاوزبان (*Echium amoenum* Fisch & Mey.) در منطقه آزادشهر

ولی‌الله میردار[۱]- فائزه زعفریان[۲*]- ساجده گل‌محمدزاده[۳]- ابراهیم غلامعلی‌پور علمداری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴

چکیده

گل‌گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & Mey.) از گیاهان خانواده Boraginaceae می‌باشد در مناطق مختلف ایران پراکنش دارد و در طب سنتی به کار می‌رود. پوشش‌های گیاهی علف‌های هرز در بوم‌نظام‌های زراعی از تعداد زیادی گونه تشکیل شده است که در واکنش به عملیات زراعی ظهور پیدا کرده‌اند. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی ساختار جوامع و تنوع گونه‌ای علف‌های هرز مزارع گل‌گاوزبان شهرستان آزادشهر در سال ۱۴۰۱ انجام شد. بدین منظور، تعداد ۲۰ مزرعه گل‌گاوزبان در منطقه آزادشهر در چهار جهت جغرافیایی (شمال، جنوب، شرق و غرب) انتخاب و گونه‌های علف‌های هرز، براساس الگوی W در این مزارع نمونه‌برداری و شناسایی شدند. با استفاده از روابط موجود، تراکم، فراوانی، یکنواختی و غالبیت هرگونه محاسبه شد. در هر مزرعه، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای مکان مورد نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS ثبت شد. اطلاعات به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار GIS پردازش و نقشه پراکنش تمام علف‌های هرز مزارع گل‌گاوزبان تهیه شد. نتایج نشان داد که در مزارع گل‌گاوزبان شهرستان آزادشهر، ۱۹ گونه علف‌هرز متعلق به ۱۲ خانواده گیاهی وجود داشت که ۳۱/۵۷ درصد متعلق به خانواده گندمیان (Poaceae)، ۱۰/۵۲ درصد متعلق به خانواده کاسنی (Asteraceae)، ۱۰/۵۲ درصد متعلق به خانواده هفت‌بندیان (Polygonaceae) و بقیه به نُه خانواده گیاهی دیگر تعلق داشتند. در مجموع، ۶۸ درصد گونه‌ها یک‌ساله، ۳۲ درصد چندساله، که ۶۸ درصد دولپه و ۳۲ درصد تک‌لپه بودند. بیشترین تراکم علف‌هرز مربوط به علف‌های هرز پنجه‌مرغی (*Cynodon dactylon*)، پیچک‌مزرعه (*Convolvulus arvensis*) و سلمه‌تره (*Chenopodium album*) به‌ترتیب به‌مقدار ۲/۴۰، ۲/۳۶ و ۲/۳۰ بوته در مترمربع بود. همچنین علف‌های هرز پنجه مرغی، پیچک‌مزرعه و سلمه‌تره بیشترین غالبیت نسبی را در بین ۱۹ گونه علف‌هرز داشتند؛ این علف‌های هرز به‌ترتیب دارای ۲۲/۴۹، ۲۲/۳۱ و ۲۱/۹۱ درصد غالبیت نسبی بودند.

واژه‌های کلیدی: تراکم، ترکیب گونه‌ای، شاخص غالبیت، فراوانی

مقدمه

طیف گسترده‌ای از گیاهان همراه با گیاهان زراعی در زمین‌های زراعی در یک منطقه وجود دارند که سبب کاهش ارزش کیفی و کمّی محصولات کشاورزی می‌شوند (Veisi *et al.*, 2013). انتخاب عملیات زراعی مانند خاک‌ورزی، گونه زراعی، روش‌های مهار علف‌های هرز و مدیریت حاصلخیزی خاک، دسترسی به منابع و الگوی پراکنش و توزیع را دچار تغییر می‌کند که بر کارکرد طبیعی جامعه گیاهی تأثیر می‌گذارد و در نهایت، این تغییرات سبب تطابق و سازگاری علف‌های هرز می‌شود (Javadzadeh *et al.*, 2018). سازگاری‌های درون‌گونه‌ای، ظهور گونه‌های جدید و اجرای عملیات زراعی می‌تواند بر فلور علف‌های هرز یک منطقه تأثیر بگذارد، بنابراین شناسایی این الگوی پراکنش و توزیع بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Frank *et al.*, 2009).

تعیین فلور، شناسایی پراکنش و توزیع جغرافیایی علف‌های هرز

۱ و ۲- گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳- گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: fa.zaefarian@sanru.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/JPP.2025.89616.1203

جزء مهم‌ترین اطلاعات پایه برای مدیریت کلان علف‌های هرز می‌باشد که در برآورد میزان خسارت علف‌های هرز حائز اهمیت است (Ahmadi *et al.*, 2013). استفاده از اطلاعات فراوانی، تراکم و یکنواختی علف‌های هرز در یک منطقه برای پایش علف‌های هرز در محصولات کشاورزی و شناسایی حضور علف‌های هرز در محصولات باغی و زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Salonen *et al.*, 2005). شناخت ویژگی‌ها و پراکندگی مکانی و زمانی علف‌های هرز مزارع برای شناسایی تنوع زیستی بوم‌نظام کشاورزی ضروری می‌باشد (Izadi Darbandi *et al.*, 2018). فراوانی و تراکم علف‌های هرز در یک منطقه نشان‌دهنده میزان و نوع عملیات زراعی به‌کاررفته در یک منطقه می‌باشد. بدون تردید، ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب برای مهار و مدیریت علف‌های هرز نیازمند شناخت و شناسایی وضعیت و نوع علف‌های هرز موجود در اراضی کشاورزی است (Veisi *et al.*, 2013).

یکی از راهکارهای مناسب در مدیریت نظام‌های زراعی استفاده از کشاورزی دقیق است و یکی از فناوری‌های مورد استفاده در کشاورزی دقیق، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌باشد. نتایج حاصل از نظام اطلاعات جغرافیایی می‌تواند باعث بهبود الگوهای کشاورزی، مدیریت دقیق‌تر نظام‌های زراعی و بهبود سطح توسعه - گردد (Janat Attai *et al.*, 2018). کارآیی استفاده از GIS در شناسایی نقاط آلوده به علف‌های هرز و ارزیابی روش‌های مختلف مهار علف‌های هرز به اثبات رسیده است. با استفاده از توانایی‌های این تکنولوژی، می‌توان پایش مناطق آلوده به علف‌های هرز را به‌خوبی انجام داد و نقشه‌های گسترش آلودگی به علف‌های هرز را به‌صورت دقیق و به‌همراه تاریخ مورد نظر تهیه نمود (Niazmoradi *et al.*, 2023). با استفاده از نقشه علف‌های هرز می‌توان به خصوصیات جمعیتی، توزیع فضایی و تراکم علف‌های هرز در مزرعه و اینکه کدام قسمت از مزرعه توسط چه گونه‌هایی اشغال شده‌اند، پی برد، بنابراین جهت تعیین نوع راهبرد مدیریتی و پاسخ جوامع علف‌های هرز به راهکارهای مدیریتی و متغیرهای محیطی، باید اطلاعات صحیحی در مورد چگونگی پراکنش علف‌های هرز در مزرعه وجود داشته باشد. نقشه‌های دقیق، اختصاصی و به‌موقع علف‌های هرز کلید دستیابی به تمام مزایای مدیریت متناسب با علف‌هرز می‌باشد (Siahmarguee *et al.*, 2022).

گیاهان دارویی جزء گیاهان مهم اقتصادی هستند که به‌صورت فرآوری‌شده یا خام در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. گل‌گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & Mey.) گیاهی چندساله از خانواده گاوزبان (Boraginaceae) می‌باشد (Amiri, 2014). گیاهان این جنس علفی، دو تا چندساله و یا پایا و فاقد ساقه زیرزمینی می‌باشند. ریشه ضخیم، ارتفاع به‌طول تقریبی ۹۵-۲۰ سانتی‌متر و ساقه‌های منفرد یا متعدد، پوشیده از کرک‌های روی‌هم خوابیده هستند. این گیاه دارای برگ‌هایی بدون انشعاب و گل‌هایی بزرگ به‌رنگ قرمز ارغوانی که پس از خشک شدن بنفش یا آبی رنگ می‌شود و در یک‌طرف شاخه‌ها ظاهر می‌شوند. گل‌گاوزبان ایرانی در اقلیم معتدل کوهستانی و معتدل خزری و به‌طور عمده ارتفاعات بالاتر از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا رشد می‌کند. از مناطق رویش و مناسب رشد این گیاه در ایران می‌توان به شمال ایران، ارتفاعات حیران و قزوین اشاره کرد. گیاه دارویی گل‌گاوزبان از دیرباز در طب سنتی ایران به‌عنوان آرامش‌بخش، کاهش‌دهنده تپش قلب، و رفع عوارض سرماخوردگی مورد استفاده قرار گرفته است. نیاز روزافزون به فرآورده‌های دارویی این گیاه همراه با روند افزایش مصرف داخلی، صادرات ضرورت کشت انبوه آن را ایجاب کرده است (Amiri, 2014).

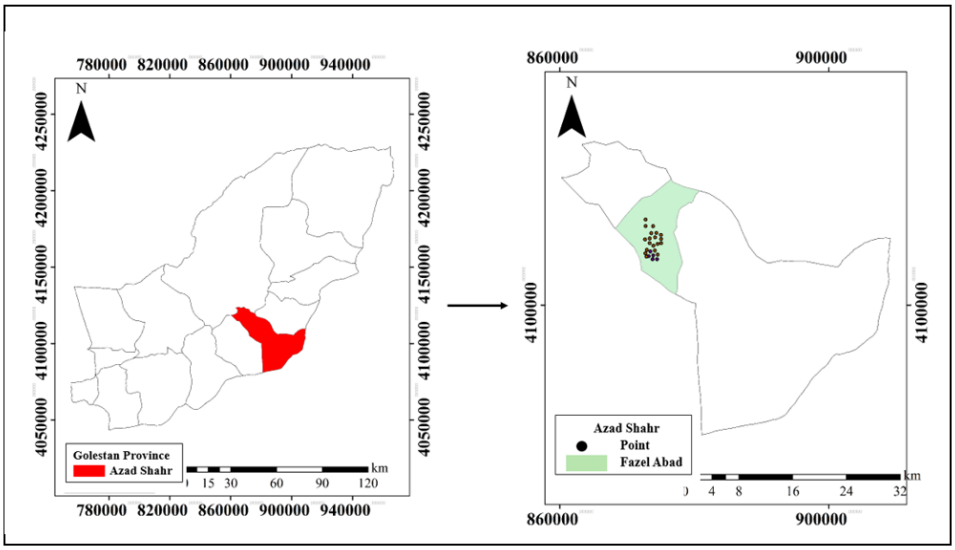
سطح زیر کشت گل‌گاوزبان در استان گلستان حدود هفت هکتار است که عملکرد در واحد سطح بسته به سن مزرعه و شرایط مدیریتی آن ۵۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم گل خشک در هکتار است (Agricultural Jihad Statistics, 2022). عمده مناطق کشت آن در استان گلستان (شمال ایران) آزادشهر، علی‌آباد کتول، رامیان، گالیکش و مینودشت است. با توجه به اهمیت پایش علف‌های هرز در بوم‌نظام‌های زراعی، اهمیت دارویی و اقتصادی بالای گل‌گاوزبان، کشت این گیاه در سال‌های اخیر در شهرستان آزادشهر و مدیریت‌های غیرشیمیایی مبارزه با علف‌های هرز، توجه به حفظ کیفیت و سطح تولید آن و نیز به‌دلیل کمبود اطلاعات اولیه و اساسی درباره وضعیت علف‌های هرز مزارع گل‌گاوزبان در شهرستان آزادشهر، این مطالعه با هدف شناسایی علف‌های هرز مزارع گل‌گاوزبان و بررسی ساختار جوامع و تنوع گونه‌ای و کارکردی این‌گونه‌ها در مزارع گل‌گاوزبان شهرستان آزادشهر انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور شناسایی و بررسی جمعیت علف‌های هرز مزارع گل‌گاوزبان، مطالعه میدانی در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شد. محدوده مورد مطالعه این پژوهش از توابع بخش مرکزی (فاضل آباد) شهرستان آزادشهر استان گلستان بود. آزادشهر یکی از شهرهای شرقی استان گلستان است که از شرق به شهرستان مینودشت، از شمال به شهرستان گنبدکاووس و از جنوب به استان سمنان و شهرستان شاهرود محدود می‌شود. این شهرستان در ارتفاع ۱۵۰ متری از سطح دریا و در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی قرار دارد. از نظر ناهمواری، این شهرستان به سه ناحیه کوهستانی، کوهپایه‌ای و جلگه‌ای تقسیم می‌شود. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است.

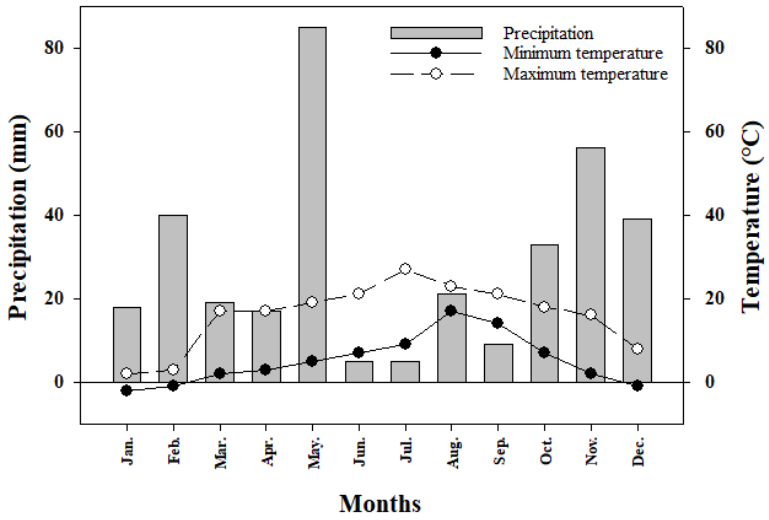
آزادشهر دارای آب‌وهوای معتدل است. نواحی شمالی و مرکزی آزادشهر را دشتی هموار تشکیل می‌دهد و بخش جنوبی آن به دامنه‌های شمالی کوه‌های البرز منتهی می‌شود. اقلیم آن در نواحی شمالی معتدل مایل به گرم و خشک و در کوهپایه‌های جنوبی معتدل و نیمه‌خشک است. مشخصات دما و بارش ماهانه در طی سال زراعی ۱۴۰۱ در شکل ۲ ارائه شده است.

سطح زیر کشت، پراکندگی و فراوانی مزارع گل‌گاوزبان براساس اطلاعات موجود در جهاد کشاورزی آزادشهر مشخص شد. پراکنش مزارع مورد بررسی در چهار جهت اصلی شمال، جنوب، شرق و غرب شهرستان آزادشهر مشخص و تعداد ۲۰ مزرعه گل‌گاوزبان در چهار جهت اصلی انتخاب شد.



شکل ۱– موقعیت جغرافیایی شهر آزادشهر و نقشه پراکنش مزارع گل‌گاوزبان در آزادشهر

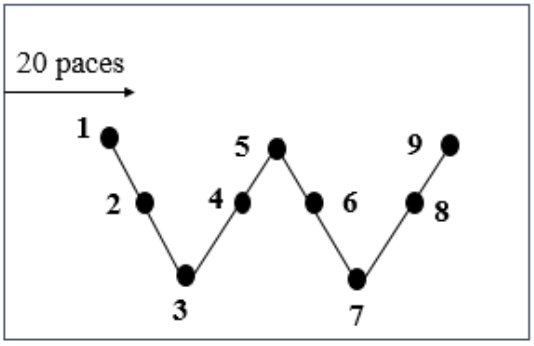
Figure 1- Geographical location of Azadshahr city and the distribution map of *Echium amoenum* farms in Azadshahr



شکل ۲– ویژگی‌های میانگین دمای حداکثر و حداقل، و بارش ماهانه منطقه طی سال ۱۴۰۱

Figure 2- Characteristics of average maximum and minimum temperature, and monthly precipitation of the region during 2022

لازم به ذکر است که جهت کاهش خطای نمونه‌برداری در پژوهش و یکنواختی در جمع‌آوری اطلاعات، مزارعی انتخاب شدند که هیچ تیماری برای مهار علف‌های هرز در آن انجام نشد. ازآنجاکه گل‌گاوزبان گیاهی چندساله می‌باشد، لذا جهت ارزیابی جامعه علف‌های هرز، مزارع دوساله انتخاب شد. بخش مرکزی شهرستان آزادشهر دارای موقعیتی دشتی و کوهستانی است، لذا، اراضی در سطح بسیار وسیع مورد کشت و کار گل‌گاوزبان قرار نمی‌گیرند، اراضی کشت گل‌گاوزبان شامل اراضی خرد و کوچک می‌باشد که مساحت مزارع به‌طور میانگین بین ۵۰۰-۲۵۰ مترمربع می‌باشد. نمونه‌برداری علف‌های هرز مزارع گل‌گاوزبان هم‌زمان با گل‌دهی گل‌گاوزبان انجام شد (اواخر زمستان تا اوایل بهار سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱). شناسایی و نمونه‌برداری علف‌های هرز با استفاده از کوادرات یک مترمربعی (ابعاد ۱×۱ مترمربع) به‌صورت سیستماتیک تصادفی از نُه نقطه در هر مزرعه، طبق الگوی حرف W که فاصله دو نقطه متوالی ۲۰ متر بود، شمارش شد (شکل ۳). جهت حذف اثرات حاشیه‌ای، ۱۰ متر از حاشیه مزرعه نمونه‌برداری نشد. علف‌های هرز موجود در هر کوادرات به تفکیک جنس و گونه شناسایی شدند و تعداد علف‌های هرز هر گونه داخل کوادرات نیز شمارش شد. پس از بررسی گونه‌های علف‌هرز و تعیین خانواده‌های مربوطه، گونه‌های شناسایی‌شده براساس چرخه زندگی (یک‌ساله و چندساله)، فرم رویشی (تک‌لپه و دولپه)، شکل برگ (باریک‌برگ و پهن‌برگ) و مسیر فتوسنتزی (سه کربنه و چهار کربنه) طبقه‌بندی شدند. پس از انتخاب مزارع گل‌گاوزبان، موقعیت مکانی مزارع نمونه‌برداری‌شده با استفاده از دستگاه GPS ثبت شد.



شکل ۳- الگوی نهایی نمونه‌برداری از علف‌های مزارع گل‌گاوزبان

Figure 3- The final pattern of weed sampling in the fields of *Echium amoenum*

جهت تعیین فلور و غالبیت علف‌های هرز در این مزارع، شاخص‌های زیر که به‌ترتیب در معادله ۱ تا ۷ نشان داده شده است، محاسبه شد (Thomas, 1991).

فراوانی (F_k) (معادله ۱) و فراوانی نسبی (RF_k) (معادله ۲) گونه k بیانگر درصدی از مزارعی است که توسط آن‌گونه خاص آلوده شده‌اند:

$$F_k = \left(\frac{\sum Y_i}{n}\right) \times 100 \qquad (۱)$$

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

$$RF_k = \frac{F_k}{F_t} \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن، RF_k: فراوانی نسبی گونه k، F_k: فراوانی گونه k و F_t: مجموع فراوانی همه گونه‌ها می‌باشد.

یکنواختی (U_k) بیانگر درصد کوادرات‌هایی که توسط یک‌گونه آلوده شده‌اند (معادله ۳):

$$U_k = \frac{\sum^{n}\sum^{m} X_{ij}}{m \times n} \qquad (۳)$$

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

یکنواختی نسبی (RU_k) (معادله ۴):

$$RU_k = \frac{U_k}{U_t} \times 100 \qquad (۴)$$

که در آن، RU_k، یکنواختی نسبی گونه k، U_k، یکنواختی گونه k و U_t، مجموع یکنواختی همه گونه‌ها می‌باشد.

تراکم (D) بیانگر تعداد بوته در واحد سطح در مزرعه می‌باشد

(معادله ۵):

$$D_{ki} = \frac{\sum Z_j}{m} \quad (۵)$$

که در آن، D_{ki}: تراکم (تعداد بوته در مترمربع) برای گونه k در مزرعه شماره i، Z_j: تعداد گیاهان در کوادرات و m: تعداد کوادرات پرتاب‌شده می‌باشد.

میانگین تراکم نسبی ($RMFD_k$)، نشان‌دهنده میانگین تعداد گیاهان در واحد سطح مزارع مورد مطالعه می‌باشد (معادله ۶).

$$RMFD_k = \frac{\sum D_{ki}}{n} \quad (۶)$$

که در آن، $RMFD_{ki}$: میانگین تراکم گونه k، D_{ki}: تراکم (تعداد بوته در مترمربع) برای گونه k در مزرعه شماره i و n: تعداد مزارع مورد مطالعه می‌باشد.

شاخص غالبیت نسبی (RAI_k)، یکی از شاخص‌های ارزیابی ترکیب و تنوع گونه‌ای جامعه علف‌های هرز است (معادله ۷).

$$RAI_k = RF_k + RU_k + RMFD_k \quad (۷)$$

که در آن، RF_k: فراوانی گونه، RU_k: یکنواختی نسبی و $RMFD_k$: میانگین تراکم نسبی گونه‌های علف‌هرز است.

پس از تفکیک داده‌ها براساس نوع حضور و عدم حضور علف‌های هرز در مزارع، نقشه پراکنش علف‌های هرز در شهرستان آزادشهر با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS (ver. 9.3.1) ترسیم شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار SigmaPlot (Ver, 12.5) انجام شد. گروه‌بندی علف‌های هرز براساس فراوانی، یکنواختی و میانگین تراکم گونه‌های علف‌های هرز در سطح مزارع با استفاده از روش تجزیه خوشه‌ای و فاصله بین گروه به‌روش WARD با استفاده از نرم‌افزار SPSS (Ver. 26) انجام شد.

نتایج و بحث

در بررسی جمعیت علف‌های هرز مزارع گل‌گاوزبان در منطقه آزادشهر، ۱۹ گونه گیاهی شناسایی شد (جدول ۱). این گونه‌های گیاهی برحسب تیپ رشدی به گیاهان یک‌ساله و چندساله و برحسب فرم رویشی به گیاهان تک‌لپه و دولپه تقسیم شدند.

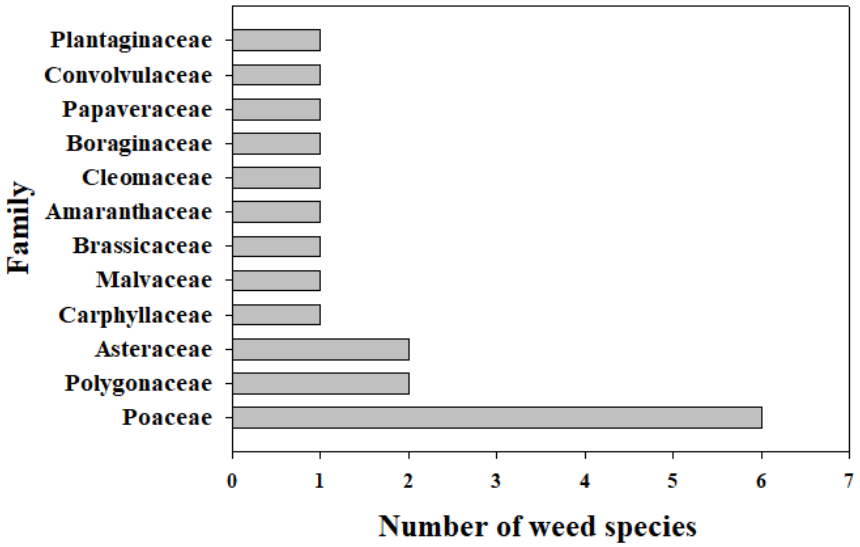
گونه‌های علف‌های هرز شناسایی‌شده متعلق به ۱۲ خانواده گیاهی بودند (شکل ۴). بیشترین فراوانی (۳۱/۵۷ درصد) مربوط به خانواده گندمیان (Poaceae) بود که شش علف‌هرز یولاف وحشی، چمن یک‌ساله، جو موشی، چچم، قیاق و پنجه‌مرغی متعلق به این خانواده بودند. از خانواده‌های کاسنی (Asteraceae) و هفت‌بندیان (Polygonaceae) هرکدام دو گونه گیاهی علف‌هرز متعلق به آن‌ها بود. خانواده‌های میخکیان (Caryophyllaceae)، پنیرکیان (Malvaceae)، شب‌بویان (Brassicaceae)، تاج‌خروس (Amaranthaceae)، گاوزبانیان (Boraginaceae)، خشخاش (Papaveraceae)، پیچکیان (Convolvulaceae)، بارهنگ (Plantaginaceae) و Cleomaceae با یک‌گونه گیاهی کمترین حضور را به‌خود اختصاص دادند (شکل ۴).

از نظر چرخه زندگی، گونه‌های علف‌هرز یک‌ساله (۶۸ درصد) نسبت به گونه‌های علف‌هرز چندساله (۳۲ درصد) از فراوانی بیشتری برخوردار بودند (شکل ۵).

جدول ۱- مشخصات علف‌های هرز موجود در مزارع گل‌گاوزبان در شهرستان آزادشهر

Table 1- Characteristics of weeds in the fields of *Echium amoenum* in Azadshahr

Scientific name	Family	Life cycle	Vegetative form	Leaf	Photosynthetic pathways
Cynodon dactylon (L.) Pers.	Poaceae	Perennial	Monocotyledonous	**Narrow-leaf**	C_4
Convolvulus arvensis L.	Convolvulaceae	Perennial	Dicotyledonous	Broadleaf	C_3
Chenopodium album L.	Amaranthaceae	Annual	Dicotyledonous	Broadleaf	C_3
Sorghum halepense L.	Poaceae	Perennial	Monocotyledonous	**Narrow-leaf**	C_4
Rumex crispus L.	Polygonaceae	Perennial	Dicotyledonous	Broadleaf	C_3
Stellaria media L.	Caryophyllaceae	Annual	Dicotyledonous	Broadleaf	C_3
Hordeum murinum L.	Poaceae	Annual	Monocotyledonous	**Narrow-leaf**	C_3
Polygonum aviculare L.	Polygonaceae	Annual	Dicotyledonous	Broadleaf	C_3
Lolium rigidum L.	Poaceae	Annual	Monocotyledonous	**Narrow-leaf**	C_3
Avena ludoviciana Durieu.	Poaceae	Annual	Monocotyledonous	**Narrow-leaf**	C_3
Artemisia annua L.	Asteraceae	Annual	Dicotyledonous	Broadleaf	C_3
Veronica persica	Plantaginaceae	Annual	Dicotyledonous	Broadleaf	C_3
Anchusa italica Retz.	Boraginaceae	Annual	Dicotyledonous	Broadleaf	C_3
Sinapis arvensis L.	Brassicaceae	Annual	Dicotyledonous	Broadleaf	C_3
Sonchus oleraceus L.	Asteraceae	Perennial	Dicotyledonous	Broadleaf	C_3
Poa annua Cham. & Schltdl.	Poaceae	Annual	Monocotyledonous	**Narrow-leaf**	C_3
Malva sylvestris L.	Malvaceae	Perennial	Dicotyledonous	Broadleaf	C_3
Cleome viscosa L.	Cleomaceae	Annual	Dicotyledonous	Broadleaf	C_3
Papaver rhoeas L.	Papaveraceae	Annual	Dicotyledonous	Broadleaf	C_3

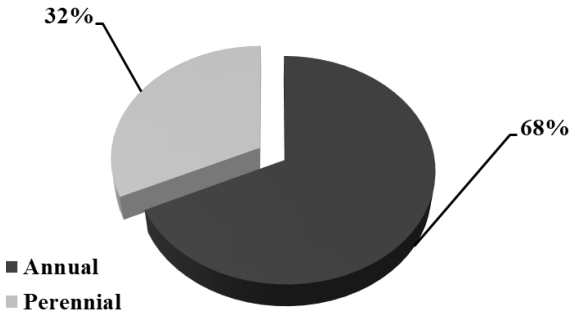


شکل ٤– فراوانی خانواده گونه‌های علف‌های هرز موجود در مزارع گل‌گاوزبان مورد مطالعه

Figure 4- Frequency of weed species families in the studied *Echium amoenum* fields

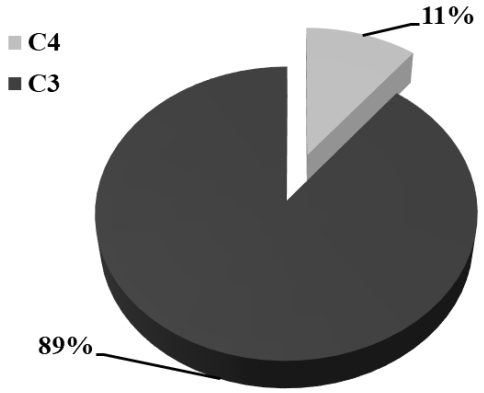
به‌طور کلی، ۱۳ گونه علف‌هرز یک‌ساله و شش گونه علف‌هرز چندساله در این مزارع شناسایی شد. حدود ۶۸ درصد علف‌های هرز شناسایی‌شده یک‌ساله می‌باشند که در یک فصل رشد و نمو دارند و تکثیر پیدا می‌کنند. علف‌های هرز یک‌ساله فقط به‌وسیله بذر تکثیر می‌شوند، در عین حال، تعداد فراوانی بذر بالایی به‌وجود می‌آورند که در خاک حفظ می‌گردد و رشد آن‌ها در سال‌های متوالی تضمین می شود (Izadi Darbandi *et al*., 2018). همچنین، بذرهای بسیاری از علف‌های هرز یک‌ساله می‌توانند سال‌ها در خاک به‌صورت غیرفعال باقی بمانند و به‌محض فراهم شدن شرایط محیطی، جوانه زده و رشد کنند. روش‌های مدیریتی توصیه‌شده برای علف‌های هرز یک‌ساله در جهت حذف آن‌ها از مزرعه، قبل از به وجود آمدن بذر می‌باشد. اگر شرایط تولید بذر برای این علف‌های هرز فراهم شود، بسیاری از آن‌ها امکان این را خواهند داشت که همزمان با کشت محصول رشد خود را شروع کنند و با گیاه زراعی رقابت را ایجاد کنند (Ahmadi *et al*., 2013).

علف‌های هرز چندساله شناسایی‌شده در مزارع گل‌گاوزبان شامل پنجه‌مرغی (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.)، پیچک‌مزرعه (*Convolvulus arvensis* L.)، قیاق (*Sorghum halepense* L.)، ترشک (*Rumex crispus* L.)، شیر تیغک (*Sonchus oleraceus* L.) و پنیرک (*Malva sylvestris* L.) بودند. بیشتر گیاهان چندساله روش‌های تکثیر غیرجنسی دارند و تولید بذر پایینی دارند، امّا با گذشت زمان و تولید همه‌ساله بذر می‌توانند بانک بذر بسیار بزرگی را در خاک تشکیل دهند. در مورد گونه‌های چندساله از قبیل قیاق و پیچک‌مزرعه، چندساله بودن آن‌ها و مقاومت آن‌ها در مقابل عملیات کنترل شیمیایی و نیز نقش عملیات شخم در افزایش پراکنش آن‌ها از طریق اندام‌های رویشی می‌تواند در گسترش و غالبیت آن‌ها مؤثر باشد (Pouresmaili *et al*., 2022).



شکل ۵– فراوانی علف‌های هرز موجود در مزارع گل‌گاوزبان براساس چرخه زندگی (یک‌ساله و چندساله)

Figure 5- Frequency of weeds in the fields of *Echium amoenum* according to life cycle (annual and perennial)



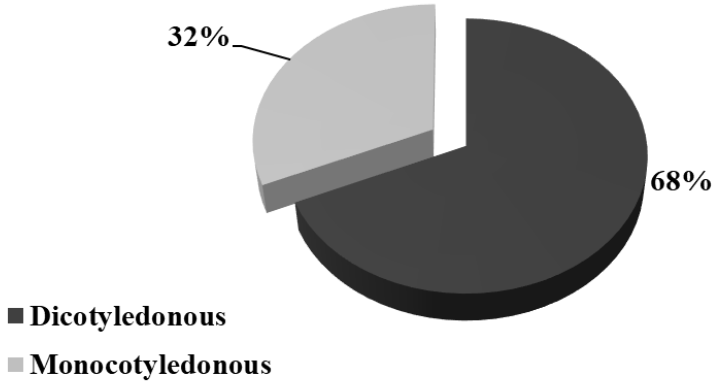
شکل ٦- فراوانی علف‌های هرز موجود در مزارع گل‌گاوزبان براساس مسیر فتوسنتزی (C_3 و C_4)

Figure 6- Frequency of weeds in *Echium amoenum* fields based on photosynthetic pathway (C_3 and C_4)

در میان علف‌های هرز شناسایی‌شده، ۸۹ درصد گونه‌های علف‌هرز دارای مسیر فتوسنتزی C_3 و ۱۱ درصد گونه‌های علف‌هرز مسیر فتوسنتزی C_4 داشتند (شکل ۶)، به‌طوری‌که دو گونه علف‌هرز پنجه‌مرغی و قیاق مسیر فتوسنتزی C_4 داشتند و باقی گونه‌های گیاهی مسیر فتوسنتزی C_3 داشتند.

با توجه به شکل ۷، ۶۸ درصد گونه‌های علف‌هرز دولپه‌ای و ۳۲ درصد تک‌لپه‌ای بودند. در تمام مزارع مورد مطالعه، گونه علف‌های هرز دولپه‌ای بر تک‌لپه‌ای‌ها غالبیت داشتند. تمام علف‌های هرز تک‌لپه‌ای نیز متعلق به خانواده گندمیان بودند (جدول ۱).

در میان تک‌لپه‌ای‌ها فقط خانواده گندمیان با شش گونه گیاهی مشاهده شد. به‌طور کلی، دولپه‌ای‌ها نسبت به تک‌لپه‌ای‌ها، گستردگی و تنوع بیشتری دارند، زیرا جنین گیاه، ذخایر غذایی بیشتری در اختیار داشته و وقتی شروع به رشد ریشه‌های خود می‌کند، تفاوت ساختاری دیگری رخ می‌دهد. گیاهان دولپه "ریشه‌های راست" دارند، این ریشه‌ها در مقایسه با ساختارهای ریشه افشان تک‌لپه‌ای‌ها، عمیق‌تر و ضخیم‌تر هستند و سطح عمیقی از خاک را اشغال می‌کنند. در نتیجه دولپه‌ای‌ها ذخایر غذایی بیشتری به‌دست آورده و در نهایت، گسترش بیشتری پیدا می‌کنند (Ahmadi & Mousavi, 2016). به‌طور کلی، گونه‌های دولپه‌ای تعداد بیشتری از گونه‌ها را در مزارع مورد بررسی گل‌گاوزبان به خود اختصاص دادند که این می‌تواند ناشی از نوع مدیریت گیاه گل‌گاوزبان و سازگاری علف‌های هرز دولپه‌ای با گل‌گاوزبان که خود از دولپه‌ای‌ها است، باشد. لذا، می‌توان استنباط نمود که علف‌های هرز با فرم رویش دولپه نقش بیشتری در تنوع زیستی مناطق مورد بررسی دارند.



شکل ۷- فراوانی علف‌های هرز موجود در مزارع گل‌گاوزبان براساس فرم رویشی (تک‌لپه و دولپه)

Figure 7- Frequency of weeds in the fields of *Echium amoenum* according to vegetative form (monocotyledons and dicotyledonous)

با توجه به جدول ۱، در بین گونه‌های علف‌هرز شناسایی‌شده در مزارع گل‌گاوزبان، ۱۳ گونه پهن‌برگ و شش گونه باریک‌برگ

مشاهده شد. همه گونه‌های باریک‌برگ شناسایی‌شده (پنجه‌مرغی، قیاق، جو موشی، چچم، یولاف وحشی و چمن یک‌ساله) متعلق به خانواده گندمیان بودند. بالا بودن انتشار علف‌های هرز پهن‌برگ نسبت به علف‌های باریک‌برگ در مزارع گل‌گاوزبان، احتمالاً به این دلیل است که زمان جوانه‌زنی و سبز شدن اکثر علف‌های هرز پهن‌برگ از اواخر زمستان تا اوایل بهار بوده که در این مدت علف‌های هرز کمتر مدیریت می‌شود. در مورد علف‌های هرز پهن‌برگ با توجه به شرایط و زمان سبز شدن آن‌ها، علف‌های هرز پهن‌برگ نظیر خردل وحشی در اواخر پاییز و اوایل زمستان و علف‌های هرز بهاره نظیر هفت‌بند و پیچک‌مزرعه که در انتهای زمستان و اوایل بهار می‌رویند، دلیلی برای انتشار و حضور آن‌ها در مزارع گل‌گاوزبان است.

عوامل مختلف اکولوژی (آب‌وهوا، خاک و توپوگرافی) در شکل‌گیری، استقرار، پراکندگی و ثبات جوامع گیاهی تأثیر بسیاری دارند و اثرات متقابل عوامل مذکور سبب ایجاد تغییرات محیطی متفاوت می‌شود که بر روند استقرار و پراکنش گونه‌های گیاهی تأثیر بسزایی دارد. بررسی‌های بوم‌شناختی فلور علف‌های هرز (ارزیابی تراکم و پراکنش علف‌های هرز) از موارد اصلی و ضروری در مطالعات بوم‌نظام‌های زراعی محسوب می‌شود (Veisi *et al.* 2013). بررسی‌های دوره‌ای علف‌های هرز نه‌تنها برای فهرست نمودن علف‌های هرز موجود و خسارت آن‌ها ضروری است، بلکه در پیش‌بینی مشکلات بعدی ناشی از آن‌ها نیز مفید است. در بررسی جمعیت علف‌های هرز مزارع زعفران شهرستان آزادشهر، ۴۲ گونه علف‌هرز از ۱۲ خانواده گیاهی شناسایی شد که خانواده کاسنی با دارا بودن ۱۱ گونه از بیشترین تعداد گونه گیاهی برخوردار بودند (Khormali *et al.*, 2019). در این مطالعه، ۷۷/۷۷ درصد گونه‌ها پهن‌برگ بودند و ۹۰/۷۴ درصد دارای مسیر فتوسنتزی از نوع C_3 بودند. نتایج پژوهشی نشان داد که ۱۶ گونه علف‌هرز (متعلق به ۱۳ خانواده) در مزارع سویا شهرستان کلاله شناسایی شد که مهم‌ترین آن‌ها اویارسلام (*Cyperus rotundus* L.)، قیاق، نیلوفر وحشی (*Ipomoea purpurea* (L.) Roth)، خربزه وحشی (*Cucumis melo* L.) و کنجد شیطانی بودند (Sohrabirad *et al.*, 2017). همچنین، علف‌های هرز باریک‌برگ غالب مزارع دیم استان گلستان یولاف وحشی (*Avena ludoviciana* Durieu.) و جودره (*Hordeum spontaaneum*) گزارش شد و در بررسی تنوع گیاهان هرز مزارع جو در شهرستان بندر ترکمن، تعداد ۲۳ گونه گیاه هرز متعلق به ۱۱ خانواده گیاهی را شناسایی کردند که بیشترین گونه‌های گیاهان هرز به خانواده گندمیان تعلق داشت و مهم‌ترین علف‌های هرز این مزارع چچم (*Lolium rigidum* L.)، علف خونی (*Phalaris* sp.)، شبدر شاه افسر (*Melilotus officinalis*) و علف هفت‌بند (*Polygonum aviculare* L.) بودند (Niazmoradi *et al.*, 2023). در بررسی فلور علف‌های هرز مزارع گندم استان گلستان، ۵۱ گونه علف‌هرز متعلق به ۲۰ خانواده گیاهی شناسایی گردید. بیشترین تعداد گونه به‌ترتیب در خانواده‌های Poaceae (۱۴ گونه)، Fabaceae (هفت گونه) و Asteraceae (شش گونه) مشاهده شد و ۷۸/۴۳ درصد گیاهان یک‌ساله، ۱۹/۶۰ درصد نیز دوساله بودند، یولاف وحشی مهم‌ترین علف‌هرز باریک‌برگ و خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) مهم‌ترین علف‌هرز پهن‌برگ بود (Younesabadi *et al.*, 2018).

فراوانی و فراوانی نسبی

در طبقه‌بندی فراوانی و فراوانی نسبی علف‌های هرز، تعداد ۱۸ گونه علف‌هرز دارای فراوانی ۱۰۰ درصد و فراوانی نسبی ۵/۴۷ درصد در مزارع گل‌گاوزبان مورد بررسی بودند. علف‌هرز شقایق وحشی (*Papaver rhoeas* L.) با فراوانی ۲۵ درصد و فراوانی نسبی ۱/۳۶ درصد کمترین مقدار را داشت (جدول ۲). مقادیر بالای فراوانی برای گونه‌ها نمایان‌گر تناسب بالای آن‌ها با شرایط اقلیمی و خاک می‌باشد. همچنین تفاوت در مدیریت خاک‌ورزی، مصرف نهاده‌های شیمیایی و یا آلی، تک‌کشتی و یا عدم رعایت تناوب زراعی، روش خاک‌ورزی و روش مهار علف‌های هرز منجر به تغییر در تراکم و فراوانی علف‌های هرز در مناطق مورد بررسی و در نتیجه تغییر در تنوع زیستی خواهد شد. در مزارع کلزای شهرستان گرگان، از بین ۳۵ گونه علف‌هرز به‌ترتیب، علف خونی (*Phalaris* sp.)، یونجه زرد (*Melilotus officinalis* L.)، شلمی (*Rapistrum rugosum* L.)، یولاف وحشی و خردل وحشی دارای بیشترین میزان فراوانی و فراوانی نسبی بودند (Janati Attai *et al.*, 2018).

تراکم و تراکم نسبی

بیشترین سطح میانگین تراکم علف‌هرز مربوط به علف‌های هرز پنجه‌مرغی، پیچک‌مزرعه و سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) به‌ترتیب به‌مقدار ۲/۴۰، ۲/۳۶ و ۲/۳۰ بوته در مترمربع بود. گونه‌های علف‌های هرز قیاق، ترشک، گندمک (*Stellaria media* L.)، جو موشی (*Hordeum murinum* L.) و هفت‌بند به‌ترتیب با تراکم‌های ۱/۸۵، ۱/۶۴، ۱/۴۵، ۱/۳۷ و ۱/۰۰ بوته در مترمربع در رتبه بعدی از نظر تراکم بودند. تعداد ۱۱ گونه علف‌های هرز دارای تراکم کمتر از یک بوته در مترمربع بودند (جدول ۲). براساس نتایج به‌دست‌آمده، علف‌های هرز خانواده گندمیان با میانگین تراکم ۸/۳۱۴ بوته در مترمربع بیشترین تراکم را داشتند. از بین ۱۹ گونه گیاهی شناسایی‌شده، بیشترین تراکم نسبی مربوط به پنجه‌مرغی و پیچک‌مزرعه به‌ترتیب به‌مقدار ۱۰/۳۹ و ۱۰/۲۵ درصد بود. همچنین، کمترین تراکم (۰/۲۱ بوته در مترمربع) و تراکم نسبی (۰/۹۳ درصد) متعلق به شقایق وحشی بود.

با توجه به جدول ۲، علف‌های هرز پنجه‌مرغی، پیچک‌مزرعه و

سلمه‌تره تراکم بیش از دو بوته در مترمربع را داشتند. در این بین، ۱۱ گونه علف‌هرز با تراکم کمتر از یک بوته در مترمربع وجود داشت (در اکثر موارد این علف‌های هرز، کمترین فراوانی و شاخص غالبیت را نیز داشتند) که هرچند از نظر کنترل و خسارت اهمیت کمتری داشته باشند، امّا با توجه به اهمیت بانک بذر و احتمال بروز مشکلات آتی و غالبیت آن‌ها در سال‌های بعدی، اقدامات پیشگیرانه و کنترلی در خصوص این علف‌های هرز نیز پیشنهاد می‌شود. اصولاً بعضی از علف‌های هرز ممکن است در تراکم‌های پایین تأثیری بر گیاه زراعی نداشته باشند، امّا بذر تولیدی بسیار زیاد باعث غنی شدن بانک بذر خاک خواهد شد (Einollahi *et al.*, 2017). گیاهان هرز با تراکم بالا می‌توانند فضاهای موجود را اشغال نمایند و باعث ایجاد رقابت با آب، مواد غذایی و دریافت نور و کاهش رشد گیاه اصلی شوند. در شهرستان کردکوی، علف‌های هرز چمن یک‌ساله و گندمک دارای بیشترین فراوانی نسبی و تراکم در مزارع گندم بودند (Younesabadi *et al.*, 2018).

یکنواختی و یکنواختی نسبی گونه‌های علف‌هرز

در بین ۱۹ علف‌هرز در منطقه مورد مطالعه، گونه علف‌های هرز پنجه‌مرغی، پیچک‌مزرعه، سلمه‌تره، قیاق، ترشک و گندمک بیشترین درصد یکنواختی علف‌هرز (۹۵-۹۰ درصد) را داشتند. علف‌های هرز جوموشی، هفت بند، چچم و یولاف وحشی به‌ترتیب با یکنواختی ۸۵/۵۵، ۸۲/۷۷، ۸۰/۵۵ و ۸۰/۰۰ درصدی در رتبه بعدی قرار داشتند. تعداد هشت گونه گیاهی شامل گند جارو، سیزاب، گاوزبان وحشی، خردل وحشی، شیر تیغک، چمن یک‌ساله، پنیرک و کنجد شیطانی بین ۶۷/۱۷ تا ۷۷/۲۲ درصد یکنواختی داشتند. کمترین درصد یکنواختی مربوط به علف‌هرز شقایق وحشی به‌مقدار ۱۸/۳۳ درصد بود. بیشترین یکنواختی نسبی به پنجه‌مرغی اختصاص داشت (جدول ۲).

بالاترین درصد یکنواختی نسبی با ۶/۶۲ درصد را علف‌هرز پنجه‌مرغی دارا بود و پس از این علف‌هرز، علف‌های هرز پیچک‌مزرعه، سلمه‌تره و قیاق و ترشک بیشترین یکنواختی نسبی را داشتند. در بررسی جمعیت گیاهان هرز مزارع کلزا در گرگان، نتایج نشان داد که بیشترین یکنواختی گونه‌ها مربوط به علف‌هرز گندمک (۷/۲۷) بود و علف‌هرز هفت‌بند با مقدار ۲/۰۳ از یکنواختی کمتری برخوردار بود (Shahi Moradi *et al.*, 2022).

غالبیت نسبی گونه‌های علف‌هرز

در این تحقیق، علف‌های هرز پنجه‌مرغی، پیچک‌مزرعه و سلمه‌تره بیشترین غالبیت نسبی را در بین ۱۹ گونه علف‌هرز داشتند، این علف‌های هرز به‌ترتیب دارای ۲۲/۴۹، ۲۲/۳۱ و ۲۱/۹۱ درصد غالبیت نسبی بودند. علف‌های هرز قیاق، جو موشی، ترشک و گندمک به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. کمترین غالبیت نسبی به‌مقدار ۳/۵۷ درصد متعلق به شقایق وحشی بود (جدول ۲). نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین غالبیت نسبی علف‌های هرز مزارع گل‌گاوزبان مربوط به علف‌های هرز پنجه‌رغی و پیچک‌مزرعه بود. یکی از دلایل این امر در مطالعه حاضر را می‌توان به مدیریت ضعیف علف‌های هرز چندساله در این مناطق نسبت داد. به نظر می‌رسد که عملیات مهار علف‌های هرز در این مزارع نتوانست علف‌های هرز سمجی مانند پیچک صحرایی و پنجه‌مرغی را مهار کند. با توجه به اینکه شاخص غالبیت برآیندی از سه شاخص فراوانی، یکنواختی و تراکم گونه است، در ارزیابی فلور علف‌های هرز اهمیت بیشتری دارد، لذا بر این اساس می‌توان علف‌های هرز پنجه‌مرغی، پیچک‌مزرعه و سلمه‌تره را مهم‌ترین علف‌های هرز مزارع گل‌گاوزبان معرفی نمود. ازاین‌رو مهار این گونه‌های هرز باید در اولویت برنامه‌های مدیریتی در مزارع گل‌گاوزبان آزادشهر باشد. در مطالعه پراکنش گونه‌های غالب علف‌های هرز در مزارع گندم شهرستان گرگان، گونه‌های پهن‌برگ غالب مزارع گندم شهرستان گرگان را پیچک‌مزرعه، هفت‌بند، سیزاب، گندمک و خردل وحشی به‌ترتیب با درصد غالبیت نسبی ۲۷/۴۷، ۲۷/۳۵، ۲۶/۳۷، ۲۰/۷۶، ۱۱/۶۶ و باریک‌برگ‌های غالب مزارع گندم این منطقه را یولاف وحشی، چچم و علف‌خونی با درصد غالبیت نسبی به‌ترتیب ۱۳/۷۱، ۱۱/۵۰ و ۸/۹۵ گزارش کردند (Ghasemi *et al.*, 2011).

تقسیم‌بندی علف‌های هرز براساس تجزیه خوشه‌ای

خوشه‌بندی گونه‌های علف‌هرز شناسایی‌شده براساس میزان شباهت در فراوانی، تراکم و یکنواختی نشان داد که این ۱۹ گونه در سه گروه قرار گرفتند. گونه علف‌هرز شقایق وحشی به‌تنهایی در یک گروه و پایین دندروگرام قرار گرفت. در گروه دوم، ۱۱ گونه علف‌هرز قرار گرفتند که این گروه به دو زیرگروه تقسیم شد. علف‌های هرز پنجه‌مرغی، پیچک‌مزرعه، قیاق، ترشک، سلمه‌تره در یک زیرگروه، علف‌های هرز گندمک، جو موشی، هفت‌بند، چچم، یولاف وحشی و گند جارو در زیرگروه دوم قرار گرفتند. در مجموع، علف‌های هرز این دو گروه از مهم‌ترین علف‌های هرز مزارع گل‌گاوزبان بودند و به‌ترتیب اهمیت در پایین‌ترین قسمت دندروگرام قرار گرفتند. هفت گونه علف‌هرز شامل خردل وحشی، شیر تیغک، گاوزبان وحشی، سیزاب، کنجد شیطانی، پنیرک، چمن یک‌ساله در گروه سوم قرار گرفتند که از نظر اهمیت در حد واسط گروه دوم قرار گرفتند (شکل ۸).

جدول ۲- شاخص‌های گونه‌های علف‌های هرز موجود در مزارع گل‌گاوزبان در شهرستان آزادشهر

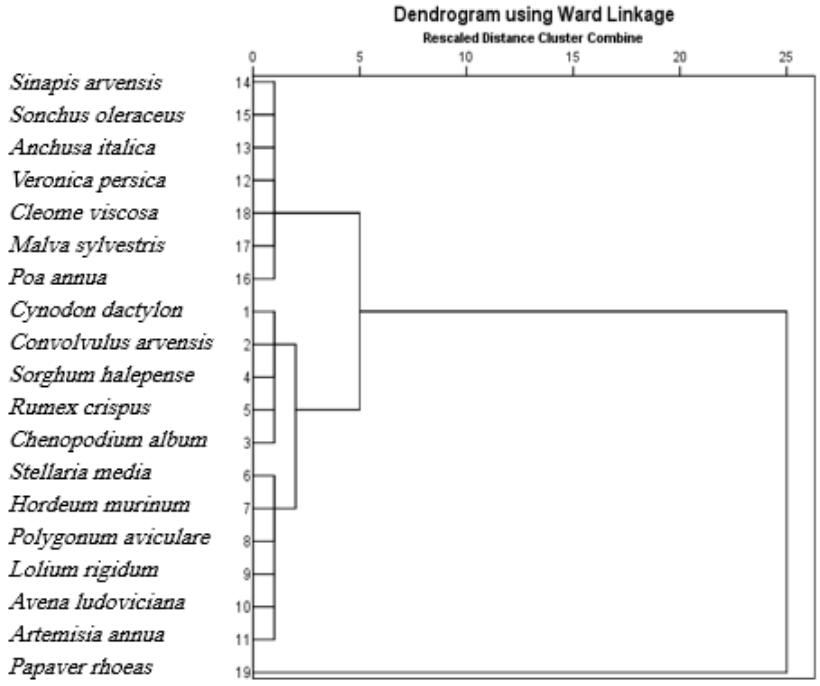
Table 2- Indicators of weed species in Echium amoenum fields in Azadshahr

Row	Species	شاخص Index						
		Frequency (%)	Relative frequency (%)	Average density (plant per m^2)	Relative density (%)	Uniformity (%)	Relative uniformity	Relative dominance
1	*Cynodon dactylon* (L.) Pers.	100	5.47	2.40	10.39	95.55	6.62	22.49
2	*Convolvulus arvensis* L.	100	5.47	2.36	10.25	95.00	6.58	22.31
3	*Chenopodium album* L.	100	5.47	2.30	9.96	93.22	6.46	21.91
4	*Sorghum halepense* L.	100	5.47	1.85	8.03	92.22	6.39	19.90
5	*Rumex crispus* L.	100	5.47	1.64	7.12	92.22	6.31	17.90
6	*Stellaria media* L.	100	5.47	1.45	6.30	91.11	5.91	18.53
7	*Hordeum murinum* L.	100	5.47	1.37	6.11	85.55	5.73	17.52
8	*Polygonum aviculare* L.	100	5.47	1.00	4.35	82.77	5.58	15.41
9	*Lolium rigidum* L.	100	5.47	0.97	4.21	80.55	5.54	15.23
10	*Avena ludoviciana* Durieu.	100	5.47	0.92	4.05	80.00	5.35	14.85
11	*Artemisia annua* L.	100	5.47	0.87	4.01	77.22	5.27	14.55
12	*Veronica persica*	100	5.47	0.86	3.80	76.11	4.69	13.90
13	*Anchusa italica Retz.*	100	5.47	0.86	3.73	67.77	4.81	14.02
14	*Sinapis arvensis* L.	100	5.47	0.85	3.70	69.44	4.81	13.99
15	*Sonchus oleraceus* L.	100	5.47	0.81	3.51	69.44	4.82	13.80
16	*Poa annua* Cham. & Schltdl.	100	5.47	0.78	3.3	69.44	4.46	13.33
17	*Malva sylvestris* L.	100	5.47	0.74	3.22	66.66	4.62	13.32
18	*Cleome viscosa* L.	100	5.47	0.73	3.17	67.77	4.69	13.35
19	*Papaver rhoeas* L.	25	1.36	0.21	0.93	18.33	1.27	3.57

نقشه پراکنش علف‌های هرز

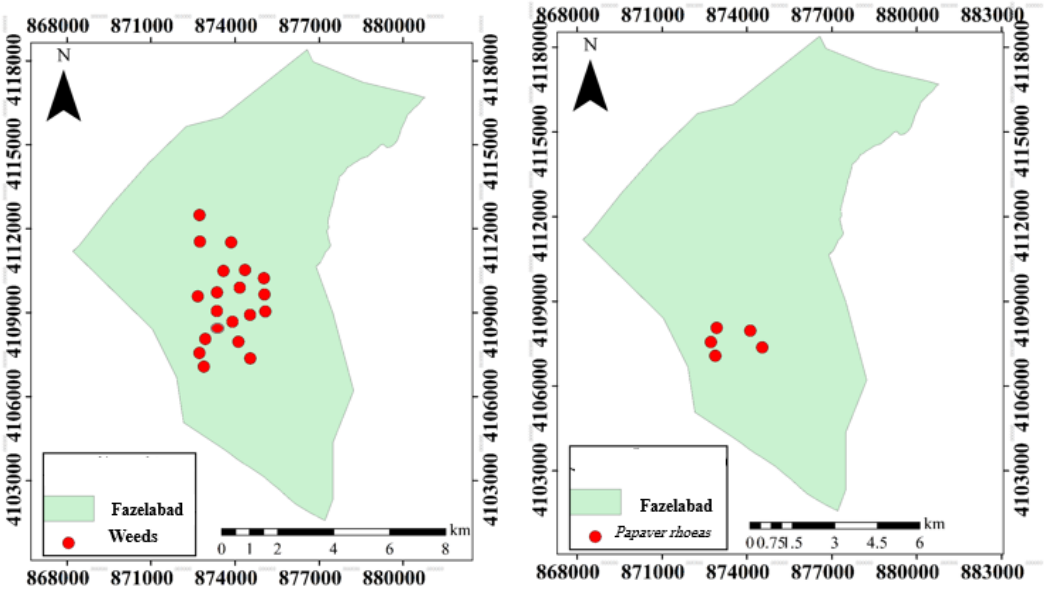
در این پژوهش، علف‌های هرز گندمک، سیزاب، خردل وحشی، پنیرک، یولاف وحشی، چمن یک‌ساله، جو موشی، قیاق، سلمه‌تره، هفت‌بند، ترشک، گاوزبان وحشی، کنجد شیطانی، پنجه‌مرغی، گند جارو و پیچک‌مزرعه ۱۰۰ درصد فراوانی در مزارع مورد مطالعه داشتند و در تمام مزارع مورد مطالعه، بخش فاضل‌آباد شهرستان آزادشهر، پراکنده هستند. با توجه به اینکه فراوانی تمام این علف‌های هرز ۱۰۰ درصد بود و در تمام مزارع مورد مطالعه مشاهده شدند، نقشه پراکنش آن‌ها به‌صورت کلی در شکل A۹ نشان داده شده است.

تقسیم‌بندی گونه‌های هرز شناسایی‌شده در مزارع گل‌گاوزبان مورد مطالعه نشان داد که علف‌های هرز پنجه‌مرغی، پیچک‌مزرعه، قیاق، ترشک و سلمه‌تره در یک زیرگروه قرار گرفتند (شکل ۸). از نظر شاخص غالبیت، این‌گونه‌ها مهم‌ترین علف‌های هرز مزارع گل‌گاوزبان می‌باشند (جدول ۲). علف‌هرز پیچک‌مزرعه، یکی از ۱۰ علف‌هرز مسئله‌ساز دنیا و بومی اروپاست که از آنجا به سایر مناطق وارد شده است. این علف‌هرز، کلیه کشورهای مناطق معتدله و حاره را دربرمی‌گیرد. علف‌هرز پیچک‌مزرعه از جمله علف‌های هرزی هستند که تمایل به رشد در مناطق با شرایط آب‌وهوایی مرطوب و نیمه مرطوب با خاک‌های حاصلخیز را دارند (Zeid Ali *et al*., 2010). پیچک‌مزرعه توانایی سازگاری با شرایط نامساعد محیطی را دارد و برای مقابله با ناهمگونی محیط زیست شکل‌پذیری فنوتیپی بالایی دارد. از بین بردن پیچک‌مزرعه به‌خاطر وجود ریشه‌های عمیق با انشعابات زیاد، استولون و بذرهای با ماندگاری بالا (حفظ قوه نامیه تا ۵۰ سال) بسیار مشکل است (Alikhani *et al*., 2015). همچنین وجین کردن این علف‌هرز با توجه به گسترش عمیق ریشه در خاک مشکل بوده و حتی امکان دارد، وجین کردن سبب توسعه پراکنش آن‌ها گردد. پنجه‌مرغی گیاهی چندساله و گرمادوست می‌باشد که به‌وسیله بذر، استولون و ریزوم ازدیاد می‌یابد. این گیاه به شرایط قلیایی متحمل است و در طیف وسیعی از خاک‌ها به‌خوبی رشد می‌کند. توانایی این گیاه برای ازدیاد رویشی علاوه‌بر ازدیاد زایشی، گسترش سریع آن را در مدت کوتاهی پس از استقرار تضمین و ریشه‌کن کردن آن را در عمل دشوار می‌کند (Mamnoei *et al*., 2013).



شکل ۸– نمودار حاصل از تجزیه خوشه‌ای ۱۹ گونه علف‌هرز شناسایی‌شده در سطح مزارع گل‌گاوزبان مورد مطالعه

Figure 8- The graph obtained from the cluster analysis of 19 weed species identified on the *Echium amoenum* field



شکل ۹– نقشه پراکنش ۱۸ گونه علف‌هرز شناسایی‌شده (A) و علف‌هرز شقایق وحشی (B) در مزارع مورد مطالعه گل گاوزبان

Figure 9- Distribution map of 18 identified weed species (A) *and Papaver rhoeas* (B) in the studied fields of *Echium amoenum*

گونه قیاق از باریک‌برگ‌های چندساله و علف‌هرزی دردسرساز در نقاط مختلف دنیا محسوب می‌شود. توزیع و پراکنش وسیع قیاق، به‌علت توانایی تکثیر فوق‌العاده زیاد توسط بذر و ریزوم و سازگاری زیاد آن با شرایط متفاوت محیطی است. یک بوته قیاق می‌تواند بیش

از ۲۸۰۰۰ بذر و ۹۰-۴۰ متر ریزوم تولید کند (Mojab *et al.*, 2017). قطع مکرر اندام‌های هوایی و شخم زدن جهت خرد کردن و انتقال ریزوم‌ها به عمق خاک، هنگامی‌که محصول در زمین کشت نشده باشد و کابرد علف‌کش‌های مناسب پس از رویش در مزرعه، از جمله راه‌های مهار قیاق محسوب می‌شود. مطالعات نشان داده است که کنترل تلفیقی، شامل شیمیایی و زراعی، روش مؤثر و مقرون‌به‌صرفه‌تری محسوب می‌شود (Einollahi *et al.* 2017).

ترشک گیاهی از خانواده علف هفت‌بند، بومی اروپا و غرب آسیا می‌باشد و این گیاه خاص مناطق معتدله و نسبتاً مرطوب و مرطوب است. موفقیت این گونه به‌عنوان یک علف‌هرز به‌دلیل تولید بذر بالای آن پس از گل‌دهی، ظرفیت گل‌دهی چندین بار در سال، توانایی آن در ایجاد سریع از بذر و سرعت جوانه‌زنی بالای آن در شرایط محیطی بهینه برای بقاء گیاهچه است (Carlin *et al.*, 2023).

سلمه‌تره گیاهی یک‌ساله است که به‌وسیله بذر تکثیر می‌شود و بذر آن در بهار جوانه می‌زند، به‌دلیل اینکه بذرهای آن بیشتر در پای بوته مادری ریخته می‌شود، عمده سازوکار پراکنش بذرهای آن، انتقال توسط آب و ادوات کشاورزی است. این علف‌هرز به‌جهت داشتن مشخصاتی چون سرعت رشد بالا، رقابت مؤثر برای مواد غذایی، تولید بذر زیاد و جوانه‌زنی تحت دامنه وسیعی از شرایط محیطی سبب کاهش عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Mofidi *et al.*, 2015).

در این پژوهش، گونه‌های گندمک، جو موشی، هفت‌بند، چچم، یولاف وحشی و گند جارو در یک گروه قرار گرفتند. گندمک گیاهی هرز و یک‌ساله می‌باشد که در آمریکا، آسیا و اروپا گسترش یافته است که بیشتر در پاییز، زمستان و اوایل بهار یافت می‌شود. در طیف وسیعی از خاک‌ها رشد می‌کند. در خاک‌هایی با سطوح نیتروژن بالا و pH خنثی (حدود هفت) رشد می‌کند، امّا می‌تواند در طیف وسیعی از pH خاک رشد کند (Khorramdel *et al.*, 2016).

جو موشی علف‌هرزی یک‌ساله زمستانه است که در زمین‌های غیرزراعی و زراعی می‌روید. محدوده بومی آن از اروپای مرکزی، جنوب تا شمال آفریقا و شرق تا غرب آسیا و قفقاز گسترش یافته است. این گونه توسط بذر تکثیر می‌شود (Grundy *et al.*, 2002). هفت‌بند یک علف‌هرز یک‌ساله تابستانه است که خواب بذر این گونه در دمای پایین زمستان شکسته می‌شود و در اواخر زمستان و اوایل بهار در مزارع ظاهر می‌شوند. این علف‌هرز بومی اروپا است، امّا در حال حاضر تقریباً در تمام مناطق معتدل جهان و بیشتر به‌صورت محلی، در آب‌وهوای گرم‌تر گسترش یافته است (Bagheri *et al.*, 2013). همچنین، گونه یولاف وحشی زمستانه از پراکنش نسبتاً یکنواختی در کل استان گلستان برخوردار بوده و به‌عنوان مهم‌ترین گیاه هرز باریک‌برگ مزارع گندم این استان به‌شمار می‌آید (ZeidAli *et al.*, 2010). گونه هرز چچم نیز در اراضی زیر کشت غلات و سایر محصولات، زمین‌های قابل چرا یا مراتع دائمی و اراضی بایر می‌روید (Zand *et al.*, 2008). گند جارو، گیاهی است یک‌ساله که به‌طور طبیعی بومی مناطق شمالی چین می‌باشد. یکی از دلایل گسترش سریع و موفقیت این علف‌هرز، توانایی رشد و زندگی کردن آن در انواع مختلف خاک‌ها می‌باشد. به‌طور کلی، زمانی‌که گند جارو در خاک‌های خشک ضعیف رشد می‌کند، دارای مقاومت بیشتر و عمری طولانی‌تر بوده و نیز عطر زیادتری تولید می‌کند (Janati Attai *et al.*, 2018).

با توجه به نتایج گونه‌های خردل وحشی، شیر تیغک، گاوزبان وحشی، سیزاب، کنجد شیطانی، پنیرک و چمن یک‌ساله در یک گروه قرار گرفتند. این گروه از علف‌های هرز، تراکم کمتر از یک بوته در مترمربع در مزارع گل‌گاوزبان مورد مطالعه داشتند. خردل وحشی گیاهی یک‌ساله از تیره شب‌بو است. این‌گونه یکی از مهم‌ترین و شایع‌ترین گیاهان هرز مزارع زیر کشت گیاهان سرمادوست در استان گلستان محسوب می‌شود (Soltani *et al.*, 2016). شیر تیغک گیاهی علفی و یک‌ساله می‌باشد که به‌وسیله بذر تکثیر می‌یابد و هر گیاه قادر است بیش از ۸۰۰۰ بذر تولید کند. این علف‌هرز اغلب در زمین‌های کشاورزی، حاشیه مزارع، پارک‌ها، زمین‌های بایر و مناطق متروکه یافت می‌شود و مناطق مرطوب با خاک لومی عمیق، سنگین و رسی و دارای مواد غذایی و هوموس فراوان را ترجیح می‌دهد (Abin & Eslami, 2009). گونه گاوزبان وحشی بومی مناطق مدیترانه، ایرانی تورانی است و پراکنش وسیعی در سطح مزارع مختلف داشته و بیشتر در حاشیه جاده‌ها و نهرها یافت می‌شود. علف‌هرز سیزاب ایرانی در منطقه گلستان در اقلیم مرطوب و نیمه‌مرطوب فراوانی بالایی دارند. سیزاب در طول یک فصل زراعی ممکن است دو بار تولید نسل داشته باشد و رشد عادی آن در شرایط سایه به‌مقدار شدیدی افت پیدا می‌کند. بهترین روش برای مهار این علف‌هرز، شخم سطحی است (Janati Attai *et al.*, 2018). چمن یک‌ساله علف‌هرزی است که در محدوده کشورهای دارای آب‌وهوای معتدل تا سردترین مناطق استوایی گسترش یافته است و یکی از مهم‌ترین علف‌های هرز چمنی در تمام محصولات می‌باشد. شرایط خشکی، رشد و ظهور بذور این علف‌هرز را به تعویق می‌اندازد، همچنین این گیاه خاک‌های شنی را برای رشد بیشتر ترجیح می‌دهد (Janati attai *et al.*, 2018). در این مطالعه، علف‌هرز کنجد شیطانی در تمام مزارع مورد مطالعه حضور داشت و تراکم آن ۰/۷۳ به‌دست آمد. در پژوهشی، امکان حضور گونه کنجد شیطانی را در اراضی زراعی استان گلستان مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که محدوده وسیعی از اراضی زراعی این استان، مستعد تهاجم به‌وسیله این گونه علف‌هرز است. حضور این گیاه می‌تواند پیامدهای منفی زیادی در تنوع زیستی منطقه به‌دنبال داشته باشد و لازم است به مدیریت این گیاهان در منطقه و جلوگیری از دامنه تهاجم آن به مناطق مستعد و حساس بیشتر توجه نمود، زیرا برنامه‌های مدیریتی کشاورزان در اراضی زراعی

و همچنین عوامل محیطی، نقش قابل‌توجهی در تغییر فلور علف‌های هرز و سرعت ظهور آن دارد (Siahmarguee *et al*., 2022).

با توجه به شکل ۹B، علف‌هرز شقایق وحشی فقط دارای پراکنش در مزارع جنوب منطقه مورد مطالعه بود و در سایر مزارع مورد مطالعه مشاهده نشد. این گونه علف‌هرز بومی اروپا و غرب آسیا بوده و در حال حاضر در ایران در استان‌های شمالی و شمال غرب کشور پراکنش دارند (Rastgar, 2007). مطالعه فنولوژی این گونه نشان داد که این گیاه در اوایل پاییز جوانه می‌زند و در بهار گل‌دهی این گیاه شروع می‌شود، این گونه دارای پتانسیل باروری بالایی می‌باشد و بذر آن می‌تواند به‌مدت پنج سال در خاک باقی بماند و خاصیت جوانه‌زنی داشته باشد (Golmohammadzadeh *et al*., 2022). ازآنجایی‌که این علف‌هرز بیشتر در زمین‌های خشک و بایر مشاهده می‌شود و خاک‌های لومی و حاصلخیز را ترجیح داده و معمولاً در زمین‌هایی با بافت سنگین و آهکی رشد می‌کنند، با توجه به هم‌جواری مزارع منطقه جنوب با محدوده کوهستانی، پراکنش این گیاه در منطقه جنوبی مورد مطالعه منطقی به نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، مشخص شد که در محدوده مورد مطالعه، ۱۹ گونه علف‌هرز متعلق به ۱۲ خانواده گیاهی حضور داشتند. بیشترین فراوانی گونه‌های هرز به‌مقدار ۳۱/۵۷ درصد مربوط به خانواده گندمیان بود. با توجه به نتایج، مقدار ۶۸ درصد گونه‌ها یک‌ساله و ۳۲ درصد چندساله، ۸۹ درصد C_3 و ۱۱ درصد C_4، ۶۸ درصد دولپه و ۳۲ درصد تک‌لپه‌ای بودند. بیشترین تراکم نسبی علف‌های هرز مربوط به گونه‌های پنجه‌مرغی و پیچک‌مزرعه بود. گونه‌های پنجه‌مرغی، پیچک‌مزرعه، قیاق، ترشک و سلمه‌تره بیشترین غالبیت نسبی را در مزارع گل‌گاوزبان داشتند. نقشه پراکنش علف‌های هرز نشان داد که ۱۸ گونه از علف‌های هرز شناسایی‌شده در تمام مزارع مورد مطالعه حضور داشتند. در مزارع مورد مطالعه علف‌های هرز شناسایی‌شده مشترک بودند و این نشان از انتقال بذور علف‌هرز بین مزارع می‌باشد. یکی از این دلایل انتقال بذور علف‌های هرز بین این مزارع، کم بودن فاصله بین مزارع بود. عوامل محیطی سبب می‌شوند گیاهانی که نیازهای بوم‌شناسی یکسانی دارند، در نواحی و مناطق نزدیک به هم از لحاظ شرایط آب‌وهوایی مشاهده شوند و تشکیل جوامع گیاهی با تشابه زیاد را بدهند. گیاهانی که به‌طور مکرر با همدیگر در مناطقی با ترکیب‌های مشابهی از رطوبت، نور، خاک، مواد غذایی و دیگر عوامل حضور می‌یابند، نیازهای اکولوژی با بردباری مشابهی دارند. از طرف دیگر، شیوه‌های کاربری و مدیریت علف‌های هرز نیز تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار دارد. ازآنجایی‌که علف‌های هرز ارتباط تنگاتنگی با نحوه مدیریت کشت در مزرعه دارند، تغییرات آب‌وهوایی تأثیر غیرمستقیمی بر پیدایش علف‌های هرز از طریق مدیریت محصول و استفاده از زمین دارد. در واقع، تشابه ساختاری و شکل زیستی گیاهان یک منطقه نشان‌دهنده سازگاری مشابه آن‌ها با شرایط زیستگاهی جهت بهره‌گیری از منابع محیطی موجود در آن زیستگاه است. ترکیب گونه‌ای جوامع علف‌های هرز تحت تأثیر تغییرات فصلی، نوع مدیریت مانند شیوه شخم، انتخاب گونه، روش مهار علف‌های هرز و روند تغذیه بوده که بر فرآیندهای کلونی طبیعی جوامع گیاهی و الگوهای تخریب آن‌ها مؤثر می‌باشد.

References

1. Abin, A.F., & Islami, S.V. (2009). The effect of mother plant environment on resistance to salinity and drought stress in the germination and greening stage of milkweed. *Journal of Weed Research*, *1*(2), 1-12. (in Persian with English abstract)
2. Ahmadi, A., Rashed Mohasel, M., Khazaei, H.R., Ghanbari, A., Ghorbani, R., & Mousavi, S. K. (2013). Weed floristic composition in lentil (*Lens culinaris*) farms in Khorramabad. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *11*(1), 45-53. (in Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v11i1.24060
3. Agricultural Jihad Statistics. (2022). Agricultural statistics of horticultural and greenhouse products, Ministry of Agricultural Jihad, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center. 401 p. (In Persian)
4. Ahmadi, A.R., & Mousavi, S.K. (2016). flora survey and preparation of weed distribution map of autumn chickpea fields in Khoramabad city. *Scientific-Research Journal of Plant Ecophysiology*, *9*, 177-190.
5. Alikhani, R., Saidipour, S., & Larzadeh, S. (2015). Investigating the effect of oxyfluorfen herbicide levels on the control of desert ivy (*Convolvulus arrensis*) and yield components of two varieties of mung bean (*Vigna radiate*) in Ahvaz weather conditions. *Journals of Plant Agronomy*, *6*(2), 41-48.
6. Amiri, M. (2014). A study of ecological characteristics and agronomic aspects of Iranian borage (*Echium amoenum*) cultivation in Mashhad conditions. *Pasture Research Journal*, *10*(3), 22-36.
7. Bagheri, A., Rashid Mozal, M.H., & Rezvani Moghadam, P. (2013). The effect of rotation on the spatial dynamics of the weeds of the Iranian chestnut (*Fumaria vaillantti*) and the Haftband grass (*Polygonum aviculare*). *Agricultural Research of Iran*, *12*(2), 178-188. (in Persian) https://doi.org/10.22067/gsc.v12i2.39143

8. Carlin, T.F., Bufford, J., & Godsoe, W. (2023). Global assessment of three *Rumex* species reveals inconsistent climatic niche shifts across multiple introduced ranges. *Biological Invasions, 25*, 79-96. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1358439/v1
9. Einollahi, F., Ovisi, M., & Rahimian Mashhadhi, H. (2017). Interaction between application time and application rate of Nicosulfuron herbicide in corn weed control. *Journal of Weed Science, 4*(1), 1-10. (in Persian) https://doi.org/10.22092/ijws.2018.1401.01
10. Elahi, S., Sadrabadi Haghighi, R., & Alimoradi, L. (2010). Evaluation of special, functional and structural diversity of weeds community in pistachios (*Pistacia vera* L.) orchards of Bardaskan county. *Journal of Agroecology, 2*(4), 574-586. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v2i4.8786
11. Franke, A.C., Lotzlap, L.A.P., Van Der Burg, W.J., & Van Overbeek, L. (2009). The role of arable weed seeds for agroecosystem functioning. *Weed Research, 49*, 131-141 https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2009.00692.x.
12. Ghasemi, M., Kamkar, B., Baghrani Tarshiz, N., & Abdi, A. (2011). Determining the dominant species of weeds in the wheat fields of Gorgan, Field (Qarasu) using geographic information system (GIS). The First Congress of Agricultural Sciences and New Technologies, 10-12 September. University of Zanjan, Iran.
13. Golmohammadzadeh, S., Zaefarian, F., & Rezvani, M. (2022). Investigation of growth characteristics and phenological stages of *Papaver dubium* L. and *Papaver rhoeas* L. species based on growth degree day. *Journal of Iranian Plant Protection Research, 36*(3), 339-351. (in Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/JPP.2021.72672.1052
14. Grundy, A.C., Phelps, K., Reader, R.J., & Burston, S. (2002). Modelling the germination of *Stellaria media* using the concept of hydrothermal time. *New Phytologist, 18*(3), 433-444. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00778.x
15. Izadi-Darbandi, E., Mirzaei, M., & Mehdikhani, H. (2018). Evaluation of flora and distribution of weeds in pistachio (*Pistacia vera*) orchards of Kerman city. *Journal of Iranian Plant Protection Research, 32*(1), 59-69. (in Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/jpp.v32i1.60787
16. Janati Attai, S., Pirdashti, H., Kazemi, H., & Yonesabadi, M. (2018). Preparation of the distribution map and the number of weeds of rapeseed fields in the city of Gurgan using the system Geographic Information (GIS). *Journal of Plant Protection, 31*(4), 605-616. https://doi.org/10.22067/jpp.v31i4.57968
17. Javadzadeh, S.M. (2018). Identifying and determining the density of important weeds of saffron (*Crocus sativus* L.) in Kainat. *Saffron Research Journal, 7*(1), 69-81. https://doi.org/10.22077/jsr.2018.1267.1064
18. Khormali, K., Gholamalipour Alamdari, E., Zaraie, M., Avarseji, Z., & Ahangar, L. (2019). Floristic study of weeds of saffron (*Crocus sativus* L.) fields in Cheshmesaran district in Azadshar. *Saffron Agriculture and Technology, 8*(2), 185-209. https://doi.org/10.22048/jsat.2019.183023.1347
19. Khorramdel, S., Qurbani, R., Asadi, Q.A., & Afrikan, R. (2016). The effect of non-chemical management methods on the population and diversity of weeds in the field of spinach (*Spinacia oleraceae* L.). *Agricultural Ecology, 3*(9), 638-651. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jag.v9i3.29239
20. Mamnoei, E., & Baghestani, M.A. (2013). Evaluating of some herbicides to control bermudagrass (*Cynodon dactylon*) and field bindweed (*Convolvulus arvensis*) in established alfalfa (*Medicago sativa*). *Iranian Journal of Weed Science, 9*(2), 201-211. (in Persian with English abstract)
21. Mofidi, A., Ramezani, M.K., Dayant, M., Mantarez, M., & Engenji, J. (2015). Investigating the history of application on the efficacy of metribuzin herbicide in controlling *Chenopodium album* in different soils. *Iranian Plant Protection Researches, 30*(1), 134-142.

Mojab, M., Hosseini, M., & Karimian Klishadrokhi, M. (2017). Germination ecology of johnsongrass seeds (*Sorghum halepense* (L.) PERS.). *Journal of Iranian Plant Protection Research, 31(3),* 433-444. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.v31i3.55442

23. Niazmoradi, M., Kazemi, H., Garakhlou, J., Soltani, A., & Kamkar, B. (2023). Investigating the diversity of weed population structure in wheat fields in Bandar Turkman city, Golestan province. *Journal of Weed Research, 15*(1), 52-37. (in Persian with English abstract)
24. Pouresmail, S., Mohammadvand, E., Yaghoubi, B., & Asghari, J. (2022). Investigating some eco-physiological aspects and chemical management of invasive weed *Butomus umbellatus* in paddy fields. *Iranian Journal of Weed Science, 18*(2), 75-89. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/ijws.2022.359026.1413
25. Rastegar, M.A. (2007). Weed and Control Methods. University Publication Center. 412 pp.
26. Salonen, J., Hyvonen, T., & Jalli, H. (2005). Weed flora and weed management of field peas in Finland. *Agriculture of Food Science, 14*, 189-201. https://doi.org/10.2137/145960605774826037
27. Shahi Moradi, R., Kazemi, H., Kamkar, B., Nadimi, A., Hossein Alizad, M., & Yeganeh, H. (2022). Preparation of distribution maps and biodiversity assessment of weeds in canola agroecosystems using geographic information system (GIS) (Case study: Sorkhankalateh region, Gorgan County). *Weed Research Journal, 14*(2), 73-99. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.1007/s10661-024-13100-4
28. Siahmarguee, A., Ghaderifar, F., Gherekhloo, J., Akbari Gelvardi, A., & Gorgani, M. (2022). Estimating the cardinal temperatures of germination for *Ipomoea hederaceae* and *Cleome viscosa* at constant and alternating

temperature conditions. *Iranian Journal of Seed Research, 9*(1), 93-110. https://doi.org/10.52547/yujs.9.1.93

29. Sohrabi-Rad, E.M., Siahmarguee, A,. Kazemi, H., Ghaderi-Far, F., & Gherekhloo, J. (2017). Influence of crop management practices and soil characteristics on weed population and soil seed bank in soybean fields. *Journal of Agroecology*, *7*(1), 155-172. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jag.v9i3.60119
30. 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 Crops Research*, *29*(3), 20-28. https://doi.org/10.22092/aj.2016.112674
31. Thomas, A.G. (1991). Florisric composition and relative abundance of weeds in annual crops of Manitoba. *Canadian Journal of Plant Science*, *71*, 831-839. https://doi.org/10.4141/cjps91-117
32. Veisi, M., Rahimisan Mashhadhi, H., Alizadeh, H., Minbashi Moini, M., & Owaissi, M. (2013). Change of weed flora in Kermanshah water wheat fields after a decade. *Iranian Weed Science Journal*, *10*(1), 1-20. (in Persian with English abstract)
33. Younesabadi, M., Faez, R., Ghaderifar, F., Savarinejad, A., & Kashiri, H. (2018). Weed seed bank survey in cotton fields of Golestan province. *Iranian Journal of Cotton Researches*, *6*(1), 65-80. (in Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.2 2092/ijcr.2018.117932
34. Zaidali, A., Ghorbani, R., Kochaki, A., Azadbakht, N., Jahanbakhsh, V., & Aqeel, H. (2010). Investigating the possibility of biological control of desert ivy weed (*Convolvulus arvensis*) by plant antagonistic fungi. *Iranian Plant Protection Researches*, *24*(1), 1-10. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jpp.v1389i24.3841
35. Zand, E., Baghestani, M.A., Dastaran, F., & Atri, A. (2008). Investigation efficacy of some graminicides in control of resistant and susceptible ryegrass biotypes (*Lolium rigidium* L.) to acetyl-CoA carboxylase inhibiting herbicides. *Journal of Iranian Plant Protection Research***,** 22(2), 23-34. (in Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22067/jpp.v22i22.1061

Contents

Iranian Plant Protection Research

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol . 39 No. 1 2025

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

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.1

2025

Contents