نشریه علمی

پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران

جلد ۳۸ شماره ۴

سال ۱۴۰۳

شماره پیاپی: ۶۶

عنوان مقالات

نشریه پژوهش های حفاظت گیاهان ایران

(علوم و صنایع کشاورزی)

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

جلد ۳۸ شماره ٤ زمستان ١٤٠٣

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. 38, No. 4, 2025, p. 309-325

Time Series Analysis of Pear Psylla Population Dynamics, *Cacopsylla pyri* (Hemiptera: Psyllidae), using ARIMA Model on Nine Different Pear *Pyrus Communis* L. Cultivars

M. Latifian[1*], H. Abdollahi[2]

1- Agricultural Research, Education and Extension Organization, Horticultural Sciences Research Institute, Temperate Fruits Research Center, Karaj, Iran.
2- Agricultural Research, Education and Extension Organization, Horticultural Sciences Research Institute, Temperate Fruits Research Center, Karaj, Iran.
(*- Corresponding author's Email: masoud_latifian@yahoo.com)

Received: 27-12-2024 Revised: 20-08-2024 Accepted: 21-05-2024 Available Online: 03-03-2025	**How to cite this article:** Latifian, M., & Abdollahi, H. (2025). Time series analysis of pear psylla population dynamics, *Cacopsylla pyri* (Hemiptera: Psyllidae), using ARIMA model on nine different pear *Pyrus Communis* cultivars. *Iranian Plant Protection Research, 38*(4), 309-325. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jpp.2024.86109.1171

Introduction

Psylla is a key pest in important pear (*Pyrus Communis*) -growing areas in Iran. Detection of population fluctuations in ecological models can be traced with time series data. Population dynamics are the result of changes in the population size that ascend from the random and independent contribution of births, deaths, and migrations of population individual members. Population dynamics can be simulated by considering the role of each individual in a time unit as an independent and separate random variable. Mathematical models of resource-consumer relationships can be helpful in understanding miscellaneous patterns of population dynamics, leading to a set of population behavioral patterns under the influence of food resources. This research was conducted on the population dynamics of eggs, nymphs, and adults of pear psylla *Cacopsylla pyri* L. under feeding conditions from nine pear cultivars in field conditions. Psylla is a key pest of pears and is distributed worldwide. In the climatic conditions of regions like Iran, where spring and summer are dry and rainfall is rare, the indirect damage of honeydew secretions is more than the damage from sucking plant sap.

Material and Methods

The time series of the population of each growth stage of pear Psylla is a group of observations obtained by regular variable sampling of the eggs, nymphs, and adult Psylla population in a period of four years (2020-2023). The integrated autocorrelated moving average (ARIMA) model was used to forecast the future pear psylla population on nine pear cultivars. ARIMA model suitability criteria and information criterion Bayesian normalized (BIC) were calculated. The plots of residual autocorrelations and partial autocorrelations that show

https://doi.org/10.22067/jpp.2024.86109.1171

the degree of correlation of the residuals of the model were premeditated in the actual forecast. A cross-correlation model was used to replicate the population model of each developmental stage against the population route of another developmental stage.

Results and Discussion

The fitted models were significant at the 0.01% level for the populations of pear Psylla on nine cultivars. The ARIMA time series model showed good capacity in forecasting the population of egg, nymph and Adult. Differences among the fit indices of the model were observed in all three developmental stages. The mobility of the growth stage has been one of the most important reasons for these differences. Because with the increase in mobility, the accuracy of sampling usually decreases and population sampling becomes more difficult. The type of host cultivat has also been effective in determining the predictive power of the model. The values of residual autocorrelations and partial autocorrelations in most growth stages and different pear cultivars were smaller than 0.5 in absolute terms, and this indicates that the remaining effective data was not included in the fitting of the time series model in the minimum amount. A sinusoidal trend occurs in the curve of pears Psylla population density fluctuations. The trend of changes in observations was the same as predicted by the model. In some stages such as adult and in cultivars such as Shah Miveh where the population densities were higher than normal, the sinusoidal trend was not observed in the population forecast by the model. The relationship between the population of alternating developmental stages has been direct and increasing and inverse and decreasing at different periods of seasons. These changes were caused by the difference in the pear cultivars quality for pear psylla growth stages. The average absolute value of the cross-correlation varied between 0.3 and 0.4, which indicates the average detection power of each developmental stage compared to the subsequent developmental stage. The maximum detection power in different cultivars was related to the transition of the population from the nymph stage to the adult. In pear cultivars with higher population density, which most of the times had a population above the normal limit, such as Shah Miveh and Dargezi cultivars, the model recognized ability was less, and instead, in cultivars with subnormal population density, such as Boheme and Harvest Queen, the model recognized ability was lower. In cultivars that have less population carrying capacity, births, and mortality reach the equilibrium point earlier than other cultivars. In natural environments, the measurement of living spaces has different dimensions, including nutrition quality.

Conclusion

Flexibility of the models in describing different annual phenological behaviors of various growth stages of the pear psylla and the possibility of self-calibrating the models with the help of autocorrelation and cross-correlation models make this approach a valuable tool for monitoring the population of this insect.

Keywords: Autocorrelation, Cross-correlation, Forecast, Population analysis, Time series

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸ شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص. ۳۲۵-۳۰۹

تحلیل سری زمانی پویایی جمعیت پسیل گلابی، *Cacopsylla pyri* (Hemiptera: Psyllidae)، با استفاده از مدل ARIMA روی نه رقم مختلف گلابی *Pyrus Communis*

مسعود لطیفیان[1]* – حمید عبداللهی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱

چکیده

پسیل یک آفت کلیدی در مناطق مهم کشت گلابی *Pyrus Communis* در ایران است. در این پژوهش، مدل‌های سری زمانی ارتباط بین منبع (نُه رقم گلابی)-مصرف‌کننده (مراحل مختلف رشدی پسیل گلابی) برای تحلیل پویایی جمعیت بررسی شدند. سری‌های زمانی جمعیت هر مرحله رشدی پسیل گلابی مجموعه‌ای از مشاهدات است که با نمونه‌برداری منظمِ متغیر جمعیت تخم، پوره و حشره‌کامل پسیل گلابی در دوره زمانی چهار ساله (۱۳۹۹- ۱۴۰۲) به‌دست آمده است. مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه (ARIMA) در سری‌های زمانی برای پیش‌بینی آینده جمعیت هر یک از مراحل رشدی تخم، پوره و حشره‌کامل پسیل گلابی روی نُه رقم گلابی به‌کار برده شد. نتایج نشان داد که میانگین تفاوت بین تراکم جمعیت پیش-بینی شده توسط مدل و مشاهده شده در سه مرحله رشدی، معادل ۳۶/۸۸ حشره-روز بود. میانگین درصد مطلق خطا برای هر سه مرحله رشدی به‌طور متوسط ماهانه معادل ۲/۳۷ حشره-روز بود. حداقل این شاخص، معادل ۲۹/۱۲ حشره-روز (۰/۷ ماهانه) در مرحله حشره‌کامل در رقم پوتوماک و حداکثر آن معادل ۵۲۲/۵۳ حشره-روز (۱۰/۹ ماهانه) در مرحله پوره در رقم نطنزی بود. مقادیر خودهمبستگی‌های باقی‌مانده و خودهمبستگی‌های جزئی در اکثر مراحل رشدی و ارقام مختلف به‌صورت مطلق از ۰/۵ کوچک‌تر بود. در منحنی تغییرات تراکم جمعیت همه مراحل رشدی پسیل گلابی، یک روند سینوسی اتفاق می‌افتاد. روند تغییرات در مشاهدات با پیش‌بینی مدل یکسان بود. میانگین قدرمطلق ضریب تقاطعی در حدود ۰/۳ تا ۰/۴ متغیر بوده که نشان‌دهنده قدرت تشخیص هر مرحله رشدی نسبت به مرحله رشدی بعد از آن بوده است. حداکثر قدرت تشخیص در ارقام مختلف مربوط به انتقال جمعیت از مرحله پوره به حشره‌کامل بود. انعطاف‌پذیری مدل‌ها در جمعیت پسیل گلابی و امکان خود کالیبره کردن آن‌ها، این رویکرد را به ابزاری ارزشمند برای نظارت بر جمعیت این حشره تبدیل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، تحلیل جمعیت، خودهمبستگی، سری زمانی، میان¬همبستگی

مقدمه

پسیل یک آفت کلیدی گلابی *Pyrus Communis* است که در سراسر جهان پراکنش دارد (Pasqualini *et al*., 2006). در شرایط آب‌وهوایی مناطقی مانند ایران با بهار و تابستان خشک و میزان بارندگی کم، آسیب غیرمستقیم ناشی از ترشحات یا عسلک آفت بیشتر از آسیب و زیان تغذیه و مکیدن شیره نباتی است (Behdad, 1991). تخم‌گذاری حشرات کامل پسیل گلابی در ماه‌های اسفند تا فروردین ماه زمانی که دما به‌حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، شروع می‌شود. از این تخم‌ها، نسل اول از فروردین تا اردیبهشت ماه متولد می‌شوند. این دوره طولانی تخم‌گذاری، توزیع سنی گسترده‌ای از پسیل‌ها را در مراحل رشدی مختلف در طول فصل ایجاد می‌کند.

۱- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، کرج، ایران.
۲- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، کرج، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: masoud_latifian@yahoo.com)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.86109.1171

نسل دوم پسیل، بین اردیبهشت و خرداد، نسل سوم، بین پایان خرداد و تیر، نسل چهارم در اوج تابستان (مرداد) و در برخی از شرایط اقلیمی مساعد، نسل پنجم بین اواخر تابستان و اوایل پاییز فعال است (Sanchez & Ortín-Angulo, 2012). در طول تابستان، تداخل نسل‌ها وجود دارد و تحت شرایط خاص پسیل گلابی می‌تواند شش تا هفت نسل در سال داشته باشد (Schaub *et al*., 2005).

مدل‌سازی الگوهای تغییرات فصلی فعالیت حشرات به درک پویایی جمعیت آن‌ها کمک می‌کند. همچنین می‌توان با پیش‌بینی دقیق تغییرات جمعیت حشرات به کمک مدل‌سازی، به تدوین شیوه‌های ردیابی جمعیت در مدیریت تلفیقی آفات کمک کرد (Dennis *et al*., 2021). مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی مانند مدل‌های درجه–روز برای پیش‌بینی چگونگی تغییرات جمعیت حشرات در بسیاری از سامانه‌های مدیریت تلفیقی آفات استفاده شده‌اند. به‌عنوان مثال، سه مدل مختلف (درجه–روز، لجستیک و وانگ) برای پیش‌آگاهی تغییرات جمعیت شب‌پره پشت الماسی *Plutella xylostella* L. از مرحله تخم تا حشره‌کامل استفاده شده‌است (Liu *et al*., 2002). همچنین در مطالعه‌ای، دو نوع تابع غیرخطی برای مدل‌سازی تغییرات جمعیت حشرات‌کامل گونه‌های بال‌پولکداران آفت در باغ‌های زردآلو *Prunus armeniaca* L. استفاده شده است (Damos & Savopoulou-Soultani, 2010). توجیه علل نوسان تراکم جمعیت حشرات توسط توابع غیرخطی در چرخه‌های تناوبی پایدار و ناپایدار در اثر عوامل زیستی و غیرزیستی فعال در بوم‌نظام امکان‌پذیر است. امروزه به‌دلیل توسعه روش‌های آماری و رویکردهای مدل‌سازی تصادفی پویایی جمعیت، کاربردهای مدل‌سازی غیرخطی در بوم‌شناسی حشرات با موفقیت‌های چشم‌گیری مواجه شده است (Henson *et al*., 1999Dixon *et al*., 1999 ;).

طرفداران نظریه پویایی غیرخطی جمعیت یا الگوی آشفتگی ادعا می‌کنند که رفتار جمعیت‌ها به‌صورت غیرخطی است. تغییرات جمعیت، ناشی از عوامل بسیار زیادی است که در هر لحظه از زمان بر آن تأثیر می‌گذارد. آن‌ها در واقع معتقدند که به تعداد افراد جمعیت، عامل تأثیرگذار بر پویایی جمعیت وجود دارد. یکی از جنبه‌های کاربردی نظریه پویایی غیرخطی جمعیت، توانایی آن در پیش‌بینی رفتار جمعیت حشرات است. عوامل بوم‌شناختی خاص و ضعیف گاهی می‌توانند باعث نوسانات تصادفی و غیر قابل پیش‌بینی در فراوانی جمعیت شوند. تشخیص این تغییرات غیرقابل پیش‌بینی در مدل‌های بوم-شناختی با مشاهده موارد غیرمعمول در داده‌های سری زمانی جمعیت قابل ردیابی می‌شود (Heath, 2014). مدل‌های غیرخطی جمعیتی، توانایی پیش‌بینی تغییرات بلندمدت فراوانی جمعیت را نیز دارند. به‌عنوان مثال، از مدل لجستیکی می‌توان برای پیش‌بینی تغییرات پویایی جمعیت حشرات از زمان ظهور تا رسیدن به حد ظرفیت محیطی در طی فصل استفاده کرد (Stankevych *et al*., 2020).

برای کاربرد مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی و ردیابی پویایی جمعیت باید داده‌های زمانی تراکم جمعیت را به‌صورت یک الگوی آماری تصادفی در نظر گرفت. بهره‌گیری از نظریه غیرخطی در مدل-سازی نوسانات جمعیتی حشرات، یک چالش بزرگ است، زیرا در ظاهر الگوهای جمعیت حشرات تصادفی است، امّا در واقع، از الگوها و قوانین قطعی پیروی می‌کنند که به‌شدت به شرایط اولیه بوم‌نظام حساسند. فقدان داده‌های جمعیتی چندساله از مهم‌ترین عوامل ایجاد این چالش است (Clark & Luis, 2020).

«پویایی جمعیت» حاصل تغییر در اندازه جمعیت است که از مشارکت تصادفی و مستقل تولدها، مرگ‌ها و مهاجرت‌های تک تک اعضای جمعیت به‌وجود می‌آید. پویایی جمعیت را می‌توان با در نظر گرفتن سهم هر فرد جمعیت در واحد زمان به‌عنوان یک متغیر تصادفی مستقل و گسسته شبیه‌سازی نمود. تغییرات تراکم جمعیتی در مدل‌های سری زمانی به‌صورت متغیری با توزیع احتمال تصادفی در واحد زمان تعریف می‌شوند (Didham *et al*., 2020). هنگام بررسی داده‌های سری زمانی برای تراکم جمعیت آفت، لازم است که خودهمبستگی‌های هر سری از داده‌های زمانی محاسبه شود، زیرا شرط مستقل و نرمال بودن باقی‌مانده‌ها را نمی‌توان با انجام یک تحلیل رگرسیون معمولی حفظ کرد (Yeh *et al*., 2023). بنابراین، در تحلیل‌های سری زمانی پویایی جمعیت حشرات، ضرورت دارد که با استفاده از یک مدل خودهمبستگی، مانند مدل میانگین متحرک خودهمبستگی یکپارچه (AutorRgressive Integrated =ARIMA Moving Average)، پویایی جمعیت را بررسی کرد. تا به امروز، داده‌های سری زمانی فراوانی برخی حشرات، مانند *Tessaratoma papillosa* Drury با استفاده از روش ARIMA مدل‌سازی شده‌اند (Boopathi *et al*., 2015).

اثرات متقابل حلقه‌های زنجیره غذایی و برهم‌کنش‌های تغذیه‌ای میان آن‌ها بر پویایی جمعیت گونه‌های فعال در شبکه‌های غذایی تأثیر دارد. تغییر مکرر منبع تغذیه‌ای در حلقه‌های گیاه‌خواران (حشرات آفت) و گوشت‌خواران (شکارگرها و پارازیتوئیدها) برای افزایش میزان بقاء، به‌معنای افزایش ثبات الگوی پویایی جمعیت‌های فعال در بوم‌نظام نیست. چنین حالتی در شرایطی به‌وقوع می‌پیوندد که رشد جمعیت افراد مصرف‌کننده (گیاه‌خوار یا گوشت‌خوار)که سهم کمی در تولیدمثل و تشکیل نسل بعدی دارند (مانند جمعیت نرها)، در اثر کاهش دسترس بودن غذا محدود نمی‌شود. نبود محدودیت تغذیه‌ای کشنده برای رشد لزوماً باعث ثبات یا کاهش تغییرات پویا در جمعیت نیست. برهم‌کنش‌های واسطه‌ایِ رفتاری (مانند رقابت یا شکارگری) و اثرات غیرمستقیم آن‌ها در زنجیره‌های غذایی نیز می‌تواند بر پویایی جمعیت گونه‌های فعال در بوم‌نظام تأثیرگذار باشند (Kawatsu *et al*., 2021). علاوه‌براین، انواع زیادی از عوامل بوم‌شناختی بین گونه-ای مانند تنوع زیستی و غیرزیستی (فیزیکی و شیمیایی) غیر از روابط

تغذیه وجود دارد که به‌طور بالقوه می‌تواند نقش منابع تغذیه‌ای را در تغییرات پویایی جمعیت کاهش دهند. یکی از فرضیه‌های اصلی بوم‌شناسی این است که گونه‌های منبع تغذیه و مصرف‌کننده بر پویایی جمعیت یکدیگر تأثیر می‌گذارند (Moore *et al.*, 2017). بررسی پویایی جمعیت تحت تأثیر تغییرات فراوانی منبع تغذیه، اساس شناخت ارتباط ساختاری جمعیت با فرآیندهای موجود در زیست‌بوم آن است (Hines *et al.*, 2015).

مدل‌های ریاضی ارتباط بین منبع–مصرف‌کننده می‌توانند الگوهای متنوعی از پویایی جمعیت را ارائه کنند که منجر به شناخت مجموعه‌ای از پودمان‌های رفتاری جمعیت مصرف‌کنندگان تحت تأثیر تغییرات منابع تغذیه‌ای می‌شود (K´efi *et al.*, 2016). برای ارزیابی اثرات تغذیه بر پویایی جمعیت‌های طبیعی مصرف‌کننده، دو عامل منبع و مصرف‌کننده باید به‌طور همزمان و به‌صورت کمّی بررسی و مطالعه شوند. در این نوع مطالعات، اغلب از مقایسه همبستگی بین تراکم جمعیت مصرف‌کننده با منابع تغذیه‌ای مختلف استفاده می‌شود. بااین‌حال، صحت و دقت چنین رویکرد آماری خطی با توجه به ماهیت غیرخطی پویایی‌های جمعیت مورد تردید است. یک روش جایگزین برای تخمین تغییرات پویایی جمعیت مصرف‌کننده (گیاه‌خوار یا گوشت‌خوار) تحت تأثیر منابع تغذیه‌ای مختلف، استفاده از مدل‌سازی سری زمانی در دامنه‌های زمانی پیوسته فعالیت مصرف‌کننده است (Blanchet *et al.*, 2020Hirano & Takemoto, 2019;).

نتایج حاصل از یافته‌های پژوهشگران در زمینه مطالعه ارتباطات و اثرات متقابل جمعیت گونه‌های فعال در حلقه‌های زنجیره غذایی مختلف شبکه غذایی، این سؤال را مطرح می‌کنند که تغییرات منبع تغذیه‌ای چقدر در تغییرات پویایی جمعیت حلقه‌های بعدی زنجیره غذایی مهم هستند؟ و تا چه حد، تغییرات جمعیت گونه‌های مصرف-کننده را می‌توان به تغییرات گونه‌های منبع تغذیه‌ای نسبت داد؟ این پژوهش برای پاسخ به این سؤال روی پویایی جمعیت مراحل مختلف رشدی تخم، پوره و حشره‌کامل پسیل گلابی *Cacopsylla pyri* L. به‌عنوان مصرف‌کننده در شرایط تغذیه از نُه رقم گلابی به‌عنوان منبع تغذیه آن در شرایط صحرایی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری پسیل گلابی

مطالعه حاضر طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۲ در باغ کلکسیون ذخایر توارثی پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری در کمالشهر کرج انجام شد. برای انجام این پروژه از نُه رقم گلابی به‌نام‌های بوهمه، شاه میوه، نطنزی، سبری، درگزی، بیروتی (لوئیزبون)، هاروست کوئین، پوتوماک و کوشیا استفاده شد. جمع‌آوری داده‌های جمعیت مراحل مختلف رشدی تخم، پوره و حشره‌کامل پسیل گلابی در طی دوره فعالیت آن یعنی در اوایل فرورین تا آبان به‌فاصله هر هفت روز یک‌بار انجام شد. از هر رقم، چهار درخت انتخاب و از هر درخت نیز چهار شاخه در جهت‌های مختلف به‌طور تصادفی انتخاب شده و با سه مرتبه ضربه‌زنی به هر شاخه، حشرات کامل در قیف اشنایدر جمع‌آوری شد. پوره‌ها و تخم‌ها نیز با نمونه‌برداری از ۱۰ برگ به‌صورت تصادفی شمارش شدند. برای برآورد جمعیت مؤثر هر یک از مراحل رشدی تخم، پوره و حشره‌کامل به‌ترتیب از شاخص جمعیت–روز مؤثر (Effective Population Day=EPD) استفاده شد که با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردیدند (Machlitt, 1998). که در آن، P_t و P_{t+1}: به‌ترتیب تراکم جمعیت هر مرحله رشدی در نمونه‌برداری t و t+1 است. متوسط ماهانه جمعیت مؤثر مراحل مختلف رشد نیز محاسبه شد.

$$EPD = \frac{(P_t + P_{t+1})}{2} \times 7 \qquad (۱)$$

توصیف سری زمانی جمعیت مراحل مختلف رشدی پسیل گلابی

سری زمانی جمعیت هر مرحله رشدی پسیل گلابی، مجموعه‌ای از مشاهدات است که با نمونه‌برداری منظم متغیر جمعیت تخم، پوره و حشره‌کامل پسیل گلابی در دوره زمانی چهار ساله (۱۳۹۹–۱۴۰۲) به‌دست آمده است. بنابراین، داده‌های یک سری زمانی جمعیتی، یک دنباله از مشاهدات تراکم جمعیت است که در فواصل زمانی منظم نمونه‌برداری شده است. در این پژوهش، فاصله زمانی نمونه‌برداری هفت روز بوده و برای تشکیل هر سری زمانی، میانگین ماهانه تراکم جمعیت روز مؤثر مراحل رشدی تخم، پوره و حشره‌کامل پسیل گلابی محاسبه شد.

مدل‌سازی سری زمانی ARIMA

مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه (ARIMA) در سری‌های زمانی برای پیش‌بینی آینده جمعیت هر یک از مراحل رشدی تخم، پوره و حشره‌کامل پسیل گلابی روی نُه رقم گلابی به‌کار برده شد. این مدل به‌صورت ARIMA (q, d, p) نشان داده می‌شود که در آن، p و d و q: اعداد حقیقی غیرمنفی هستند که درجه خودهمبستگی، یکپارچگی و میانگین متحرک تغییرات فصلی جمعیت‌ها را مشخص می‌کنند. مدل خودهمبسته میانگین متحرک تشکیل شده از یک مقدار ثابت، یک ضریب از مقادیر قبلی داده‌ها، یک ضریب از خطاهای قبلی و یک نویز که به‌صورت معادله ۲ نمایش داده می‌شود.

$$Y_t = C + \sum_{t=1}^{p} \varphi_i Y_{T+1} + \sum_{i=1}^{q} \theta_i E_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (۲)$$

که در آن، c: مقدار ثابت، φ_i: ضریبی از مقادیر قبل، θ_i: ضریبی از خطاهای قبل و ε_t: مقدار نویز بوده و تعیین اندازه آن اختیاری است.

p و q: به‌ترتیب تعدادی از مقادیر و خطاهای نمونه‌بردای قبلی هستند. طبق تعریف دیگر، p: درجه چندجمله‌ای اتورگرسیو پولی‌نومیال (AR) و q: چندجمله‌ای میانگین حرکتی (MA) است. در این پژوهش از شکل مدل آریمای فصلی (p,d,q) × (P,D,Q) استفاده شد که در آن، Q و P: به‌ترتیب پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک فصلی است. دو پارامتر D و d: پارامترهای تفاضلی نمونه‌برداری‌های متوالی برای ایستا کردن سری زمانی هر مرحله رشدی پسیل گلابی است (Palma *et al*., 2023).

شاخص‌های آماری و پلات‌های مدل ARIMA

معیارهای مناسب بودن مدل ARIMA عبارتند از ثابت مربع t-R، مربع R (R^2) (نشان می‌دهند که چه مقدار از تغییرات جمعیت مراحل رشدی تخم، پوره و حشرات‌کامل وابسته به متغیر مستقل زمان در مدل ARIMA برازش داده می‌شود)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (تفاوت میان مقدار تراکم جمعیت پیش‌بینی شده توسط مدل ARIMA و مقدار واقعی در نمونه‌برداری آن مرحله رشدی است)، میانگین خطای مطلق (MAE) (میانگین تفاوت بین مقدار جمعیت واقعی و مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل ARIMA بر روی تمام نمونه‌برداری‌ها است)، میانگین درصد مطلق خطا (MAPE) (میانگین درصد مطلق خطا، میانگین درصد مطلق خطاهای پیش‌بینی شده است. درصد خطاها بدون توجه به علامت جمع می‌شوند)، حداکثر خطای مطلق (MaxMAE) (حداکثر مقدار MAE در طی کل دوره نمونه‌برداری)، حداکثر درصد میانگین درصد خطای مطلق (MaxMAPE) (حداکثر مقدار MAPE در طی کل دوره نمونه‌برداری) و معیار اطلاعات بیزی نرمال شده (BIC)، میزان داده‌ای از دست رفته توسط مدل را مشخص می‌کند. معیار BIC (Bayesian Information Criterion) برمبنای تابع درست‌نمایی محاسبه شده و ارتباط نزدیکی با «معیار ارزیابی آیکاکه» (AIC) دارد (Nelson, 1998).

نمودارهای خودهمبستگی باقی‌مانده (Residual ACF) و خودهمبستگی جزئی (Residual PACF) میزان همبستگی باقی مانده‌های مدل را در پیش‌بینی جمعیت مراحل مختلف رشدی پسیل گلابی نشان می‌دهند. همچنین، نتایج مدل‌سازی مراحل مختلف رشدی پسیل گلابی، شامل مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل ARIMA و مقادیر مشاهده‌شده طی فرآیند نمونه‌برداری، در یک نمودار ارائه شده است (Dimri *et al*., 2020).

خودهمبستگی (Autocorrelation)، همبستگیِ متقابلِ داده‌های هر سری زمانی از مراحل رشدی تخم، پوره یا حشره‌کامل پسیل گلابی با خودش را نشان می‌دهد. خودهمبستگی، همسانیِ داده‌های جمعیت هر مرحله نمونه‌برداری در هر زمان با جمعیت نمونه منتقل شده به زمان‌های بعدی خود است. خودهمبستگی یک فرآیند تصادفی، همبستگیِ مقادیر جمعیت در زمان‌های مختلف را به‌عنوان تابعی دو متغیره (زمان و انتقال زمانی)، یا تابعی تک‌متغیره (انتقال زمانی) توصیف می‌کند. اگر EPD (وقوع تراکم جمعیت هر مرحله رشدی) فرآیندی تکرارپذیر باشد، آنگاه i نقطه‌ای از زمان بعد از آغاز فرآیند است، بنابراین EPDi تراکم جمعیت هر مرحله رشدی پسیل گلابی در زمان i است. فرض کنیم که جمعیت هر مرحله رشدی، با میانگین μ_i و واریانس σ^2_i برای همه زمان‌های نمونه‌برداری در طی دوره انجام مطالعه i تعریف شده باشد. خودهمبستگی جمعیت هر مرحله رشدی در دو زمان s و t با استفاده از معادله ۳ قابل محاسبه است. که در آن، E: عملگر امید ریاضی است (Soukhovolsky *et al*., 2023).

$$R(s,t) = \frac{E[(EPD_t-\mu_t)(EPD_s-\mu_s)]}{\sigma_t\,\sigma_s} \quad (۳)$$

میان‌همبستگی (cross-correlation)

در پردازش سری زمانی، «اندازه شباهت» برای دو سری زمانی مراحل مختلف رشدی پسیل گلابی (تخم با پوره، تخم با حشره‌کامل، پوره با حشره‌کامل)، به‌عنوان تابعی از «تراکم جمعیت» یکی نسبت به دیگری استT با فرض اینکه روند تغییرات فراوانی واقعی یک مرحله رشدی تحت تأثیر فرآیند تغییرات فراوانی مرحله رشدی دیگر باشد. شاخص میان¬همبستگی برای همانندسازی مدل جمعیت هر مرحله رشدی در مقابل مسیر جمعیتی مرحله رشدی دیگر استفاده شد. تغییرات جمعیت یک مرحله ممکن است مستقل باشد یا در زمان‌های مختلف در طی فصل با مراحل رشدی دیگر ارتباط داشته باشد. حتی اگر تغییرات جمعیت‌های مراحل مختلف رشدی متفاوت باشد، با ماتریس واریانس-کوواریانس مدل‌سازی شده و شاخص میان¬همبستگی متقاطع نرخ رشد جمعیت مراحل مختلف در طی زمان بر مبنای جمعیت مرحله رشدی دیگر قابل ارزیابی بود. اگر EPDm و EPDn دو متغیر مستقل نشان‌دهنده تراکم جمعیت مراحل رشدی m و n باشند که توابع چگالی احتمال وقوع آن‌ها به‌ترتیب g و f باشد، آن‌وقت احتمال تفرق EPDn-EPDm به‌صورت میان-همبستگی f×g معرفی می‌شود. در این صورت، تابع احتمال وقوع تراکم جمعیت مرحله n در صورت وقوع تراکم جمعیت مرحله رشدی m به‌صورت تابع ۴ برآورد می‌شود (Damos, 2016). کلیه تحلیل-های آماری به کمک نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 27.0.1.0 انجام شد.

$$(f \times g)[n] \triangleq \sum_{m=-\infty}^{\infty} \overline{f[m]}\, g[m+n] \quad (۴)$$

نتایج و بحث

مدل‌های سری زمانی (ARIMA) پیش‌بینی جمعیت مراحل رشدی پسیل گلابی

بهترین مدل‌های برازش شده برای جمعیت‌های تخم، پوره و حشره‌کامل پسیل گلابی روی نُه رقم گلابی در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، مقدار P-value همه مدل‌ها در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌دار بودند.

براساس شاخص‌های ثابت مربع t-R، مربع R به‌طور متوسط پنج درصد از تغییرات جمعیت سه مرحله رشدی وابسته به زمان است. حداکثر مقدار در مرحله رشدی تخم در رقم درگزی و معادل هشت درصد و حداقل آن مربوط به مرحله رشدی حشره‌کامل در رقم شاه میوه معادل صفر درصد بوده است. مقدار این شاخص در ارقام مختلف نیز تفاوت نشان می‌دهد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میانگین شاخص در سه مرحله رشدی به‌ترتیب در رقم‌های درگزی و شاه میوه و معادل هفت و دو درصد بود. شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) که نشان‌دهنده تفاوت میان مقدار تراکم جمعیت پیش‌بینی شده توسط مدلARIMA و مقدار واقعی در نمونه‌برداری آن مرحله رشدی می‌باشد نیز در ارقام و مراحل مختلف رشدی متفاوت بود. میانگین تفاوت بین تراکم جمعیت پیش‌بینی شده توسط مدل و مشاهده شده در نمونه‌برداری هر سه مرحله رشدی معادل ۳۶/۸۸ حشره–روز بود. بیشترین و کمترین تفاوت مشاهده شده به‌ترتیب در مرحله رشدی پوره در رقم شاه‌میوه و حشره‌کامل در رقم درگزی و معادل ۱۲۱/۱۴ و ۵/۷۷ حشره–روز بود. مجموع میانگین تفاوت مشاهده برای هر سه مرحله رشدی در ارقام مختلف نیز تفاوت نشان داد، به‌طوری‌که بالاترین و پایین‌ترین میانگین تفاوت‌ها به‌ترتیب در رقم شاه‌میوه و درگزی و معادل ۶۱/۵۳ و ۲۶ /۸۷ حشره–روز بود.

میانگین درصد مطلق خطا (MAPE) که براساس میانگین درصد مطلق خطا بوده و برای محاسبه آن درصد خطاها بدون توجه به علامت جمع شده‌اند. متوسط ماهانه معادل ۲/۳۷ درصد بوده است که از نظر آماری برای موارد تحقیقاتی و اجرایی قابل قبول است. حداقل این شاخص معادل ۲۹/۱۲ (۰/۷ درصد ماهانه) در مرحله حشره‌کامل در رقم پوتوماک و حداکثر آن معادل ۵۲۲/۵۳ (۱۰/۹ درصد ماهانه) در مرحله پوره در رقم نطنزی بود.

جدول ۱– برازش مدل‌های سری زمانی مراحل مختلف رشدی پسیل گلابی روی نُه رقم گلابی

Table 1- Fitting time series models of different developmental stages of pear psyllid on nine pear cultivars

Pear cultivars	Model	t–R	R	RMSE	MAPE	MAE	MaxAPE	MaxAE	N- BIC	Sig.
Bohemeh	Egg	0.06	0.06	25.44	55.34	21.38	234.15	47.66	6.72	0.00
	Nymph	0.06	0.06	32.82	40.16	27.16	107.61	56.71	7.22	0.00
	Adult	0.06	0.06	27.07	52.42	22.81	232.63	52.09	6.84	0.00
Louis Bonne	Egg	0.06	0.06	32.82	40.16	27.16	107.61	56.71	7.22	0.00
	Nymph	0.07	0.07	79.34	222.72	46.17	2459.11	373.33	8.99	0.00
	Adult	0.04	0.04	10.70	36.54	9.18	56.27	17.79	4.98	0.00
Potomac	Egg	0.06	0.06	27.07	52.42	22.81	232.63	52.09	6.84	0.00
	Nymph	0.07	0.07	64.02	262.43	39.67	2998.71	294.77	8.56	0.00
	Adult	0.06	0.06	6.94	29.12	5.33	67.62	19.75	4.12	0.00
Darghazi	Egg	0.08	0.08	17.38	60.23	14.18	341.73	32.05	5.95	0.00
	Nymph	0.07	0.07	57.46	399.71	32.75	4785.98	276.55	8.34	0.00
	Adult	0.05	0.05	5.77	50.13	4.52	188.50	16.43	3.75	0.00
Sebri	Egg	0.04	0.04	27.64	44.90	23.07	143.27	65.11	6.88	0.00
	Nymph	0.07	0.07	67.03	499.36	40.59	6101.83	309.81	8.65	0.00
	Adult	0.02	0.02	7.08	30.24	5.77	62.09	15.34	4.16	0.00
Natanzi	Egg	0.05	0.05	26.33	58.17	22.56	261.14	55.24	6.78	0.00
	Nymph	0.07	0.07	67.82	522.53	41.81	6403.92	314.63	8.68	0.00
	Adult	0.03	0.03	6.97	32.09	5.63	64.87	17.00	4.13	0.00
Harvest Queen	Egg	0.02	0.02	32.78	43.61	28.24	70.71	72.62	7.22	0.00
	Nymph	0.06	0.06	73.71	109.50	47.31	1141.32	337.05	8.84	0.00
	Adult	0.00	0.00	11.07	43.08	9.77	106.32	18.09	5.05	0.00
Coscia	Egg	0.03	0.03	29.50	41.25	25.14	69.83	62.50	7.01	0.00
	Nymph	0.06	0.06	65.20	111.12	42.11	1119.89	288.84	8.60	0.00
	Adult	0.00	0.00	9.36	36.73	7.98	61.66	16.95	4.71	0.00
Shah miveh	Egg	0.02	0.02	46.66	44.48	40.54	100.99	100.65	7.93	0.00
	Nymph	0.05	0.05	121.14	106.23	72.08	967.89	585.02	9.84	0.00
	Adult	0.00	0.00	16.80	41.91	14.41	101.85	33.76	5.89	0.00

حداکثر خطای مطلق (MaxMAE) و حداکثر درصد میانگین درصد خطای مطلق (MaxMAPE) نیز روند مشابهی داشتند که حاکی از توانایی مدل ARIMA در برازش جمعیت هر سه مرحله رشدی تخم، پوره و حشره‌کامل پسیل گلابی در نُه رقم گلابی مورد مطالعه بود. معیار اطلاعات بیزی نرمال شده (BIC) که میزان اطلاع از دست رفته توسط مدل را مشخص می‌کند نیز روند مناسبی را نشان داد به‌طوری‌که میانگین این شاخص در سه مرحله رشدی حشره و در کل ارقام مورد مطالعه ۶/۸۱ بود. حداکثر مقدار این شاخص در مرحله پوره در رقم شاه میوه و معادل ۹/۸۴ و حداقل آن در مرحله حشره-کامل در رقم درگزی و معادل ۳/۷۵ بود.

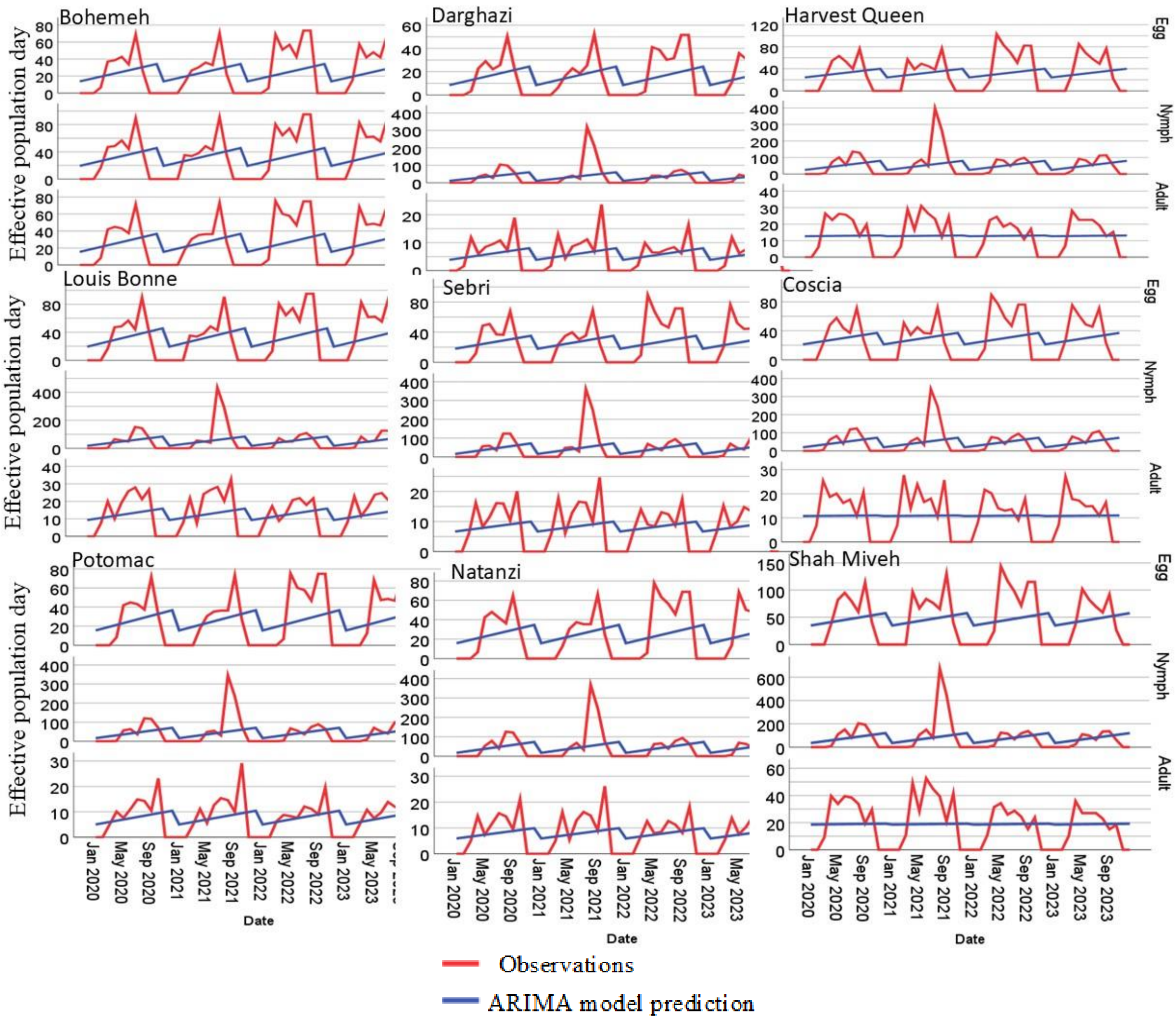
به‌طور کلی، مدل سری زمانی ARIMA توانایی مناسبی در پیش‌بینی جمعیت هر سه مرحله رشدی تخم، پوره و حشره‌کامل پسیل گلابی نشان داد. تفاوت‌هایی در میان شاخص‌های تناسب مدل در هر سه مرحله رشدی مشاهده شده است، به‌طوری‌که به‌ترتیب مرحله تخم، پوره و حشره‌کامل برازش‌های مناسب‌تری نشان دادنده عبارت دیگر، تفاوت میان مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل و مقادیر مشاهده‌شده در مراحل مختلف رشدی پسیل گلابی، شامل تخم، پوره و حشره کامل، به تدریج کاهش می‌یافت. میزان تحرک مرحله رشدی یکی از مهم‌ترین دلایل این تفاوت‌ها بوده است، زیرا با افزایش میزان تحرک معمولاً دقت نمونه‌برداری کاهش می‌یابد و ردیابی جمعیت مشکل‌تر می‌شود (Daniel Kissling *et al*., 2014).

عامل دیگر، نوع روش نمونه‌برداری بوده است، به‌طوری‌که در این پژوهش از واحد بستر زیست (برگ) برای نمونه‌برداری از تخم و پوره استفاده شده است. سطح واحد نمونه‌برداری همراه با تغییرات رشدی برگ در طی فصل افزایش یافته است و در انتهای فصل همراه با کاهش جمعیت حشره، کاهش نشان می‌داد، امّا در مرحله رشدی حشره‌کامل به‌دلیل تحرک خیلی زیاد آفت، امکان نمونه‌برداری از واحد بستر زیست وجود نداشت و از روش قیف اشنایدر استفاده شد. بخشی از اختلاف در توانایی مدل برای پیش‌بینی جمعیت سه مرحله رشدی پسیل گلابی به دلایل ذکر شده مرتبط است. در تحقیقات مشابه نیز تفاوت دقت و صحت نمونه‌برداری براساس نوع روش نمونه‌برداری مورد تأیید قرار گرفته است (Didham *et al*., 2020).

نوع رقم میزبان نیز در تعیین قدرت پیش‌بینی مدل ARIMA مؤثر بوده است. ارقام مختلف گلابی به لحاظ شکل‌شناسی برگ، میوه گل و ساختار کلی درخت تفاوت دارند (Erfani *et al*., 2014). این اختلاف شکل‌شناسی و ساختار در نحوه پراکنش فضایی مراحل مختلف رشدی تخم، پوره و حشره کامل پسیل گلابی در قسمت‌های مختلف درخت تأثیر داشته و باعث بروز اختلافاتی در دقت نمونه-برداری‌ها و بین برآورد جمعیت با پیش‌بینی‌های انجام شده توسط مدل گردیده است. در مطالعات مشابهی، اختلاف پراکنش حشرات و دقت نمونه‌برداری از جمعیت آن‌ها در ارقام مختلف گیاهان مشاهده شده است (Forbanka *et al*., 2023).

موضوعات اصلی در شبیه‌سازی، دستیابی به منابع معتبر اطلاعات در مورد انتخاب مناسب خصوصیات و ویژگی‌های رفتارهای کلیدی پدیده مورد مطالعه است. همچنین ساده‌سازی تقریبی و حداقل کردن فرضیات مدل شبیه‌سازی، به‌طوری‌که اصول واقعی پدیده را مخدوش نکرده و آن را بی‌اعتبار نسازد، از جنبه‌های دیگر شبیه‌سازی محسوب می‌شود. اصطلاح وفاداری شبیه‌سازی (Simulation Fidelity) برای توصیف صحت یک شبیه‌سازی و چگونگی تقلید از همتای واقعی حاصل از نمونه‌برداری از جمعیت استفاده می‌شود (Liu *et al*., 2008). در نمودارهای شکل ۱ به مقایسه روند جمعیت پیش‌بینی شده توسط مدل ARIMA و مشاهدات حاصل از نمونه‌برداری از محیط طبیعی بستر زیست (باغ) پرداخته شده است.

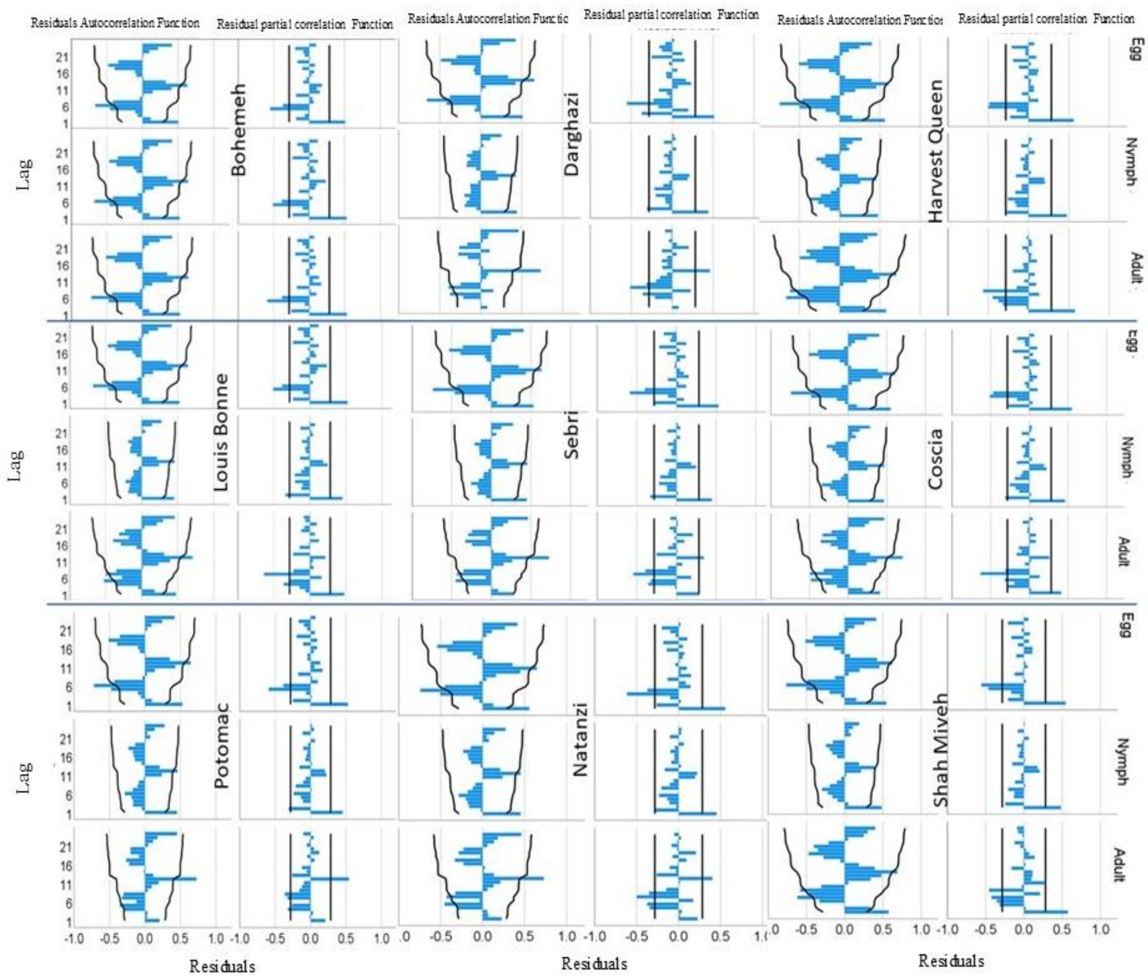
نمودارهای خودهمبستگی‌های باقی‌مانده (Residual ACF) و خودهمبستگی‌های جزئی (Residual PACF) مدل‌های سری زمانی برای مراحل مختلف رشدی تخم، پوره و حشره‌کامل پسیل گلابی به تفکیک ارقام گلابی مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. خودهمبستگی سریالی رابطه بین متغیر پیش‌بینی جمعیت حاصل مدل را با خود ولی با یک وقفه در فواصل زمانی مختلف می‌باشد. همبستگی سریالی (با یک وقفه) با ترسیم هر مانده به‌غیر از اولین مانده در برابر مانده قبل از خود مورد بررسی قرار گرفته است. زمانی که خودهمبستگی مثبت است، واریانس کمتر از حد برآورد می‌شود و خطای نوع اول افزایش می‌یابد. زمانی که خودهمبستگی منفی است، واریانس بیش از حد برآورد می‌شود و خطای نوع دوم افزایش می‌یابد. خودهمبستگی خطاهایی که غیر قابل مشاهده‌اند، می‌تواند به‌طور کلی به‌خاطر تولید خودهمبستگی در مانده‌های قابل مشاهده نمایان شود. به عبارت دیگر، بالا بودن خودهمبستگی نشان‌دهنده خطای نمونه-برداری بوده که باعث اختلاف بین مشاهدات حاصل از نمونه‌برداری با پیش‌بینی مدل شده و یا از کمبود توانایی وفاداری شبیه‌سازی مدل منشاء می‌گیرد و یا از کمبود توانایی وفاداری شبیه‌سازی مدل منشاء می‌گیرد که می‌تواند به دلیل عدم در نظر گرفتن تمامی عوامل تأثیرگذار بر جمعیت پسیل گلابی، یا نواقص در ساختار مدل‌سازی باشد. این عوامل ممکن است منجر به انحراف در پیش‌بینی‌ها و اختلاف با داده‌های واقعی شوند. خودهمبستگی باقی‌مانده‌ها به برآورد مقدار میانگین عدم قطعیت وقتی نمونه‌گیری از یک جامعه نامتجانس باشد (Flores *et al*., 2012) نظیر شرایط مطالعه حاضر که از جمعیت‌های فعال در ریز زیست‌بوم‌های ارقام گلابی نمونه‌برداری شده، کمک می‌کند.



شکل ۱- روند تغییرات جمعیت مراحل مختلف رشدی پسیل گلابی روی نُه رقم گلابی مورد مطالعه براساس پیش‌بینی مدل ARIMA و مشاهدات

Figure 1- The trend of the population fluctuations of different developmental stages of pear psylla on the nine studied pear cultivars based on ARIMA model prediction and observations

براساس شکل ۲مقادیر خودهمبستگی‌های باقی‌مانده و خودهمبستگی‌های جزئی در اکثر مراحل رشدی و ارقام مختلف به‌صورت مطلق از ۰/۵ کوچک‌تر بوده و نشان‌دهنده این است که داده‌های باقی‌مانده تأثیرگذار که در برازش مدل سری زمانی وارد نشده باشد در حداقل مقدار است. البته مقدار این همبستگی‌ها در برخی موارد به‌خصوص در مرحله رشدی حشره‌کامل در حد متوسط قرار گرفته به‌خصوص در شرایط اوج تراکم جمعیت که احتمال خطای مشاهده حاصل از نمونه‌برداری افزایش می‌یابد. آزمون‌های وابستگی تراکم جمعیت که برای ارزیابی سری‌های زمانی جمعیت طراحی شده‌اند، اساساً ابزارهای آماری برای ارزیابی تمایلات بازگشت جمعیت به حالت تعادل زمان قبلی در طول دوره نمونه‌برداری هستند. چنین تمایل بازگشتی ممکن است نشان‌دهنده بازگشت جمعیت وابسته به تراکم به ظرفیت تحمل محیط باشد. بااین‌حال، سایر ویژگی‌های جمعیت ممکن است تمایلات بازگشتی را در سری‌های زمانی که به تراکم جمعیت وابسته نیستند، سوق دهد. به‌طور خاص، خطای نمونه‌برداری مستقل یک گرایش بازگشتی ایجاد می‌کند که کاملاً با تراکم جمعیت ارتباط ندارد. ازآن‌جایی‌که جمعیت‌های طبیعی به‌ندرت به‌صورت تراکم مطلق ارزیابی می‌شوند و تخمین تراکم به‌صورت نسبی با نمونه‌برداری از جمعیت انجام می‌شود، پذیرش خطاهای ایجاد شده در مواقع وقوع جمعیت‌های بالاتر از حد نرمال مورد قبول است (Shenk *et al*., 1998).



شکل ۲- خودهمبستگی‌های باقی‌مانده (Residual ACF) و خودهمبستگی‌های جزئی (Residual PACF) مدل‌های سری زمانی مراحل مختلف پسیل گلابی به تفکیک ارقام گلابی

Figure 2- Residual autocorrelations (Residual ACF) and partial autocorrelations (Residual PACF) of different stages of pear psylla time series models by pear cultivars

با توجه به منحنی شکل ۱، دوره اول جمعیت تخم پسیل گلابی از اوایل فروردین شروع شده و تا اواخر خرداد ادامه داشت. اوج تراکم جمعیت در حدود اواسط اردیبهشت اتفاق می‌افتاد. دوره دوم از اوایل تیر شروع شده و تا اواخر مرداد ادامه داشت. اوج تراکم جمعیت در این دوره حدود اواخر تیرماه بود. دوره سوم از اواخر مرداد شروع شده و تا انتهای آبان ادامه داشت. اوج تراکم جمعیت در این دوره حدود اوایل مهرماه بود. تفاوت‌های بین تراکم جمعیت تخم پسیل گلابی در ارقام مختلف قابل تشخیص است. در همه ارقام مورد مطالعه، تراکم جمعیت تخم در اوایل فصل (اوایل تا اواسط خرداد) بالاترین میزان بود. متوسط تخم‌های پسیل گلابی به‌ترتیب در ارقام شاه‌میوه، سبری، نطنزی، کوشیا و هاروست کوئین بیشترین مقدار بود. در رقم بیروتی، اوج تراکم جمعیت تخم نسل پاییزه بالاتر از سایر نسل‌ها بود. در سایر ارقام، اوج مربوط به نسل بهاره بالاتر از سایر نسل‌ها بوده است. در همه ارقام گلابی مورد مطالعه، اوج تراکم جمعیت نسل تابستانه تخم پسیل گلابی کمتر از نسل بهاره و پاییزه بود.

در طی دوره نمونه‌برداری، سه دوره فعالیتی در منحنی تغییرات تراکم جمعیت پوره آفت قابل تشخیص بود. دوره اول از اواخر فروردین آغاز شده و تا انتهای خرداد ادامه داشت. اوج تراکم جمعیت پوره در این دوره در اواسط خرداد به‌وقوع می‌پیوست. دوره دوم از اواخر خرداد آغاز گردیده و تا اواخر شهریور ادامه داشت، اوج تراکم جمعیت پوره در این دوره مربوط به اواخر شهریور بود. دوره سوم از اوایل مهر آغاز شده و تا انتهای فصل ادامه داشت. اوج تراکم جمعیت پوره در این دوره در اواسط مهر بود. طولانی‌ترین دوره مربوط به موج بهاره بود. مسیرهای تغییرات فصلی سطوح جمعیت پوره پسیل از دو الگوی کلی پیروی می‌کند. در گروه اول شامل ارقام شاه‌میوه، پتوماک، سبری، نطنزی، هاروست کوئین و کوشیا بود که تراکم جمعیت پسیل

پوره به‌تدریج در اوج‌های مختلف کاهش یافته و در اواخر مهر یا اوایل آبان به سطوح نزدیک به صفر رسید. در این گروه، در طی تابستان، کاهش تراکم بیشتری نسبت به دوره‌های فعالیت بهاره و پاییزه مشاهده شد. گروه دوم شامل ارقام بیروتی، بوهمه و درگزی بودند که فعالیت پوره پسیل روی آنها در دوره‌های فعالیت سه‌گانه به‌تدریج افزایش یافته، به‌طوری‌که بلندترین اوج مربوط به پاییز بود. در این گروه فعالیت پوره پسیل تا اواخر پاییز نیز ادامه داشت. بالاترین اوج تراکم جمعیت مؤثر پوره مربوط به رقم شاه‌میوه بود. پایین‌ترین اوج تراکم مؤثر پوره مربوط به رقم بوهمه بود. ظهور جمعیت پوره نسل بهاره در برخی از ارقام گلابی شامل بیروتی و کوشیا یک هفته زودتر از سایر ارقام بود.

در طول دوره نمونه‌برداری، سه دوره فعالیتی در منحنی تغییرات تراکم جمعیت حشره‌کامل آفت نیز ثبت شد. دوره اول از اوایل فروردین شروع شده و تا اوایل خرداد ادامه داشت و اوج آن، اواخر فروردین تا اوایل اردیبهشت ثبت شد. دوره دوم از اوایل تیر ماه شروع شده و تا اواخر شهریور ادامه داشت. در این دوره، جمعیت آفت با اندک نوسانی در اوج بود. دوره سوم از اواسط شهریور شروع شده و تا انتهای فصل ادامه داشت. اوج تراکم این دوره، اواسط مهرماه بود. طولانی‌ترین دوره مربوط به دوره سوم با دو موج همه‌گیری بوده و در هر یک از سه دوره دیگر، یک موج همه‌گیری واقع گردیده بود. در ارقام گلابی شاه‌میوه، پتوماک، درگزی، نطنزی، هاروست کوئین و کوشیا، تراکم جمعیت حشره کامل پسیل گلابی در نسل بهار کمتر از نسل پاییزه بود. در ارقام بیروتی، بوهمه و سبری برعکس گروه قبلی تراکم جمعیت نسل پاییزه بالاتر از نسل بهاره بوده است. در همه ارقام گلابی مورد مطالعه، اوج تراکم جمعیت نسل تابستانه حشره‌کامل پسیل گلابی کمتر از نسل‌های بهاره و پاییزه بود. بالاترین اوج تراکم جمعیت مؤثر حشره کامل مربوط به رقم شاه‌میوه، هاروست کوئین و کوشیا بود. پایین‌ترین اوج تراکم مؤثر حشره کامل مربوط به رقم پتوماک بود. میانگین جمعیت تعداد تخم و پوره به‌ازای واحد جمعیت حشره کامل در نسل‌های مختلف تغییر کرد. این میزان در نسل‌های بهاره، تابستانه و پاییزه نیز متفاوت بوده و در نسل تابستان کم‌تر از دوره‌های جمعیت بهاره و پاییزه بود. در ارقام گلابی شاه‌میوه، پتوماک، درگزی، نطنزی، هاروست کوئین و کوشیا، تراکم جمعیت نسبت تعداد حشره کامل به تخم و پوره پسیل گلابی در نسل بهار کمتر از نسل پاییزه بود. در ارقام بیروتی، بوهمه و سبری برعکس گروه قبلی، این نسبت در نسل پاییزه بالاتر از نسل بهاره بوده است. در نتیجه، میزان تخم‌گذاری روزانه در فصول بهار و پاییز زیاد و در تابستان کم بود. در کلیه ارقام گلابی، بیشترین کاهش بقاء در مرحله حشره‌کامل و پس از آن، به‌ترتیب در مرحله تخم و پوره ایجاد می‌گردید. بیشترین طول دوره رشدی مربوط به مرحله پورگی بود. پس از آن، مراحل رشدی تخم و حشره‌کامل قرار داشتند.

در منحنی تغییرات تراکم جمعیت همه مراحل رشدی پسیل گلابی یک روند سینوسی اتفاق افتاد، به‌گونه‌ای که تراکم جمعیت در ابتدای هر دوره افزایش یافته تا به نقطه اوج منحنی رسید. پس از آن، روند کاهشی در منحنی تراکم ثبت شد. روند تغییرات در مشاهدات با پیش‌بینی مدل یکسان بود. در برخی از مراحل رشدی نظیر حشره-کامل و در برخی از ارقام نظیر شاه‌میوه که تراکم جمعیت بالاتر از حد طبیعی بود، روند سینوسی در پیش‌بینی جمعیت توسط مدل مشاهده نشد.

در تحقیق مشابهی که دو سال تحقیق متوالی روی ساختار جمعیت و چرخه زیستی پسیل در یک باغ گلابی کوچک، در شمال رومانی انجام شده، مشخص گردید که حشرات‌کامل پسیل در نیمه اول ماه مارس (حدود اواخر اسفند) از خواب زمستانی خارج می‌شوند و سه نسل در سال تولید می‌کنند. نسل اول حشرات کامل در دهه اول ژوئن (حدود خرداد)، نسل دوم در دهه آخر جولای (حدود تیر) و نسل سوم در دهه اول سپتامبر (حدود شهریور) با ورود به فاز خواب زمستانی ظاهر می‌شوند. پوره‌های نسل اول در نیمه دوم آوریل (حدود اردیبهشت)، نسل دوم در اواخر ژوئن – اوایل ژولای (اواخر خرداد تا اوایل تیر) و نسل سوم در دهه دوم سپتامبر (مرداد تا شهریور) ظاهر می‌شوند. همچنین، در این پژوهش اختلاف بین ارقام گلابی ثبت شد، به‌طوری‌که رقم گلابی "ویلیامز" به‌شدت تحت تأثیر جمعیت آفت قرار گرفت (Marcasan *et al.*, 2022)، نتایج این تحقیق روند مشابهی با نتایج پژوهش حاضر در تغییرات تراکم جمعیت مراحل تخم، پوره و حشره‌کامل پسیل گلابی نشان داد.

در مطالعه دیگری که در کره انجام شد، مشخص گردید که پسیل گلابی در زیر پوسته درختان گلابی به‌صورت حشرات کامل زمستان گذرانی می‌کند و آن‌ها از اواسط فوریه (اواخر اسفند تا اوایل فروردین) به شاخه‌های بارده گلابی منتقل می‌شوند. روند تغییرات فصلی پسیل گلابی در سال‌های مطالعه متفاوت بود، به‌طوری‌که در سال ۱۹۹۳، با دمای سرد و بارش شدید باعث شد که جمعیت در طول فصل رشد بالا باقی ماند. بااین‌حال، جمعیت از اوایل تیرماه سال ۱۹۹۴، سالی که شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک بود، به‌سرعت کاهش یافت. در سال ۱۹۹۵، یک سال با دمای متوسط، تراکم جمعیت در طول ماه‌های گرم تیر و مرداد کاهش یافت و دوباره در شهریور و مهر افزایش یافت. دوره رشد و مرگ‌ومیر مراحل رشدی مختلف این حشره در دمای بالاتر افزایش یافت. پارامترهای یک مدل غیرخطی و مدل‌های رشد خطی برای این حشره برازش شد (Kim, 2000). در این مطالعه نیز اگر چه در سال‌های مختلف روند منحنی‌های تغییرات جمعیت براساس پیش‌بینی مدل و مشاهدات حاصل از نمونه‌برداری مشابه بود، امّا سطح تراکم جمعیت تفاوت داشت. اینکه چه عوامل زنده یا غیر زنده‌ای در بروز این تفاوت‌ها در هر رقم مؤثر است، موضوعی است که نیاز به پژوهش‌های تکمیلی دارد.

در این پژوهش فقط به بررسی اثر رقم به‌عنوان منبع تغذیه پرداخته شده است. مطالعات مشابه دیگری نیز اثر رقم را بر تغییرات جمعیت این حشره و خسارت ناشی از آن مورد بررسی قرار داده‌اند. بررسی میزان تغذیه، زنده‌مانی و رشدونمو پوره‌های پسیل گلابی روی سه ژنوتیپ حساس بارتلت، نسبتاً مقاوم ان — وای–۱۰۳۵۲ و مقاوم برادفورد گلابی نشان‌دهنده تغذیه و رشدونمو سریع روی رقم حساس؛ تغذیه کم، رشدونمو آهسته و عدم تکمیل چرخه زندگی (عدم تبدیل پوره سن چهار به پنج) روی رقم مقاوم و تغذیه همراه با زمان بسیار طولانی رشدونمو و رسیدن تعداد بسیار کمی از پوره‌ها به مرحله بلوغ در رقم نسبتاً مقاوم بوده است (Butt *et al*., 1989). مطالعات تکمیلی جهت تعیین سازوکار مقاومت و نوع صفات ارقام گلابی مؤثر بر بروز سازوکار مقاومت ارقام گلابی به این حشره توسط نگارندگان در حال انجام است.

میان‌همبستگی (همبستگی تقاطعی) جمعیت مراحل چرخه زیستی پسیل گلابی

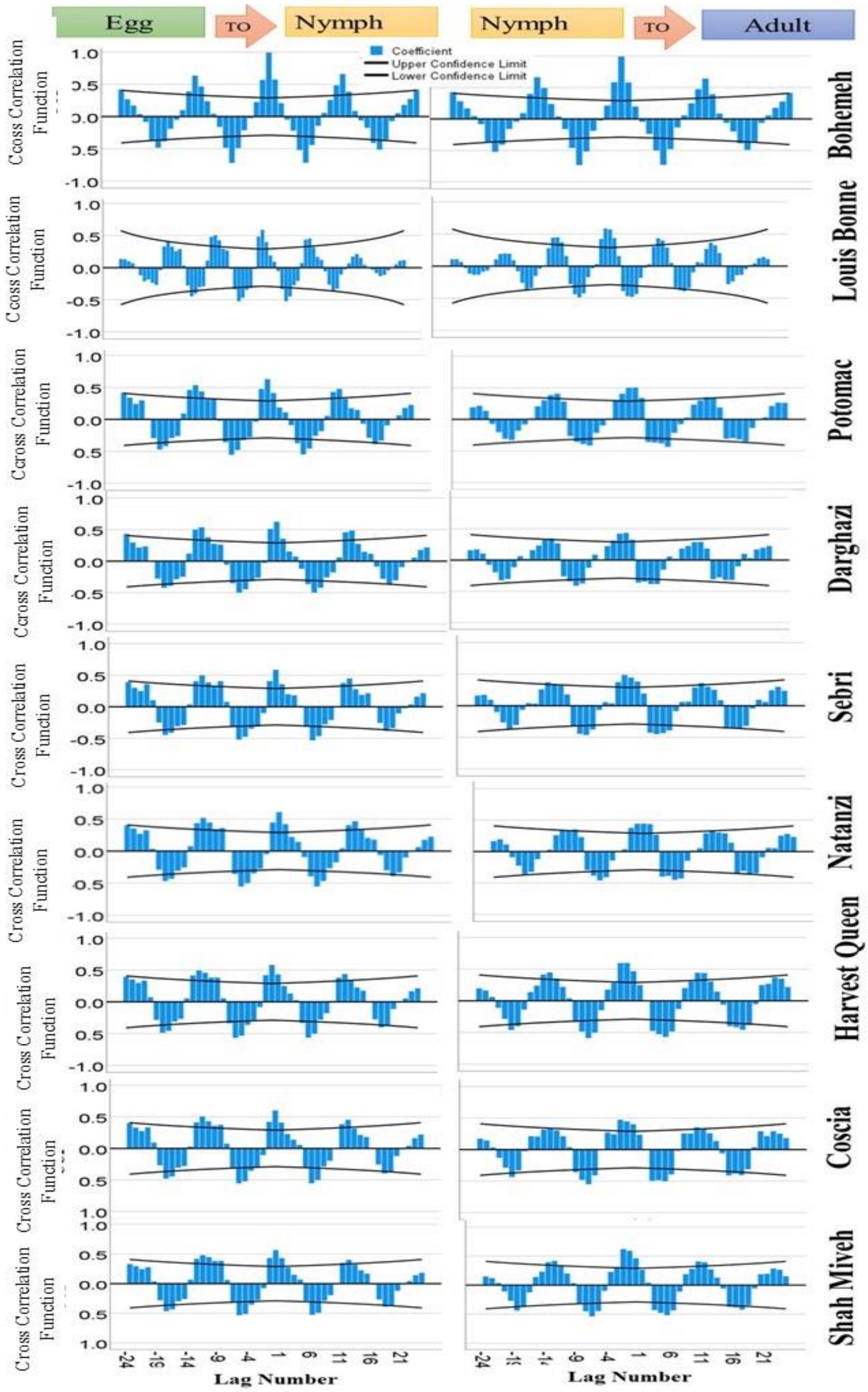
همبستگی متقاطع، روشی برای اندازه‌گیری درجه شباهت بین سری زمانی یک مرحله رشدی و یک مرحله رشدی بعد از آن است. این نوع همبستگی برای بررسی پویایی جمعیت مراحل مختلف رشدی پسیل گلابی مفید است، زیرا می‌تواند نشان دهد که آیا مقادیر یک سری زمانی جمعیت یک مرحله رشدی توانایی پیش‌بینی مقادیر تراکم جمعیت آینده سری زمانی مرحله رشدی بعدی را دارند؟ به عبارت دیگر، می‌تواند بگوید که آیا یک سری زمانی شاخص یک مرحله رشدی پیشرو برای سری زمانی دیگر است یا خیر؟ حشرات با دگردیسی ناقص یا تدریجی نظیر پسیل گلابی، نوزادان و افراد جوان که پوره نامیده می‌شوند کم‌وبیش شبیه حشرات کامل می‌باشند و فقط از لحاظ اندازه، طول، تعداد بندهای حشرات شاخک، چشم‌های ساده، شکل و اندازه بال‌ها با آن‌ها متفاوت هستند. چشم مرکب از همان مراحل اولیه رشد در پوره‌ها دیده می‌شود. بال‌ها ابتدا به‌صورت جوانه‌هایی در پشت سینه دوم و سوم ظاهر می‌شوند و طی سنین مختلف به‌تدریج رشد کرده و قبل از بلوغ کامل می‌شوند. بنابراین سه مرحله رشدی متمایز پسیل گلابی به‌ترتیب تخم، پوره و حشره‌کامل می‌باشد (Wong, 1967).

بسیاری از کارهای تجربی اخیر در مورد تأثیر منبع گیاهی بر گیاه‌خواران بندپایا، فرضیه تمرکز منابع روت (۱۹۷۳) و فرضیه دشمنان طبیعی را مورد آزمایش قرار دادند. این مطالعات با دو محدودیت اصلی روبه‌رو بوده‌اند: نخست آنکه تنها بخشی از موضوع بررسی شده است و دوم، نبود یک شاخص مشترک که امکان مقایسه تأثیر منابع تغذیه مختلف بر چرخه زندگی را فراهم کند (Andow, 1990). در این پژوهش، ضریب همبستگی مقابل میان تغییرات جمعیت هر مرحله رشدی با مرحله رشدی بعد از آن و تأثیر ایجاد تغییر در تراکم جمعیت در اثر تغییر منبع (رقم گلابی) روی مراحل رشدی مختلف پسیل گلابی بررسی شده است. در شکل ۳، ضرایب همبستگی متقاطع میان جمعیت تخم به پوره و پوره به حشره‌کامل درج شده است. ضریب همبستگی همیشه عددی بین ۱ تا ۱- است. ضریب همبستگی بین صفر تا یک به معنی داشتن همبستگی مثبت بین جمعیت دو مرحله رشدی متناوب است. هرچه این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد، ارتباط بین جمعیت دو مرحله رشدی دارای همبستگی قوی‌تر است. همبستگی مثبت یعنی با افزایش جمعیت یک مرحله رشدی، تراکم جمعیت مرحله رشدی بعدی نیز افزایش می‌یابد. ضریب همبستگی بین ۰ تا ۱- به معنی داشتن همبستگی منفی بین جمعیت دو مرحله رشدی متناوب است و هرچه مقدار آن به ۱- نزدیک‌تر باشد، یعنی همبستگی منفی قوی‌تر بین جمعیت‌های متناوب پسیل گلابی برقرار است. همبستگی منفی یعنی با کاهش جمعیت یک مرحله رشدی، تراکم جمعیت مرحله بعد از آن افزایش می‌یابد. بنابراین، با استفاده از شکل ۳ و ضرایب تقاطعی مندرج در آن، ضمن امکان پیش‌بینی جمعیت هر مرحله رشدی براساس جمعیت مرحله قبل، امکان تفسیر اثرات متقابل رقم به‌عنوان منبع تغذیه روی مراحل مختلف رشدی پسیل گلابی به‌عنوان گیاه‌خوار فراهم شده است.

مقدار ضریب همبستگی تقاطعی در طی فصل در سال‌های انجام مطالعه در مراحل مختلف رشدی و در ارقام مختلف بسیار متفاوت بوده است. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد. رابطه بین جمعیت تخم و پوره، و پوره و حشره‌کامل در مواقعی مستقیم و افزایشی و در مواقعی نیز معکوس و کاهشی بوده است. این تغییرات ناشی از تفاوت کیفیت ارقام گلابی برای سه مرحله رشدی بوده است. جهت بررسی شدت اثر میانگین قدرمطلق ضریب همبستگی در طی چهار سال اجرای پژوهش بررسی شد که نتایج آن در شکل ۴ درج شد.

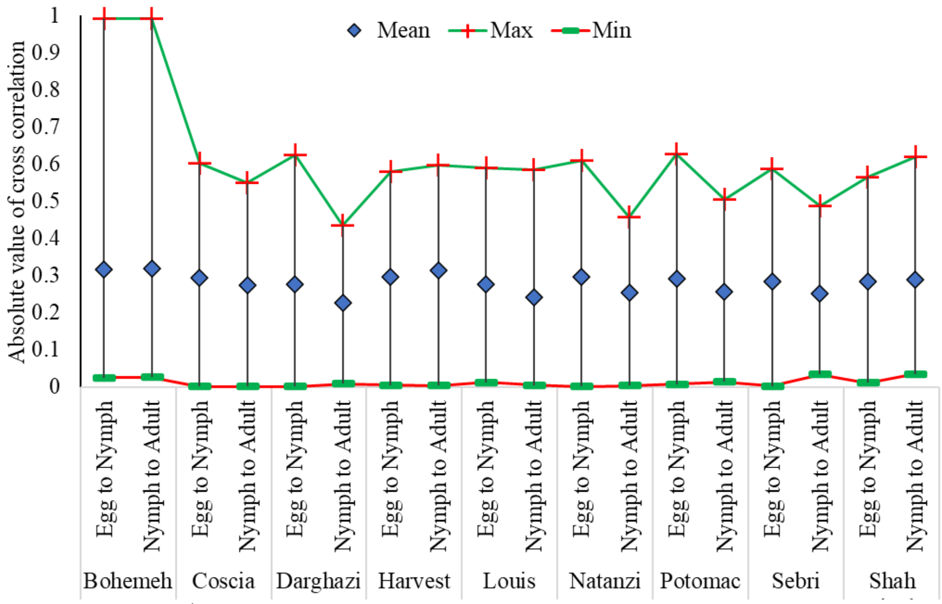
همان‌طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌گردد، میانگین قدرمطلق ضریب تقاطعی در حدود ۰/۳ تا ۰/۴ متغیر بوده که نشان‌دهنده قدرت تشخیص متوسط هر مرحله رشدی نسبت به مرحله رشدی بعد از آن بوده است. حداکثر قدرت تشخیص در ارقام مختلف مربوط به انتقال جمعیت از مرحله پوره به حشره‌کامل بوده است. این موضوع می‌تواند به‌دلیل تأثیر عوامل مختلف زیستی و غیرزیستی مؤثر بر تراکم جمعیت در مرحله انتقال از مرحله تخم به پوره و تلفات بیشتر در این دو مرحله رشدی باشد. در ارقام گلابی با تراکم جمعیت بالاتر که در اکثر مواقع جمعیت بالاتر از حد نرمال داشته‌اند نظیر رقم‌های شاه‌میوه، توانایی تشخیص مدل کمتر بوده و در عوض، در ارقام با تراکم جمعیت زیرنرمال مانند بوهمه، قدرت تشخیص مدل بیشتر بوده است. این موضوع می‌تواند به‌دلیل تفاوت کیفیت تغذیه‌ای این ارقام برای جمعیت مراحل مختلف رشدی و در نتیجه، ظرفیت زیستی جمعیت-

های فعال در ریززیست‌بوم فعال روی آن ارقام باشد. در ارقامی که ظرفیت تحمل جمعیت کمتری دارند، زودتر از سایر ارقام تولدها و مرگ‌ومیرها به نقطه تعادل می‌رسد. در محیط‌های طبیعی، اندازه‌گیری فضاهای زیستی دارای ابعاد مختلفی بوده که یکی از آن‌ها کیفیت تغذیه است (Del Monte-Luna *et al*., 2004).



شکل ۳- همبستگی تقاطعی تراکم جمعیت مراحل چرخه زیستی پسیل گلابی در مدل سری زمانی ARIMA

Figure 3- Cross-correlation of the population density of the life cycle stages of Psylla in ARIMA time series model



شکل ٤- میانگین، حداکثر و حداقل قدرمطلق همبستگی تقاطعی جمعیت چرخه زیستی پسیل گلابی در نُه رقم گلابی مورد مطالعه

Figure 4- Average, maximum and minimum absolute values of cross-correlation of pear psyllid life cycle population in nine studied pear cultivars

بنابراین پژوهش حاضر، در واقع یکی از گام‌های مؤثر در مدل-سازی جمعیت مراحل مختلف رشدی پسیل گلابی بوده و تکمیل این مدل نیاز به بررسی سایر شاخص‌های زیستی و غیر زیستی مؤثر بر تغییرات ظرفیت تحمل جمعیت ارقام گلابی برای مراحل مختلف چرخه زیستی پسیل گلابی می‌باشد.

تلاش‌های زیادی برای استفاده از مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی جمعیت حشرات در سیستم‌های زراعی، باغی و جنگلی شده است (Didham *et al*., 2020). هر یک از این مطالعات دارای نقاط ضعف و قوتی نسبت به این پژوهش بوده‌اند. به‌عنوان مثال، به‌منظور آزمایش اینکه آیا سن‌های آنتوکورید شکارگر هنگامی که جمعیت پسیل گلابی در حال افزایش است به باغ‌های گلابی مهاجرت می‌کنند یا خیر، یک تجزیه و تحلیل همبستگی متقابل روی تعداد جمعیت آن‌ها انجام شده است. نتایج پژوهش نشان داد که جمعیت آنتوکوریدهای بالغ و جوان، همبستگی متقاطع قوی با تخم‌ها و پوره‌های پسیل گلابی دارد، امّا همبستگی کمتری با حشرات پسیل گلابی نشان داد. همچنین اولین اوج جمعیت آنتوکوریدهای بالغ در درختان گلابی همیشه دیرتر از اولین اوج آن‌ها در پرچین‌های اطراف باغ بود. اولین اوج جمعیت پوره‌های آنتوکورید در درختان گلابی نیز همیشه دیرتر از اولین اوج حشرات کامل گلابی بود. در هر سه سال، آنتوکوریدها به‌ندرت در اولین بخش از فصل رشد (آوریل ± ژوئن) در باغ گلابی مشاهده شد، امّا در نیمه دوم فصل رشد (ژوئیه ± آگوست) یک همبستگی تقاطعی قوی بین دو جمعیت وجود داشت (Scutareanu *et al*., 1999). این پژوهش در مقایسه با تحقیق حاضر، حلقه دوم زنجیره غذایی یعنی ارتباط بین پسیل گلابی به‌عنوان گیاه‌خوار و سن آنتوکورید به‌عنوان گوشت‌خوار را هدف تحقیق قرار داده بود. درحالی‌که پژوهش حاضر روی حلقه اول زنجیره غذایی در زیست‌بوم باغ‌های گلابی متمرکز بود. از طرف دیگر، در آن پژوهش در نهایت از مدل پیش‌بینی‌کننده خاصی استفاده نشده و فقط از پتانسیل همبستگی متقاطع برای بیان ارتباط بین گیاه‌خوار و گوشت‌خوار در حلقه دوم و سوم زنجیره غذایی استفاده نموده است. نقطه قوت آن تحقیق، تمرکز بر سن آنتوکورید به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در تعیین ظرفیت محیطی زیست‌بوم باغ‌های گلابی در منطقه مورد مطالعه بوده است.

در مطالعه دیگری، تأثیر تراکم جمعیت پسیل گلابی به‌عنوان ناقل بیماری فیتوپلاسمایی گلابی مورد بررسی قرار گرفته و از روش مدل سری زمانی نقش تغییرات جمعیت پسیل گلابی در شدت بروز بیماری به‌وسیله مدل سری زمانی در کالیفرنیا استفاده شده است (Blomquist *et al*., 2002). هرچند که هدف آن تحقیق با پژوهش حاضر متفاوت بوده است. امّا نتایج آن حاکی از دامنه کاربرد وسیع مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی‌های مربوط به مدیریت تلفیقی آفات در باغ‌های گلابی است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، پیش‌بینی وقوع فصلی جمعیت مراحل تخم، پوره و حشره‌کامل پسیل گلابی روی نُه رقم گلابی از طریق مدل ARIMA فصلی با دقت نسبتاً خوبی برآورد شد، اگرچه دقت بسته به رقم و

زمان متفاوت بود. همچنین مشخص شد که تغییرات تراکم جمعیت مرحله گذشته، در طول چرخه زندگی پسیل در پیش‌بینی مراحل رشدی بعدی تأثیر دارند. پوره و حشره‌کامل به‌عنوان مراحل آسیب‌زای این حشره برای پیش‌بینی وقوع تراکم جمعیت حشره در آینده از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. مدل فصلی ARIMA یک ابزار قدرتمند است که می‌تواند برای پیش‌بینی شیوع آفات در آینده مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از این مدل در مدیریت آفات، توانایی تصمیم‌گیری را بهبود می‌بخشد و امکان انتخاب اقدامات پیشگیرانه پایدار برای حفاظت از امنیت غذایی را فراهم می‌کند. در این پژوهش، مدل‌های سری‌های زمانی با گام‌های زمانی منظم و با بهره‌گیری کامل از غنای تغذیه ارقام گلابی به‌عنوان منبع تغذیه‌ای حشره گیاه‌خواری به‌نام پسیل گلابی برازش شدند. انعطاف‌پذیری مدل‌ها در توصیف رفتارهای مختلف فنولوژیکی سالانه مراحل مختلف رشدی پسیل گلابی (بدون نیاز به منحنی‌های پارامتری از پیش تعریف شده) و امکان خود کالیبره کردن مدل‌ها با کمک مدل‌های خودهمبستگی و میان‌همبستگی، این رویکرد را به ابزاری ارزشمند برای ارزیابی و نظارت بر جمعیت این حشره در باغ‌های دارای ارقام مختلف گلابی برای پیاده‌سازی سیستم‌های نظارت وابسته به زمان تبدیل می‌کند.

بااین‌حال، پاسخ به نیاز پیش‌بینی جمعیت تنها با مدل‌سازی ارتباط بین گیاه‌خواری میزبان حتی برای زیست‌بوم‌های کشاورزی که دارای گونه‌های محدود در سطح حلقه‌های مختلف زنجیره غذایی هستند، ساده نیست، زیرا (۱) تعداد زیادی از انواع برهم‌کنش‌های بوم‌شناختی وجود دارد که مدل‌سازی برخی از آن‌ها ممکن است بسیار دشوار باشد و (۲) یک مدل معمولاً با مؤلفه‌های رفتاری متعددی ساخته می‌شود که هر یک از آن‌ها می‌تواند با تغییر فرآیندهای تولد–مرگ به‌عنوان یک منبع محرکِ پویایی جمعیت عمل کند. ارزیابی اثرات پویای این مؤلفه‌ها با استفاده از مدل‌های سری زمانی، دستاوردهای کاربردی برای مدیریت تلفیقی آفات فراهم می‌کند. یک مزیت دیگر این مدل-ها این است که این امکان را می‌دهد تا ارتباطات بین گونه‌ای را که برای درک پویایی جمعیت ضروری است، شناسایی شود. الزامات، نظارت بلندمدت گونه‌های مختلف و توسعه ابزارهای تحلیل سری‌های زمانی پیچیده است. نتایج این پژوهش نیز یک گام اولیه در ایجاد رویکرد استفاده از مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی جمعیت پسیل گلابی بود. بررسی تعاملات مؤلفه‌های زیستی (شکارگرها، پارازیتوئیدها، عوامل بیمارگر و گونه‌های رقیب) و عوامل غیر زیستی (مؤلفه‌های هواشناسی نظیر حرارت، رطوبت، بارندگی) برای تکمیل این رویکرد ضروری می‌باشند.

Refrences

1. Andow, D.A. (1990). Population dynamics of an insect herbivore in simple and diverse habitats. *Ecology*, *71*(3), 1006-1017. https://doi.org/10.2307/1937369
2. Behdad, E. (1991). *Iran Pests* of *Fruit Trees* (2nd Ed.), Bahman Nashr Press, Esfahan, Iran, 826 pp. (in Persian)
3. Blanchet, F.G., Cazelles, K., & Gravel, D. (2020). Co-occurrence is not evidence of ecological interactions. *Ecology Letters*, *23*(7), 1050-1063. https://doi.org/10.1111/ele.13525
4. Blomquist,C.L., & Kirkpatrick, B.C. (2002). Frequency and seasonal distribution of pear psylla infected with the pear decline phytoplasma in California pear orchards. *Phytopathology*, *92*(11), 1218-1226. https://doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.11.1218
5. Boopathi, T., Singh, S. B., Manju, T., Ramakrishna, Y., Akoijam, R. S., Chowdhury, S., Ngachan, S. V., Waisel, Y., & Bose, A. (2015). Development of temporal modeling for forecasting and prediction of the incidence of lychee, *Tessaratoma papillosa* (Hemiptera: Tessaratomidae), using time-series (ARIMA) analysis. *Journal of Insect Science*, *15*(1), 55. https://doi.org/10.1093/jisesa/iev034
6. Butt, B. A., Stuart, L. C., & Bell, R. L. (1989). Feeding, longevity, and development of pear psylla (Homoptera: Psyllidae) nymphs on resistant and susceptible pear genotypes. *Journal of Economic Entomology*, *82*(2), 458-461. https://doi.org/10.1093/jee/82.2.458
7. Clark, T. J., & Luis, A. D. (2020). Nonlinear population dynamics are ubiquitous in animals. *Nature Ecology and Evolution*, *4*(1), 75-81. https://doi.org/10.5281/zenodo.3470260
8. Damos, P. (2016). Using multivariate cross correlations, Granger causality and graphical models to quantify spatiotemporal synchronization and causality between pest populations. *BMC ecology*, *16*, 1-17. https://doi.org/10.1186/s12898-016-0087-7
9. Damos, P. T., & Savopoulou-Soultani, M. (2010). Development and statistical evaluation of models in forecasting moth phenology of major lepidopterous peach pest complex for Integrated pest management programs. *Crop Protection*, *29*(10), 1190-1199. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.06.022
10. Daniel Kissling, W., Pattemore, D. E., & Hagen, M. (2014). Challenges and prospects in the telemetry of insects. *Biological Reviews*, *89*(3), 511-530. https://doi.org/10.1111/brv.12065
11. Del Monte-Luna, P., Brook, B. W., Zetina-Rejón, M. J., & Cruz-Escalona, V. H. (2004). The carrying capacity of ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, *13*(6), 485-495. https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2004.00131.x
12. Dennis, E. B., Kéry, M., Morgan, B. J., Coray, A., Schaub, M., & Baur, B. (2021). Integrated modelling of insect population dynamics at two temporal scales. *Ecological Modelling*, *441*, 109408.

https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109408

13. Didham, R. K., Basset, Y., Collins, C. M., Leather, S. R., Littlewood, N. A., Menz, M. H. M., Müller, J., Packer, L., Saunders, M. E., Schönrogge, K., Stewart, A. J. A., Stork, N. E., Samways, M. J., & Hassall, C. (2020). Interpreting insect declines: Seven challenges and a way forward. *Insect Conservation and Diversity*, *13*(2), 103-114. https://doi.org/10.1111/icad.12408
14. Dimri, T., Ahmad, S., & Sharif, M. (2020). Time series analysis of climate variables using seasonal ARIMA approach. *Journal of Earth System Science*, *129*, 1-16. https://doi.org/10.1007/s12040-020-01408-x
15. Dixon, P. A., Milicich, M. J., & Sugihara, G. (1999). Episodic fluctuations in larval supply. *Science*, *283*(5407), 1528-1530. https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.283.5407.1528
16. Erfani, J., Ebadi, A., Abdollahi, H., & Moghaddam, M. F. (2014). Evaluation of genetic diversity of some pear (*Pyrus* spp.) genotypes and species based on morphological characteristics. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *45*(1), 11-21. (in Persian)
17. Flores, J. H. F., Engel, P. M., & Pinto, R. C. (2012). Autocorrelation and partial autocorrelation functions to improve neural networks models on univariate time series forecasting. In The 2012 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) (pp. 1-8). IEEE. https://doi.org/10.1109/IJCNN.2012.6252470
18. Forbanka, D. N., Stemele, M. A., Heshula, L. U. N. P., Dzemo, W. D., Kotey, D. A., Taruvinga, A., & Tshivhandekano, P. G. (2023). Distribution and fixed-precision sampling plans for diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae), on winter–spring *cabbage. Journal of Economic Entomology*, *116*(5), 1551-1559. https://doi.org/10.1093/jee/toad156
19. Heath, R. A. (2014). *Nonlinear Dynamics: Techniques and Applications in Psychology*. Psychology Press. United Kingdom. 356 pp.
20. Henson, S. M., Costantino, R. F., Cushing, J. M., Dennis, B., & Desharnais, R. A. (1999). Multiple attractors, saddles, and population dynamics in periodic habitats. *Bulletin of Mathematical Biology*, *61*, 1121-1149. https://doi.org/10.1006/bulm.1999.0136
21. Hines, J., van der Putten, W. H., De Deyn, G. B., Wagg, C., Voigt, W., Mulder, C., Minden, V., Engelhardt, K., Scherber, C., & Eisenhauer, N. (2015). Towards an integration of biodiversity-ecosystem functioning and food web theory to evaluate relationships between multiple ecosystem services. *In Advances in Ecological Research Academic Press*, *53*, 161-199 pp. https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2015.09.001
22. Hirano, H., & Takemoto, K. (2019). Difficulty in inferring microbial community structure based on co-occurrence network approaches. *BMC bioinformatics*, *20*(1), 1-14. https://doi.org/10.1186/s12859-019-2915-1
23. Kawatsu, K., Ushio, M., van Veen, F. F., & Kondoh, M. (2021). Are networks of trophic interactions sufficient for understanding the dynamics of multi-trophic communities? Analysis of a tri-trophic insect food-web time-series. *Ecology Letters*, *24*(3), 543-552. https://doi.org/10.1111/ele.13672
24. Kéfi, S., Miele, V., Wieters, E. A., Navarrete, S. A., & Berlow, E. L. (2016). How structured is the entangled bank? The surprisingly simple organization of multiplex ecological networks leads to increased persistence and resilience. *PLoS Biology*, *14*(8), e1002527. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002527
25. Kim, D., Cho, M., Jeon, H., Yiem, M., & Lee, J. (2000). Population trends and temperature-dependent development of pear psylla, *Cacopsylla pyricola* (Foerster)(Homoptera: Psyllidae). *Korean Journal of Applied Entomology*, *39*(2), 73-82.
26. Liu, D., Yu, J., Macchiarella, N. D., & Vincenzi, D. A. (2008). Simulation fidelity. In Human factors in simulation and training. CRC Press, United State, pp. 91-108.
27. Liu, S. S., Chen, F. Z., & Zalucki, M. P. (2002). Development and survival of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) at constant and alternating temperatures. *Environmental Entomology*, *31*(2), 221-231. https://doi.org/10.1603/0046-225X-31.2.221
28. Machlitt, D. (1998). Persea mite on avocados: Quick field counting method. *Subtropcal Fruit News*, *6*, 1-4.
29. Marcasan, L. I. S., Hulujan, I. B., Florian, T., Somsai, P. A., Militaru, M., Sestras, A. F., Moldovan, I. C., Crisan, I. A., Roman, I., & Sestras, R. E. (2022). The importance of assessing the population structure and biology of psylla species for pest monitoring and management in pear orchards. Notulae *Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *50*(4), 13022. https://doi.org/10.15835/nbha50313022
30. Moore, J. C., de Ruiter, P. C., McCann, K. S., Wolters, V., Gellner, G., & Serván, C. (Eds.). (2017). Adaptive Food Webs: Stability and Transitions of Real and Model Ecosystems. Cambridge University Press, United Kingdom. 326 pp. https://doi.org/10.1017/9781316871867
31. Nelson, B. K. (1998). Time series analysis using autoregressive integrated moving average (ARIMA) models. *Academic Emergency Medicine*, *5*(7), 739-744. https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.1998.tb02493.x
32. Palma, G. R., Godoy, W. A., Engel, E., Lau, D., Galvan, E., Mason, O., Souza, L. E., Ribeiro, F. T., Miranda, J. R., & Moral, R. A. (2023). Pattern-based prediction of population outbreaks. *Ecological Informatics*, *77*, 102220. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102220
33. Pasqualini, E., Civolani, S., Musacchi, S., Ancarani, V., Dondini, L., Robert, P., & Baronio, P. (2006). *Cacopsylla pyri* behaviour on new pear selections for host resistance programs. *Bulletin of Insectology*, *59*(1), 27-37.

34. Sanchez, J. A., & Ortín-Angulo, M. C. (2012). Abundance and population dynamics of *Cacopsylla pyri* (Hemiptera: Psyllidae) and its potential natural enemies in pear orchards in southern Spain. *Crop Protection*, *32*, 24-29. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.11.003
35. Schaub, L., Graf, B., & Butturini, A. (2005). Phenological model of pear psylla *Cacopsylla pyri*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *117*(2), 105-111. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2005.00339.x
36. Scutareanu, P., Lingeman, R., Drukker, B., & Sabelis, M. W. (1999). Cross-correlation analysis of fluctuations in local populations of pear psyllids and anthocorid bugs. *Ecological Entomology*, *24*(3), 354-363. https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.1999.00199.x
37. Shenk, T. M., White, G. C., & Burnham, K. P. (1998). Sampling-variance effects on detecting density dependence from temporal trends in natural populations. *Ecological Monographs*, *68*(3), 445-463. https://doi.org/10.1890/0012-9615(1998)068[0445:SVEODD]2.0.CO;2
38. Soukhovolsky, V., Kovalev, A., Ivanova, Y., & Tarasova, O. (2023). Autoregression, first order phase transition, and stochastic resonance: A comparison of three models for forest insect outbreaks. *Mathematics*, *11*(19), 4212. https://doi.org/10.3390/math11194212
39. Stankevych, S. V., Biletskyj, Y. M., Zabrodina, I. V., Yevtushenko, M. D., Dolya, M. M., Lezhenina, I. P., Tymchyshyn, O. V., Dmytrenko, V. O., Petrova, O. M., & Klymenko, I. V. (2020). Cycle populations dynamics of harmful insects. *Ukrainian Journal of Ecology*, *10*(3), 147-161. https://doi.org/10.15421/2020_148.
40. Wong, T. T., & Madsen, H. F. (1967). Laboratory and field studies on the seasonal forms of pear psylla in northern California. *Journal of Economic Entomology*, *60*(1), 163-168. https://doi.org/10.1093/jee/60.1.163
41. Yeh, C. K., Rice, G., & Dubin, J. A. (2023). Functional spherical autocorrelation: A robust estimate of the autocorrelation of a functional time series. *Electronic Journal of Statistics*, *17*(1), 650-687. https://doi.org/10.1214/23-EJS2112

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 4, 2025, p. 327-340

Investigating the Geostatistical Characteristics of the Aphid Population of *Acyrthosiphon pisum* Haris in Alfalfa Fields in Dezful and Borujerd Regions

I. Sabouri[1*], A. Rasekh[2], A. Mohseni Amin[3]

1 and 2- Department of Plant Protection, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, respectively.
3- Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
(*- Corresponding author's Email: imansabouri900@gmail.com)

Received: 10-03-2024 Revised: 25-10-2024 Accepted: 02-11-2024 Available Online: 03-03-2025	**How to cite this article:** Sabouri, I., Rasekh, A., & Mohseni Amin, A. (2025). Investigating the geostatistical characteristics of the aphid population of *Acyrthosiphon pisum* in alfalfa fields in Dezful and Borujerd regions. *Iranian Plant Protection Research, 38*(4), 327-340. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jpp.2024.87278.1180

Introduction

Acyrthosiphon pisum Harris is one of the most important aphid species in alfalfa fields. In the case of a large population, it directly and indirectly damages the host plants. Reports have shown their presence in several regions worldwide, including Iran, particularly on fodder plants and most plants belonging to the legume family. Geostatistical analysis provides an alternative approach for characterization of spatially variable ecological data, particularly for insect population. Geostatistics includes two parts, variography and kriging. The foundation of geostatistics is semi-variogram, which is a variance diagram based on the distance between samples, which shows the structure of spatial relationship among the samples. Kriging is one of the geostatistical methods that are used to estimate the regional variable value in different areas of the farm. Regarding geostatistical estimation, the value of a quantity in areas with known coordinates is estimated by using the same quantity in other points with known coordinates. This method allows for precise estimation of the value of a local variable in areas where sampling has not been conducted. These maps can accurately predict population changes and the likelihood of reaching the economic threshold in various parts of the farm. As a result, they can be highly effective in pest management programs.

Materials and Methods

This research was carried out in the crop year of 2021-2022 in two three-year alfalfa fields located in two cities of Dezful (Khuzestan) of Baghdadi variety and Borujard (Lorestan) of Hamadani variety, with an area of five and seven hectares, respectively. To record the population density of desired pest in different parts of the selected farms, the number and location of each sampling station were determined based on their length and

https://doi.org/10.22067/jpp.2024.87278.1180

width coordinates (in meters) were considered constant during the sampling period. To determine the location of sampling stations, first, four main directions were identified in the fields and from the southwest area of the fields, and to eliminate the marginal effects of the fields, a point with coordinates (0,0) was selected two or three meters from the edge of fields. The desired fields were divided into regular grids of 25 x 25 meters. The farms in the Dezful and Borujerd areas were examined, and a total of 90 and 130 sampling sites were identified and labeled with plates. Parameters of each station were recorded on these plates. The sampling started in March 2022 and lasted until mid-November 2022. To sample the population of aphids, a 1 x 1m quadrat was used in such a way that two quadrats were randomly thrown in each grid and six stems were selected from each box, and a total of 12 stems were selected, shaken inside a pan, and counted the aphids. A total of 22 sampling stages were performed. Excel 2010, SPSS ver. 26 and GS+ version 5.1 softwares were used for data analysis. The data related to each station were checked for normality by helping Kolmogorov-Smirnov test, and if necessary, they were placed in the determined coordinates by helping one of the appropriate data conversion methods. Then, variogram curves, as well as kriging maps for each sampling date were presented in the data that had the highest R^2 and degree of spatial dependence.

Results and Discussion

The results of surveying the geostatistical characteristics of *A.pisum* aphid in an alfalfa field in Borujerd city showed that out of 22 sampling cases, 12 cases were fitted with spherical model, eight cases with exponential model, and two cases with linear model (without spatial structure), which in all cases which were fitted with two spherical and exponential models, spatial dependence was observed. In these two models, the ratio of the nugget to the sill was very low, which resulted in an increase in the percentage of spatial dependence. The degree of spatial dependence varied between 0.500 and 0.999. Effective range in the spherical model was between 121.9 and 221.2 meters. In each of the variograms, except for three datasets, in the remaining datasets, the R^2 was high and between 0.55 and 0.95. Its distribution pattern was aggregative. Regarding this aphid species, in alfalfa fields of Dezful city, out of 21 sampling cases, 12 cases were fitted with spherical model, eight cases with exponential model and one case with the linear model. The spatial dependency in the two models ranged from 0.500 to 0.986, indicating a correlation between the distributions of aphids. Furthermore, the population distribution of this aphid species was shown to be aggregated. Effective range for them in the spherical model was between 137.9 and 493.4 meters. Percentage of the degree of spatial dependence for both farms was estimated to be more than 0.5, which means that more than 50% of variability among the data can be described by the spatial dependence, as a result of which the high degree of spatial dependence increases the accuracy of statistical estimation. By kriging maps, the density points of aphids population were checked on different dates, which can be used for advance warning at the beginning of the damaging stages, and by spraying about one-fifth of the field, a high percentage of the pest population can be reduced and avoid unnecessary spraying.

Conclusions

Finally, better outcomes in terms of the environment and control of the targeted pest may be achieved with less pesticide use by applying the science of geostatistics and creating kriging maps. To accomplish this important objective, using targeted pest site control is a good option. Moreover, preparing spatial distribution patterns of insects and preparation of distribution maps (kriging) make it easier to achieve this goal.

Keywords: Kriging, Pest management, Population dynamics, Semivariance, Variography

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸ شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص. ۳۴۰-۳۲۷

بررسی مشخصه‌های زمین‌آماری جمعیت شته *Acyrthosiphon pisum* Haris در مزارع یونجه شهرستان‌های دزفول (خوزستان) و بروجرد (لرستان)

ایمان صبوری[1] - آرش راسخ[2] - امیر محسنی امین[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۲

چکیده

تجزیه‌های زمین‌آماری به‌عنوان یک روش جایگزین برای بررسی مشخصه‌های مربوط به داده‌های بوم‌شناختی متغیرهای مکانی به‌خصوص برای جمعیت حشرات کاربرد دارد. شته سبز نخود فرنگی *Acyrthosiphon pisum* Haris از مهم‌ترین گونه‌های شته در مزارع یونجه محسوب می‌شود. این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۴۰۱ در مزارع یونجه شهرستان‌های دزفول (خوزستان) و بروجرد (لرستان) به‌ترتیب با مساحت پنج و هفت هکتار (۹۰ و ۱۳۰ شبکه ۲۵ × ۲۵ متری) انجام شد. نمونه‌برداری از شته‌ها با استفاده از یک کادر ۱ × ۱ متری انجام و در هر شبکه، دو کادر به‌صورت تصادفی انداخته و از داخل هر کادر، شش ساقه و در مجموع، ۱۲ ساقه انتخاب و شمارش شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار GS^+ انجام و به‌منظور مدل‌سازی تغییرات وابستگی مکانی با افزایش فاصله بین نمونه‌ها، منحنی‌های نیم تغییرنما محاسبه و ارائه شد. نتایج تجزیه‌های زمین‌آماری برای شته فوق در مزارع یونجه شهرستان‌های دزفول و بروجرد نشان داد که از ۲۲ مرحله نمونه‌برداری، ۱۲ مورد با مدل کروی، هشت مورد با مدل نمایی و دو مورد با مدل خطی برازش داشتند. درجه وابستگی مکانی بین ۰/۵۰۰ تا ۰/۹۹۸ قرار گرفت که نشان می‌دهد بیش از ۵۰ درصد از تغییرپذیری (واریانس) بین داده‌ها دارای ساختار مکانی هستند و ضریب تبیین بین ۰/۵۵ تا ۰/۹۸متغیر بود. الگوی پراکنش این گونه از نوع تجمعی و دامنه مؤثر برای این گونه، در مدل نمایی به نسبت بالا و در مدل کروی در بروجرد بین ۱۲۱/۹ تا ۲۲۱/۲ متر و در دزفول بین ۱۳۷/۹ تا ۴۹۳/۴ متر قرار گرفت. با توجه به نتایج این تحقیق، استفاده از علم زمین‌آمار و نقشه‌های پراکنش به‌منظور ردیابی و پیش‌آگاهی جمعیت در اوایل حمله شته سبز نخود فرنگی به مزارع یونجه پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تغییرات جمعیت، سمی‌واریوگرام، کریجینگ، مدیریت آفات، واریوگرافی

مقدمه

یونجه از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای به‌شمار می‌آید که فون‌های غنی از بندپایان را دربرمی‌گیرد (Alsuhaibani, 1996). در بین آفات و عوامل زیان‌آور، خسارت شته‌ها به‌عنوان یکی از آفات حائز اهمیت یونجه به‌خصوص در چین‌های دوم و سوم شایان توجه می‌باشد (Afshari Rassoulian, 1989; Nakashima & Akashi, 2005; Canevari *et al*., 2015; *et al*., 2008). جمعیت شته‌ها در صورت انبوه بودن، خسارت زیادی به محصول وارد می‌کنند که در خسارت مستقیم با تغذیه از شیره گیاهی باعث ضعف، توقف رشد و همچنین خشک شدن بوته‌های گیاه میزبان می‌شوند. تغذیه آن‌ها از شیره گیاهی همراه با ترشح عسلک و در نهایت، رشد قارچ مولد دوده

۱ و ۲- گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۳- دانشیار پژوهشی، موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: imansabouri900@gmail.com)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.87278.1180

(فوماژین[1]) می‌باشد. این آفات همچنین با انتقال ویروس‌های بیمارگر گیاهی به‌صورت غیرمستقیم سبب خسارت می‌شوند (Mittler & Eastop, 1971; Rakhshani *et al*., 2006; Sylvester, 1961; Golawska *et al*., 2010). از جمله شته‌های مهم مزارع یونجه به نقل از منابع مختلف (Mittler & Sylvester, 1961; Eastop, 1971; Monajemi & Esmaili, 1981) گونه *Acyrthosiphon pisum* Haris است که از نقاط مختلف دنیا گزارش شده است (Nakashima & Summers, 1976; Grigorov, 1982; Akashi, 2005). همچنین از فعالیت این گونه شته در نقاط مختلف در ایران گزارش‌هایی ارائه شده است که روی بسیاری از گیاهان علوفه‌ای و بیشتر گیاهان خانواده بقولات مانند لوبیا، باقلا، نخود و یونجه تشکیل کلونی می‌دهند (Monajemi & Esmaili, 1981; Rassoulian,1985; Canevari *et al*., 2015).

زمین‌آمار[2] براساس نظریه متغیرهای ناحیه‌ای می‌باشد که با داده‌ها یا متغیرهای مکانی ارتباط دارد و می‌توان آن را مترادف با آمار مکانی دانست. زمین‌آمار یکی از روش‌های آماری محسوب می‌شود که قادر به در نظر گرفتن جزء وابسته به مکان تغییرات است و شامل آمار کلاسیک می‌باشد (Madani, 1994). در این روش فرض بر این است که نمونه‌های انتخاب شده از جامعه از یکدیگر مستقل نیستند و تا فاصله معینی به‌صورت مکانی نسبت به یکدیگر دارای وابستگی می‌باشند. این ارتباط مکانی نیز می‌تواند در قالب یک مدل ریاضی بیان شود که این مدل‌های ریاضی را ساختار مکانی[3] می‌گویند (Hasani Pak,Journel & Huijbregts, 1978; Madani, 1994; 1998). زمین‌آمار شامل دو بخش واریوگرافی[4] و کریجینگ[5] است (Gressie, 1993). پایه و اساس زمین‌آمار سمی‌واریوگرام[6] می‌باشد که نمودار واریانس براساس فاصله بین نمونه‌ها می‌باشد که این نمودار، ساختار ارتباط مکانی بین نمونه‌ها را به نمایش می‌گذارد. جهت محاسبه و همچنین تعیین مدل نیم تغییرنمای تجربی، ابتدا باید مجذور اختلاف یک کمیت (میزان جمعیت) در دو نقطه (هر زوج نمونه) به فاصله معین h تعیین و سپس میانگین مجذور این اختلاف‌ها، بررسی و محاسبه شوند. در این صورت به میانگین، نیم تغییرنما یا سمی‌واریوگرام گفته شده و از طریق معادله ۱ محاسبه می‌شود (Madani, 1994). در چنین شرایطی، مجذور اختلاف جمعیت در کلیه نقاط با فاصله افقی h از یکدیگر قرار دارند.

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(xi) - z(xi + h)] \qquad (۱)$$

کریجینگ به‌معنای "پیش‌بینی بهینه" نیز یکی از روش‌های زمین‌آماری محسوب می‌شود که جهت برآورد مقدار متغیر ناحیه‌ای در مناطق مختلف مزرعه کاربرد دارد (Habashi *et al*., 2007). در مورد تخمین زمین‌آماری می‌توان چنین عنوان کرد که مقدار یک کمیت در مناطقی با مختصات مشخص را با استفاده از همان کمیت، در نقاط دیگر با مختصات معلوم برآورد می‌کند (Hasani Madani, 1994; Pak, 1998). با استفاده از این روش، مقدار یک متغیر ناحیه‌ای در نقاطی که نمونه‌گیری صورت نگرفته با دقت بالایی برآورد می‌شود و این نقشه‌ها می‌توانند تغییرات جمعیت و همچنین امکان رسیدن آن‌ها به آستانه اقتصادی را در مناطق مختلف مزرعه پیشگویی کنند، بنابراین می‌توانند در برنامه مدیریت آفات کارآیی گسترده‌ای داشته باشند (Liebhold *et al*.,1993; Isaaks & Srivastava, 1989; Goovaerts, 1998).

محققان بسیاری با استفاده از روش‌های مختلف تجزیه مکانی از جمله زمین‌آمار، پراکنش مکانی- زمانی حشرات مختلفی را مطالعه نموده‌اند. آزاد (Azad, 2010) پراکنش فضایی، درجه وابستگی مکانی و دامنه مؤثر شته‌های گندم را در مزارع باجگاه شیراز توسط زمین‌آمار مورد بررسی قرار داد. شایسته‌مهر (Shayestehmehr, 2014)، همبستگی مکانی-زمانی شته خالدار یونجه *Therioaphis maculata* Buckten و کفشدوزک *Hippodamia variegata* Goeze را در مزارع یونجه مطالعه کرد که براساس نتایج به‌دست آمده، هر دو حشره دارای پراکنش تجمعی بودند. کریم‌زاده و همکاران (Karimzadeh *et al*., 2015)، الگوی پراکنش مکانی سرخرطومی‌های ریشه‌خوار و برگ‌خوار یونجه را با استفاده از زمین‌آمار بررسی کرده و نشان دادند که حشرات مورد مطالعه دارای پراکنش تجمعی و وابستگی مکانی متوسط تا قوی هستند. قهرمانی (Ghahremani, 2017)، پراکنش شته‌ها، کفشدوزک‌ها و سن‌های گیاهی در مزارع یونجه کرکج را با استفاده از زمین‌آمار تجزیه کرده و میزان وابستگی آن‌ها را مورد بررسی قرار داد که مقادیر درجه وابستگی مکانی[7] DD برای آن‌ها بزرگ‌تر از ۵۰ درصد بود که نشان‌دهنده توزیع تجمعی می‌باشد. ری-جونز (Reay-Jones, 2017)، پراکنش مکانی سوسک برگخوار غلات *Oulema melanopus* (L.) را با استفاده از زمین‌آمار مطالعه و الگوی پراکنش

1- Sooty mold
2- Geostatistic
3- Spatial structure
4- Variogram
5- Kriging
6- Semi-variogram
7- Degree of spatial dependence

آن را از نوع تجمعی گزارش کرد. اِلسیری و همکاران (Ellsbury *et al*., 1998)، الگوی ظهور کرم ریشه غربی *Diabrotica virgifera* LeConte و کرم ریشه شمالی *D. barberi* Smith and Lawrwnce را بررسی کرده و عنوان کرد که برازش گونه‌های غربی با مدل کروی[1] و گونه‌های شمالی با مدل نمایی[2] مطابقت دارند. برای به‌دست آوردن ضرایب کریجینگ، محاسبه مقدار واریوگرام نیز ضروری می‌باشد، به همین دلیل مدل‌های کروی، نمایی، گوسی[3] و مدل اثر قطعه‌ای[4] خام یا خطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با مقایسه نقشه‌های کریجینگ در تاریخ‌های متوالی می‌توان مسیرهای ورود آفت مورد نظر را به مزرعه شناسایی کرد.

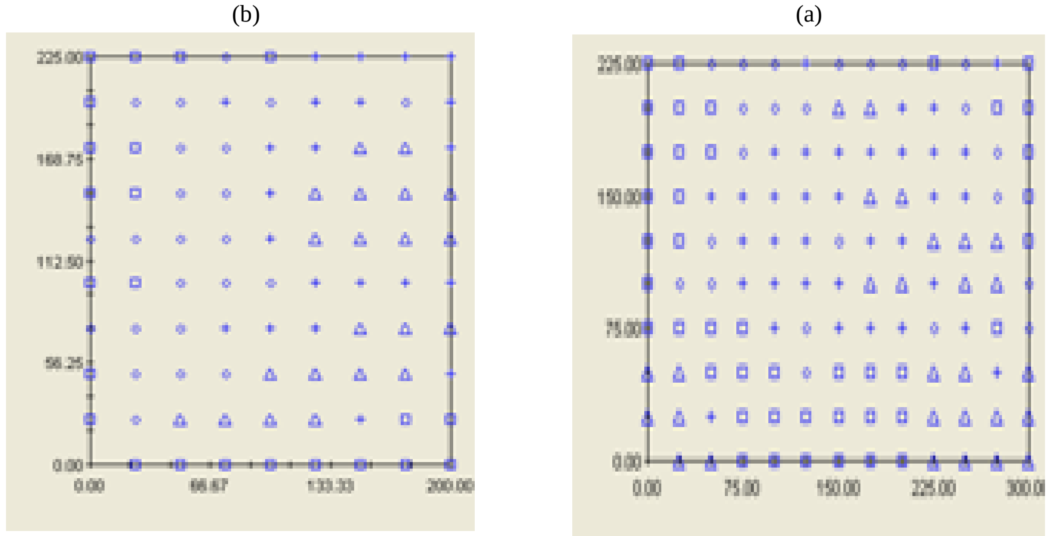
هدف از اجرای این تحقیق، تعیین مشخصات زمین‌آماری گونه‌های مورد مطالعه شته با استفاده از نقشه‌های کریجینگ جمعیت در تاریخ‌های متوالی می‌باشد. با استفاده از نقشه‌های کریجینگ می‌توان به نقشه پراکندگی گونه هدف دست پیدا کرد و با مقایسه این نقشه‌ها، مسیرهای ورود آفت به مزرعه را شناسایی نمود. با تعیین نقاط پرتراکم آفت و مسیرهای ورودی آن به مزرعه، می‌توان قبل از طغیان، نسبت به مبارزه با آفت در نقاط آلوده اقدام و ضمن کاهش خسارت آفت، هزینه مدیریت را به‌شدت کاهش داد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی سال زراعی ۱۴۰۰– ۱۴۰۱ در دو مزرعه یونجه سه ساله واقع در شهرستان دزفول (با مختصات جغرافیایی طول ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۸۷ متر) و بروجرد (با مختصات جغرافیایی طول ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه و عرض ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۱۰۰ متر) انجام شد. مساحت و ارقام مورد مطالعه مزارع یونجه در این مطالعه به‌ترتیب پنج (رقم بغدادی) و هفت هکتار (رقم همدانی) بوده و موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا توسط دستگاه موقعیت‌یاب جغرافیایی[5] مشخص شد. در اسفند ماه ۱۴۰۰ در مزارع انتخاب شده، تمامی اقدامات زراعی مطابق روش معمول در آن منطقه صورت گرفت. به‌منظور ثبت تراکم جمعیت حشره آفت مورد نظر در نقاط مختلف مزارع انتخاب شده، تعداد و موقعیت مکانی هر ایستگاه نمونه‌برداری براساس مختصات طول و عرض آن‌ها (برحسب متر) مشخص و طی دوره نمونه‌برداری، ثابت در نظر گرفته شد. بدین منظور برای مشخص کردن موقعیت مکانی ایستگاه‌های نمونه‌برداری، ابتدا چهار جهت اصلی را در مزارع مشخص و از منطقه جنوب غربی مزارع و به‌منظور حذف اثرات حاشیه‌ای مزرعه، از دو یا سه متری حاشیه مزارع، نقطه‌ای با مختصات (0,0) انتخاب شد. هرکدام از مزارع مورد نظر به شبکه‌های منظم ۲۵ × ۲۵ متری تقسیم شد. در مزارع مورد مطالعه در منطقه دزفول و بروجرد به‌ترتیب تعداد ۹۰ و ۱۳۰ ایستگاه نمونه‌برداری توسط پلاک‌هایی مشخص و روی این پلاک‌ها مشخصات هر ایستگاه نوشته شد (شکل ۱). جهت تعیین زمان مناسب نمونه‌برداری و شروع آلودگی، نمونه‌گیری از اواسط اسفندماه شروع و بعد از ظهور شته‌ها، نمونه‌برداری به‌صورت منظم و هفتگی صورت گرفت. برای کاهش خطای نمونه‌برداری و ایجاد یکنواختی، نمونه‌برداری در کلیه تاریخ‌ها، در طول روز حدود ساعت ۸ صبح تا ۱۲ ظهر انجام می‌شد. همچنین بعد از برداشت چین‌ها، زمانی که طول ساقه به حدود ۱۵ سانتی‌متر می‌رسید عملیات نمونه‌برداری از سر گرفته شد. نمونه‌برداری‌ها به‌دلیل یکسان بودن در تاریخ‌های نمونه‌برداری و تعداد دفعات نمونه‌برداری به‌طور همزمان در اسفندماه ۱۴۰۰ شروع و تا اواسط آبان ماه ۱۴۰۱ ادامه یافت. پس از نمونه‌برداری اولیه و شناسایی گونه‌های مختلف شته در مزارع مورد مطالعه، از تقسیم میانگین جمعیت این گونه‌ها (در تاریخ‌های مختلف نمونه‌برداری) بر میانگین جمعیت گونه‌های مختلف شته، درصد فراوانی هر گونه تعیین شد. به‌منظور نمونه‌برداری از جمعیت شته‌ها، از یک کادر ۱ × ۱ متری استفاده شد، به این ترتیب که در هر شبکه، تعداد دو کادر به‌صورت تصادفی انداخته و از هر کادر تعداد شش ساقه انتخاب و در مجموع، ۱۲ ساقه انتخاب و در داخل یک تشت تکان داده شده و شته‌ها شمارش شدند. در کل، تعداد ۲۲ مرحله نمونه‌برداری از تاریخ شروع تا پایان نمونه‌برداری انجام گرفت که به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای Excel 2010 ، SPSS ver. 26 (SPSS, 2018) و +GS نسخه ۵/۱ (Robertson, 1998) استفاده شد. نرمال بودن داده‌های مربوط به هر ایستگاه به کمک آزمون کولموگروف–اسمیرنف[6] بررسی شد.

سپس منحنی‌های واریوگرام و همچنین نقشه‌های کریجینگ برای هر تاریخ نمونه‌برداری، در داده‌هایی که بالاترین ضریب تبیین و درجه وابستگی مکانی را داشتند، ارائه شد. برای این منظور، مدل‌های مختلف کروی، خطی، گوسی و نمایی مورد آزمون قرار گرفتند.

1- Spherical
2- Exponential
3- Guassian
4- Pure nugget effect
5- Global positioning system
6- Kolmogorov–Smirnov test



شکل ۱- الف: نقاط نمونه‌برداری در مزرعه یونجه شهرستان بروجرد (متر)، ب: نقاط نمونه‌برداری در مزرعه یونجه شهرستان دزفول (متر)

Figure 1- A: Sampling points in the alfalfa field of Boroujerd city, B: Sampling points in the alfalfa field of Dezful city

مدل‌های کروی و نمایی که بیشترین کاربرد را در مطالعات حشره شناسی دارند، توسط معادله‌های زیر محاسبه شدند (Hasani Pak, 1998).

(۲) مدل نمایی $$y(h) = C0 + c \times (1 - e^{\frac{-h}{a}}) \quad (۲)$$

(۳) مدل کروی $$y(h) = C0 + c\left[\frac{3h}{2a} + \frac{h^3}{2a}\right] \quad (۳)$$

که در آن‌ها، h: فاصله گام‌ها، C_0: اثر قطعه‌ای، C_0+C: آستانه[1]، a: دامنه یا شعاع تأثیر و e: عدد نپر یا پایه لگاریتم طبیعی (۲/۷۱۸۲۸۱۸) است. مدلی که دارای بیشترین ضریب تبیین و درجه وابستگی مکانی بود به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد. بعد از انتخاب مدل، از اجزاء آن یعنی سقف، دامنه مؤثر و اثر قطعه‌ای برای تعیین درجه وابستگی مکانی داده‌ها استفاده شد. درجه وابستگی مکانی از معادله زیر محاسبه شد:

$$DD = \left(\frac{c}{C0+C}\right)100 \quad (۴)$$

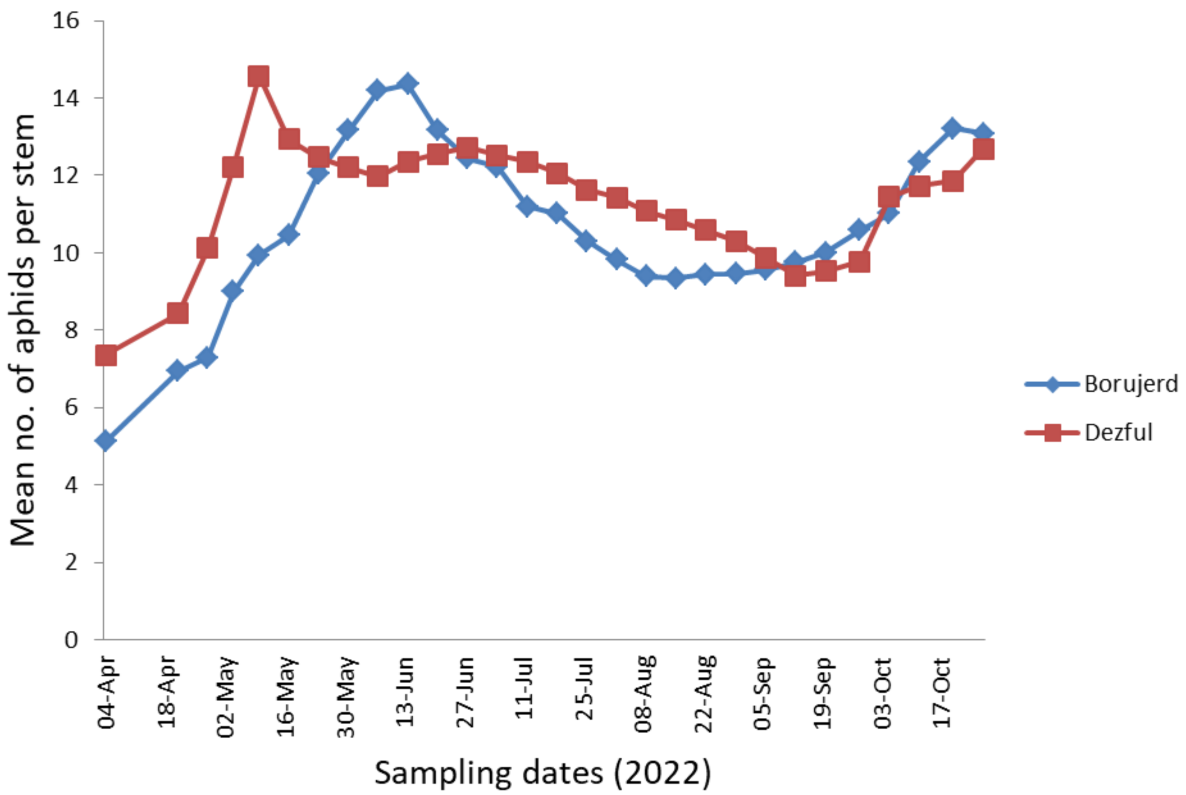
که در آن، C_0: اثر قطعه‌ای و C_0+C: سقف تغییرنما می‌باشد. مقادیر DD کمتر از ۲۵ درصد نشان‌دهنده وابستگی مکانی ضعیف، مقادیر ۲۵ تا ۷۵ درصد نشان‌دهنده وابستگی مکانی متوسط و مقادیر بالای ۷۵ درصد نشان‌دهنده وابستگی مکانی قوی است (Karimzadeh *et al.*, 2011).

نتایج و بحث

گونه‌های جمع‌آوری شده از جمعیت شته‌های مزارع یونجه

در این پژوهش، چهار گونه شته *A. pisum*، *Acyrthosiphon kondoi* Shinji and Kondo، *Therioaphis maculate* (Buckton) و *Aphis craccivora* Koch از مزارع یونجه دو شهرستان جمع‌آوری و شناسایی شدند. شته سبز نخود فرنگی، شته غالب در مزارع مورد بررسی بود، به‌طوری‌که در شهرستان بروجرد و دزفول به‌ترتیب ۳۶/۳۹ و ۳۸/۴۲ درصد از جمعیت شته‌ها مربوط به این گونه بود. نمودارهای رسم شده نیز نشان دادند که روند تغییرات زمانی میانگین جمعیت شته نخود در هر دو مزرعه تا حد زیادی مشابه بوده و در ماه‌های اردیبهشت تا اواسط خرداد جمعیت بالایی دارند و در شهریور ماه به اوج خود می‌رسد (شکل ۲). قهرمانی (Ghahremani, 2017) در پژوهشی روند تغییرات زمانی شته نخود را مورد بررسی قرار داد و افزایش چشم‌گیر جمعیت این گونه را در شهریورماه گزارش کرد. تغییرات جمعیت شته‌ها می‌تواند تحت تأثیر عواملی مانند تغییرات آب‌وهوایی، دشمنان طبیعی و برداشت چین‌ها باشد (Tomanovic *et*Summer,1976; Takahashi & Natio, 1984; *al.*, 1996).

1- Sill



شکل ۲- تغییرات جمعیت شته سبز نخود فرنگی، *Acyrthosiphon pisum* در مزارع یونجه بروجرد و دزفول در سال ۱۴۰۱

Figure 2- Changes in the population of green pea aphid, *Acyrthosiphon pisum* in Boroujerd and Dezful alfalfa fields in 2022

نتایج بررسی مشخصه‌های زمین‌آماری شته *A.pisum* در مزرعه یونجه شهرستان بروجرد نشان داد که از ۲۲ مورد نمونه‌برداری انجام گرفته، ۱۲ مورد با مدل کروی و هشت مورد با مدل نمایی و دو مورد با مدل خطی (بدون ساختار فضایی) برازش داشتند که در تمامی مواردی که با دو مدل کروی و نمایی برازش داشتند، وابستگی مکانی مشاهده شد (جدول ۱). در این دو مدل، نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه بسیار پایین بود که در نتیجه، موجب بالا رفتن درصد درجه وابستگی مکانی شد. در مدل‌های کروی و نمایی برای این گونه شته، درجه وابستگی مکانی بین ۰/۵۰۰ تا ۰/۹۹۹ متغیر بود، که بیانگر این موضوع بود که بیش از ۵۰ درصد از تغییرپذیری (واریانس) بین داده‌ها دارای ساختار مکانی هستند. همچنین دامنه مؤثر برای این گونه، در مدل نمایی به نسبت بالا بود و در مدل کروی بین ۱۲۱/۹ تا ۲۲۱/۲ متر قرار گرفت. در مطالعه‌ای که روی توده‌های تخم شب پره ابریشم‌باف ناجور (.L) *Lymantria dispar* در جنگل‌های آمریکا توسط لیبهولد و همکاران (Liebhold *et al*., 1993) انجام شد، مقادیر وابستگی مکانی از سالی به سال دیگر و از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت و حدود نصف آستانه و در برخی سال‌ها و برخی مناطق، مقدار آن را کمتر از نصف آستانه عنوان نمودند و دامنه مؤثر را از ۲۵ متر تا ۱۰۰ کیلومتر گزارش کردند. در هریک از واریوگرام‌ها در دو مدل کروی و نمایی به استثناء سه مورد، ضریب تبیین بالا و بین ۰/۵۵ تا ۰/۹۵ بود که این موضوع می‌تواند بیانگر آن باشد که وابستگی فضایی بین جمعیت این گونه شته بالا بوده و الگوی پراکنش آن نیز تجمعی می‌باشد.

در خصوص این گونه شته، در مزارع یونجه شهرستان دزفول نتایج آماره‌های زمین‌آماری بیانگر این مطلب بود که از ۲۱ مورد نمونه‌برداری، ۱۲ مورد با مدل کروی، هشت مورد با مدل نمایی و یک مورد با مدل خطی برازش داشت (جدول ۲). در تمامی مدل‌های کروی و نمایی نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه پایین بود، به‌طوری‌که درجه وابستگی مکانی در دو مدل فوق، بین ۰/۵۰۰ تا ۰/۹۸۶ قرار گرفت که نشان‌دهنده وابستگی فضایی بین شته‌ها می‌باشد و پراکندگی جمعیت این شته نیز از نوع تجمعی بود، به‌طوری‌که ضریب تبیین برای آن‌ها به‌جز دو مورد، در بقیه موارد بین ۰/۵۹ تا ۰/۹۸ نوسان داشت. دامنه مؤثر برای آن‌ها در مدل کروی بین ۱۳۷/۹ تا ۴۹۳/۴ متر قرار گرفت.

جدول ۱- مشخصات زمین‌آماری جمعیت شته سبز نخود فرنگی *Acyrthosiphon pisum* در مزرعه یونجه شهرستان بروجرد در سال ۱۴۰۱

Table 1- Geostatistical characteristics of green pea aphid, *Acyrthosiphon pisum* population in alfalfa field of Boroujerd city in 2022

Sampling date	Model	Nugget	Sill	Rang	Effective range	DD	R^2
2022.05.10	Spherical	0.01	18.04	121.9	121.9	0.999	0.95
2022.05.17	Pure nugget effect	16.48	16.48	280.8	280.8	0.00	0.00
2022.05.24	Pure nugget effect	19.57	19.57	280.8	280.8	0.00	0.00
2022.05.31	Exponential	0.01	26.24	40.6	121.8	0.999	0.64
2022.06.07	Spherical	0.3	31.98	122.6	122.6	0.991	0.71
2022.06.14	Spherical	1.63	32.06	131.4	131.4	0.949	0.57
2022.06.21	Spherical	3.08	30.71	166.1	166.1	0.900	0.94
2022.06.28	Spherical	0.01	23.81	147.9	147.9	0.999	0.91
2022.07.05	Spherical	1.94	23.11	149.0	149.0	0.916	0.89
2022.07.12	Spherical	0.35	18.27	155.1	155.1	0.981	0.86
2022.07.19	Spherical	2.47	19.79	188.0	188.0	0.875	0.81
2022.08.09	Spherical	4.65	26.01	202.5	202.5	0.821	0.94
2022.08.16	Spherical	0.19	25.89	134.2	134.2	0.993	0.77
2022.08.23	Exponential	1.80	47.12	37.3	111.9	0.962	0.55
2022.08.30	Exponential	42.9	85.81	710.9	2132.7	0.500	0.19
2022.09.06	Exponential	43.0	86.1	404.1	1213.2	0.500	0.22
2022.09.13	Exponential	51.0	102.01	710.9	2132.7	0.500	0.14
2022.09.20	Exponential	0.1	69.43	35.2	105.6	0.999	0.63
2022.09.28	Exponential	24.1	72.08	75.1	225.3	0.666	0.83
2022.10.05	Exponential	12.9	61.92	65.4	196.2	0.792	0.93
2022.10.12	Spherical	17.25	44.2	221.2	221.2	0.610	0.89
2022.10.20	Spherical	13.24	43.81	173.1	173.1	0.698	0.87

جدول ۲- مشخصات زمین‌آماری جمعیت شته سبز نخود فرنگی *Acyrthosiphon pisum* در مزرعه یونجه شهرستان دزفول در سال ۱۴۰۱

Table 2- Geostatistical characteristics of green pea aphid, *Acyrthosiphon pisum* population in alfalfa field of Dezful city in 2022

Sampling date	Model	Nugget	Sill	Rang	Effective range	DD	R^2
2022.05.10	Spherical	8.29	27.50	159.4	159.4	0.699	0.85
2022.05.17	Spherical	10.24	33.61	185.3	185.3	0.695	0.90
2022.05.24	Exponential	7.59	33.44	126.4	379.2	0.773	0.98
2022.05.31	Spherical	14.53	29.07	209.03	209.03	0.500	0.90
2022.06.07	Spherical	14.6	41.03	483.3	483.3	0.644	0.86
2022.06.14	Exponential	6.69	30.28	121.2	363.6	0.779	0.98
2022.06.28	Spherical	11.46	24.43	165.8	165.8	0.531	0.71
2022.07.05	Spherical	8.05	33.01	493.4	493.4	0.756	0.97
2022.07.12	Spherical	6.83	15.34	204.3	204.3	0.555	0.86
2022.07.19	Exponential	9.63	34.05	504.6	1513.8	0.717	0.75
2022.07.26	Exponential	9.60	19.21	299	897	0.500	0.37
2022.08.02	Spherical	6.13	12.7	172	172	0.517	0.82
2022.08.09	Exponential	3.07	10.96	38.4	115.2	0.725	0.59
2022.08.23	Exponential	4.75	14.53	46.3	138.9	0.673	0.62
2022.08.30	Exponential	8.85	35.11	505.8	1517.4	0.748	0.80
2022.09.06	Spherical	4.02	28.86	137.9	137.9	0.861	0.81
2022.09.13	Exponential	12.75	25.51	276.6	829.8	0.500	0.40
2022.09.20	Pure nugget effect	15.43	15.43	208.4	208.4	0.00	0.05
2022.10.05	Spherical	4.3	42.4	178.9	178.9	0.899	0.95
2022.10.12	Spherical	0.6	42.5	178.4	178.4	0.986	0.91
2022.10.20	Spherical	7.16	34.4	148.1	148	0.792	0.79

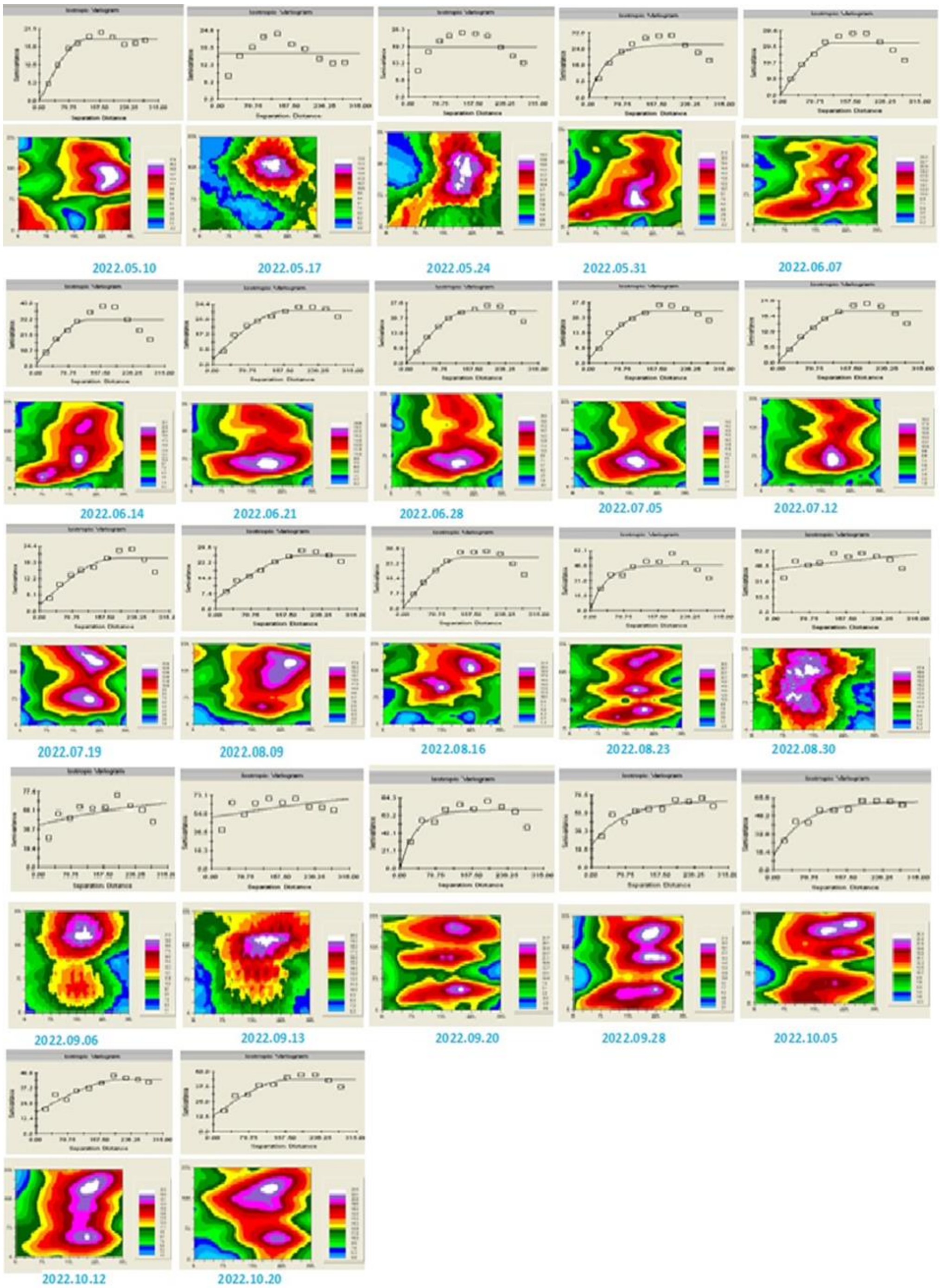
برای طراحی الگوی نمونه‌برداری، وجود اطلاعات قبلی در ارتباط با نحوه پراکنش مکانی حشرات حائز اهمیت است که اگر این اطلاعات از ساختار مکانی در منطقه مورد نظر در دسترس باشد، نمونه‌برداری مستقیم از محل‌های مشخص مناسب‌تر خواهد بود، ولی در شرایطی که چنین اطلاعاتی در اختیار نداریم، کارآمدترین الگوی نمونه‌برداری از نظر کاهش پراکندگی نمونه و همچنین پوشش دادن منطقه مورد نظر، روش شبکه‌بندی می‌باشد که نمونه‌برداری در این شبکه‌های منظم، حداکثر اطلاعات را از آن منطقه در اختیار ما قرار می‌دهد. انتخاب نمونه در هر شبکه به‌صورت تصادفی می‌باشد (McBratney *et al.*,1981). در این پژوهش نیز در ارتباط با مقیاس

وابستگی مکانی شته‌ها در مزارع یونجه مناطق مورد نظر، اطلاعی در دسترس نبود، بنابراین از روش شبکه‌بندی منظم به‌منظور نمونه‌برداری استفاده شد. محققان مختلفی با استفاده از روش‌های گوناگون، الگوی پراکنش مکانی حشرات را مطالعه نمودند، به‌عنوان مثال با استفاده از روش زمین‌آمار، نحوه پراکنش مکانی گونه‌های مختلف آفات شامل کرم‌های ریشه ذرت *Diabrotica* spp. (Park & Telfson, 2005)، کرم قوزه پنبه *Helicoverpa armigera* Hübner (Moral Garcia, 2006)، کنه تارتن دولکه‌ای *Tetranychus urticae* Koch (Hojati *et al.*, 2011) و مگس زیتون *Bactrocera oleae* (Gmelin) (Castrignano *et al.*, 2012) تعیین شده است.

در ارتباط با مقادیر اثر قطعه‌ای، اگر اثر قطعه‌ای از نصف آستانه کمتر باشد، قابل قبول می‌باشد. در این پژوهش، نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه بسیار پایین بود که در نتیجه، موجب بالا رفتن درصد درجه وابستگی مکانی شد که برای هر دو مزرعه، بیش از ۰/۵ برآورد شد. این برآورد به این معنا است که بیش از ۵۰ درصد از تغییرپذیری بین داده‌ها توسط وابستگی مکانی قابل توصیف می‌باشد که در نتیجه بالا بودن درجه وابستگی مکانی، افزایش دقت برآورد آماری توسط کریجینگ را به همراه خواهد داشت (Southwood, 1975).
همچنین در بیشتر موارد، مقادیر اثر قطعه‌ای بالاتر از صفر بود، به‌صورت نظری وقتی فاصله بین نمونه‌ها افزایش می‌یابد، مقادیر سِمی‌واریانس هم به‌آرامی افزایش پیدا می‌کند و اثر قطعه‌ای به‌سمت صفر میل می‌کند، ولی در عمل در بیشتر موارد مقادیر سِمی‌واریانس در مبدأ صفر نیست و در فواصل کوتاه، تغییرات ناگهانی و سریع از خود نشان می‌دهد. عوامل گوناگونی مانند خطای نمونه‌برداری، وابستگی مکانی متغیر مورد بررسی در فاصله‌های کمتر از کوتاه‌ترین فاصله نمونه‌برداری می‌تواند سبب مقادیر غیر صفر اثر قطعه‌ای گردد. با توجه به نتایج حاصل از بررسی مشخصه‌های زمین‌آماری در این تحقیق، چنان‌چه لازم باشد که براساس جمعیت شته، اقدام به پیش‌آگاهی جمعیت شته‌های یونجه شود، با استفاده از روش کریجنگ به‌خوبی می‌توان در نقاط مختلف مزرعه، تراکم جمعیت شته‌ها را تخمین زد. در پژوهشی، محسنی در مزارع گندم دیم بروجرد، تجزیه و تحلیل‌های مربوط به شته‌های مهم گندم *Schizaphis graminum* Rondani، *Sitobion avenae* (F.) و *Rhopalosiphum padi* را بررسی و دامنه وابستگی مکانی را برای این سه گونه به‌ترتیب ۱۳۸، ۱۱۹ و ۹۰ برآورد نمود (Mohiseni *et al.*, 2007). دامنه مؤثر برای شته‌ها در شهرستان دزفول حداقل ۱۳۷ و در شهرستان بروجرد ۱۲۱ متر بود، بنابر پیشنهاد حسنی پاک (Hasani Pak, 1998) برای طراحی شبکه‌های نمونه‌برداری سیستماتیک در زمین‌آمار، فاصله بین نمونه‌ها را می‌توان تا ۷۵ درصد مقادیر دامنه مؤثر، افزایش داد. در نتیجه، با افزایش مقادیر دامنه مؤثر در یک مزرعه با مساحت معین جهت برآورد تراکم جمعیت‌ها، به تعداد نمونه کمتری نیاز خواهد بود و می‌توان هزینه‌های نمونه‌برداری را کاهش داد. در این پژوهش با توجه به اینکه ۰/۷۵ دامنه مؤثر را می‌توان برای نمونه‌برداری توصیه کرد، می‌توان فاصله نمونه‌برداری را تا حدود ۹۰ متر در مزارع بزرگ افزایش داد. البته این در حالی است که مقدار اثر قطعه‌ای در محدوده صفر قرار گرفته باشد، با توجه به اینکه مقدار اثر قطعه‌ای در این تحقیق بالا بود، بنابراین دستیابی به نقشه‌های کریجینگ کاملاً نااریب تا حدودی غیرممکن است، در نتیجه برای بالا بردن دقت در محاسبه واریوگرام‌ها و همچنین نقشه کریجینگ، می‌بایست فاصله بین نمونه‌ها را کاهش و اندازه نمونه را افزایش داد (Rendu, 1981).
در این ارتباط، رابطه $\frac{n}{N \times C} = C0$ به‌منظور محاسبه اثر قطعه‌ای حاصل از n نمونه پیشنهاد شده است (Rendu, 1981). با استفاده از این رابطه می‌توان با افزایش تعداد نمونه، اثر قطعه‌ای را کاهش داد.

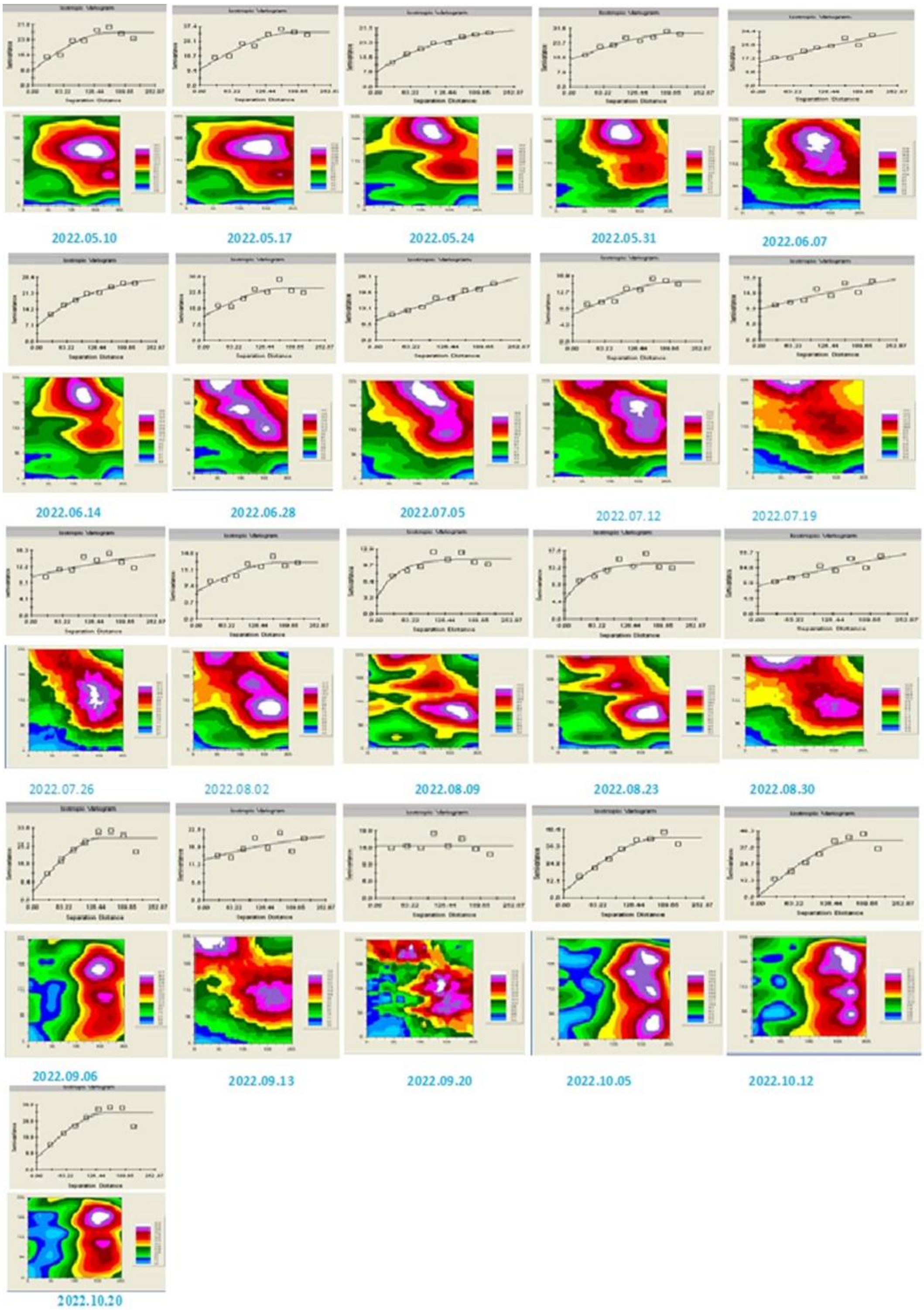
بررسی مشخصه‌های زمین‌آماری می‌تواند اطلاعات بسیاری در رابطه با الگوی پراکنش جمعیت‌ها، در اختیار ما قرار دهد. در این پژوهش نیز نتایج حاصل از روش زمین‌آمار بیانگر این موضوع بود که پراکنش مکانی گونه شته مورد نظر همانند اغلب حشرات از نوع تجمعی بود و در تمام طول تاریخ‌های نمونه‌برداری، وابستگی فضایی شدیدی بین شته‌ها وجود داشت. الگوی پراکنش مکانی تجمعی برای حشرات دیگری مانند سوسک برگخوار غلات *O. melanopus* (Reay–Jones, 2012)، مگس اصطبل *Stomoxys calcitrans* (Taylor *et al.*, 2013) و کرم ریشه‌خوار انگور *Vitacea polistiformis* (Rijal *et al.*, 2014) نیز گزارش شده است.

در پژوهشی روی بررسی آماره‌های زمین‌آماری کرم مفتولی *Limonius californicus* Mannerheim، الگوی پراکنش این آفت از نوع تجمعی گزارش شد (Williams *et al.*, 1992). در تحقیقی دیگر، مشخصه‌های زمین‌آماری مراحل مختلف سن گندم در مزارع گندم دیم شهرستان بروجرد در استان لرستان مورد بررسی قرار گرفت که پراکنش فضایی مراحل تخم و پوره سنین یک و دو از نوع تجمعی بود. این محققان، استفاده از این روش را در مزارع گندم دیم برای پیش‌آگاهی سن گندم براساس تراکم جمعیت پوره سن دو توصیه نمودند (Mohiseni *et al.*, 2007). لطیفیان و سلیمان‌نژادیان (Latifian & Soleyman Nejadian, 2009) در تحقیقی پراکنش کرم میوه‌خوار خرما *Batrachedra amydrraula* Meyrick را در استان خوزستان توسط مدل زمین‌آماری مورد بررسی قرار دادند. مدل پراکنش شدت آسیب این آفت در مناطق مختلف مورد مطالعه با مدل نمایی، برازش مناسب‌تری نسبت به سایر مدل‌ها نشان داد و براساس آن، نقشه کریجینگ آفت ترسیم شد.



شکل ۳- نیم تغییرنما و نقشه‌های کریجینگ جمعیت شته سبز نخود فرنگی *Acyrthosiphon pisum* در تاریخ‌های مختلف در مزرعه یونجه شهرستان بروجرد در سال ۱۴۰۱

Fi**gure 3-** Semivariogram and contour maps of *Acyrthosiphon pisum* aphid population on different dates in alfalfa field of Boroujerd city in 2022



شکل ٤- نیم تغییرنما و نقشه‌های کریجینگ جمعیت شته *Acyrthosiphon pisum* در تاریخ‌های مختلف در مزرعه یونجه شهرستان دزفول در سال ۱۴۰۱

Figure 4- Semivariogram and contour maps of *Acyrthosiphon pisum* aphid population on different dates in alfalfa field of Dezful city in 2022

نتایج بررسی‌های داده‌های زمین‌آماری پژوهش حاضر منطبق با نتایج پژوهش‌های محققان فوق بود، چرا که در اکثر تاریخ‌های نمونه‌برداری با توجه به اینکه نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه بسیار پایین و درجه وابستگی مکانی بین داده‌ها بالا بود و همچنین ضریب تبیین

در اکثر موارد بسیار بالا و بین ۰/۵۵ تا ۰/۹۸ حاصل شد، الگوی پراکنش آفت از نوع تجمعی به‌دست آمد. در این پژوهشف بررسی آماره‌های زمین‌آماری نشان داد که جمعیت شته‌ها، بهترین برازش را با مدل کروی نشان می‌دهند.

در روش زمین‌آمار، می‌توان توسط نقشه‌های کریجینگ تراکم جمعیت آفت را در مناطق مختلف مزرعه مشخص کرد، در نتیجه می‌توان تنها در مناطق آلوده، عملیات مهار آفت را انجام داده و با کاهش تعداد نمونه‌گیری و تمرکز بیشتر و دقت بالاتر عملیات مهار، موجبات کاهش هزینه‌های مهار آفت مورد نظر را فراهم نمود. در این پژوهش، در تاریخ‌های مختلف، نقاط تراکم جمعیت شته توسط نقشه‌های کریجینگ بررسی شد (شکل‌های ۳ و ۴).

با روش کریجینگ، تراکم جمعیت شته‌ها در نقاط مختلف مزرعه به‌خوبی تخمین زده می‌شود و می‌توان در شروع مراحل خسارت‌زا، اقدام به پیش‌آگاهی آفت نمود. با توجه به نقشه‌های کرجینگ، گونه آفت مورد نظر در اوایل اردیبهشت ماه از سمت جنوب مزرعه در شهرستان بروجرد ظاهر شد و به‌تدریج کشیدگی آن به‌سمت مناطق مرکزی مزرعه ادامه داشت. این چولگی در ورود آفت به مزرعه می‌تواند به‌دلیل کشت‌های مزارع مجاور و یا جهت باد غالب منطقه‌ای باشد (Ghosh *et al*., 2019). در این ارتباط، مطالعات نشان داده که مدل‌سازی پراکندگی آفات ناشی از باد می‌تواند ابزار ارزشمندی در زمینه مدیریت یکپارچه آفات در سطح منطقه باشد (Koralewskia *et al*., 2021). در صورت رسیدن تراکم جمعیت آفت مورد نظر به آستانه اقتصادی، با سم‌پاشی حدود یک پنجم سطح مزرعه، درصد بالایی از جمعیت آفت را می‌توان کاهش داد و از سم‌پاشی غیر ضروری خودداری نمود. مطابق با نتایج به‌دست آمده از نقشه‌های کریجینگ (شکل ۵) در مزرعه یونجه شهرستان دزفول در سال زراعی مربوطه، با ردیابی مسیر ورود شته‌ها از سمت شرق مزرعه و به‌تدریج کشیدگی آن‌ها به‌سمت مناطق مرکزی و شمال مزرعه، امکان مهار آفت در زمان مناسب و با کمترین هزینه وجود داشت، البته تعمیم این نتایج به سال‌های زراعی بعدی نیاز به مطالعات تکمیلی دارد. ویژگی‌های زمین‌آماری شب پره *Cydia funebrana* (Treitschke) در باغ‌های آلو توسط سیارتا و همکاران (Sciarretta *et al*., 2001)، کرم ساقه‌خوار *Hypothenemus hampei* Ferrari و مینوز *Leucoptera coffeella* Guer در مزرعه قهوه توسط د-آلوز و همکاران (De Alves *et al*., 2011)، کرم سیب *Cydia pomonella* (L) توسط ریبس-داسی و همکاران (Ribes-Dasi *et al*., 2005) به‌منظور مدیریت بهتر و اجرای سیستم کشاورزی دقیق مورد استفاده قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری

نقشه‌های کریجینگ براساس منحنی‌های سمی‌واریانس به‌عنوان نتایج این پژوهش، به‌خوبی تغییرات الگوی مکانی جمعیت شته سبز نخود فرنگی را در طول فصل زراعی مربوطه نشان می‌دهد. با تهیه الگوهای پراکنش مکانی و تهیه نقشه‌های کریجینگ می‌توان به مهار مؤثر این آفت با تکیه بر کاهش مصرف آفت‌کش‌ها امیدوار بود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز (گرنت شماره SCU.AP.1401.437) قدردانی می‌شود.

References

1. Afshari, A., Soleymannejadian, E., & Shishehbor, P. (2008). Spatial distribution of the natural enemies of the cotton aphid, and the comparison of its estimating procedures in cotton fields of Gorgan, Iran. *Journal of Entomological Society of Iran*, *27*(2), 61-78. (In Persian with English abstract). https://civilica.com/doc/1588519
2. Alsuhaibani, A.M. (1996). Entomofauna of alfalfa in Riyadh, Saudi Arabia. *Journal of King Saud University, Agricultural Sciences*, *8*(2), 269-277.
3. Azad, A. (2010). Application of geostatistic in management of important aphids in wheat fields in Badjgah region (Fars province). M.Sc. Thesis, College of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran.115 pp . (In Persian with English abstract)
4. Canevari, W.M., Davis, R.M., Frate, C.A., Godfrey, L.D., Goodell, P.B., Lanini, W.T., Long, R.F., Natwick, E.T., Orloff, S., Putnam, D.H., Summers, C.G., Vargas, R.N., Westerdahl, B.B., & Wilson, R.G. (2015). *UC IPM pest Management Guidelines, Alfalfa. UC ANR publication 3430. Oakland, CA.* Website: http://www.ipm.ucdavis.edu
5. Castrignano, A., Boccaccio, L., Cohen, Y., Nestel, D., Kounatidis, I., Papadopoulos, N.T., De Benedetto, D., & Mavragani-Tsipidou, P. (2012). Spatio–temporal population dynamics and area-wide delineation of *Bactrocera oleae* monitoring zones using multi-variate geostatistics. *Precision Agriculture*, *13*, 421-441. https://doi.org/10.1007/s11119-012-9259-4
6. De Alves, M.C., Da Silva, F.M., Moraes, J.C., Pozza, E.A., De Oliveira, M.S., Souza, J.C.S., & Alves, L.S. (2011). Geostatistical analysis of the spatial variation of the berry borer and leaf miner in a coffee agroecosystem. *Precision Agriculture*, *12*(1), 18-31. http://dx.doi.org/10.1007/s11119-009-9151-z

7. Ellsbury, M.M., Woodeson, W.D., Clay, S.A., Malo, D., Schumacher, J., Clay, D.E., & Carlson, C.G. (1998). Geostatistical characterization of the spatial distribution of adult corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) emergence. *Environmental Entomology*, *27*(4), 910-917. https://doi.org/10.1093/ee/27.4.910
8. Ghahremani, M. (2017). Spatio-temporal signature of aphids, coccinellids, carabids and plant bugs in Karkaj alfalfa fields. M.Sc. Thesis, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. 100 pp. (In Persian with English abstract)
9. Ghosh, S., Roy, A., Chatterjee, A., & Ranjan Sikdar, S. (2019). Efect of regional wind circulation and meteorological factors on longrange migration of mustard aphids over indo-gangetic plain. *Scientific Repots*, *9*, 5626. https://doi.org/10.1038/s41598-019-42151-81
10. Golawska, S., Krz Yzanowski, R., & Lukasik, I. (2010). Relationship between aphid infestation and chlorophyll content in fabaceae species. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanic*, *52*(2), 76-80. http://dx.doi.org/10.2478/v10182-010-0026-4
11. Goovaerts, P. (1998). Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of Soils*, *27*, 315-334. http://dx.doi.org/10.1007/s003740050439
12. Gressie, N. (1993). Statistics for Spatial Data. Wiley Press, New York, USA 424 pp.
13. Grigorov, S. (1982). Interrelations between cereal aphids and their natural enemies on lucerne. *Rasteniev Dni-Nauki*, *19*(7), 94-105.
14. Habashi, H., Hosseini, M., Mohammadi, J., & Rahmani, R. (2007). Geostatistic applied in forest soil studying process. *Journal of Agricultural Science and natural Resources*, *14*(1), 1-10. (in Persian with English abstract).
15. Hasani Pak, A. (1998). *Geostatistics*. Tehran, Tehran University Press, Tehran, Iran. 314 pp.
16. Hojati, M., Mohiseni, A., Vafaei, R., & Termechi, H. (2011). Application of geostatistics to management of two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch in Borujerd common bean fields. *Journal of Entomological Research of Iran*, *3*(4), 295-303. (In Persian with English abstract)
17. Isaaks, E.H., & Srivastava, R.M. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press. New York, USA. 561 pp.
18. Journel, A.G., & Huojbregts, J.C.J. (1978). *Mining Geostatistics*. Academic Press, London, England. 600 pp.
19. Karimzadeh, R., Hejazi, M.J., Helali, H., Iranipour, S., & Mohammadi, S.A. (2011). Analysis of the spatio-temporal distribution of *Eurygaster integriceps* (Hemiptera: Scutelleridae) by using spatial analysis by distance indices and geostatistics. *Environmental Entomology*, *40*, 1253–1265. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.1603/en10188
20. Karimzadeh, R., Zakeri, M., & Iranipur, S. (2015). Determination of spatial distribution *Hypera postica* and *Sitona* spp. (Coleoptera: Curculionidae) using geostatistics. *Applied Entomology and Phytopathology*, *83*, 223-236. https://civilica.com/doc/1517136
21. Koralewskia, T.E., Wanga, H-H., Granta, W.E., Brewerb, M.J. Elliottc, N.C., & Westbrook, J.K. (2021). Modeling the dispersal of wind-borne pests: Sensitivity of infestation forecasts to uncertainty in parameterization of long-distance airborne dispersal. *Agricultural and Forest Meteorology*, *301–302*, 108357. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108357
22. Eastop, V.F. (1971). Keys for the identification of *Acyrthosiphon* (Hemiptera: Aphididae). *Bulletin of the British Museum (Natural History) Entomology*, *26*, 1-115. https://biostor.org/reference/59546
23. Latifian, M., & Soleymannejadian, E. (2009). Study of the Lesser moth *Batrachedra amydraula* (Lep.: Batrachedridae) distribution based on geostatistical models in Khuzestan province. *Journal of Entomological Research*, *1*(1), 43-55. (In Persian with English abstract)
24. Liebhold, A.M., Rossi, R.E., & Kemp, P. (1993). Geostatistic and geographic information system in applied insect ecology. *Annual Review of Entomology*, *38*(1), 303-327. http://dx.doi.org/10.1146/annurev.en.38.010193.001511
25. Madani, H. (1994). *Fundamental of Geostatistics*.Tehran, Amirkabir University Press. Tehran, Iran. 659 pp.
26. McBratney, A.B., Webster, R., & Burgess, T.M. (1981). The design of optimal sampling schemes for local estimation and mapping of regionalized variables - I: theory and method. *Computers and Geosciences*, *7*, 331-334.
27. Mittler, T., & Sylvester, E. (1961). A comparison of the injury to alfalfa by the aphids *Therioaphis maculate* and *Macrosiphum pisum*. *Journal of Economic Entomo1ogy*, *54*(4), 615-622. http://doi.org/10.1093/JEE%2F54.4.615
28. Mohiseni, A.A., Soleyman-Nejadian, M.S., Mossadegh, GH.R., Radjabi, A., & Pirhadi, A. (2007). Sequential sampling plan of *Eurygaster integriceps* (Het.: Scutelleridae) in wheat fields of Borujerd region. *Journal of Entomological Society of Iran*, *27*, 43-59. (In Persian with English abstract)
29. Mohiseni, A.A., Pirhadi, A., & Nabati, A. (2007). Geostatistical analyzes of important wheat aphids in dry wheat fields of Borujerd city. *In the 18th Iranian Plant Protection Congress.* Boali Sina University, Hamedan, Iran. 423 p. (In Persian with English abstract)
30. Monajemi, H., & Esmaili M. (1981). Population dynamics of lucerne aphids and their natural controlling factors in karaj. *Journal of Entomological Society of Iran*, *6*, 41-63.(In Persian with English abstract). https://jesi.areeo.ac.ir/article_108234.html
31. Moral Garcia, F.J. (2006). Analysis of the spatio-temporal distribution of *Helicoverpa armigera* Hb. in a tomato

field using a stochastic approach. *Biosystems Engineering*, *93*, 253-259. http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.12.011

32. Nakashima, Y., & Akashi, M. (2005). Temporal and within-plant distribution of the parasitoid and predator complexes associated with *Acyrthosiphon pisum* and *A. kondoi* (Homoptera: Aphididae) on Alfalfa in Japan. *Journal of Applied Entomology and Zoology*, *40*(1), 137-144. http://dx.doi.org/10.1303/aez.2005.137
33. Park, Y.L., & Telfson, J.J. (2005). Spatial prediction of corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) adult emergence in Iowa cornfields. *Journal of Economic Entomology*, *98*: 121- 128. http://doi.org/10.1093/jee/98.1.121
34. Rakhshani, E., Talebi, A.A., Manzari, S., Rezvani, A., & Rakhshani, H. (2006). An investigation on alfalfa aphids and their parasitoids in different parts of Iran, with a key to the parasitoid. *Journal of Entomological Society of Iran*, *25*(2), 1-14. (In Persian with English abstract). https://sid.ir/paper/564752/en
35. Rassoulian, G.R. (1985). Investigation on the biology and population fluctuation of important alfalfa aphids in Karaj, Iran. Ph.D. Thesis, College of Agriculture, University of Tehran. Tehran, Iran. (In Persian with English abstract)
36. Rassoulian, G.R. (1989). Effect of two aphid species *Acyrthosiphon pisum* and *Therioaphis trifolii* on protein and yield losses of alfalfa in Karaj, Iran. *Iranian Journal of Agricultural Science, 20*(1,2), 21-26. (In Persian with English abstract)
37. Reay-Jones, F.P.F. (2012). Spatial analysis of the cereal leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) in wheat. *Environmental Entomology*, *41*, 1516-1526. http://doi.org/10.1603/EN12103
38. Reay-Jones, F.P. (2017). Geostatistical characterization of cereal leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) distributions in wheat. *Environmental Entomology*, *46*, 931-938. http://dx.doi.org/10.1093/ee/nvx122
39. Rendu, J.M. (1981). *An Introduction to Geostatistical Methods of Mineral Evaluation*. Institute of Mining and Metallurgy Press. Johannesburg, South African. 84 pp.
40. Ribes-Dasi, M., Almacellas, J., Sió. J., Torà. R., Planas. S., & Avilla, J. (2005). The use of geostatistics and GIS to optimize pest control practices in precision farming systems. Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production. p. 583-590
41. Rijal, J.P., Brewster, C.C., & Bergh, J.C. (2014). Spatial distribution of grape root borer (Lepidoptera: Sesiidae) infestations in Virginia vineyards and implications for sampling. *Environmental Entomology*, *43*(3), 716-728. http://dx.doi.org/10.1603/EN13285
42. Robertson, G. (1998). GS+ Geostatistics for the Environmental Sciences. Gamma Design Software, Plainwell. 176 pp.
43. Sciarretta, A., Trematerra, P., & Baumgärtner, J. (2001). Geostatistical analysis of *Cydia funebrana* (Lepidoptera: Tortricidae) pheromone trap catches at two spatial scales. *American Entomologist, 47*(3), 174-184. http://dx.doi.org/10.1093/ae/47.3.174
44. Shayestehmehr, H. (2014). Spatio-temporal distribution of *Therioaphis maculata* Buckten, *Aphis craccivora* Koch and coccinellid lady beetles in alfalfa fields of karkaj. M.Sc. Thesis, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. 78 pp. (In Persian with English abstract)
45. Southwood, T.R.L. (1975). *Ecological Method*. Chapman and Hall Press, New York, USA. 429 pp.
46. SPSS Inc. (2018). SPSS 26.0 for windows. Prentice Hall, SPSS Inc, NewJork, USA.
47. Summers, C.G. (1976). Population fluctuations of selected arthropods in alfalfa: Influence of two harvesting practices. *Environmental Entomology*, *5*, 103-110. https://doi.org/10.1093/ee/5.1.103
48. Takahashi, K., & Naito, A. (1984). Seasonal occurrence of aphids and their predators (Col.: Coccinellidae) in alfalfa fields. *Bull. National Grassland Research Institute of Japan*, *29*, 62-66.
49. Taylor, D.B., Friesen, K., & Jerry Zhu, J. (2013). Spatial-temporal dynamics of stable fly (Diptera: Muscidae) trap catches in eastern Nebraska. *Environmental Entomology*, *42*(3), 524-531. http://dx.doi.org/10.1603/EN12258
50. Tomanovic, Z., Brajkovic, M., Krunic, M., & Stanisavljevic, L.J. (1996). Seasonal dynamics, parasitization and colour polymorphism of the pea aphid, *Acyrthosiphon pisum* (Harris) (Aphididae: Homoptera) on alfalfa in the south part of the Pannonian area. *Tiscia*, *30*, 45-48.
51. Williams, L., Schotzko, D.J., & McCaffrey, J.P. (1992). Geostatistical description of the spatial distribution of *Limonous californicus* (Coleoptera: Elateridae) wireworms in the northwestern United States, with comments on sampling. *Environmental Entomology*, *21*, 983-995. https://doi.org/10.1093/ee/21.5.983

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 4, 2025, p. 341-350

Comparing the Effects of Mineral Compounds, Plant Extracts and Chemical Pesticides on Population Control of Different Life Stages of Cabbage Aphid *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) in Urban Green Space

A. Abdollahzadeh Zarandi[1], K. Ahmadi[1*]

1- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
(*- Corresponding author's Email: kahmadi@uk.ac.ir)

Received: 26-05-2024 Revised: 09-11-2024 Accepted: 25-11-2024 Available Online: 03-03-2025	**How to cite this article:** Abdollahzadeh Zarandi, A., & Ahmadi, K. (2025). Comparing the effects of mineral compounds, plant extracts and chemical pesticides on population control of different life stages of cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) in urban green space. *Iranian Plant Protection Research*, *38*(4), 341-350. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88182.1190

Introduction

Cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* (L.) (Aphididae: Hemiptera) is one of the important pests of cruciferous plants, which causes a lot of damage to plants of this family by feeding on plant sap and transmitting disease. The use of plant derived chemicals such as Diabon and Persian lilac (*Melia azedarach* L.) extract as an alternative to synthetic insecticides in the integrated management of this pest has been studied and considered. On the other hand, the use of synthetic insecticides in order to control sucking pests is common, and the high percentage of mortalities by acetamiprid and clothianidin against sucking pests was investigated and it was proved that the insecticidal properties of these pesticides are based on the systemic property of them. Potassium element is also important because it plays an important role in the general balance of phosphorus and nitrogen inside the plant, and if potassium is at the level required by the plant, it has an inhibitory effect on the growth and reproduction of insects. In this research, the effect of mineral compounds, plant derived chemicals and synthetic insecticides on the cabbage aphid population was investigated in open space conditions of the urban landscape.

Materials and Methods

This research was carried out in the green space of Zarand city, Kerman province on ready-to-plant ornamental cabbages that were contaminated with cabbage aphids. For each experimental treatment, sixteen infected cabbage plants with aphids were randomly planted in plots with an area of one square meter (1×1) at a distance of 20 cm from each other. In order to evaluate the effect of mineral, plant and chemical compounds to control the population of cabbage aphid on ornamental cabbage, experiments were carried out in the form of 9 treatments as follows: (P-N): Potassium nitrate at a concentration of 3000 (ppm) - (P-S): Potassium sulfate at a concentration of 2000 (ppm) - (P-Si): Potassium silicate at a concentration of 2000 (ppm) - (MI): Water-ethanol extract of *Melia azedarach* (fruit) at a concentration of 3000 (ppm) - (CT): commercial form of a concentrated

https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88182.1190

suspension (SC-20) of clothianidin at a recommended rate of 500 (ppm) - (AT): commercial form of water-soluble powder (SP-20) acetamiprid at a recommended concentration of 500 (ppm) - (AM): commercial form of emulsion concentration (EC-1.8) abamectin at a recommended rate of 500 (ppm) - (DB): Diabon 10% to the recommended concentration of 8000 (ppm) - (C): water as control. The foliar spraying with each of the treatments was carried out in one turn by a 20-liter backpack sprayer with a certain volume on the ornamental cabbages of each treatment. Sampling of the aphid population was done on three occasions at 7, 14 and 21 days after foliar spraying at 8 am. The population of aphids on the leaf was counted by a stereomicroscope and in the area of the template of 1.5×1.5 cm, which was placed on a specific area of the leaf. In this study, the population of living aphids, including: nymphs, wingless and winged insects, were counted and used for statistical analysis.

Results and Discussion

In the first record, the population of nymphs, wingless and total insect in MI, CT, AT, AM and DB treatments had significant differences with the control treatment. But the treatments containing potassium element (P-N, P-S and P-Si) had no significant difference with the control treatment. Comparison of the results 14 days after foliar spraying showed that AT and CT treatments had a significant difference with the control treatment in the stages of nymph, wingless and the total population. Also, in the other research, it was found that fourteen days after the use of acetamiprid, this insecticide was still successfsul in controlling the rose aphid population, which is also consistent with the results of this experiment. Fourteen days after foliar spraying, the treatments that contain potassium element have reduced the population compared to the control only at the stage of wingless insects. Past research showed that potassium element was effective in the reproduction of this aphid. In other biological stages in three recording times, the population density of the treatments that had mineral compounds were not significantly different from the control treatment. This suggests that these compounds may not have an effect on the control of cabbage aphid. Investigations showed that twenty-one days after foliar spraying, in the nymph stage, P-N, CT, AT and AM treatments had significant differences with the control treatment. Other treatments had no significant differences with the control treatment. In the stage of wingless insects, it was found that there is a significant difference between the CT, AT and AM treatments with the control treatment, while the other treatments did not have significant difference with the control treatment. In the total population of aphids twenty one days after treatment, it was found that CT, AT and AM treatments had significant differences with the control treatment.

Conclusion

Based on the results of present research, acetamiprid and clothianidin have more effects in controlling the population of this aphid than other insecticides. But in the third record, in clothianidin treatment, beauty of the appearance of ornamental cabbages was reduced. Therefore, it is suggested to test lower concentrations of this insecticide in the next research. The short-term effect of *M. azedarach* extract on the population of this aphid may be related to insufficient persistence, low concentration or slow penetration of this extract in the plant tissue. But due to the importance of this botanical compound, it is suggested to conduct new research in relation to increasing the effect of this compound by increasing the concentration, changing the formulation and increasing the number of times of foliar spraying. Mineral compounds containing potassium element did not have much effect in controlling the population of this aphid, which can be related to the activity of cabbage aphid under the leaves. It is obvious that the lack of contact of recent mineral compounds with aphids is effective in the failure of these compounds.

Keywords: Abamectin**,** Acetamiprid**,** Clothianidin, landscape, *Melia azedarach*

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸ شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص. ۳۵۰-۳۴۱

مقایسه تأثیر ترکیبات معدنی، عصاره‌های گیاهی و سموم آفت‌کش شیمیایی روی مهار جمعیت مراحل مختلف زندگی شته مومی کلم *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) در فضای سبز شهری

احمد عبداله زاده زرندی[1] - کمال احمدی[1]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵

چکیده

استفاده از گل‌های زینتی در فضای سبز شهری در فصول مختلف به‌صورت گسترده صورت می‌گیرد و جزء جدایی‌ناپذیر مدیریت شهری است. در راستای حفظ و تداوم زیبایی ظاهر انواع گیاهان و رضایت شهروندان از فعالیت‌های مدیریت شهری مذکور استفاده از انواع سموم آفت‌کش به‌صورت دوره ای در محیط شهری رایج می باشد. شته مومی کلم یکی از آفات مهم فضای سبز شهری در فصل زمستان می باشد که در صورت عدم مهار باعث خسارت اقتصادی و انتقال بیماری‌های ویروسی از طریق مکیدن شیره گیاهی می‌گردد. در این پژوهش، تأثیر دو ترکیب گیاهی دایابون و عصاره زیتون تلخ و سه ترکیب معدنیِ حاوی عنصر پتاسیم شامل نیترات پتاسیم، سولفات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم و سه آفت‌کش شیمیایی آبامکتین، استامیپرید و کلوتیانیدین در مقایسه با شاهد (آب) با غلظت‌های توصیه شده روی مهار جمعیت شته مومی کلم ارزیابی شدند. ارزیابی میزان کارآیی تیمارها با نمونه‌برداری و مقایسه میزان جمعیت شته‌ها روی ۱۰ عدد برگ انتخابی از ۱۰ گل کلم زینتی، طی سه نوبت در زمان‌های هفت، ۱۴ و ۲۱ روز پس از محلول‌پاشی انجام شد. نتایج این آزمایش‌ها نشان داد که تیمارهای استامیپرید (۰±)، کلوتیانیدین (۰±۰) و آبامکتین (۲/۴±۹/۷) مؤثرترین ترکیبات در مهار شته مومی کلم بوده و عصاره زیتون تلخ (۲/۱۵±۶/۰) و دایابون (۱/۶۳±۴/۱) نیز در هفت روز ابتدایی در کاهش جمعیت شته مومی کلم تأثیر داشتند و می‌توان در مدیریت تلفیقی از آن‌ها بهره برد. نتایج نشان داد که ترکیبات معدنی حاوی پتاسیم، کارآیی چندانی در مهار جمعیت این آفت در فضای سبز نداشتند.

واژه‌های کلیدی: آبامکتین، استامیپرید، زیتون تلخ، کلوتیانیدین، منظر شهری

مقدمه

شته مومی کلم *Brevicoryne brassicae* (L.) (Aphididae: Homoptera) یکی از آفات مهم گیاهان خانواده چلیپاییان محسوب می‌شود که با تغذیه از شیره گیاهی و انتقال بیماری، خسارت فراوانی به گیاهان این خانواده وارد می‌آورد (Costello & Altieri, 1995).

کلم زینتی با نام علمی *Brassicae oleraceae* var acephala L. متعلق به خانواده چلیپاییان گیاهی دو ساله است که به‌خاطر برگ‌های زیبا و تحمل آن به سرما دارای ارزش زینتی بوده که کاشت آن را در فضای سبز میسر می‌سازد(Mortazavi *et al*., 2017) . این شته فاقد میزبان ثانویه است و می‌تواند هر دو نوع چرخه زندگی هولوسیکلیک و آنهولوسیکلیک را روی خانواده چلیپاییان ایجاد کند (Gabryś *et al*., 1997). این شته در فصل زمستان، جمعیت انبوهی را روی کلم زینتی و معمولاً زیر برگ‌های جوان تشکیل می‌دهد که می‌تواند منبعی برای ایجاد جمعیت‌های انبوه روی محصولات بهاره باشد و خسارت شدیدی را به این محصولات در اول فصل وارد کند

۱- گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: kahmadi@uk.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88182.1190

(Saeidi *et al.*, 2012). اسـتفاده از سـموم گیـاهی ماننـد دایـابون به‌عنوان جایگزین برای حشره‌کش‌های شیمیایی در مـدیریت تلفیقـی این آفت بررسی و مورد توجه قرار گرفته است (Seyyedi-Sahebari *et al.*, 2021). حشره‌کش دایـابون یـک آفـت‌کش گیـاهی جدیـد و زیست‌سـازگار محسـوب می‌شـود کـه از روغـن کرچـک *Ricinus communis* L. تهیه شده است. این ترکیـب خاصـیت حشره‌کشـی و کنه‌کشی دارد و به‌صورت تماسی بر آفات اثر می‌گـذارد (Rezaeian *et al.*, 2015). استفاده از عصاره روغن کرچک در تحقیق آقای پیفـر و همکاران (Piffer *et al.*, 2023) مورد بررسی قرار گرفت و عملکرد مناسب این روغن در مهار حشرات به اثبات رسیده اسـت و مـی‌توانـد باعث تلفات در حشرات گردد. همچنین خاصـیت حشره‌کشـی عصـاره زیتون تلخ *Melia azedarach* L. روی شته مومی کلم و شـته سـبز گندم *Schizaphis graminum* R. توسط پهلـوان یلـی و همکـاران (Pahlavan Yali & Mohammadi Anaii, 2017) مـورد تحقیـق قرار گرفت و نتایج آزمایش، عملکرد مطلوب عصاره زیتون تلـخ را بـه اثبات رسـاند. در پژوهشـی دیگـر کـه توسط مـک کنـا و همکـاران (Mckenna *et al.*, 2013)، کارآیی این عصاره گیاهی در مهار شـته مومی کلم مورد آزمـایش قـرار گرفـت. از طرفـی، اسـتفاده از سـموم شیمیایی جهت مهار آفات مکنـده متـداول می‌باشـد و درصـد بـالای تلفات توسط استامیپرید برای مهار شـته رز *Macrosiphum rosae* L. توسط جعفری نسـب و همکـاران (Jafari Nasab *et al.*, 2015) بررسی و ثبت گردید. از طرفی، خاصـیت حشره‌کشـی ایـن آفـت‌کش مبتنی بر سیستمیک بودن استامیپرید می‌باشد (Bacci *et al.*, 2007) و مشخص گردید که استامیپرید در صورت استفاده عملکرد مناسبی در کـاهش جمعیـت شـته‌ها دارد (Begum *et al.*, 2016). کـارآیی حشره‌کش کلوتیانیدین علیه آفات مکنده مورد بررسـی قـرار گرفـت و نتایج تحقیق که توسط گل محمدی و همکاران (Golmohammadi *et al.*, 2017; Piri Ouchtape *et al.*, 2024) صورت گرفت، نشان داد که این حشره‌کش توانایی مهار آفات مکنده را دارد. عنصر پتاسـیم نیز به‌علت اینکه در تعادل عمـومی فسـفر و نیتـروژن در داخـل گیـاه نقش مهمی داشته و چنانچه پتاسـیم در حـد نیـاز گیـاه باشـد ،تـأثیر بازدارنده بـر رشـد و تولیـدمثل حشـرات دارد، مـورد توجـه مـی‌باشـد (Khattak *et al.*, 1998). استفاده از حشره‌کش آبامکتین روی شـته مومی کلم نیز مورد ارزیـابی قـرار گرفتـه و عملکـرد آن بـا برخـی از حشره‌کش‌های سیستمیک نیز مورد مقایسه قرار گرفته است (Ali & Aly, 2020). از طرفی، تأثیر آبامکتین روی تلفات کنه‌ها توسط ارامی و همکاران (Errami *et al.*, 2014) مورد تحقیق قرار گرفت و نتـایج نشان داد که عملکرد این حشره‌کش در تلفات کنه‌ها مناسب بـود. بـا عنایت به مدیریت هزینه‌ها، کاهش باقی‌مانده سموم در محیط شهری و همچنین زیبایی بصری فضـای سـبز، در ایـن پـژوهش در شـرایط فضای آزاد منظر شهری به بررسی تأثیر ترکیبات معدنی، عصـاره‌های گیاهی و سموم شیمیایی بر جمعیت شته مومی کلم پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه و فضای سبز مورد مطالعه

این تحقیق در فضای سبز شهر زرند استان کرمـان بـا مختصـات ۳۰° ۴۹′ ۱۶″ شـمالی ۵۶° ۳۴′ ۴۱″ شـرقی و ارتفـاع ۱۶۷۶ متـر (30°49′16″ N 56°34′41″ E, 1676 m a.s.l.) از سطح دریا روی کلم‌های زینتی آماده کاشت انجام شد که از لحـاظ آلـودگی بـه شـته مومی کلم شرایط یکسانی داشته و براساس پژوهش شاه و همکـاران (Shah *et al.*, 2020) در آستانه مهار قـرار گرفتـه بودنـد. شناسایی شته مومی کلم توسط متخصصان حشره‌شناسـی بخـش گیاهپزشـکی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شـد. بـرای هـر تیمار آزمایشی، ۱۶ بوته کلم آلـوده به‌صـورت طـرح کـاملاً تصـادفی درکرت‌هایی به مساحت یک مترمربع (۱ × ۱) به‌فاصله ۲۰ سـانتی‌متر از هم کاشته شدند. بین هر یک از کرت‌ها با کرت‌های دیگر یک متر فاصله در نظر گرفته شد.

رویه آزمایش در فضای سبز

محلول‌پاشی با هر یک از تیمارهای ذکرشده در جدول ۱، در یک نوبت توسط سم‌پاش کتابی پشتی ۲۰ لیتری با فشار متناوب بـا حجـم ثابت روی کلم‌های زینتی هر تیمـار صـورت گرفـت. نمونـه‌برداری از جمعیت شته در سه نوبت و در زمان‌های هفـت، ۱۴ و ۲۱ روز پـس از محلول‌پاشی در ساعت هشت صبح انجـام شـد. جهـت تعیـین تـراکم جمعیت شته‌های هر تیمار، نمونه‌برداری تصادفی از ۱۰ کلم زینتی و از هر کلم، یک برگ جدا شد. برگ‌های جدا شـده بـه همـراه اطلاعـات مربوط به تیمار و تکرار در داخل نایلون‌های پلاستیکی به‌سـرعت بـه آزمایشـگاه منتقـل شـدند. جمعیـت شـته‌های روی بـرگ توسـط استریومیکروسکوپ و در محدوده شابلون ۱/۵×۱/۵سانتی‌متر که روی منطقه مشخصی از برگ گذاشـته می‌شـد، شـمارش گردیـد. در ایـن بررسی، جمعیت شته‌های زنده اعم از پوره، حشره کامل بـدون بـال و بال‌دار شمارش و جهت انجام تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تأیید مفروضات اساسی داده‌های مورد تجزیه و تحلیل، ابتدا آن‌ها برای توزیع نرمال و همگنی واریانس با استفاده از آزمون بارتلت مورد آزمایش قرار گرفتند (Köhler *et al.*, 2002). داده‌هایی کـه بـا مفروضـات توزیـع نرمـال مطابقـت نداشـتند بـا اسـتفاده از فرمـول Box-Cox transformation (Anonymous, 1996) با مفروضـات مطابقت داده شدند. داده‌های به‌دست آمـده توسـط نـرم‌افـزار آمـاری

Statplus (version 4.9, 2007) به‌روش تجزیه واریانس یک‌طرفه ANOVA (one-way) تجزیه و تحلیل شدند و مقایسه میانگین‌ها توسط Fisher LSD انجام گرفت.

نتایج

نتایج آزمایش نشان داد که هفت روز پس از محلول‌پاشی در شکل ۱ نمودار a، بیشترین میانگین جمعیت مربوط به شاهد (۱۲/۱۱±۳/۴۱) و پایین‌ترین میانگین جمعیت در تیمارهای CT(۰±۰) و AT (۰±۰) برآورد گردید. تیمارهای AM، MI، CT، AT، و DB نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند (F=۴/۷۲, df=۸P, ≥ ۰/۰۰۵۹)، ولی تیمارهای حاوی عنصر پتاسیم (P-N، P-S و P-Si) با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشتند.

جدول ۱. تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش

Table 1. Treatments used in this research.

Manufacturing Company	Formulation	Concentration ppm	Treatment Type	(Treatment Abbreviation)
(Tetaco Company, Qom, Iran)		3000	Potassium nitrate	P-N
(Kimia Keshavarz Company, Kerman, Iran)		2000	Potassium sulfate	P-S
(PQ Crop Company, US)		2000	Potassium silicate	P-SI
(Technological Unit, Shahid Bahonar University, Kerman)		3000	Ethanolic and aqueous extract of *Melia azedarach*	MI
(Daya Nanotechnologists Company, Iran)	10% (SL)	8000	Dayabon	DB
(Hezare Agro Trading Inc, Iran)	20% (SC)	500	Clothianidin	CT
(Zhejiang Hisun Chemical Co., Ltd., China.)	20% (SP)	500	Acetamiprid	AT
(Samiran Company, Iran)	1/8% (EC)	500	Abamectine	AM
pH: 7.6 EC: 3190 µS/cm	Agricultural Water		Control	C

در نمودار b شکل ۱، بالاترین میانگین جمعیت مربوط به شاهد (۷/۸±۲/۴۴) و کمترین میانگین جمعیت مربوط به تیمارهای AT (۰±۰) و CT (۰±۰) بود. تیمارهای MI، CT، AT، AM و DB با شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند (F=۴/۵۹, df=۸, P≤۰/۰۰۶۶) و تیمارهای حاوی عنصر پتاسیم با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشتند.

در بررسی نمودار c شکل۱، تیمار AM بالاترین (۰/۵±۰/۲۲) و تیمار AT (۰±۰) پایین‌ترین میانگین جمعیت را داشتند و هیچ‌کدام از تیمارها با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند.

طبق نمودار d شکل۱، بالاترین میانگین جمعیت مربوط به شاهد (۱۹/۸۸±۵/۹۲) و تیمار AT (۰±۰) دارای پایین‌ترین میانگین جمعیت بود. تیمارهای MI، CT، AT، AM و DB با شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند (F=۵/۳۷, df =۸, P≤ ۰/۰۰۳۴) و بین تیمارهای حاوی عنصر پتاسیم با شاهد اختلاف معنی‌دار وجود نداشت (شکل ۱).

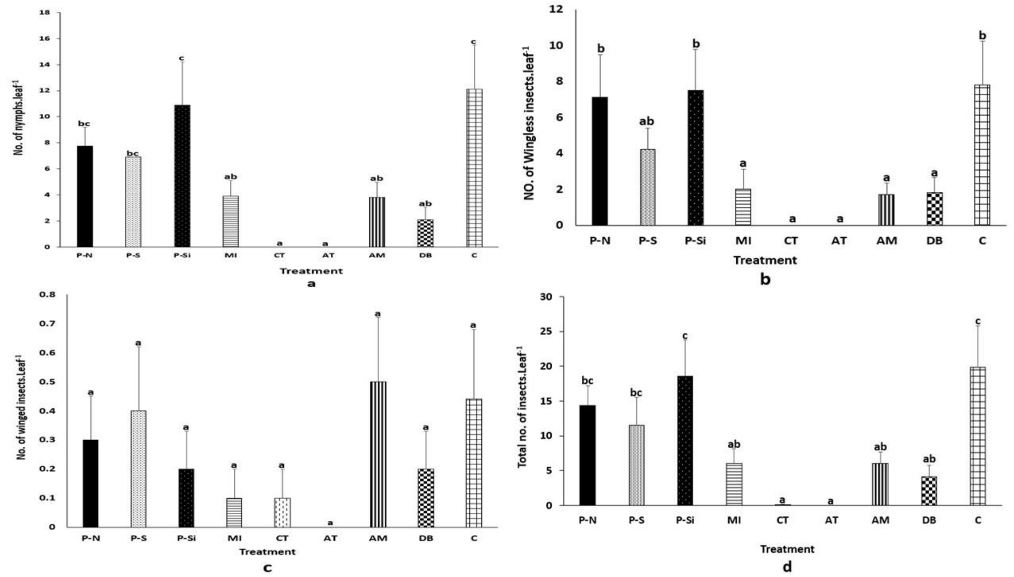
مقایسه نتایج ۱۴ روز پس از محلول‌پاشی نشان داد که (نمودار a شکل ۲) بالاترین میانگین جمعیت متعلق به شاهد (۱۸/۷±۷/۵۳) و پایین‌ترین میانگین جمعیت متعلق به تیمارهای AT (۰±۰) و CT (۰±۰) بود. تیمارهای AT و CT با شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند (F=۲/۷۸, df=۸, P≤۰/۰۰۳۳) و سایر تیمارها با شاهد هیچ‌گونه اختلافی نداشتند.

با بررسی نمودار b شکل ۲، مشخص گردید که بالاترین میانگین جمعیت متعلق به تیمار C (۱۵/۴±۱۲/۲۷) و پایین‌ترین میانگین جمعیت متعلق به تیمارهای AT (۰±۰) و CT (۰±۰) بودند. تیمار MI با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت، در حالیکه سایر تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند (F=۶/۶۱ , df=۸ ,P≤ ۰/۰۱۸۲).

مطابق نمودار c شکل ۲، بالاترین میانگین جمعیت متعلق به تیمار P-S (۰/۰±۹/۲۸) و پایین‌ترین میانگین جمعیت متعلق به تیمار AT (۰±۰) بود، بااین‌حال تمامی تیمارها با هم هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری نداشتند.

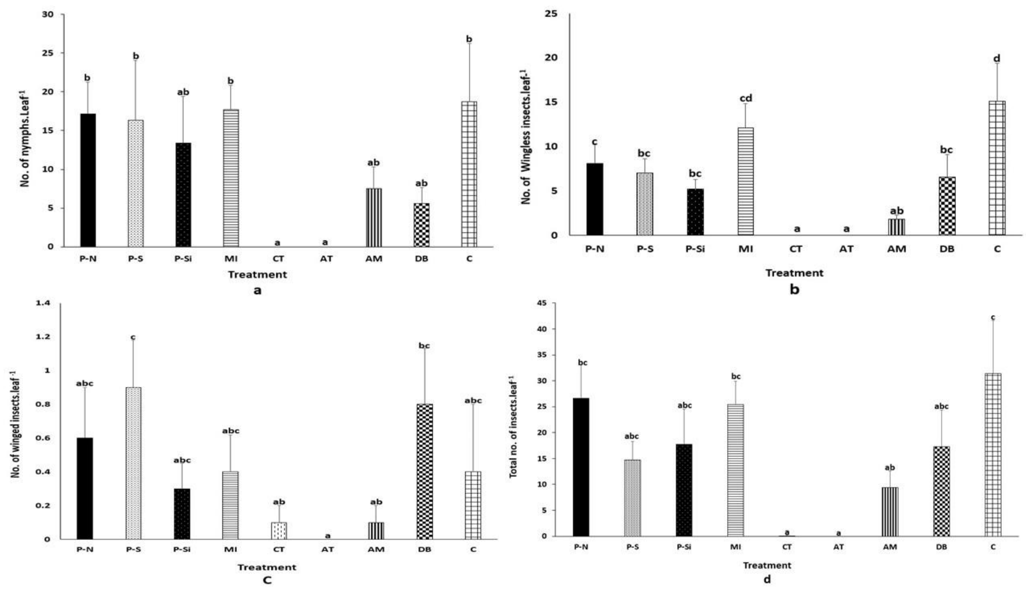
در نمودار d شکل ۲، بالاترین میانگین جمعیت را تیمار C (۳۱/۱۰±۴/۲۹) و پایین‌ترین میانگین جمعیت را تیمار AT (۰±۰) داشتند. تیمارهای CT، AT و AM با شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند (F=۳/۹۵, df=۸, P≤۰/۰۰۵۶)، درحالی‌که سایر تیمارها با شاهد

اختلاف معنی‌دار نداشتند (شکل ۲).



شکل ۱. تأثیر کودهای پتاسیمی (نیترات پتاسیم P-N) 3000 ppm)، سولفات پتاسیم P-S) 2000 ppm)، سیلیکات پتاسیم P-SI) 2000 ppm))، عصاره زیتون تلخ MI) 3000 ppm)، کلوتیانیدین CT) 500ppm)، استامیپرید AT) 500ppm)، آبامکتین AM) 500 ppm)، دایابون DB) 8000 ppm) و شاهد (C) روی جمعیت مراحل مختلف زیستی شته مومی کلم (شمارش اول-هفت روز بعد از تیمار)

Figure 1. Effect of potassium fertilizers (potassium nitrate (P-N) 3000 ppm, potassium sulfate (P-S) 2000 ppm, potassium silicate (P-SI) 2000 ppm), *Melia azedarach* extract (MI) 3000 ppm, Clothianidin (CT) 500 ppm, Acetamiprid (AT) 500 ppm, Abamectin (AM) 500 ppm, Diabon (DB) 8000 ppm and control (C) on the population of different life stages of *Brevicoryne brassicae* (first record-seven days after treatment)



شکل ۲. تأثیر کودهای پتاسیمی (نیترات پتاسیم P-N) 3000 ppm)، سولفات پتاسیم P-S) 2000 ppm)، سیلیکات پتاسیم P-SI) 2000 ppm))، عصاره زیتون تلخ MI) 3000 ppm)، کلوتیانیدین CT) 500 ppm)، استامیپرید AT) 500 ppm)، آبامکتین AM) 500ppm)، دایابون DB) 8000 ppm) و شاهد (C) روی جمعیت مراحل مختلف زیستی شته مومی کلم (شمارش دوم-۱۴ روز بعد از تیمار)

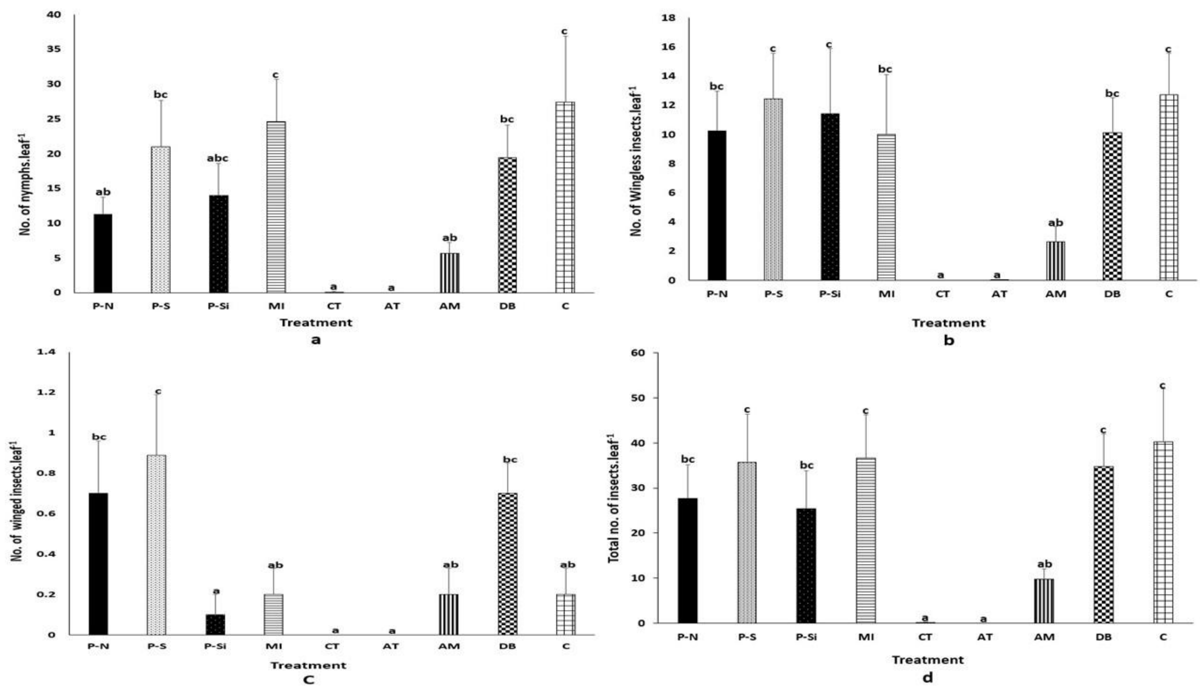
Figure 2. Effect of potassium fertilizers (potassium nitrate (P-N) 3000 ppm, potassium sulfate (P-S) 2000 ppm, potassium silicate (P-SI) 2000 ppm), *Melia azedarach* extract (MI) 3000 ppm, Clothianidin (CT) 500 ppm, Acetamiprid (AT) 500 ppm, Abamectin (AM) 500 ppm, Diabon (DB) 8000 ppm and control (C) on the population of different life stages of *Brevicoryne brassicae* (second record-fourteen days after treatment)

بررسی‌ها نشان داد که بیست و یک روز پس از محلول‌پاشی (نمودار a شکل ۳)، بالاترین میانگین جمعیت مربوط به شاهد (۲۷/۴±۹/۵) و پایین‌ترین میانگین جمعیت مربوط به تیمار AT (۰±۰) بود. تیمارهای P-N، CT، AT و AM با شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند (F=۴/۵۹, df=۸, P≤۰/۰۱۸۷) و سایر تیمارها با شاهد هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری نداشتند.

با بررسی نمودار b شکل۳، مشخص گردید که بالاترین میانگین جمعیت متعلق به شاهد (۱۲/۷±۲/۸۴) و پایین‌ترین میانگین جمعیت متعلق به تیمار CT (۰±۰) بود. بین تیمارهای CT، AT و AM با شاهد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (F=۴/۶۳, df=۸, P≤۰/۰۰۴۵)، درحالی‌که سایر تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشتند.

مطابق نمودار c شکل۳، مشخص گردید که بالاترین میانگین جمعیت متعلق به تیمار P-S (۰/۰±۷/۲۶)و پایین‌ترین میانگین جمعیت متعلق به تیمارهای CT (۰±۰) و AT (۰±۰) بود. بین تیمارP-S و شاهد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (F=۴/۲۶, df=۸, P≤۰/۰۰۴۲)، ولی سایر تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشتند.

براساس نمودار d شکل۳، بالاترین میانگین جمعیت مربوط به شاهد (۴۰/۳±۱۱/۷) و پایین‌ترین میانگین جمعیت مربوط به تیمار AT (۰±۰) بود. تیمارهای CT، AT و AM با شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند (F=۵/۱۶, df=۸, P≤۰/۰۰۲۳) و سایر تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشتند (شکل ۳).



شکل ۳. تأثیر کودهای پتاسیمی (نیترات پتاسیم 3000 ppm (P-N)، سولفات پتاسیم 2000 ppm (P-S)، سیلیکات پتاسیم 2000 ppm (P-SI))، عصاره زیتون تلخ 3000 ppm (MI)، کلوتیانیدین 500 ppm (CT)، استامیپرید 500 ppm (AT)، آبامکتین 500ppm (AM)، دایابون 8000 ppm (DB) و شاهد (C) روی جمعیت مراحل مختلف زیستی شته مومی کلم (شمارش سوم- ۲۱ روز بعد از تیمار)

Figure 3. Effect of potassium fertilizers (potassium nitrate (P-N) 3000 ppm, potassium sulfate (P-S) 2000 ppm, potassium silicate (P-SI) 2000 ppm), *Melia azedarach* extract (MI) 3000 ppm, Clothianidin (CT) 500 ppm, Acetamiprid (AT) 500 ppm, Abamectin (AM) 500 ppm, Diabon (DB) 8000 ppm and control (C) on the population of different life stages of *Brevicoryne brassicae* (third record-twenty one days after treatment)

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که درصد تلفات استامیپرید از سایر ترکیبات بیشتر است و اثر حشره‌کشی آن پس از ۲۱ روز از محلول‌پاشی نیز ادامه داشت. مطالعات صورت گرفته نشان داد که خاصیت سیستمیک بودن استامیپرید باعث درصد بالای مرگ‌ومیر روی شته مومی کلم می‌باشد (Bacci *et al.*, 2007). این نتیجه آزمایش که در شرایط فضای سبز صورت گرفته است، مطابق با نتایج تحقیقی است که در شرایط مزرعه توسط بگوم و همکاران (Begum *et al.*, 2016) انجام شد و نشان داد که تلفات بیش از ۸۰ درصد

جمعیت شته در صورت استفاده از استامیپرید امکان‌پذیر است. همچنین در تحقیق جعفری نسب و همکاران (Jafari Nasab *et al.*, 2015) مشخص گردید که ۱۴ روز پس از کاربرد استامی پراید همچنان این حشره‌کش در پایین نگه داشتن جمعیت شته رز موفق بوده است. سم کلوتیانیدین نیز ۲۱ روز پس از محلول‌پاشی اثر کشندگی را حفظ کرد که در تحقیقات پیری و همکاران (Piri Ouchtape *et al.*, 2024) نیز به تأثیر این حشره‌کش در مدیریت شته مومی کلم اشاره شده است، ولی در شمارش سوم از زیبایی ظاهر کلم زینتی که از اهمیت بسزایی برخوردار است، کاسته گردید که پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات بعدی غلظت‌های پایین‌تر این حشره‌کش مورد آزمایش قرار گیرد. حشره‌کش‌های نیکوتینوئیدی مانند کلوتیانیدین و استامی پراید که جزء حشره‌کش‌های عصبی و سریع‌الأثر هستند سبب اختلال در گیرنده‌های نیکوتینوئیدی شده و دارای دوام طولانی بوده و سریع‌الأثر بودن این حشره‌کش‌ها مورد بررسی و نتایج تحقیق توسط گل محمدی و همکاران (Golmohammadi *et al.*, 2017) تأیید گردیده است.

ترکیبات معدنی دارای عنصر پتاسیم نیز پس ۱۴ روز از محلول‌پاشی، تراکم جمعیت حشرات بدون بال را کاهش داد که در تحقیقات انجام شده توسط ختک و همکاران (Khattak *et al.*, 1998) نیز اثبات گردید که میزان این عنصر در تولید مثل این شته تأثیرگذار می‌باشد، ولی در سایر مراحل در سه نوبت، شمارش تراکم جمعیت تیمارهایی که دارای ترکیبات معدنی بودند با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشتند که نشان می‌دهد، ممکن است این ترکیبات تأثیری در مهار شته مومی کلم نداشته باشند. ممکن است که یکی از دلایل کاهش تأثیر سیلیکات پتاسیم در مهار شته مومی کلم، حضور این شته در زیر برگ باشد که مانع برخورد فیزیکی عنصر سیلیکات به شته مومی کلم می‌گردد. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی دایابون در هفت روز ابتدایی، جمعیت مراحل پوره، حشرات کامل بدون بال و جمعیت کل را کاهش داد که خاصیت حشره‌کشی دایابون که حاوی روغن کرچک می‌باشد با تحقیق پیفر و همکاران (Piffer *et al.*, 2023) انطباق دارد، ولی ۱۴ روز پس از محلول‌پاشی، فقط مرحله حشره بدون بال را نسبت به شاهد به‌صورت معنادار کاهش داده است. احتمال دارد که اثرات تماسی این حشره‌کش که رضاییان و همکاران (Rezaeian *et al.*, 2015) به آن اشاره کردند در کنار فاصله کوتاه بین نسل‌ها در شته مومی کلم، کاهش اثر دایابون را نسبت به سموم سیستمیک مصنوعی را توجیه نماید. با توجه به کاهش تلفات حشره‌کش دایابون، پیشنهاد جایگزین نمودن این حشره‌کش با حشره‌کش‌های شیمیایی غیر محتمل می‌باشد که با نتایج آزمایش سیدی و همکاران (Seyyedi-Sahebari *et al.*, 2021) تطابق ندارد، لذا پیشنهاد می گردد که در این رابطه تحقیقات بیشتری صورت گیرد.

حشره‌کش آبامکتین، ۲۱ روز پس از محلول‌پاشی جمعیت شته مومی کلم را کاهش داده است، ولی درصد تلفات آن از حشره‌کش‌های استامیپرید و کلوتیانیدین کمتر می‌باشد که منطبق بر گزارش علی و الی (Ali & Aly, 2020) بود. آبامکتین برای مهار مراحل متحرک کنه‌ها و برخی از حشرات استفاده می‌شود و دارای فعالیت سیستمیک محدود می‌باشد که تأثیر کمتر این حشره‌کش نسبت به کلوتیانیدین و استامی پرید ممکن است به همین دلیل باشد (Errami *et al.*, 2014). نتایج نشان داد که محلول‌پاشی عصاره زیتون تلخ در هفت روز ابتدایی جمعیت مراحل پورگی، حشرات کامل بدون بال و جمعیت کل را به‌صورت معنادار کاهش داده است که با تحقیقات صورت گرفته توسط گبرماریم و همکاران (Gebremariam *et al.*, 2012) تطابق دارد. طبق تحقیق صورت گرفته، خاصیت سیستمیک عصاره زیتون تلخ در روزهای پس از محلول‌پاشی منجر به کاهش جمعیت شته مومی کلم گردید که با نتایج آزمایش حاضر انطباق دارد (Pahlavan Yali & Mohammadi Anaii, 2017; Shafiei *et al.*, 2018). با توجه به نتایج این تحقیق، روند مهار جمعیت شته مومی کلم توسط عصاره زیتون تلخ نسبت به زمان، در حال کاهش بود که در تحقیق صورت گرفته توسط مکنا و همکاران (Mckenna *et al.*, 2013) کاهش تأثیر این حشره‌کش گیاهی پس از ۱۰ روز از اعمال تیمار به ثبت رسید که ممکن است به‌علت غلظت پایین عصاره زیتون تلخ و یا به‌علت کاهش اثر مواد تشکیل‌دهنده عصاره مذکور در بافت گیاه باشد. به عقیده مکنا و همکاران (Mckenna *et al.*, 2013)، احتمال دارد که نفوذ عصاره زیتون تلخ در بافت گیاه کند باشد، ولی با توجه به دوام این تأثیر در تلفات نسل‌های بعدی پیشنهاد می‌شود که دوزهای جایگزین در شرایط مزرعه مورد آزمایش قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج تحقیق حاضر، حشره‌کش‌های استامیپرید و کلوتیانیدین، تلفات بالاتری نسبت به سایر حشره‌کش‌ها دارند و پس از آن‌ها، حشره‌کش آبامکتین تراکم جمعیت شته مومی کلم را نسبت به شاهد کاهش می‌دهد. با توجه به تأثیر عصاره زیتون تلخ در کوتاه مدت روی جمعیت این شته، لزوم مطالعات بیشتر در رابطه با افزایش زمان تأثیر این ترکیب احساس می‌شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از شهرداری زرند به‌علت حمایت از این تحقیق قدردانی می‌گردد.

Refrences

1. Ali, A., & Aly, M.F. (2020). Toxicological effects of five insecticides on cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.) (Homoptera: Aphididae) and its parasitoid aphelinus sp. (Hymenoptera: Aphelinidae). *Journal of Plant Protection and Pathology*, *11*(11), 531-536. https://doi.org/10.21608/jppp.2020.131789
2. Anonymous. (1996). Ref*erence Manual of the Statistics Program for Windows Winstat*. Kalmia Company Inc, Cambridge, MA.
3. Bacci, L., Crespo, A.L., Galvan, T.L., Pereira, E.J., Picanço, M.C., Silva, G.A., & Chediak, M. (2007). Toxicity of insecticides to the sweetpotato whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) and its natural enemies. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, *63*(7), 699-706. https://doi.org/10.1002/ps.1393
4. Begum, K., Patil, S., & Mohite, P. (2016). Evaluation of newer molecules of insecticides against sucking pests complex infesting okra. *Indian Journal of Applied Research*, *6*(2), 30-34.
5. Costello, M.J., & Altieri, M.A. (1995). Abundance, growth rate and parasitism of *Brevicoryne brassicae* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) on broccoli grown in living mulches. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *52*(2-3), 187-196. https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)00535-M
6. Errami, M., Salghi, R., Ebenso, E.E., Messali, M., Al-Deyab, S., & Hammouti, B. (2014). Anodic destruction of abamectin acaricide solution by BDD-anodic oxidation. *International Journal of Electrochemical Science*, *9*(10), 5467-5478. https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)08182-8
7. Gabryś, B., Gadomski, H., Klukowski, Z., Pickett, J., Sobota, G., Wadhams, L., & Woodcock, C. (1997). Sex pheromone of cabbage aphid Brevicoryne brassicae: Identification and field trapping of male aphids and parasitoids. *Journal of Chemical Ecology*, *23*, 1881-1890. https://doi.org/10.1023/B:JOEC.0000006457.28372.48
8. Gebremariam, K., Kahsay, K., Gebrelibanos, W., Goyetom, D., Selemawit, M., Ershan, G., & Raja, N. (2012). Field evaluation of aqueous extract of *Melia azedarach* Linn. seeds against cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* Linn.(Homoptera: Aphididae), and its predator *Coccinella septempunctata* Linn.(Coleoptera: Coccinellidae). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, *45*(11), 1273-1279. https://doi.org/10.1080/03235408.2012.673260
9. Golmohammadi, G.R., Naseri, M., & Keyhanian, A.A. (2017). Studying the effects of some insecticides on different developing stages of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama in field conditon. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, *6*(2), 63-70. (in Persian with English abstract)
10. Jafari Nasab, B., Rafiee Karahroodi, Z., Gholamian, E., & Vafaei Shooshtari, R. (2015). The investigation) study (of toxicity Imidacoloprid, Acetamiprid, Pirimicarb and Diazinon on The mortality of rose aphid, *Macrosiphum rosae* L.(Hem.: Aphididae). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *29*(3), 466-469. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jpp.v29i3.38115
11. Khattak, S., Shah, S., Alamzeb, M., & Iqbal Pak, M. (1998). Effect of NPK fertilizer on aphid infestation and crop yield in Rape seed. *The Nucleus*, *35*(3-4), 201-203.
12. Köhler, W., Schachtel, W., & Voleske, P. (2002). *Biostatistik*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 301.
13. Mckenna, M.M., Abou-Fakhr Hammad, E.M., & Farran, M.T. (2013). Effect of *Melia azedarach* (Sapindales: Meliaceae) fruit extracts on citrus leafminer Phyllocnistis citrella (Lepidoptera: Gracillariidae). *SpringerPlus*, *2*, 1-6. https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-144
14. Mortazavi, S., Khodabandelu, F., & Azimi, M.H. (2017). Effect of cycocel and salisilic acid on morphologic traits of *Brassica oleracea*, Pink type. *Journal of Horticultural Science*, *30*(4), 590-596. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.51522
15. Pahlavan Yali, M., & Mohammadi Anaii, M. (2017). Studying, the insecticidal effects of *Melia azedarach* and *Citrus limonum* extracts on two aphid species. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *31*(3), 496-504. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.v31i3.58927
16. Piffer, A.B.M., Holtz, A.M., Botti, J.M.C., Carvalho, J.R.D., Aguiar, R.L., Alves, A.G., Gomides, A.C.P., Marchiori, J.J.D.P., Magnani, B.D.O., & Bolsoni, E.Z. (2023). Interaction between Castor bean oil and *Jatropha* oil to Control the *Brassica* aphids. *International Journal of Plant and Soil Science*, *35*(8), 26-33. https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i82879
17. Piri Ouchtape, M., Mehrkhou, F., & Forouzan, M. (2024). Lethal and sub-lethal effects of Clothianidin and summer oil on the life table parameters and population trend of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Hem.: Aphididae). *Plant Pest Research*, *13*(4), 17-34. https://doi.org/10.22124/iprj.2024.26113.1544
18. Rezaeian, N., Heidari, A., Moharramipour, S., & Imani, S. (2015). Contact toxicity of botanical insecticide, Dayabon based on plant essential oils thyme (*Thymus vulgaris*) on *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, *5*(52), 3225-3228.
19. Saeidi, F., Moharramipour, S., & Atapour, M. (2012). Changes of supercooling point and cold tolerance in overwintering adults of *Brevicoryne brassicae* (Hem.:Aphididae) in Tehran, Iran. *Journal of Entomological Society of Iran*, *31*(2), 79-91. (in Persian with English abstract)
20. Seyyedi-Sahebari, F., Shirazi, J., Mohajer, A., & Taghizadeh, M. (2021). Control of cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* on oilseed rape using none chemical products in East Azerbaijan province. *Journal of Applied Research*

in Plant Protection, *10*(2), 63-69. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/arpp.2021.12907

21. Shafiei, F., Ahmadi, K., & Asadi, M. (2018). Evaluation of systemic effects of four plant extracts compared with two systemic pesticides, Acetamiprid and Pirimicarb through leaf spraying against *Brevicoryne brassicae* L.(Hemiptera: Aphididae). *Journal of Plant Protection Research*, *58*(3), 257-264. https://doi.org/10.24425/122942
22. Shah, F.M., Razaq, M., Ali, Q., Ali, A., Shad, S.A., Aslam, M., & Hardy, I.C. (2020). Action threshold development in cabbage pest management using synthetic and botanical insecticides. *Entomologia Generalis*, *40*(2). https://doi.org/10.1127/entomologia/2020/0904

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 4, 2025, p. 351-359

Molecular Identification of Gall-forming Bacteria in Stone and Pome Fruits using the *recA* Gene Sequence

K. Farri[1], M. Khezri[2*], M. Abrinbana[3], M. Rastgou[3]

1 and 3- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, respectively
2- Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
(*- Corresponding author's Email: maryamkhezri86@gmail.com)

Received: 11-05-2024 Revised: 15-10-2024 Accepted: 21-10-2024 Available Online: 03-03-2025	**How to cite this article:** Farri, K., Khezri, M., Abrinbana, M., & Rastgou, M. (2025). Molecular identification of gall-forming bacteria in stone and pome fruits using the *recA* gene sequence. *Iranian Plant Protection Research*, *38*(4), 351-359. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88026.1188

Introduction

Crown gall is an economically important plant disease that affects dicotyledonous and a few monocotyledonous plants in orchards, farms, and nurseries, worldwide. The disease is caused by *Agrobacterium tumefaciens* (Smith & Townsend, 1907) Conn 1942, a Gram-negative bacterium from the family of *Rhizobiaceae* in the class of AlphProteobacteria. This bacterium can survive in the soil as well as within host plants. The key characteristic of this bacterium is its ability to transform regular plant cells into tumor cells. Once this transformation is complete, the cells can continue to grow and divide independently of the bacterium. Molecular methods play a key role in the identification, classification and taxonomy of prokaryotes. Housekeeping genes are highly conserved protein-coding genes used to distinguish between different taxa of bacteria. In this study, the *recA* gene sequence was used to evaluate the efficiency of this gene in identifying and determining the phylogenetic relationships of tumor-forming *Agrobacterium tumefaciens* and *Agrobacterium rubi* (Hildebrand, 1940) Starr & Weiss, 1943 isolates.

Materials and Methods

The pathogenic isolates were obtained from tumors on the branches of cherry, plum, and apple trees in the orchards of Urmia, Naqadeh, Sardasht, and Khoy; located in West Azerbaijan province of Iran. In a previous study, phenotypic identification of the isolates was done, as well as the pathogenicity test with the gall formation on tomato crown. In this study, the *recA* gene sequence of four isolates (AT-U2, AT-K2, AT-N25 and AT-N15) was used for drawing the phylogenetic tree. After DNA extraction, polymerase chain reaction (PCR) was done using 91F/595R primers. Each PCR reaction was performed in a 25 µL PCR cocktail containing 12 µL of Taq DNA Polymerase 2x Master Mix RED (Amplicon, Denmark), 1 µL of each primer (10 pmol μL^{-1}), and 1 µL of template DNA (50 ng). The PCR amplification program was carried out under the following conditions; initial denaturation cycle at 94 °C (5 min), 35 cycles of denaturation at 94 °C (50 sec), annealing at 57 °C (50 sec) and

https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88026.1188

extension at 72 °C (1.5 min), and a final extension at 72 °C for 10 min. The sequences of the studied isolates were compared with the sequences of the reference strains registered in the NCBI database. Sequence of the *recA* gene of *A. tumefaciens* and *A. rubi* strains, as well as strain AOL15 of *Agrobacterium albertimagni* Salmassi *et al.*, 2002, as an outgroup strain, was obtained from GenBank. Phylogenetic relationships were inferred, by applying the Kimura-2-parameter model. The neighbor-joining (NJ) method and the adjacent method by MEGA 11 software were used for the phylogenetic tree and tested by bootstrap analysis with 1000 repetitions.

Results and Discussion

A 462 bp fragment was amplified in all bacterial isolates. Comparison of the *recA* sequence showed similarity of 99.95%-100%, with the reference strains of *A. tumefaciens* in GenBank. In the phylogenetic tree, sequence of the *recA* gene of studied isolates and reference strains of *A. tumefaciens* and *A. rubi* obtained from GenBank were used. The phylogeny tree included two main clads. The first clade included two subclades. AT-U2 placed in the first subclade and AT-K2, AT-N25 and AT-N15 placed in the second one. All the reference strains of *A. tumefaciens* from different countries were placed in the first clade, as well. In the second clade, *A. rubi* was placed separately from *A. tumefaciens* isolates. Currently, the analysis of housekeeping genes sequences is widely used to achieve higher accuracy in the phylogenetic relationships of different bacterial taxa. Among the bacterial conserved genes, sequence of the *recA* gene has been the interest of bacteriologist scientists (Costechareyre *et al.*, 2010). Tumor-forming bacteria isolated from grapevine (*Vitis vinifera* L.), rose (*Rosa* sp.), red raspberry (*Rubus idaeus* L.), and cornelian cherry (*Cornus mas* L.) were classified in the *Agrobacterium* genus based on the 16S rRNA gene, but the result of phylogenetic analysis based on *atpD*, *recA*, and *rpoB* showed that some of the studied strains classified in *Agrobacterium rosae* Kuzmanovic *et al.*, 2018, which is close to the species *A. rubi* and *Agrobacterium skierniewicense* (Puławska *et al.*, 2012) Mousavi *et al.*, 2015 (Kuzmanovic *et al.*, 2018). A study of the *recA* gene sequence in 138 strains from 13 *Agrobacterium* species and genomospecies led to the differentiation between *A. tumefaciens*, *Agrobacterium vitis* Ophel & Kerr, 1990, *A. rubi* and *Agrobacterium larrymoorei* Bouzar & Jones, 2001 species (Costechareyre *et al.*, 2010). In a multilocus sequencing study using *rpoB*, *recA*, *gyrB*, and *atpD* sequences, *Agrobacterium* isolates from various plants identified as *A. larrymoorei* and *A. rubi* (Mafakheri *et al.*, 2019). The study of housekeeping genes has been proposed not only as a phylogenetic tool to clarify the relationships between prokaryote taxa but also as an alternative to previous methods, such as DNA-DNA hybridization and ITS sequence (Costechareyre *et al.*, 2010). According to our results, *A. tumefaciens* strains were situated in a separated clade from *A. rubi* and *A. albertimagni* strains. Therefore, the *recA* gene sequence is a suitable tool to identify *A. tumefaciens* from other *Agrobacterium* isolates.

Conclusion

Results of the phylogenetic analysis revealed that using the *recA* gene sequence has enough efficiency in differentiating *A. tumefaciens* from *A. rubi* strains. This finding suggests that employing the sequences of the *recA* gene in phylogenetic relationship studies of *Agrobacterium* species provides accurate results in bacterial taxonomy.

Keywords: Crown gall, Housekeeping gene, Taxonomy, Tumorigenic bacteria

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸ شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص. ۳۵۹-۳۵۱

شناسایی مولکولی باکتری‌های مولد گال در درختان میوه هسته‌دار و دانه‌دار با استفاده از توالی ژن *recA*

کیوان فرّی[۱] - مریم خضری[۲*] - مسعود ابرین‌بنا[۳] - مینا راستگو[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳۰/۰۷/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰

چکیده

بیماری گال طوقه یکی از بیماری‌های مهم از لحاظ اقتصادی در انواع گیاهان باغی، زراعی و زینتی محسوب می‌شود. باکتری *Agrobacterium tumefaciens*، عامل بیماری است که می‌تواند به‌صورت غیرفعال در خاک و به‌صورت فعال در گیاه میزبان بقاء یابد. در این مطالعه، از توالی ژن *recA* جهت ارزیابی کارآیی آن در شناسایی و تبارشناسی جدایه‌های گال‌زای دو گونه *Agrobacterium tumefaciens* و *Agrobacterium rubi* استفاده شد. جدایه‌های بیماری‌زای این مطالعه، از گال‌های ایجاد شده روی شاخه‌های درختان گیلاس، آلو و سیب در باغات ارومیه، نقده، سردشت و خوی واقع در استان آذربایجان غربی جداسازی شدند. شناسایی فنوتیپی جدایه‌ها و آزمون بیماری‌زایی با تشکیل گال روی طوقه گوجه‌فرنگی در مطالعات قبلی انجام شده بود. پس از استخراج DNA، واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز با استفاده از آغازگرهای 91F/595R جهت تکثیر ژن *recA* انجام شد. قطعه ۴۶۲ جفت بازی در همه جدایه‌های باکتریایی تکثیر شد. مقایسه توالی ژن *recA* در جدایه‌های باکتری، شباهت ۹۹/۹۵ تا ۱۰۰ درصد را با توالی‌های سویه‌های مرجع باکتری *A. tumefaciens* ثبت شده در بانک ژن نشان داد. در درخت تبارزایی، از توالی ژن *recA* جدایه‌های این مطالعه و سویه‌های مرجع *A. tumefaciens* و *A. rubi* استفاده شد. درخت تبارزایی شامل دو شاخه اصلی بود. جدایه‌های این مطالعه به همراه سویه‌های مرجع *A. tumefaciens* از کشورهای مختلف در شاخه اول که خود شامل دو زیرشاخه بود، قرار گرفتند. در شاخه دوم، سویه‌ای از باکتری *A. rubi* مجزا از جدایه‌های *A. tumefaciens* قرار گرفت. نتایج درخت تبارزایی نشان داد که این ژن، کارآیی کافی در تفکیک باکتری‌های *A. tumefaciens* و *A. rubi* را دارد، به‌طوری‌که سویه‌های باکتری *A. rubi* در شاخه‌ای مجزا از سویه‌های *A. tumefaciens* قرار گرفتند. با توجه به این نتایج، پیشنهاد می‌شود که در شناسایی و بررسی روابط تبارشناسی گونه‌های جنس *Agrobacterium*، از توالی ژن خانه‌داری *recA* استفاده شود تا نتایج دقیق‌تری از موقعیت آرایه‌های این باکتری‌ها به‌دست آید.

واژه‌های کلیدی: آرایه‌بندی، باکتری‌های گال‌زا، ژن خانه‌داری، گال طوقه

مقدمه

باکتری (*grobacterium tumefaciens*) Conn 1942، یک باکتری گرم منفی و هوازی اجباری است که با یک تا شش تاژک محیطی حرکت می‌کند. (Smith & Townsend, 1907)این باکتری بیمارگر گیاهی می‌تواند در خاک و گیاهان میزبان بقاء یابد. پراکنش آن جهانی است و دارای دامنه میزبانی وسیعی در بین گیاهان دولپه و تعداد معدودی از گیاهان تک‌لپه و بازدانگان می‌باشد. باکتری *A. tumefaciens* حامل یک پلاسمید بزرگ القاءکننده گال در سلول‌های گیاهی، موسوم به پلاسمید Ti است (McCarthy *et al.*, 2019; Ferdous *et al.*, 2021; Weisberg *et al.*, 2023). توانایی منحصربه‌فرد این باکتری در انتقال بخشی از پلاسمید Ti به سلول-

۱ و ۳- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: maryamkhezri86@gmail.com)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88026.1188

های گیاهی، آن را به یک ابزار قوی در مطالعات انتقال ژن و به‌نژادی گیاهان تبدیل کرده است (Aliu *et al.*, 2024 *et al.*, 2023;Lim).
طبقه‌بندی گونه‌های *Agrobacterium* در ابتدا بر اساس ویژگی های فنوتیپی باکتری و علائمی که روی گیاهان میزبان ایجاد می کردند، انجام می‌شد. با توسعه روش‌های مبتنی بر داده‌های ژنومی، اطلاعات ژنتیکی بیشتری برای طبقه‌بندی گونه-های *Agrobacterium* مورد استفاده قرار گرفت و منجر به تعریف اصطلاح کمپلکس گونه‌ای (Atsc) *A. tumefaciens* شد که این مجموعه شامل چندین گونه ژنومی است (Vargas Ribera *et al.*, 2024).

روش‌های مولکولی در شناسایی، طبقه‌بندی و تبارزایی سطوح مختلف آرایه‌های پروکاریوت‌ها، نقش کلیدی ایفا می‌کنند. در طول ژنوم باکتری‌ها، توالی‌های متعددی از ژن 16S rRNA می‌تواند وجود داشته باشد. این ژن با طول ۱۵۰۰ جفت باز، دارای سطح مناسبی از توالی‌های حفاظت شده است که قابلیت انتقال افقی هم ندارد (Glaeser & Kampfer, 2015). ژن‌های خانه‌داری، ژن‌های بسیار حفاظت شده و کدکننده پروتئین هستند که در سطح جنس و حتی پایین‌تر از جنس، قدرت تفکیک آرایه‌ها را دارند. در این مطالعات، بخشی از توالی‌های حفاظت شده ژن‌های خانه‌داری در سویه‌های ناشناخته با توالی‌های این ژن‌ها در آرایه‌های مختلف مقایسه شده و برای رسم درخت تبارزایی و درک روابط خویشاوندی آن‌ها استفاده می‌شوند (Glaeser & Kampfer, 2015). بر این اساس، در مطالعه-ای که به‌منظور حل مشکل آرایه‌بندی باکتری‌های بیماری‌زا در جنس‌های *Agrobacterium* و *Rhizobium* انجام شد، تبارشناسی سویه‌های متعلق به این دو جنس بر مبنای توالی‌های ژن 16S rRNA و شش ژن خانه‌داری *rpoB*، *recA*، *glnA*، *gln II*، *atpD* و *thrC* مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که سویه-های *Agrobacterium* به‌صورت یک خوشه جداگانه‌ای که اغلب شامل آرایه‌های بیماری‌زای گیاهی بود، در تیره *Rhizobiaceae* قرار گرفتند. باکتری *Agrobacterium vitis* (Ophel & Kerr, 1990) از سایر گونه‌های *Agrobacterium* متمایز و در جنس *Allorhizobuim* گروه‌بندی شد و نام این باکتری به *Allorhizobium vitis* (Ophel & Kerr, 1990) Mousavi *et al.*, 2014 تغییر یافت. باکتری *Rhizobium galegae* نیز به همراه باکتری‌های Ren *et al.*, 2011 *Rhizobium vignae*، *Rhizobium huautlense* Wang *et al.*, 1998 و *Rhizobium alkalisoli* Lu *et al.*, 2009 تشکیل خوشه جداگانه‌ای دادند که نماینده یک جنس جدید با نام پیشنهادی *Neorhizobium* بودند (Mousavi *et al.*, 2014).

در ایران نیز جهت تفکیک و شناسایی ۲۹ سویه *Rhizobium* مولد گال روی گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) از مقایسه توالی ژن‌های خانه‌داری این سویه‌ها استفاده شده است (Rouhrazi *et al.*, 2016). در مطالعه‌ای دیگر که با استفاده از توالی ژن خانه‌داری *gyrB* انجام شد، سویه‌های *A. tumefaciens* جدا شده از مزارع چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) شهرستان اقلید واقع در استان فارس، در دو گونه ژنومی متفاوت قرار گرفتند (Mafakheri *et al.*, 2017). همچنین کارآیی چند ژن خانه‌داری دیگر در تفکیک گونه‌های *Agrobacterium* جداسازی شده از گیاهان یک‌ساله، چندساله و زینتی نیز به اثبات رسیده است (Mafakheri *et al.*, 2019).

این مطالعه با هدف بررسی کارآیی توالی ژن *recA* در شناسایی و تبارزایی جدایه‌های باکتری مولد گال جداسازی شده از درختان میوه هسته‌دار و دانه‌دار در استان آذربایجان غربی انجام شد.

مواد و روش‌ها

جدایه‌های باکتری *A. tumefaciens*

در بهار و تابستان سال‌های ۹۸-۱۳۹۷، از باغات درختان میوه هسته‌دار و دانه‌دار در استان آذربایجان غربی بازدید به‌عمل آمد و از درختان دارای نشانه گال نمونه‌برداری شد. از ۲۰۸ نمونه گال، تعداد ۶۰ جدایه باکتری با پرگنه‌های سفید تا کرم رنگ، محدب و گرد با حاشیه صاف روی محیط کشت *PDA+CaCO$_3$ 0.5%* جداسازی شد. پس از اثبات بیماری‌زایی جدایه‌ها، شناسایی فنوتیپی با استفاده از آزمون‌های معتبر باکتری‌شناسی گیاهی و شناسایی مولکولی با استفاده از آغازگرهای اختصاصی انجام شد و تعداد ۱۹ جدایه به‌عنوان باکتری بیماری‌زای گونه *A. tumefaciens* تعیین شدند (Farri *et al.*, 2023) و در این مطالعه از توالی ژن recA چهار جدایه (AT-U2، AT-K2، AT-N25 و AT-N15) برای ترسیم درخت تبارزایی استفاده شد.

استخراج DNA ژنومی و تکثیر ژن *recA*

استخراج DNA ژنومی جدایه‌های گال‌زای باکتری *A. tumefaciens*، با استفاده از روش لی و دبور (Li & de Boer, 1995) انجام شد. جهت تکثیر ژن *recA* از یک جفت آغازگر 91F/595R (Mousavi *et al.*, 2014) استفاده شد (جدول ۱). مخلوط PCR در ۲۵ میکرولیتر، با ترکیب ۱۲ میکرولیتر مخلوط آماده واکنش (PCR Master Mix Red-Mgcl$_2$ 180301-50 (Ampliqon))، ۱۰ پیکومول بر میکرولیتر از هر آغازگر و ۵۰ نانوگرم بر میکرولیتر DNA الگو تهیه شد. برنامه حرارتی واکنش PCR با استفاده از آغازگرهای 91F/595R به‌صورت یک چرخه واسرشت-سازی اولیه رشته DNA با دمای ۹۴ $^{\circ}$C به‌مدت سه دقیقه، ۳۵ چرخه شامل مرحله واسرشت‌سازی رشته DNA با دمای ۹۴ $^{\circ}$C به‌مدت ۵۰ ثانیه، مرحله اتصال آغازگرها به رشته DNA با دمای ۵۷ $^{\circ}$C به‌مدت

۵۰ ثانیه و مرحله بسط رشته DNA با دمای ۷۲ $^{\circ}$C به‌مدت یک‌دقیقه و در نهایت، یک چرخه بسط نهایی با دمای ۷۲ $^{\circ}$C به‌مدت ۱۰ دقیقه بود.

مشاهده و تأیید قطعات ژنومی تکثیر شده روی ژل آگارز یک درصد انجام شد. قطعات تکثیر شده توسط شرکت بایونیر کره جنوبی خالص‌سازی و توالی‌یابی شدند.

جدول ۱- آغازگرهای مورد استفاده در این مطالعه (Mousavi *et al*., 2014)

Table 1- Primers used in this study (Mousavi *et al*., 2014)

Primer name	Primer sequence (5’-3’)
91F	TTCGGTAAGGGMTCGATHATG
595R	CGHATCTGGTTGATGAAGATNACCAT

تجزیه تبارزایی

توالی‌های نوکلئوتیدی به‌دست آمده در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Chromas (version 2.5) بررسی شد. دو توالی پیش‌رو و پس‌رو از یک جدایه با هم ترکیب و یک رشته توالی از آن‌ها تهیه شد. توالی جدایه‌های مورد مطالعه، با توالی سویه‌های ثبت شده در پایگاه اطلاعاتی NCBI و با جستجو در برنامه BLAST مقایسه شدند. در ترسیم درخت تبارزایی از توالی ژن *recA* از سویه‌های مرجع *A. tumefaciens*، *Agrobacterium rubi* (Hildebrand, 1940) Starr & Weiss, 1943 و نیز توالی سویه AOL15 از گونه *Agrobacterium albertimagni* Salmassi *et al*., 2002 به‌عنوان توالی‌های خارج‌گروه اخذ شده از بانک ژن استفاده شد. تجزیه و تحلیل‌های تبارزایی با استفاده از روش Neighbor joinig و مدل Kimura 2-parameter model در نرم‌افزار MEGA (version 11) انجام شد (Tamura *et al*., 2021). در تمامی تجزیه و تحلیل‌های تبارزایی، مقدار اعتبارسنجی ۱۰۰۰ تکرار در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

بیماری گال طوقه از بیماری‌های مهم گیاهان زراعی، باغی و زینتی محسوب می شود که در میزبان‌های مختلف از جمله درختان میوه هسته‌دار، درختان میوه دانه‌دار، مو (*Vitis vinifera* L.)، چغندرقند و گیاهان زینتی در کشور گزارش شده است (Shahabi ; Mafakheri *et al*., 2017Mohammadabadi *et al*., 2012; Farri & Khezri, 2021). در این پژوهش، کارآیی توالی‌های حفاظت شده ژن *recA* در شناسایی و روابط تبارزایی باکتری *A. tumefaciens* مورد بررسی قرار گرفت.

در این مطالعه، از توالی ژن *recA* مربوط به جدایه‌های باکتری *A. tumefaciens* استفاده شد. این جدایه‌های بیماری‌زا، از گال‌های ایجاد شده روی شاخه‌ها و تنه درختان گیلاس (*Prunus avium* L.)، آلو (*Prunus domestica* L.) و سیب (*Malus domestica* L. Borkh) جداسازی شده بودند (جدول ۲).

جدول ۲- میزبان، محل و زمان نمونه‌برداری جدایه‌های باکتری *Agrobacterium tumefaciens*

Table 2- Host, location and sampling time of *Agrobacterium tumefaciens* isolates

Isolate code	Host	Sampling location	Year
A. tumefaciens AT-U2	Apple	Urmia	2018
A. tumefaciens AT-U6	Apple	Urmia	2018
A. tumefaciens AT-U9	Apple	Urmia	2018
A. tumefaciens AT-U18	Sweet cherry	Urmia	2018
A. tumefaciens AT-U22	Sweet cherry	Urmia	2018
A. tumefaciens AT-U31	Sweet cherry	Urmia	2018
A. tumefaciens AT-U37	Plum	Urmia	2019
A. tumefaciens AT-U46	Plum	Urmia	2019
A. tumefaciens AT-N3	Apple	Naghadeh	2018
A. tumefaciens AT-N15	Apple	Naghadeh	2018
A. tumefaciens AT-N21	Apple	Naghadeh	2018
A. tumefaciens AT-N25	Plum	Naghadeh	2018
A. tumefaciens AT-N27	Plum	Naghadeh	2018
A. tumefaciens AT-N50	Sweet cherry	Naghadeh	2018
A. tumefaciens AT-S5	Apple	Sardasht	2019
A. tumefaciens AT-K2	Sweet cherry	Khoy	2018
A. tumefaciens AT-K9	Sweet cherry	Khoy	2018
A. tumefaciens AT-K23	Plum	Khoy	2018
A. tumefaciens AT-K28	Plum	Khoy	2018

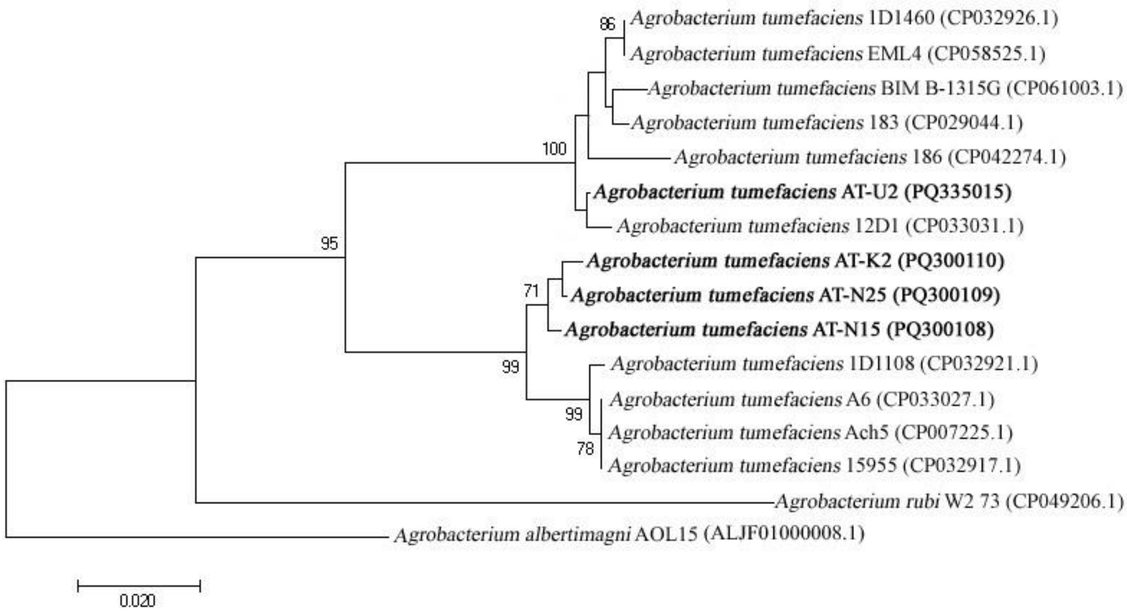
در PCR بـا اسـتفاده از جفـت آغـازگر 91F/595R، قطعـه ۴۶۲ جفت بازی مربوط به ژن *recA*، در تمامی جدایه‌های باکتریایی تکثیر شد. شماره جدایــه‌هــای *A. tumefaciens* مــورد اسـتفاده در درخـت تبارزایی و شماره دسترسـی آن‌هـا در بانـک ژن، براسـاس تـوالی ژن *recA*، در جـدول ۳ آورده شـده اسـت. مقایسـه تـوالی ژن *recA* در جدایه‌های مختلف این مطالعـه، قرابـت بـین ۹۹/۵۹ درصـد تـا ۱۰۰ درصد را با توالی‌های سویه‌های مرجع باکتری *A. tumefaciens* ثبت شده در بانک ژن نشان داد.

جدول ۳- شماره دسترسی جدایه‌های باکتری *Agrobacterium tumefaciens* در بانک ژن براساس توالی ژن *recA*

Table 3- Accession number of *Agrobacterium tumefaciens* isolates based on the *recA* gene sequence in GenBank

Isolate code	Accession number	Isolate code	Accession number
A. tumefaciens AT-U2	PQ335015	*A. tumefaciens* AT-N15	PQ300108
A. tumefaciens AT-K2	PQ300110	*A. tumefaciens* AT-N25	PQ300109

در درخت تبارزایی ترسیم شده بر مبنـای تـوالی‌هـای ژن *recA*، چهار جدایه این مطالعه به همراه سویه‌های مرجـع *A. tumefaciens* از کشورهای مختلف در شاخه اول که خود شـامل دو زیرشـاخه بـود، قرار گرفتند (شـکل ۱). جدایـه AT-U2 بـه همـراه سـویه‌هـای *A. tumefaciens* 1D1460، *A. tumefaciens* EML4، *A. tumefaciens* BIM B.1315G، *A. tumefaciens*183، *A. tumefaciens* 186 و *A. tumefaciens* 12D1 در یـک زیرشـاخه و جدایه‌های AT-K2، AT-N25 و AT-N15 به همراه سویه‌های *A. tumefaciens* 1D1108، *A. tumefaciens* A6، *A. tumefaciens* Ach5 و *A. tumefaciens* 15955 در شاخه اول گروه‌بنـدی شـدند. در شاخه دوم، سویه‌ای از باکتری *A. rubi* به‌تنهایی قـرار گرفـت و از جدایه‌های *A. tumefaciens* این مطالعه و سویه‌های مرجع اخذ شده از بانـک ژن مجـزا شـد. سـویه *A. albertimagni* AOL15 نیـز به‌عنوان سویه خارج‌گروه در نظر گرفته شد (شکل ۱).



شکل ۱- درخت تبارزایی حاصل از تجزیه توالی ژن *recA* جدایه‌های باکتری *Agrobacterium tumefaciens* با روش Neighbor Joining.
سویه *Agrobacterium albertimagni* AOL15 به‌عنوان آرایه خارج‌گروه در نظر گرفته شد.
مقدار اعتبارسنجی محاسبه شده برای ۱۰۰۰ تکرار نشان داده شده است.

Figure 1- Neighbor-joining phylogenetic tree of the *recA* gene from *Agrobacterium tumefaciens* isolates. *Agrobacterium albertimagni* AOL15 was used as an outgroup strain. Bootstrap values were calculated from 1000 replicates.

از بین ژن‌های باکتری که دارای توالی حفظ‌شـده هسـتند، تـوالی ژن *recA* بسیار مورد توجه محققان بوده است. در سـال ۲۰۱۰، یـک پایگاه اطلاعـاتی از تـوالی ژن *recA* بـرای کلیـه ژنوموارهـای گونـه کمپلکس *A. tumefaciens* تشکیل شد. طول این ژن، ۴۸۶ جفت‌باز

بوده و جایگاه آن روی ژنوم سویه *A. tumefaciens* 1D1460 در موقعیت نوکلئوتیدی 1533434-1533919 است. بررسی توالی ژن *recA* در ۱۳۸ سویه از ۱۳ گونه یا گونه ژنومی *Agrobacterium*، منجر به تشخیص گونه‌های *A. tumefaciens*، *A. vitis*، *A. rubi* و *Agrobacterium larrymoorei* Bouzar & Jones, 2001 شد (Costechareyre *et al*., 2010). مقایسه توالی این ژن در سویه-های مختلف گونه کمپلکس *A. tumefaciens*، برتری ژن *recA* را نسبت به توالی‌های ITS در شناسایی این سویه‌ها نشان داده است (Costechareyre *et al*., 2010). در این راستا، محققان از توالی‌های تلفیق‌شده ژن‌های خانه‌داری *atpD*، *recA* و *rpoB* نیز برای تشکیل درخت تبارزایی قوی‌تر و تفکیک بهتر سویه‌ها استفاده کرده‌اند.

در پژوهشی، یک سویه *Agrobacterium* جداسازی شده از رز (*Rosa* sp.) و چهار سویه جداسازی شده از گال‌های مو، تمشک (Rubus idaeus *L*.) و زغال‌اخته (Cornus mas *L*.) با استفاده از روش‌های آرایه‌بندی چندفازی توصیف شدند (Kuzmanovic *et al*., 2018). در تبارزایی براساس ژن 16S rRNA، همه سویه‌ها در جنس *Agrobacterium* طبقه‌بندی شدند، امّا نتیجه تبارزایی براساس بخشی از ژن‌های خانه‌داری *atpD*، *recA* و*rpoB* نشان داد که چهار سویه مورد مطالعه، یک گونه جدید در جنس *Agrobacterium* با نام پیشنهادی *Agrobacterium rosae* Kuzmanovic *et al*., 2018 را تشکیل می‌دهند که با گونه‌های *A. rubi* و *Agrobacterium skierniewicense* (Puławska *et al*., 2012) Mousavi *et al*., 2015 کمترین فاصله را دارد و سویه تیپ آن نیز NCPPB 1650 می‌باشد (Kuzmanovic *et al*., 2018). در مطالعه‌ای دیگر، توالی-یابی بخشی از ژن‌های خانه‌داری *atpD*، *glnA*، *gyrB*، *recA* و *rpoB* دو سویه بیماری‌زا KFB330 و KFB335 جدا شده از گال روی تمشک در صربستان و یک سویه غیربیماری‌زای AL51.1 جدا شده از گال روی آلو در لهستان منجر به این پیشنهاد شد که این سه سویه به‌عنوان نماینده گونه جدیدی تحت عنوان *Agrobacterium arsenijevicii* Kuzmanovic *et al*., 2015 با سویه تیپ KFB330 باشد (Kuzmanovic *et al*., 2015).

تبارزایی براساس توالی ژن‌های 16S rRNA، *atpD* و *recA*، منجر تفکیک و شناسایی سویه‌های چند گونه *Rhizobium* مولد گال روی گیاه لوبیا شد (Rouhrazi *et al*., 2016). مطالعه تبارزایی با استفاده از توالی‌یابی ژن خانه‌داری *gyrB* مشخص کرد که سویه-های *A. tumefaciens* جدا شده از مزارع چغندرقند شهرستان اقلید واقع در استان فارس، متعلق به مجموعه بیووار یک بودند که در دو گونه ژنومی متفاوت G3 وG7 قرار گرفتند. در این مطالعه همچنین مشخص شد که هیچ تشابه تبارزایی در بین سویه‌های مجموعه گونه *A. tumefaciens* جدا شده از میزبان‌های انجیر (*Ficus carica* L.)، هلو (*Prunus Persica* L. Batch)، رز و چغندرقند وجود ندارد (Mafakheri *et al*., 2017). در پژوهشی، تعداد ۴۳ جدایه باکتری از گال طوقه گیاهان مختلف در ایران جداسازی شد. با استفاده از جفت آغازگر اختصاصی PGF/PGR، تعداد ۱۰ جدایه به‌عنوان *Allorhizobium vitis* (*A. vitis*) شناسایی شدند. تعداد ۳۳ جدایه باقی‌مانده، با روش تجزیه توالی چند جایگاه ژنی و با استفاده از توالی چهار ژن خانه‌داری *rpoB*، *recA*، *gyrB* و *atpD* مورد مطالعه قرار گرفتند. از این تعداد، هفت جدایه به گونه *A. larrymoorei* و یک جدایه به گونه *A. rubi* تعلق داشتند (Mafakheri *et al*., 2019). در مطالعه حاضر نیز نتایج حاصل از درخت تبارزایی با استفاده از ژن *recA* نشان داد که توالی این ژن، کارآیی لازم در تفکیک جدایه‌های مولد گال *A. tumefaciens* جداسازی شده از درختان میوه هسته‌دار و دانه‌دار را از سویه‌های گونه *A. rubi* دارد.

در حال حاضر، تجزیه و تحلیل توالی ژن‌های خانه‌داری، برای رسیدن به دقت و وضوح بالاتر در روابط تبارزایی گونه‌های درون یک جنس و جنس‌های درون یک تیره کاربرد وسیع دارد. در حقیقت، مطالعه ژن‌های خانه‌داری نه‌تنها به‌عنوان یک ابزار تبارزایی برای پشتیبانی و شفاف‌سازی روابط بین آرایه‌های پروکاریوت‌ها پیشنهاد شده است، بلکه به‌عنوان جایگزینی برای روش‌های پیشین، از قبیل دورگ‌گیری DNA-DNA و توالی ITS، در توصیف گونه‌ها به‌صورت گسترده استفاده می‌شود.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش، ژن *recA* کارآیی لازم برای شناسایی و تفکیک سویه‌های باکتری *A. tumefaciens* از سویه‌های باکتری *A. rubi* را دارد و از توالی آن می‌توان در شناسایی و بررسی روابط تبارزایی باکتری‌های مولد گال درختان میوه هسته‌دار و دانه‌دار استفاده نمود تا سویه‌ها با دقت بالاتر تشخیص داده شده و موقعیت صحیح آرایه‌های آن‌ها تعیین شود.

References

1. Aliu, E., Ji, Q., Wlazlo, A., Grosic, S., Azanu, M.K.,Wang, K., & Lee, K. (2024). Enhancing *Agrobacterium*-mediated plant transformation efficiency through improved ternary vector systems and auxotrophic strains. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1429353. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1429353.
2. Bouzar, H., & Jones, J.B. (2001). *Agrobacterium larrymoorei* sp. nov., a pathogen isolated from aerial tumours of *Ficus benjamina*. *International Journal of Systematic Microbiology*, *51*, 1023-1026. https://doi.org/10.1099/00207713-51-3-1023.
3. Conn, H.J. (1942). Validity of the genus Alcaligenes. *Journal of Bacteriology*, *44*, 353-360.

https://doi.org/10.1128/jb.44.3.353-360.1942.

4. Costechareyre, D., Rhouma, A., Lavire, C., Portier, P., Chapulliot, D., Bertolla, F., Boubaker, A., Dessaux, Y., & Nesme, X. (2010). Rapid and efficient identification of *Agrobacterium* species by *recA* allele analysis: *Agrobacterium recA* diversity. *Microbial Ecology*, *60*, 862-872. https://doi.org/10.1007/s00248-010-9685-7.
5. Hildebrand, E.M. (1940). Cane gall of brambles caused by Phytomonas n. sp. *Journal of Agricultural Research*, *61*, 685-696. https://doi.org/10.1038/s41598-018-27485-z.
6. Farri, K., & Khezri, M. (2021). Integrated management method of plant crown gall disease. *Plant Pathology Science*, *10*, 116-127. https://doi.org/10.2982/PPS.10.2.116. (In Persian with English abstract)
7. Farri, K., Khezri, M., Abrinbana, M., & Rastgou, M, (2023). Identification of bacterial agents involved in tumor formation on plum, sweet cherry and apple trees. *Applied Entomology and Phytopathology*, *90*, 171-181. https://doi.org/10.22092/jaep.2023.359240.1446. (In Persian with English abstract)
8. Ferdous, M.L., Hossain, M.N., Ali, M.O., Islam, M.S., & Yasmin, S. (2021). Morphological, biochemical and molecular identification of the wild strain of *Agrobacterium tumefaciens* from crown gall infected mango tree. *Fundamental and Applied Agriculture*, *6*, 43-49. https://doi.org/10.5455/faa.136134.
9. Glaeser S.P., & Kampfer, P. (2015). Multilocus sequence analysis (MLSA) in prokaryotic taxonomy. *Systematic and Applied Microbiology*, *38*, 237-245. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.syapm.2015.03.007.
10. Kuzmanovic, N., Puławska, J., Prokic, A., Ivanovic, M., Zlatkovic, N., Jones, J.B., & Obradovic, A. (2015). *Agrobacterium arsenijevicii* sp. nov., isolated from crown gall tumors on raspberry and cherry plum. *Systematic and Applied Microbiology*, *38*, 373-378. https://doi.org/10.1016/j.syapm.2015.06.001.
11. Kuzmanovic, N., Pulawska, J., Smalla, K., & Nesme, X. (2018). *Agrobacterium rosae* sp. nov., isolated from galls on different agricultural crops. *Systematic and Applied Microbiology*, *41*, 191-197. https://doi.org/10.1016/j.syapm.2018.01.004.
12. Li, X., & de Boer, S.H. (1995). Selection of primers for polymerase chain reaction primers from an RNA intergenic spacer region for specific detection *Clavibacter michiganensis* subsp. sepidonicus. *Phytopathology*, *85*, 837-842. https://doi.org/10.1094/Phyto-85-837.
13. Lim, S., Chun, S.C., & Kim, J.W. (2023). Cultivar resistance of Korean breeding cut-rose against crown gall by *Agrobacterium tumefaciens* evaluated by an *in vitro* inoculation. *Plant Pathology Journal*, *39*(2), 220-227. https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.07.2022.0095.
14. Lu, Y.L., Chen, W.F., Li, L. H, Wang, E.T., & Chen, W.X. (2009). *Rhizobium alkalisoli* sp. nov., isolated from *Caragana intermedia* growing in saline-alkaline soils in the north of China. *International Journal of Systematic Microbiology*, *59*, 3006-3011. https://doi.org/10.1099/ijs.0.007237-0.
15. Mafakheri, H., Taghavi, S.M., Banihashemi, Z., Osdaghi, E., & Jay Ram, L. (2017). Pathogenicity, host range and phylogenetic position of *Agrobacterium* species associated with sugar beet crown gall outbreaks in Southern Iran. *European Journal of Plant Pathology*, *147*, 721-730. https://doi.org/10.1007/s10658-016-1034-3.
16. Mafakheri, H., Taghavi, S.M., Pulawska, J., de Lajudie, P., Lassalle, F., & Osdaghi, E. (2019). Two novel genomospecies in the *Agrobacterium tumefaciens* species complex associated with rose crown gall. *Phytopathology*, *109*, 1859-1868. https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-19-0178-R.
17. McCarthy, R.R., Yu, M., Eilers, K., Wang, Y.C., Lai, E.M., & Filloux, A. (2019). Cyclic di-GMP inactivates T6SS and T4SS activity in *Agrobacterium tumefaciens*. *Molecular Microbiology*, *112*, 632-648. https://doi.org/10.1111/mmi.14279.
18. Mousavi, S.A., Osterman, J., Wahlberg, N., Nesme, X., Lavire, C., Ludovic, V., Paulin, L., de Lajudie, P., & Lindstorm, K. (2014). Phylogeny of the *Rhizobium–Allorhizobium–Agrobacterium* clade supports the delineation of *Neorhizobium* gen. nov. *Systematic and Applied Microbiology*, *37*, 208-215. https://doi.org/10.1016/j.syapm.2013.12.007.
19. Mousavi, S.A., Willems, A., Nesme, X., de Lajudie, P., & Lindstrom, K. (2015). Revised phylogeny of *Rhizobiaceae*: proposal of the delineation of *Pararhizobium* gen. nov., and 13 new species combinations. *Systematic and Applied Microbiolog*, *38*, 84-90. https://doi.org/10.1016/j.syapm.2014.12.003.
20. Ophel, K., & Kerr, A. (1990). *Agrobacteriurm vitis* sp. nov. for strains of *Agrobacteriurm* biovar 3 from grapevines. *International Journal of Systematic Bacteriology*, *40*(3), 236-241. https://doi.org/10.1099/00207713-40-3-236.
21. Puławska, J., Willems, A., De Meyer, S.E., & Sule, S. (2012). *Rhizobium nepotum* sp. nov. isolated from tumors on different plant species. *Systematic and Applied Microbiology*, *35*(4), 215-220. https://doi.org/10.1016/j.syapm.2012.03.001.
22. Starr, M.P., & Weiss, J.E. (1943). Growth of phytopathogenic bacteria in a synthetic asparagine medium. *Phytopathology*, *33*, 314-318. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09379.
23. Ren, da W., Chen, W.F., Sui, X.H., Wang, E.T., & Chen, W.X. (2011). *Rhizobium vignae* sp. nov., a symbiotic bacterium isolated from multiple legume species. *International Journal of Systematic Microbiology*, *61*, 580-586. https://doi.org/10.1099/ijs.0.023143-0.
24. Rouhrazi, K., Khodakaramian, G., & Velazquez, E. (2016). Phylogenetic diversity of rhizobial species and

symbiovars nodulating *Phaseolus vulgaris* in Iran. *FEMS Microbiology Letters*, *363*(5), fnw024. https://doi.org/10.1093/femsle/fnw024.

25. Salmassi, T.M., Venkateswaren, K., Satomi, M., Newman, D.K., & Hering, J.G. (2002). Oxidation of arsenite by *Agrobacterium albertimagni*, AOL15, sp. nov., isolated from Hot Creek, California. *Geomicrobiology Journal*, *19*, 53-66. https://doi.org/10.1080/014904502317246165.
26. Shahabi Mohammadabadi, M., Taghavi, M., & Djavaheri, M, (2012). Phenotypic and genotypic characteristics of *Agrobacterium* isolates from different hosts in Fars and Kohgiluye and Boyerahmad provinces. *Iranian Journal of Plant Pathology*, *48*, 329-341. (In Persian with English abstract)
27. Smith, E.F., & Townsend, C.O. (1907). A plant-tumour of bacterial origin. *Science*, *24*, 671e3. https://doi.org/10.1126/science.25.643.671.
28. Tamura, K., Stecher, G., & Kumar, S. (2021). MEGA11: Molecular evolutionary genetics analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution*, *38*, 3022-3027. https://doi.org/10.1093/molbev/msab120.
29. Vargas Ribera, P.R., Kim, N., Venbrux, M., A´ lvarez-Pe´rez, S., & Rediers, H. (2024). Evaluation of sequence-based tools to gather more insight into the positioning of rhizogenic agrobacteria within the *Agrobacterium tumefaciens* species complex. *PLoS ONE*, *19*(11), e0302954. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302954.
30. Wang, E.T., van Berkum, P., Beyene, D., Sui, X.H., Dorado, O., & Chen, W.X. (1998). Martinez-Romero E. *Rhizobium huautlense* sp. nov., a symbiont of *Sesbania herbacea* that has a close phylogenetic relationship with *Rhizobium galegae*. *International Journal of Systematic Bacteriology*, *48*, 687-699. https://doi.org/10.1099/00207713-48-3-687.
31. Weisberg, A.J., Wu, Y., Chang, J.H., Lai, E.M., & Kuo, C.H. (2023). Virulence and ecology of Agrobacteria in the context of evolutionary genomics. *Annual Review of Phytopathology*, *61*, 1-23. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-021622-125009.

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 4, 2025, p. 361-371

Phylogenetic Analysis of Three Isolates of Grapevine leafroll-associated virus 1 (GLRaV-1) from Vineyards in Khorasan Razavi Province Based on The Nucleotide Sequence of a Portion of The Minor Capsid Protein 2 (Cpm2)

S. Gharouni-Kardani[1*], M.R. Karimi Shahri[1], F. Azad Disfani[1], S. Pakbaz[2]

1- Plant Protection Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
2- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
(*- Corresponding author's Email: s.gharooni@areeo.ac.ir)

Received: 22-09-2024
Revised: 12-11-2024
Accepted: 10-12-2024
Available Online: 03-03-2025

How to cite this article:
Gharouni-Kardani, S., Karimi Shahri, M.R., Azad Disfani, F., & Pakbaz, S. (2025). Phylogenetic analysis of three isolates of grapevine leafroll-associated virus 1 (GLRaV-1) from vineyards in Khorasan Razavi province based on the nucleotide sequence of a portion of the minor capsid protein 2 (Cpm2). *Iranian Plant Protection Research*, *38*(4), 361-371. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.2024.89928.1204

Introduction

Grapevines, as a vital agricultural product, face significant challenges from pests and diseases that adversely affect both quality and quantity of the crop. Among these, viruses are particularly detrimental, with 86 different species identified in grapevines. The viruses associated with grapevine leafroll disease (GLD) are considered the most prevalent in vineyards. Specifically, six species of grapevine leafroll-associated viruses (GLRaVs), belonging to the family *Closteroviridae*, are linked to this disease. These viruses typically enter vineyards through infected cuttings and are disseminated by vectors, notably mealybugs. The symptoms of GLD manifest as downward rolling of leaf margins, leaf interveinal reddening, and leaf interveinal chlorosis across various grapevine varieties. These symptoms negatively impact the quality of the berries, ultimately affecting yield and marketability. The GLRaV-1 genome is composed of positive-strand RNA and contains ten open reading frames (ORFs), which play crucial roles in its biology and pathogenicity. In Iran, GLRaV-1 has been identified as one of the most widespread grapevine viruses, exhibiting high genetic diversity that complicates management and control efforts. This study focuses on the identification of GLRaV-1 and the phylogenetic analysis of its isolates in the vineyards of Razavi Khorasan province. By understanding the genetic relationships and variability of GLRaV-1 isolates, this research aims to provide insights which could be useful for designing effective management strategies and improving the overall health of grapevine in the region.

Materials and Methods

In the spring of 2020, a study was conducted in the Kashmar region of Khorasan Razavi province, focusing

https://doi.org/10.22067/jpp.2024.89928.1204

on grapevine plants exhibiting distinct symptoms of viral infection. A total of 70 samples were collected from affected plants. The RNA was extracted from these samples to facilitate the detection of grapevine leafroll-associated virus 1 (GLRaV-1). The initial identification process involved reverse transcription-polymerase chain reaction (RT-PCR). This method confirmed the presence of GLRaV-1 in 22 samples, marking a crucial step in understanding the viral infection's prevalence. To ensure the accuracy of the RT-PCR results, Sanger sequencing was used on the amplified fragments from three selected samples. This technique provided definitive confirmation of the viral identity by analyzing the nucleotide sequences, thereby validating the initial findings from the RT-PCR. Data analysis included several critical components. Nucleotide sequence similarity analysis was performed to compare the identified GLRaV-1 isolates against known sequences in databases, assessing their similarity and identifying potential genetic variants. Following this, multiple sequence alignments were conducted using MAFFT software, arranging the sequences to highlight similarities and differences among the isolates. The phylogenetic tree was constructed using the Maximum-Likelihood method with MEGA7 software.

Results and Discussion

The samples collected from black grape vineyards in Kashmar exhibited mild yellowing and downward rolling of leaf margins, symptoms commonly associated with increased anthocyanin levels in red grape varieties. In samples infected with GLRaV-1, a fragment of the minor capsid protein 2 (Cpm2) gene was successfully amplified, while no such fragments were detected in healthy plants. This indicates the presence of GLRaV-1, a virus recognized as one of the common pathogens affecting grapes across various regions of Iran. The GLRaV-1 is primarily transmitted through vectors or contaminated cuttings, which emphasizes the importance of monitoring and controlling these pathways to prevent outbreaks. Sequence comparisons revealed that nucleotide identity among Iranian isolates ranged from 84.2% to 100%, while identity with GenBank isolates varied between 77.6% and 87.7%. This high level of genetic diversity among the isolates may enhance the virus's adaptability to different grape varieties, posing challenges for management and control. The observed diversity at the genomic level was consistent with previously reported data regarding the sequence divergence between the two GLRaV-1 groups (Alabi *et al.*, 2011; Sabella et al., 2018; Fan et al., 2015). Phylogenetic analysis further demonstrated that Iranian isolates of GLRaV-1 clustered into two main groups, indicating that the phylogenetic relationships are not strictly related to geographical origin. In previous studies, global isolates of GLRaV-1 have also been distinguished into two different groups based on the gene encoding the minor coat protein 2 (Alabi *et al.*, 2011; Elci, 2019). This finding suggests that spread of the virus may occur independently of the location, highlighting the need for comprehensive management strategies. To mitigate the spread of GLRaV-1, the use of virus-free plant materials is essential (Alabi *et al.*, 2011; Bruisson *et al.*, 2017). Genetic diversity of GLRaV-1 significantly influences the epidemiology of grapevine leafroll disease, underscoring the importance of producing virus-free plants. Continued research is crucial to understand the underlying causes and effects of this virus. Additionally, developing more sensitive and specific diagnostic tests, along with new control strategies, is vital for effectively managing GLRaV-1 and safeguarding grapevine health.

Keywords: *Ampelovirus univitis*, *Closteroviridae*, Coat protein, Phylogenetic analysis, RT-PCR

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸ شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص. ۳۷۱-۳۶۱

واکاوی تبارزائی سه جدایه ویروس همراه با پیچیدگی برگ مو شماره یک (GLRaV-1) از تاکستان‌های استان خراسان رضوی براساس توالی نوکلئوتیدی بخشی از ژن CPm2

سارا قارونی کاردانی[1*]- محمودرضا کریمی شهری[1]- فاطمه آزاد دیسفانی[1]- سمیرا پاکباز[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

چکیده

انگور (*Vitis vinifera* L.) به‌عنوان یک محصول کشاورزی مهم در جهان، میزبان طیف وسیعی از ویروس‌های گیاهی از جمله ۸۶ گونه ویروس شناخته شده است. یکی از این ویروس‌ها، ویروس همراه با پیچیدگی برگ مو شماره یک (Grapevine leafroll-associated virus 1, GLRaV-1) است که به جنس *Ampelovirus* و خانواده Closteroviridae تعلق دارد. با توجه به تغییرات اخیر در نام‌گذاری گونه‌های ویروسی، نام این گونه *Ampelovirus univitis* شده است. در این مطالعه در بهار سال ۱۳۹۹، آلودگی به GLRaV-1 در تاکستان‌های شهرستان کاشمر، استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفت. علائم مشاهده‌شده در تاک‌های آلوده شامل زردی خفیف، تاخوردگی حاشیه برگ به پشت و قرمزی پهنک همراه با رگبرگ‌های سبز بود. ۷۰ نمونه از تاک‌های مشکوک به آلودگی جمع‌آوری و مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ۲۲ نمونه (۳۱/۴ درصد از نمونه‌ها) به ویروس GLRaV-1 آلوده بودند. توالی‌یابی ژن پروتئین پوششی فرعی ۲ (ORF CPm2) ویروس از سه نمونه انجام شد. توالی‌های به‌دست آمده با توالی‌های موجود در GenBank مقایسه شدند و نتایج نشان داد که توالی نوکلئوتیدی جدایه‌های این مطالعه، شباهت ۸۷/۷ تا ۷۷/۶ درصدی با توالی‌های GLRaV-1 موجود در GenBank داشتند. درخت تبارزایی براساس بخشی از توالی نوکلئوتیدی ژن CPm2 بازسازی شد. جدایه‌های شمال شرق ایران با جدایه‌های سایر کشورها در یک گروه قرار گرفتند که نشان‌دهنده عدم ارتباط خوشه‌بندی تبارزایی با منشأ جغرافیایی می باشد. این یافته نشان می‌دهد که ویروس GLRaV-1 می‌تواند به‌راحتی در بین مناطق مختلف جغرافیایی جابه‌جا شود و تهدیدی جدی برای تاکستان‌ها در سراسر جهان محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *Ampelovirus univitis*، پروتئین پوششی، تحلیل تبارزائی، کلستروویریده، واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز رونویسی معکوس

مقدمه

همانند سایر محصولات، انگور (*Vitis vinifera* L.) نیز توسط آفات و بیماری‌های ناشی از عوامل بیماری‌زا مختلف تهدید می‌شود و کمیت و کیفیت محصول آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. انگورها میزبان ۸۶ گونه ویروس مختلف هستند که این امر باعث می‌شود که به‌عنوان بزرگ‌ترین میزبان کشت‌شده برای ویروس‌ها شناخته شوند (Al Rwahnih *et al.*, 2021). تنوع ویروم انگور به‌دلیل تکامل همزمان ویروس‌ها با گونه‌های *Vitis* و همچنین تاریخ طولانی اهلی شدن درختچه‌های مو و تجارت جهانی این محصول بالا است (Mannini & Digiaro, 2017). بنابراین، بررسی تنوع ژنتیکی، پراکنش و رویدادهای نوترکیب احتمالی این پاتوژن‌ها بسیار مهم است (Panno *et al.*, 2018). در این میان، ویروس‌های مرتبط با بیماری

۱- بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۲- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: s.gharooni@areeo.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.89928.1204

پیچیدگی برگ انگور (Grapevine leafroll disease, GLD) شایع‌ترین بیماری در تاکستان‌ها شناخته شده‌اند و از اهمیت اقتصادی بالایی در سراسر جهان برخوردار هستند (Meng *et al.*, 2017). شش گونه ویروس همراه با پیچیدگی برگ انگور (GLRaVs) با شماره‌های Grapevine leafroll-associated virus 1، 2-، 3-، 4-، 7- و 13- شناخته شده‌اند. مجموعه ویروس‌های GLRaVها متعلق به خانواده *Closteroviridae* و GLRaV-1 متعلق به جنس *Ampelovirus* است (Dolja *et al.*, 2017). ابو غانم-سباناذزوویچ و همکاران (Aboughanem-Sabanadzovic *et al.*, 2017)، تجدید نظر جدیدی در ساختار طبقه‌بندی جنس *Ampelovirus* ارائه کردند. در این بررسی، جنس *Ampelovirus* به دو زیرگروه تقسیم شد: زیرگروه I شامل GLRaV-1، 3- و 13- که دارای ژنوم بزرگ‌تر و ۹ تا ۱۲ فریم خوانش باز (ORF) هستند. زیرگروه II شامل GLRaV-4 و سویه‌های آن مانند 5-، 6-، 9-، Pr- و Car.- که دارای ژنوم کوچک‌تر و شش ORF هستند. در حال حاضر، ۱۳ گونه در طبقه‌بندی جدید در جنس *Ampelovirus* قرار دارند (ICTV, 2023).

ویروس‌های همراه با پیچیدگی برگ انگور عمدتاً به آوند آبکش محدود می‌شوند و به‌طور پراکنده در گیاهان توزیع می‌شوند (Naidu *et al.*, 2014). ازآن‌جایی‌که انگورها به‌صورت رویشی تکثیر می‌شوند، این ویروس‌ها معمولاً از طریق قلمه آلوده به تاکستان‌ها وارد می‌شوند و سپس توسط برخی از ناقلین GLRaV مانند شپشک‌های آردآلود (*Hemiptera*: *Pseudococcidae*) منتشر می‌شوند (Almeida *et al.*, 2013).

عمده علائم بیماری پیچیدگی برگ انگور شامل پیچیدگی حاشیه برگ به‌سمت پشت برگ، قرمز شدن بین رگبرگی برگ در ارقام انگور قرمز و کلروز بین رگبرگی برگ در ارقام سفید می‌شود. این علائم می‌تواند باعث افت کیفیت و عملکرد حبه‌ها شود و ویژگی‌هایی مانند سطح قند، بلوغ و رنگدانه را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد (Poojari *et al.*, 2017).

ژنوم GLRaV-1 از یک RNA رشته‌ای تک لای مثبت به‌طول تقریبی ۱۸/۷ تا ۱۸/۹ کیلوباز تشکیل شده است که در ذرات رشته‌ای محصور شده است. ژنوم حاوی ۱۰ چارچوب ژنی (ORFs) است که ۱۰ پروتئین هلیکاز (ORF1a)، پلیمراز (ORF1b)، p7 (ORF2)، پروتئین شوک حرارتی (ORF3)، p55 (ORF4)، پروتئین پوششی (ORF5)، پروتئین پوششی فرعی ۱ (ORF6)، پروتئین پوششی فرعی ۲ (ORF7)، p21 (ORF8) و p24 (ORF9) را رمزگذاری می‌کند (Donda *et al.*, 2017).

بیماری GLD به‌طور گسترده در سراسر جهان گسترش دارد و تقریباً در تمام تاکستان‌ها (اروپا، آمریکای شمالی و جنوبی، آسیا، آفریقا و اقیانوسیه) ردیابی شده است (Caruso *et al.*, 2022). در دهه گذشته، در ایالات متحده آمریکا (Aboughanem-Sabanadzovic *et al.*, 2015)، نیجریه (Zongoma *et al.*, 2017)، پاکستان (Rasool *et al.*, 2019) و روسیه (Porotikova *et al.*, 2019) نیز گزارش شده است.

ویروس‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ و ۹ GLRaV در چندین مطالعه در مناطق مختلف کشور شامل استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، چهارمحال و بختیاری، خراسان رضوی، خراسان شمالی، کهگیلویه و بویراحمد، فارس و قزوین گزارش شده‌اند و GLRaV-1 به‌عنوان غالب‌ترین ویروس شناسایی شده است (Naderpour *et al.*, 2018; Roomi *et al.*, 2006; Gholampour *et al.*, 2024; Pourrahim *et al.*, 2004; Rakhshandehroo *et al.*, 2005). تنوع ژنتیکی بالای درون گونه‌ای در GLRaV-1 گزارش شده است و تا هشت گروه فیلوژنتیکی مجزا برای آن شناسایی شده است (Bruisson *et al.*, 2017; Sabella *et al.*, 2018). این تنوع ژنتیکی بالا، چالش اساسی برای مهار GLRaV-1 به‌وجود می‌آورد. اطلاعات محدودی در مورد تنوع ژنتیکی GLRaV-1 در ایران دسترس است. طبق آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۲ (جلد سوم: محصولات باغبانی)، خراسان رضوی رتبه چهارم کشور را در تولید انگور دارا بوده است. ازآنجاکه این استان به‌عنوان یکی از مناطق اصلی کشت انگور در ایران شناخته می‌شود، بنابراین نیاز به اطلاعات بیشتر برای شناسایی ویروس‌های انگور به‌خصوص GLRaVs از تاکستان‌های این استان است. هدف از این مطالعه، ردیابی GLRaV-1 از تاکستان‌های استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران، توالی‌یابی بخشی از ژن پروتئین پوششی فرعی ۲ (ORF CPm2) ویروس و نیز تحلیل تبارزائی جدایه‌های مختلف GLRaV-1 بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری، استخراج RNA و واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز

طی بهار سال ۱۳۹۹ از تاکستان‌های شهرستان کاشمر استان خراسان رضوی از ۷۰ تاک دارای علائم مشکوک به بیماری ویروسی نمونه‌برداری انجام شد. استخراج آر.ان.ای از تراشه‌های پوست سبز ساقه و برگ‌های جوان مو، با استفاده از بافر (Cetyl-trimethylammonium bromide, CTAB) انجام شد (Gharouni-Kardani *et al.*, 2022; Gholampour & Zakiaghl, 2016). از واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز معکوس (RT-PCR) با استفاده از آغازگرهای اختصاصی LEV1-C447 و LQV1-H47 (جدول ۱) ویروس همراه با پیچیدگی برگ مو شماره یک، جهت ردیابی مولکولی ویروس فوق استفاده شد. حجم نهایی واکنش ۲۰ میکرولیتر شامل سه میکرولیتر cDNA، یک میکرولیتر از هر آغازگر و

۱۰ میکرولیتر کیت PCR (Denmark, Ampliqon Red Dye Master Mix) بود. برنامه دمایی واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز شامل یک مرحله در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت سه دقیقه و ۳۵ چرخه، شامل دمای ۹۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ ثانیه در مرحله واسرشته‌سازی، دمای ۵۶ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ ثانیه و دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۵ ثانیه و در انتها یک مرحله در ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰ دقیقه با استفاده از ترموسایکلر (Bio-Rad MJ Mini Thermal Cycler، USA) انجام شد.

جدول ۱- مشخصات آغازگرهای اختصاصی مورد استفاده برای مطالعه GLRaV-1

Table 1- Characteristics of specific primers used for study of GLRaV-1

name Primer	Sequence	Size	Region	Reference
LQV1-H47	5'- GTTACGGCCTTTTGTTTATTATGG -3'	398	Coat protein duplicate 2	Roomi *et al.*, 2006
LEV1-C447	5'- CGACCCCTTTATTGTTTGAGTATG -3'			

محصول واکنش در ژل آگارز یک درصد حاوی دو میکرولیتر از Green Viewer الکتروفورز و در نهایت با استفاده از دستگاه ژل‌داک (Alphaimager Mini ProteinSimple، USA) تصویربرداری شد. تأیید صحت قطعات همانندسازی‌شده با آغازگر اختصاصی رفت، از طریق تعیین توالی یک‌طرفه توسط شرکت ماکروژن (Macrogen) کره جنوبی، انجام شد.

واکاوی داده‌ها

تجزیه و تحلیل شباهت توالی نوکلئوتیدی بین جدایه‌ها با استفاده از نرم‌افزار SDT v1.2 (Muhire *et al.*, 2014) و هم‌ردیف‌سازی چندگانه جدایه‌های این مطالعه و جدایه‌های موجود در GenBank با استفاده از نرم‌افزار MAFFT نسخه هفت انجام شد (Katoh *et al.*, 2019). پس از انتخاب بهترین مدل جایگزینی نوکلئوتیدی در نرم‌افزار MEGA7، رسم درخت تبارزائی به‌روش Maximum-Likelihood (ML) با ۱۰۰۰ تکرار در آزمون بوت‌استرپ انجام شد (Kumar *et al.*, 2016).

نتایج و بحث

ارقام انگور سیاه جمع‌آوری‌شده طی بهار سال ۱۳۹۹ از تاکستان‌های شهرستان کاشمر استان خراسان رضوی، دارای علائم زردی خفیف و تاخوردگی حاشیه برگ به پشت و قرمزی پهنک برگ‌ها با رگبرگ‌های سبز بودند (شکل ۱). این علائم خاص ارقام انگور قرمز است (Poojari *et al.*, 2017). ظهور علائم مختلف به‌علت افزایش غلظت آنتوسیانین در ارقام انگور قرمز می‌باشد، زیرا در ارقام سفید جهش‌های متعددی در مسیر ژن‌های بیوسنتز فلاونوئید رخ می‌دهد (Gutha *et al.*, 2010).

شکل ۱- علائم ویروسی مشاهده‌شده در نمونه¬های آلوده به GLRaV-1 در تاکستان‌های استان خراسان رضوی شامل پیچیدگی حاشیه برگ به طرف پایین و قرمزی پهنک برگ‌ها در رقم انگور سیاه آلوده

Figure 1- Viral symptoms including downward rolling of leaf margins, leaf interveinal reddening in red grapevine cultivars in vineyards of Khorasan Razavi infected with GLRaV-1

در ۲۲ نمونه آلوده به GLRaV-1 قطعه‌ای به‌طول ۳۹۸ جفت باز مربوط به بخشی از چارچوب ژنی پروتئین پوششی فرعی ۲ (ORF CPm2) ویروس تکثیر گردید، درحالی‌که در گیاه سالم هیچ قطعه‌ای تکثیر نشد. قطعات همانندسازی‌شده با آغازگرهای اختصاصی که روی

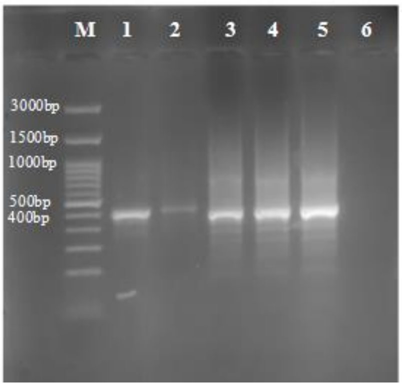
ژل آگارز یک درصد مشاهده شد، تعیین توالی گردید (شکل ۲)، پس از تعیین توالی سه نمونه آلوده منتخب، آلودگی انگورها به ویروس GLRaV-1 تأیید شد. GLRaV-1 یکی از بیمارگرهای ویروسی رایج انگور است که از تمام موکاری‌های دنیا گزارش شده است (Meng et al., 2017). GLRaV-1 پیشتر از تاکستان‌های استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کهگیلویه و بویراحمد، قزوین، فارس، خراسان رضوی، خراسان شمالی و چهارمحال و بختیاری گزارش شده بود (Roomi et al., 2006; Naderpour et al., 2018; Rakhshandehroo et al., 2005; Pourrahim et al., 2004). توالی‌های خام توسط نرم‌افزار MEGA7 ویرایش شد و توالی به‌دست آمده در ژن‌بانک با رس شمارهای PP069515، PP069516 و PP069517 ثبت شد (جدول ۲).

نتایج تحلیل تبارزائی بخشی از ژن پروتئین پوششی فرعی ۲ جدایه‌های GLRaV-1 از ایران و ۴۳ جدایه موجود در GenBank (جدول ۲) به دو گروه اصلی منجر شد (شکل ۳) که نشان‌دهنده شیوع گسترده این ویروس و تنوع ژنتیکی بالای آن است. جدایه‌های ایران با جدایه‌های سایر کشورها (شیلی، ژاپن، اسپانیا و روسیه) گروه‌بندی شدند. طبق مطالعات قبلی (Sabella et al., 2018)، به نظر نمی‌رسد که شاخه‌بندی فیلوژنتیک با منشأ جغرافیایی مرتبط باشد. این عدم ارتباط بین شاخه‌بندی فیلوژنتیک و منشأ جغرافیایی نشان می‌دهد که ویروس عمدتاً از طریق تماس با گیاهان آلوده منتقل نمی‌شود، بلکه از راه‌های دیگر مانند ناقلین یا قلمه‌های آلوده منتقل می‌شود (Elci, 2019).

مقایسه توالی سه جدایه GLRaV-1 توالی‌یابی‌شده به همراه جدایه‌های موجود در GenBank نشان داد که همسانی نوکلئوتیدی جدایه‌های ایرانی با یکدیگر ۱۰۰–۸۴/۲ درصد و با جدایه‌های GenBank ۸۷/۷ –۷۷/۶ درصد بود (شکل ۴). این نتایج حاکی از وجود تنوع بالایی درون گونه‌ای برای این ویروس است. تنوع مشاهده شده در سطح ژنوم با داده‌های گزارش‌شده قبلی در مورد فاصله توالی بین دو گروه GLRaV-1 مطابقت داشت (Alabi et al., 2011; Sabella et al., 2018; Fan et al., 2015).

در مطالعات گذشته، جدایه‌های جهانی GLRAV-1 براساس ژن پروتئین پوششی فرعی ۲ به دو گروه متفاوت متمایز شده‌اند (Alabi et al., 2011; Elci, 2019). بررسی تبارزایی توالی کامل جدایه‌های ایرانی GLRAV-1 و جدایه‌های متناظر از بانک ژن، در درخت فیلوژنتیک، جدایه‌های GLRAV-1 در دو شاخه مجزا با پشتیبانی اعتبارسنجی بالا قرار گرفتند (Gholampour et al., 2024).

واکاوی ژن‌های مختلف GLRaV-1، تنوع درون و بین‌گونه‌ای را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده فشار انتخاب و رویدادهای نوترکیبی احتمالی است (Fan et al., 2015). پیامدهای این تنوع ژنتیکی شامل سازگاری ویروس با ارقام مختلف انگور، تأثیر قلمه و شرایط محیطی بر آلودگی ویروسی و تأثیر آن بر فیزیولوژی انگور، کیفیت میوه و بیان ژنی است (Song et al., 2021). با توجه به عدم ارتباط فیلوگروه‌های GLRAV-1 براساس ارقام مختلف انگور (Gholampour et al., 2024) و عدم گروه‌بندی فیلوژنتیکی مشخص براساس منشأ جغرافیایی (Sabella et al., 2018; Elci, 2019)، تأکید بر استفاده از قلمه‌های عاری از ویروس به منظور جلوگیری از انتشار این ویروس ضروری است (Alabi et al., 2011; Bruisson et al., 2017).



شکل ۲– الکتروفورز محصول RT-PCR در ژل آگارز یک درصد با جفت آغازگر اختصاصی (LQV1-H47/ LEV1-C447)

راهک‌های ۱ تا ۴: نمونه‌های آلوده به GLRaV-1 جمع‌آوری‌شده از استان خراسان رضوی. راهک شماره ۵: شاهد مثبت، راهک شماره ۶: شاهد منفی. M: نشانگر مولکولی ۱۰۰ جفت بازی پلاس (سینا کلون، SL7041).

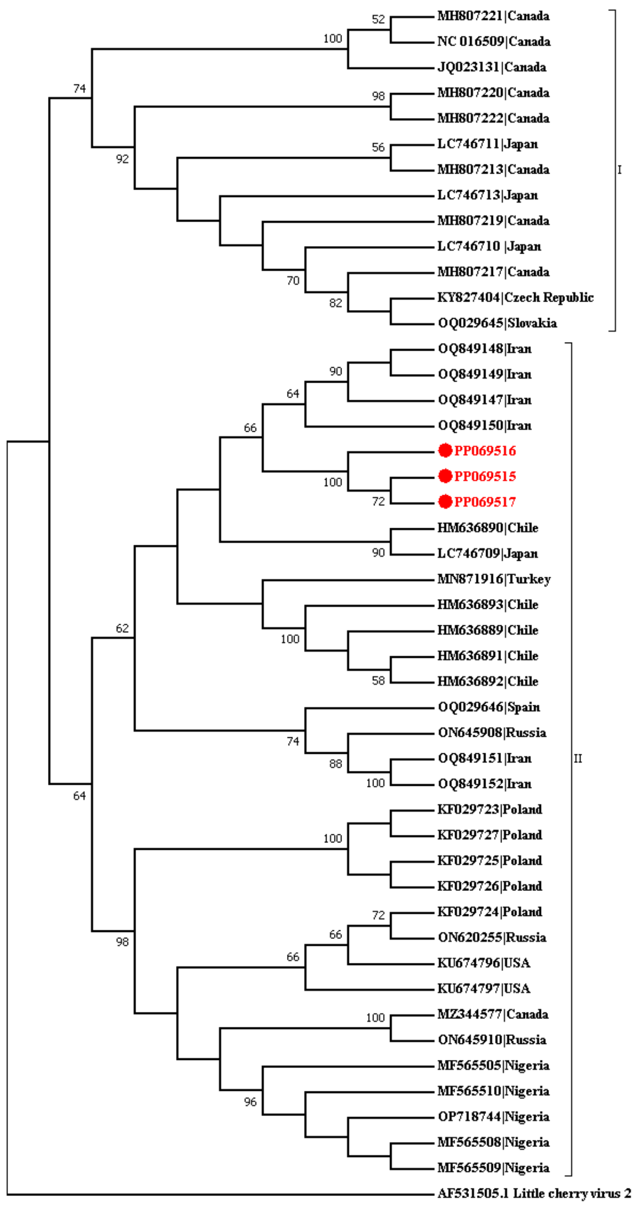
Figure 2- Electrophoresis of the RT-PCR product in 1% agarose gel using specific primers (LQV1-H47/ LEV1-C447)

Lane 1-4: GLRaV-1infected samples from Khorasan Razavi vineyards, Lane 5: positive control, Lane 6: negative control, M: 100bp DNA ladder plus (Sinaclon, SL7041).

جدول ۲– مشخصات جدایه‌های GLRaV-1 مورد استفاده در واکاوی‌های مولکولی در این تحقیق. جدایه‌های توالی‌یابی شده در تحقیق حاضر با علامت ⁎ مشخص شده‌اند. میزبان همه جدایه‌ها *Vitis vinifera* می باشد.

Table 2- Characteristics of GLRaV-1 isolates that were used in molecular analyses in this study. The sequenced isolates in this study are showed with *. The host of all isolates is *Vitis vinifera*

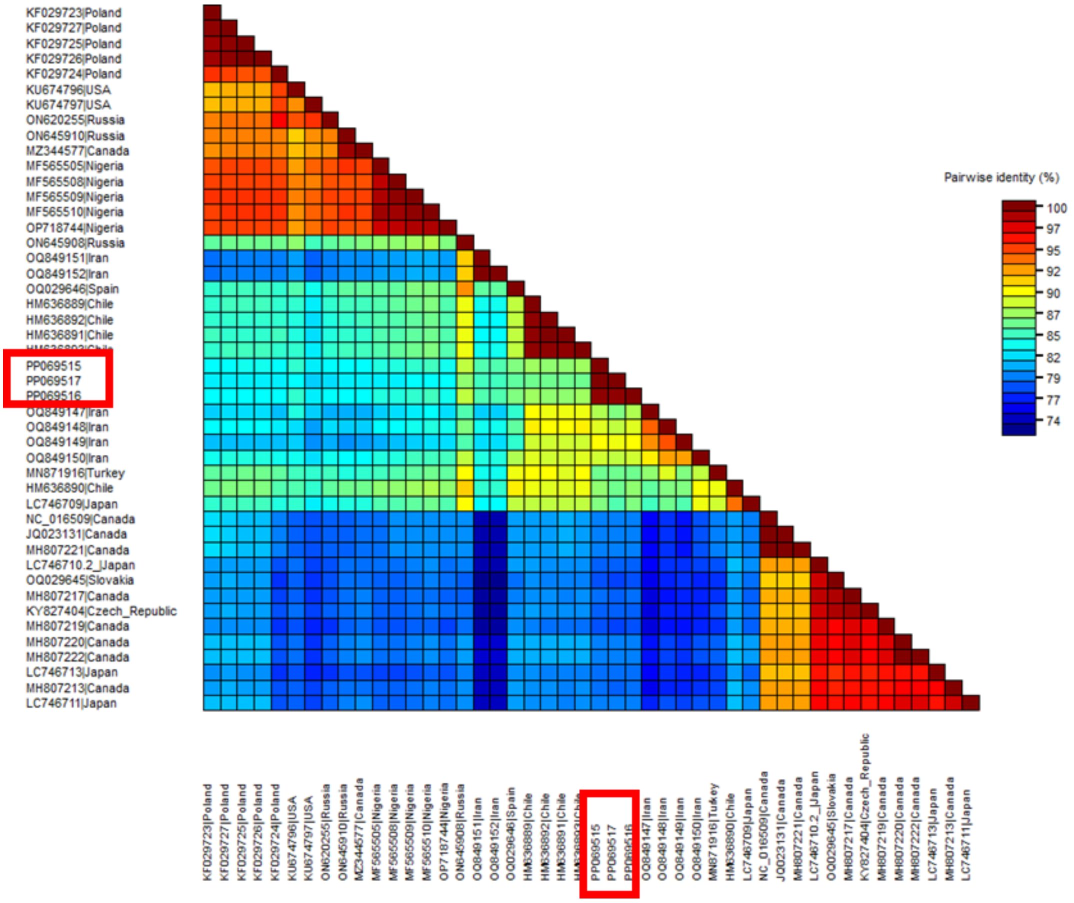
Accession no.	**Origin**
HM636889	Chile
HM636890	Chile
HM636891	Chile
HM636892	Chile
HM636893	Chile
JQ023131	Canada
KF029723	Poland
KF029724	Poland
KF029725	Poland
KF029726	Poland
KF029727	Poland
KU674796	USA
KU674797	USA
KY827404	Czech Republic
LC746709	Japan
LC746710	Japan
LC746711	Japan
LC746713	Japan
MF565505	Nigeria
MF565508	Nigeria
MF565509	Nigeria
MF565510	Nigeria
MH807213	Canada
MH807217	Canada
MH807219	Canada
MH807220	Canada
MH807221	Canada
MH807222	Canada
MN871916	Turkey
MZ344577	Canada
NC_016509	Canada
ON620255	Russia
ON645908	Russia
ON645910	Russia
OP718744	Nigeria
OQ029645	Slovakia
OQ029646	Spain
OQ849147	Iran
OQ849148	Iran
OQ849149	Iran
OQ849150	Iran
OQ849151	Iran
OQ849152	Iran
⁎* PP069515	Iran
⁎*PP069516	Iran
⁎*PP069517	Iran



شکل ۳- درخت تبارزائی جدایه‌های GLRAV-1 براساس توالی‌های نوکلئوتیدی قسمتی از ژن پروتئین پوششی فرعی ۲ (۳۹۸ جفت باز) با استفاده از نرم‌افزار MEGA7 بازسازی شد. مقادیر اعتبارسنجی (۱۰۰۰ تکرار) بر شاخه‌ها نشان داده شده است. مقادیر اعتبارسنجی کمتر از ۵۰ نمایش داده نشده‌اند. جدایه‌های ایرانی GLRAV-1 به رنگ قرمز • نشان داده شده‌اند.

Figure 3- The phylogenetic tree of GLRAV-1 strains was reconstructed based on the nucleotide sequences of a portion of the minor capsid protein 2 gene (398 base pairs) using MEGA7 software. Bootstrap values (1000 replicates) are shown on the branches. Bootstrap values less than 50 are not displayed. Iranian GLRAV-1 strains are highlighted in red•.

تنوع ژنتیکی GLRaV-1 نقش حیاتی در همه‌گیری بیماری پیچیدگی برگ انگور و تولید گیاهان عاری از ویروس را دارد (Fan *et al.*, 2015). لذا نیاز به انجام تحقیقات بیشتر جهت درک علل تنوع ژنتیکی و اثرات آن بر توانایی ویروس در آلودگی و آسیب به انگور وجود دارد. برای تشخیص و مدیریت GLRAV-1 نیاز به راه‌حل‌های مؤثرتر شامل توسعه تست‌های تشخیصی حساس‌تر و اختصاصی‌تر و نیز توسعه راهکارهای کنترلی جدید در برابر تمام جدایه‌های ویروس است.



شکل ۴- ماتریکس مقایسه دوبه‌دو توالی‌های نوکلئوتیدی بخشی از ژن پروتئین پوششی فرعی ۲ متعلق به سه جدایه ایرانی (مستطیل قرمز رنگ) با ۴۴ جدایه منتخب از GenBank با استفاده از نرم‌افزار SDT v1.2

Figure 4- Nucleotide pairwise identity matrix of partial ORF CPm2 sequences of three Iranian isolates (red circle) with 44 selected isolates from GenBank using SDT v1.2 software

نتیجه‌گیری

آلودگی به ویروس GLRaV-1 در ۲۲ نمونه آلـوده دارای علائـم زردی خفیف و قرمـزی برگ‌هـا تأییـد گردیـد. GLRaV-1 یـکی از ویروس‌های رایج در انگور است که در چندین اسـتان ایـران گـزارش شده است. تحلیل تبارزایی نشان داد که جدایـه‌های ایرانـی و جهـانی این ویروس تنوع ژنتیکی بالایی دارنـد و ارتبـاطی بـین فیلوژنتیـک و منشأ جغرافیایی وجود ندارد. این تنوع می‌تواند بر سازگاری ویروس بـا ارقام مختلف انگور تأثیر بگذارد و نیاز به تحقیقات بیشـتر بـرای درک بهتر آن احساس می‌شود. در نهایت، توسـعه روش‌هـای تشخیصـی و کنترلی جدید برای مدیریت GLRaV-1 ضروری است.

References

1. Aboughanem-Sabanadzovic, N., & Sabanadzovic, S. (2015). First report of grapevine leafroll-associated virus 2 infecting muscadine (*Vitis rotundifolia*) and summer grape (*Vitis aestivalis*) in the United States. *Plant Disease*, *99*(1), 163-163. https://doi.org/10.1094/PDIS-12-13-1252-PDN
2. Aboughanem-Sabanadzovic, N., Maliogka, V., & Sabanadzovic, S. (2017). Grapevine leafroll-associated virus 4. *Grapevine Viruses: Molecular Biology, Diagnostics and Management*, 197-220. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57706-79
3. Al Rwahnih, M., Alabi, O.J., Hwang, M.S., Tian, T., Mollov, D., & Golino, D. (2021). Characterization of a new nepovirus infecting grapevine. *Plant Disease*, *105*(05), 1432-1439. https://doi.org/10.1094/PDIS-08-20-1831-RE
4. Alabi, O. J., Al Rwahnih, M., Karthikeyan, G., Poojari, S., Fuchs, M., Rowhani, A., & Naidu, R.A. (2011). Grapevine leafroll-associated virus 1 occurs as genetically diverse populations. *Phytopathology*, *101*(12), 1446-

1456. https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-11-0114

5. Almeida, R.P., Daane, K.M., Bell, V.A., Blaisdell, G.K., Cooper, M.L., Herrbach, E., & Pietersen, G. (2013). Ecology and management of grapevine leafroll disease. *Frontiers in Microbiology*, *4*, 94. https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00094
6. Bruisson, S., Lebel, S., Walter, B., Prevotat, L., Seddas, S., & Schellenbaum, P. (2017). Comparative detection of a large population of grapevine viruses by TaqMan® RT-qPCR and ELISA. *Journal of Virological Methods*, *240*, 73-77. https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2016.12.003
7. Caruso, A.G., Bertacca, S., Ragona, A., Matić, S., Davino, S., & Panno, S. (2022). Epidemiological survey of grapevine leafroll-associated virus 1 and 3 in sicily (Italy): Genetic structure and molecular variability. *Agriculture*, *12*(5), 647. https://doi.org/10.3390/agriculture12050647
8. Dolja, V.V., Meng, B., & Martelli, G.P. (2017). Evolutionary aspects of grapevine virology. *Grapevine Viruses: Molecular Biology*, *Diagnostics and Management, 1,* 659-688. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57706-7_32
9. Donda, B.P., Jarugula, S., & Naidu, R.A. (2017). An analysis of the complete genome sequence and subgenomic RNAs reveals unique features of the ampelovirus, Grapevine leafroll-associated virus 1. *Phytopathology*, *107*(9), 1069-1079. https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-17-0061-R
10. Elci, E. (2019). Genomic variability and recombination analysis of grapevine leafroll-associated virus-1 isolates from Turkey. *Journal of Agricultural Sciences*, *25*(3), 319-327. https://doi.org/10.15832/ankutbd.402162
11. Fan, X., Hong, N., Dong, Y., Ma, Y., Zhang, Z.P., Ren, F., Hu, G., Zhou, J., & Wang, G. (2015). Genetic diversity and recombination analysis of grapevine leafroll-associated virus 1 from China. *Archives of Virology*, *160*, 1669-1678. https://doi.org/10.1007/s00705-015-2437-8
12. Gharouni-kardani, S., Karimi shahri, M. R., Azad disfani, F. (2022). Distribution and Phylogeny of Grapevine fanleaf virus in Vineyards of Khorasan Razavi Province Based on Coat Protein Region. *Journal of Iranian Plant Protection Research*,; 35(4): 421-431. https://doi.org/10.22067/jpp.2021.68789.1010
13. Gholampour, Z., & Zakiaghl, M. (2016). Comparison of RNA extraction methods for the identification of grapevine fanleaf virus. *Journal of Iranian Plant Protection*, *30*(1), 127-33. https://doi.org/10.22067/jpp.v30i1.40075
14. Gholampour, Z., Zakiaghl, M., Asquini, E., Moser, M., Gualandri, V., Mehrvar, M., & Si-Ammour, A. (2024). Application of high-throughput sequencing for comprehensive virome profiling in grapevines shows yellows in Iran. *Viruses*, *16*(2), 204. https://doi.org/10.3390/v16020204
15. Gutha, L.R., Casassa, L.F., Harbertson, J.F., & Naidu, R.A. (2010). Modulation of flavonoid biosynthetic pathway genes and anthocyanins due to virus infection in grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves. *BMC Plant Biology*, *10*, 1-18. https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-187
16. International Committee on Taxonomy of Viruses, (2023). (ICTV): https://ictv.global/taxonomy/
17. Katoh, K., Rozewicki, J., & Yamada, K.D. (2019). MAFFT online service: multiple sequence alignment, interactive sequence choice and visualization. *Briefings in Bioinformatics*, *20*(4), 1160-1166. https://doi.org/10.1093/bib/bbx108
18. Kumar, S., Stecher, G., & Tamura, K. (2016). MEGA7: Molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution*, *33*(7), 1870-1874. https://doi.org/10.1093/molbev/msw054
19. Mannini, F., & Digiaro, M. (2017). The effects of viruses and viral diseases on grapes and wine. In: Meng, B., Martelli, G., Golino, D., Fuchs, M. (eds). *Grapevine Viruses: Molecular Biology, Diagnostics and Management*, 453-482. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57706-7_23
20. Meng, B., Martelli, G.P., Golino, D.A., & Fuchs, M. (2017*). Grapevine Viruses: Molecular Biology, Diagnostics and Management*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57706-7
21. Muhire, B.M., Varsani, A., & Martin, D.P. (2014). SDT: A virus classification tool based on pairwise sequence alignment and identity calculation. *PloS One*, *9*(9), e108277. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108277
22. Naderpour, M., Shahbazi, R., Alizadeh, A., Karimi, S., Tabei, M., Hajizadeh, M., & Hosseinibay, K. (2018). The status of grapevine leafroll-associated viruses in Iran. In: *XXX International Horticultural Congress IHC2018: II International Symposium on Innovative Plant Protection in Horticulture 1269.* Istanbul. p. 113-118.
23. Naidu, R.A., Rowhani, A., Fuchs, M., Golino, D., & Martelli, G.P. (2014). Grapevine leafroll: A complex viral disease affecting a high-value fruit crop. *Plant Disease*, *98*(9), 1172-1185. https://doi.org/10.1094/PDIS-08-13-0880-FE
24. Panno, S., Caruso, A.G., Troiano, E., Luigi, M., Manglli, A., Vatrano, T., Iacono, G., Marchione, S., Bertin, S., Tomassoli, L., Parrella, G., Davino, S. (2019). Emergence of tomato leaf curl New Delhi virus in Italy: Estimation of incidence and genetic diversity. *Plant Pathology*, *68*(3), 601-608. https://doi.org/10.1111/ppa.12978
25. Poojari, S., Boulé, J., DeLury, N., Lowery, D.T., Rott, M., Schmidt, A.M., & Úrbez-Torres, J.R. (2017). Epidemiology and genetic diversity of grapevine leafroll-associated viruses in British Columbia. *Plant Disease*, *101*(12), 2088-2097. https://doi.org/10.1094/PDIS-04-17-0497-RE
26. Porotikova, E.V., Dmitrenko, U.D., Yurchenko, E.G., & Vinogradova, S.V. (2019). First Report of Grapevine Leafroll-Associated Virus 2 in Russian Grapevines (*Vitis vinifera*). *Plant Disease*, *103*(1), 164-164.

https://doi.org/10.1094/PDIS-05-18-0749-PDN
27. Pourrahim, R., Ahoonmanesh, A., Farzadfar, S., Rakhshandehro, F., & Golnaraghi, A.R. (2004). Occurrence of Arabis mosaic virus and grapevine leaf roll associated virus-3 on grapevines in Iran. *Plant Disease*, *88*(4), 424-424. https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.4.424A
28. Rakhshandehroo, F., Pourrahim, R., Zamani Zadeh, H., Rezaee, S., & Mohammadi, M. (2005). Incidence and distribution of viruses infecting Iranian vineyards. *Journal of Phytopathology*, *153*(7-8), 480-484. https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2005.01006.x.
29. Rasool, S., Naz, S., Rowhani, A., Diaz-Lara, A., Golino, D.A., Farrar, K.D., & Al Rwahnih, M. (2019). Survey of grapevine pathogens in Pakistan. *Journal of Plant Pathology*, *101*, 725-732. https://doi.org/10.1007/s42161-019-00263-0
30. Roomi, V., Afsharifar, A., & Izadpanah, K. (2006). Identification, distribution and prevalence of grapevine leafroll associated viruses and grapevine virus A in Iran and their rate of incidence in grapevine cultivars. *Iranian Journal of Plant Pathology*, *42*, 223–240. (In Persian with English abstract).
31. Sabella, E., Pierro, R., Luvisi, A., Panattoni, A., D'Onofrio, C., Scalabrelli, G., Nutricati, E., Aprile, A., De Bellis, L., Materazzi, A. (2018). Phylogenetic analysis of viruses in Tuscan *Vitis vinifera* sylvestris (Gmeli) Hegi. *PLoS One*, *13*(7), e0200875. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200875
32. Song, Y., Hanner, R.H., & Meng, B. (2021). Probing into the effects of grapevine leafroll-associated viruses on the physiology, fruit quality and gene expression of grapes. *Viruses*, *13*(4), 593. https://doi.org/10.3390/v13040593
33. Zongoma, A.M., Dangora, D.B., Al Rwahnih, M., Bako, S.P., Alegbejo, M.D., & Alabi, O.J. (2017). First report of grapevine leafroll-associated virus 1 infecting grapevines (*Vitis* spp.) in Nigeria. *Plant Disease*, *102*(1), 258-258. https://doi.org/10.1094/PDIS-07-17-1120-PDN

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 4, 2025, p. 373-385

The Application Time Effect of Imazetapyre, Trifluralin and Oxyflorfen Herbicides on Weed Control and Yield of Rapeseed (*Brassica napus* L.)

K. Salemi[1], M. Farzaneh[2*], E. Fateh[3]

1, 2 and 3- Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, respectively

*- Corresponding author's Email: m.farzaneh@scu.ac.ir)

Received: 24-05-2024 Revised: 12-08-2024 Accepted: 23-11-2024 Available Online: 03-03-2025	**How to cite this article:** Salemi, K., Farzaneh, M., & Fateh, E. (2025). The application time effect of Imazetapyre, Trifluralin and Oxyflorfen herbicides on weed control and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Iranian Plant Protection Research, 38*(4), 373-385. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/JPP.2024.88225.1192

Introduction

Among oilseeds, canola is one of the most important oilseed plants in the world. Weeds are a very important competitor and one of the main factors reducing production in canola cultivation. Early control of weeds with pre-emergence herbicides reduces weed damage in canola. A herbicide acts selectively and controls weeds without harming the crop, if applied correctly and at the right time, otherwise, it will not only fail to control the weeds but also reduce the crop yield. Weed are sensitive to herbicides during a specific growth stage, and if the recommended time for the use of herbicides is not observed, it will cause damage to the yield of the crop. To prevent increasing weed resistance to post-emergence herbicides and diversify timing and mode of action for herbicides, this study aimed to investigate the effectiveness of imazathapyr, trifluralin and oxyfluorfen herbicides on rapeseed (*Brassica napus* L.) weed control.

Materials and Methods

In order to investigate pre-emergence herbicides and application time on weed control and canola yield, a research was conducted in the agricultural year 1401-1402 in the research farm of Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz. The experiment was conducted in a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications. The experimental factors were the type of pre-emergence herbicide at three levels (imazethapyr, trifluralin, oxyfluorfen) and the time of herbicide application at four levels (two weeks before planting, one week before planting, at planting, and one week after planting) along with an unweeded control. The Hyola 50 canola variety was planted on October 23. The number and dry weight of weeds per square meter were measured by identifying the species and separating broad-leaved and narrow-leaved weeds at five times including 30, 60, 80, 100 days after planting and harvesting time. After ripening of rapeseed plants, seed and biological yield were measured. To estimate the yield components, including the number of plants per square meter, the number of branches and siliques per plant, and the number of seeds per silique, 10 plants were randomly selected from the middle lines of

https://doi.org/10.22067/JPP.2024.88225.1192

each plot by removing the marginal effects. The data were checked for normality and analyzed using SAS 9.4 software through analysis of variance. The means were separated using the Duncan test at the 5% level of significance.

Results and Discussion

The results showed that seed yield of canola, under the application of trifluralin herbicide (on average of all four spraying times) and oxyfluorfen herbicide two weeks before planting, increased by 18% and 12%, respectively, compared to the unweeded control. There was a positive correlation between seed yield with the number of plants per square meter at harvest time (90%) and a negative correlation with the number and weight of weeds (between -34 and -39%). The yield components, the number of plants per square meter, the number of branches and siliques per plant, and the number of seeds per silique were also affected by the interaction of the type of herbicide × time of spraying. Among the yield components, there was no significant difference in the thousand-grain weight of canola between the levels of herbicide type, spraying time, and their interaction. The results showed that canola was very susceptible to imazethapyr herbicide at all four application times. Compared to the other two herbicides, imazethapyr caused the highest percentage of canola burn and the lowest number of plants per square meter at harvest time. Imazethapyr also resulted in the lowest seed yield and other yield components. There was no damage to canola plants in the trifluralin herbicide treatment at all four application times and the yield components were superior until harvest. All three herbicides significantly reduced the population of broadleaf and narrowleaf weeds in the canola field compared to the unweeded control at 30 and 60 days after planting. The reduction in the population of broadleaf and narrowleaf weeds continued from 80 days after planting until harvest in trifluralin and oxyfluorfen herbicides, although this effect of reducing the weed population was more pronounced in trifluralin herbicide than in oxyfluorfen herbicide. At the end of the season, the population of both narrow-leaved and broad-leaved weeds increased in plots of rapeseed that had been damaged by application of the herbicide imazethapyr. This was due to the decrease in interspecific competition.

Conclusions

It seems that for early weed control, when rapeseed is growing slowly in the low temperatures of autumn, in addition to the herbicide trifluralin, oxyfluorfen, as a pre-emergence herbicide, can be a good option for further research to introduce it in rapeseed, especially in fields with dominant broad-leaved weeds.

Keywords: Early weed control, Pre-emergence herbicide, The number of plants

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸ شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص. ۳۸۵-۳۷۳

تأثیر زمان کاربرد علف‌کش‌های ایمازاتاپیر، تریفلورالین و اکسی‌فلورفن بر مهار علف‌های‌هرز و عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.)

خلود سالمی[1] - معصومه فرزانه[2*] - اسفندیار فاتح[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

چکیده

در بین دانه‌های روغنی، کلزا (Brassica napus L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در سطح جهان است. علف‌های‌هرز یک رقیب بسیار مهم و از عوامل اصلی کاهش تولید در زراعت کلزا می‌باشند. پژوهشی با هدف مهار زودهنگام علف‌های‌هرز کلزا در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عوامل آزمایش شامل نوع علف‌کش در سه سطح (ایمازاتاپیر، تریفلورالین، اکسی‌فلورفن) و زمان سم‌پاشی در چهار سطح (دو هفته قبل از کاشت، یک هفته قبل از کاشت، هم‌زمان با کاشت و یک هفته بعد از کاشت) به همراه شاهد بدون وجین بودند. نتایج نشان داد که عملکرد دانه کلزا در شرایط کاربرد علف‌کش تریفلورالین (به‌طور میانگین هر چهار زمان سم‌پاشی) و اکسی‌فلورفن دو هفته قبل از کاشت به‌ترتیب با افزایش ۱۸ و ۱۲ درصدی نسبت به شاهد بدون وجین، همبستگی مثبت با تعداد بوته در مترمربع (**۹۰ درصد) و همبستگی منفی با تعداد و وزن علف‌های‌هرز (بین ۳۴- تا ۳۹- درصد) داشت. اجزاء عملکرد شامل تعداد بوته در مترمربع، تعداد شاخه در بوته، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین نیز تحت تأثیر برهم‌کنش نوع علف‌کش × زمان سم‌پاشی قرار گرفتند. حساسیت زیادی در گیاه کلزا به علف‌کش ایمازاتاپیر در هر چهار زمان سم‌پاشی مشاهده شد، به‌طوری‌که نسبت به دو علف‌کش دیگر، بیشترین درصد گیاه‌سوزی کلزا و کمترین تراکم، عملکرد دانه و اجزاء عملکرد به این علف‌کش اختصاص یافت. هیچ آسیبی به گیاه کلزا در کرت‌های تیمار شده با علف‌کش تریفلورالین در هر چهار زمان سم‌پاشی، نسبت به دو علف‌کش دیگر، مشاهده نشد و تراکم بالا و اجزاء عملکرد بیشتر تا زمان برداشت حفظ شد. در تیمار علف‌کش اکسی‌فلورفن، با تأخیر در سم‌پاشی، بوته‌های کلزا دچار آسیب بیشتری شدند و بیشترین تراکم کلزا با بالاترین میزان اجزاء عملکرد متعلق به زمان سم‌پاشی دو هفته قبل از کاشت بود. کاهش جمعیت علف‌های‌هرز (مجموع باریک‌برگ و پهن‌برگ) مزرعه کلزا به‌طور میانگین چهار زمان سم‌پاشی در هر سه علف‌کش ایمازاتاپیر (۲۸ و ۴۷ درصد)، تریفلورالین (۴۹ و ۶۹ درصد) و اکسی‌فلورفن (۲۰ و ۶۲ درصد) به‌ترتیب در ۳۰ و ۶۰ روز پس از کاشت نسبت به شاهد بدون وجین مشاهده شد. کاهش جمعیت علف‌های‌هرز از ۸۰ روز پس از کاشت تا زمان برداشت در علف‌کش‌های تریفلورالین و اکسی‌فلورفن ادامه داشت، اگرچه این تأثیر کاهشی جمعیت علف‌های‌هرز در شرایط کاربرد علف‌کش تریفلورالین نسبت به علف‌کش اکسی‌فلورفن بیشتر مشهود بود. در پایان فصل، جمعیت علف‌های‌هرز در کرت‌هایی از کلزا که به‌دلیل کاربرد علف‌کش ایمازاتاپیر دچار آسیب شده بودند، به‌دلیل کاهش رقابت بین‌گونه‌ای افزایش یافت. نتایج نشان داد که علاوه بر علف‌کش تریفلورالین، اکسی‌فلورفن نیز به‌عنوان یک علف‌کش پیش‌کاشت، می‌تواند گزینه خوبی برای تحقیقات بیشتر برای معرفی آن روی کلزا به‌ویژه در مزارعی با علف‌های هرز غالب پهن‌برگ باشد.

واژه‌های کلیدی: تعداد بوته، علف‌کش پیش‌رویشی، مهار زودهنگام

۱، ۲ و ۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.farzaneh@scu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/JPP.2024.88225.1192

مقدمه

در بین دانه‌های روغنی، کلزا[1] یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در جهان با سطح زیر کاشت ۳۹/۹ میلیون هکتار و عملکرد دانه ۲/۱۸ تن در هکتار در سال ۲۰۲۲ می‌باشد (FAO, 2024). این گیاه بعد از سویا[2] و نخل روغنی[3] به‌عنوان سومین منبع تأمین روغن نباتی در جهان است و به‌طور متوسط محتوی ۴۰ تا ۴۵ درصد روغن است (Kadivar *et al*., 2010). سطح زیر کاشت کلزا در ایران از حدود ۹/۳ هزار هکتار در سال ۲۰۰۰ به ۱۶۰ هزار هکتار در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته است (FAO, 2024). کلزا به‌دلیل برگ‌های بزرگ، رشد سریع و سایه‌انداز بزرگ جزء گیاهان خفه‌کننده محسوب می‌شود، ولی در مراحل اولیه استقرار، زمانی که علف‌های‌هرز قبل از سبز شدن یا مرحله دو برگی کلزا رشدشان را آغاز می‌کنند، رقابت بین کلزا و علف‌هرز بحرانی است (Ahmad Khan *et al*., 2008). به‌ویژه اینکه عملکرد کلزا در ایران کمتر از متوسط جهانی و ۱/۸۷ تن در هکتار ثبت شده است (FAO, 2024). همچنین با بزرگ‌تر شدن اندازه علف‌های‌هرز، از میزان حساسیت آن‌ها نسبت به علف‌کش‌ها کاسته می‌شود و با تأخیر در زمان مهار علف‌های‌هرز، به دز بیشتری از علف‌کش نیاز می‌باشد (Sarani *et al*., 2016).

در مهار شیمیایی علف‌های‌هرز کلزا، نوع رقم کلزا نقش کلیدی در انتخاب علف‌کش به‌خصوص علف‌کش‌های مهارکننده علف‌های‌هرز پهن‌برگ دارد (Dhammu *et al*., 2020). از حدود ۲۵ سال پیش که ارقام کلزا مقاوم‌شده به علف‌کش‌های گروه شیمیایی ایمیدازولینون‌ها (مانند علف‌کش ایمازاتاپیر) و تریازین‌ها و همچنین علف‌کش عمومی گلیفوسیت تأیید شدند (Haskins, 2012; Harker *et al*., 2000 ; Cook *et al*., 2015; Richards, 2019)، مهار علف‌های‌هرز به‌ویژه پهن‌برگ‌ها در کلزا توسط علف‌کش‌های پس‌رویشی دچار تحول شد. با کاربرد گسترده از این علف‌کش‌ها و دیگر علف‌کش‌های انتخابی پس‌رویشی مانند علف‌کش‌های باریک‌برگ‌کش، چالش‌های زیست محیطی، بروز مقاومت در علف‌های‌هرز و دشواری مهار آن‌ها از مشکلات پیش روی کشاورزان می‌باشد (Lemerle *et al*., 2017). از طرفی، طیف وسیعی از علف‌های‌هرز مشکل‌ساز در کلزا، باریک‌برگ‌های یک‌ساله و علف‌های‌هرز پهن‌برگ به‌ویژه آن‌هایی که هم‌خانواده با کلزا هستند، می‌باشند که مقاومت آن‌ها به علف‌کش‌های پس‌رویشی از خانواده‌های شیمیایی با نحوه عمل متفاوت گزارش شده است (Dhammu *et al*., 2020).

ازاین‌رو، برای اطمینان از حرکت بیشتر به‌سمت کشاورزی پایدار در خصوص مهار علف‌های‌هرز در کشت ارقام سنتی و جدید کلزا ، باید مهار مؤثر علف‌های‌هرز با علف‌کش‌های متنوع‌تر و کاهش دز و زمان مناسب کاربرد را همراه با حفظ تولید و سودمندی بالا دنبال کرد. قبل از تجاری شدن ارقام کلزای مقاوم به علف‌کش‌ها و همچنین در حال حاضر در ارقام غیرمقاوم کلزا، مهار طیف وسیعی از علف‌های‌هرز پهن و باریک‌برگ با علف‌کش‌های پیش‌رویشی تریفلورالین و متازاکلر امکان‌پذیر است (Deligios *et al*., 2018). علف‌کش تریفلورالین با نام تجاری ترفلان یک علف‌کش انتخابی از گروه دی‌نیتروآنیلین‌ها است که در محصولات زیادی به‌صورت پیش‌کاشت و آمیخته با خاک به‌کار می‌رود (Ahmad Khan *et al*., 2008). علف‌کش ایمازتاپیر با نام تجاری ایمازاتاپیر از گروه شیمیایی ایمیدازولینون‌ها یک علف‌کش انتخابی در محصولات سویا، حبوبات و ارقام کلزا مقاوم شده، بازدارنده سنتزآنزیم استولاکتات سنتاز می‌باشد و به دو صورت پیش و پس‌رویشی برای مهار بسیاری از علف‌های‌هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ یک‌ساله مورد استفاده قرار می‌گیرد (Shivani *et al*., 2022Dhammu *et al*., 2020 ;) که می‌تواند به‌دلیل پایداری بالای بقایای آن در خاک برای محصولات بعدی در تناوب ایجاد خسارت کند (Sondhia *et al*., 2015).

علف‌کش اکسی‌فلورفن از گروه شیمیایی دی فنیل اترها است و زمانی که قبل یا بعد از رویش علف‌های‌هرز استفاده گردد با بازدارندگی از پروتوپورفرینوژن اکسیداز، سبب اختلال در غشاء، نکروز برگ و ساقه و مرگ طیف وسیعی از گیاهچه‌های علف‌های هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ یک‌ساله می‌گردد (US EPA, 2002). علف‌کش اکسی‌فلورفن به‌صورت علف‌کش انتخابی در مهار طیف وسیعی از علف‌های‌هرز پیاز[4]، توت فرنگی[5]، سویا و حبوبات به‌صورت پیش‌رویشی کاربرد دارد (Sangeetha *et* Samtani *et al*., 2012 ; *al*., 2013; El-Metwally & Shalaby, 2019).

با توجه به این که دوره بحرانی کلزا در رقابت با علف‌های‌هرز از همان هفته‌های نخست پس از کشت شروع می‌شود، کاربرد نوع مناسب علف‌کش در ابتدای فصل، از اهمیت بسزایی در کاهش خسارت علف‌هرز و افزایش عملکرد کلزا برخوردار است. در راستای کنترل بهینه علف های هرز و اجتناب از بروز مقاومت علف‌های‌هرز به علف‌کش‌های پس‌رویشی و نیز افزایش تنوع و طیف علف‌کش‌های مصرفی در کلزا، این آزمایش با هدف بررسی کارآیی و زمان کاربرد علف‌کش‌های ایمازاتاپیر، تریفلورالین و اکسی‌فلورفن بر مهار علف‌های‌هرز کلزا انجام گردید.

1- *Brassica napus*
2- *Glycine max*
3- *Elaeis* spp.
4- *Allium cepa*
5 - *Fragaria ananassa*

مواد و روش‌ها

به‌منظور امکان‌سنجی کاربرد علف‌کش‌های ایمازاتاپیر، تریفلورالین و اکسی‌فلورفن به صورت انتخابی بر مهار علف‌های‌هرز و واکنش عملکردی کلزا با تنظیم زمان سم‌پاشی، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در حاشیه غربی رودخانه کارون با محدوده جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه طول شمالی و با ۱۸ متر ارتفاع از سطح دریا با اقلیم گرم و خشک انجام گرفت. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از شروع آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physicochemical properties of the field soil

Sampling depth (cm)	Texture	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	Organic matter (%)	Total nitrogen (%)	Potassium ($mg.kg^{-1}$)	Phosphorus ($mg.kg^{-1}$)
0-30	Loamy-sandy	3.2	7.4	0.2	0.098	130	11.3

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید و عوامل آزمایش شامل کاربرد سه علف‌کش ایمازاتاپیر، تریفلورالین و اکسی‌فلورفن و زمان کاربرد آن‌ها در چهار سطح (دو هفته قبل از کاشت، یک هفته قبل از کاشت، هم‌زمان با کاشت و یک هفته بعد از کاشت) به همراه شاهد بدون وجین بودند.

عملیات شخم و دیسک در اوایل پاییز و کاشت بذور کلزا رقم «هایولا ۵۰» به‌روش دستی و در آخر آبان ماه در کرت‌هایی به ابعاد شش مترمربع روی دو طرف پشته‌های ۶۰ سانتی‌متری با فاصله ۳۰ سانتی‌متر بین ردیف انجام شد. هر کرت شامل شش ردیف کاشت به‌طول سه متر بود. به‌دلیل احتمال گیاه‌سوزی بوته‌های کلزا بعد از کاربرد علف‌کش‌ها، میزان بذر براساس وزن ۱۰۰ دانه، سه برابر تراکم توصیه شده، محاسبه گردید. فاصله بین کرت‌ها یک پشته نکاشت در نظر گرفته شد. بعد از شمارش تعداد بوته در مترمربع در مرحله سه تا چهار برگی کلزا، تنک کردن و تنظیم نهایی تراکم تا تعداد ۸۰ بوته در مترمربع انجام شد. در هر زمان سم‌پاشی، ایمازاتاپیر با نام تجاری پرسوئیت با فرمولاسیون SL ۱۰ درصد (به‌میزان دز توصیه شده یک لیتر در هکتار) تریفلورالین با نام تجاری ترفلان با فرمولاسیون EC ۴۸ درصد (به‌میزان دز توصیه شده ۲/۵ لیتر در هکتار)، و اکسی‌فلورفن با نام تجاری گل ۲ ای با فرمولاسیون EC ۲۴ درصد (به‌میزان دز توصیه شده ۱/۵ لیتر در هکتار) تهیه شده از شرکت مهان با سم‌پاش دستی مجهز به نازل بادبزنی که برای پاشش ۲۰۰ لیتر در هکتار تنظیم شده بود، اعمال شد. ازآن‌جایی‌که برای ممانعت از تجزیه نوری علف‌کش تریفلورالین، معمولاً آمیخته شده این علف‌کش با خاک انجام می‌گیرد و برای یکسانی شرایط در تمام تیمارهای کاربرد علف‌کش، بعد از هر سم‌پاشی در عمق ۱- ۰/۵ سانتی‌متر شن‌کش کشیده شده و سپس آبیاری سبک انجام گرفت. میزان کود پایه مورد نیاز کلزا با توجه به نتایج خاک، ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره، ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم، ۱۰۰ کیلوگرم فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل در هکتار به‌صورت پایه در زمان کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره به‌صورت سرک در زمان رشد سریع کلزا تأمین شد.

پس از رسیدگی فیزیولوژیک بوته‌های کلزا در اواخر فروردین ۱۴۰۲، همه بوته‌های موجود در مساحت ۱/۵ مترمربع میانی برداشت و تعداد بوته در مترمربع شمارش و بعد از خشک شدن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به‌مدت ۴۸ ساعت، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری شد. برای برآورد اجزاء عملکرد شامل تعداد شاخه در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد بذر در خورجین، از خطوط میانی هر کرت با حذف اثر حاشیه، ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی برداشت و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه واریانس مورد استفاده قرار گرفت. برای محاسبه وزن هزار دانه، وزن دو نمونه ۵۰۰ تایی به‌صورت تصادفی از توده‌های بذر هر تیمار توسط دستگاه شمارشگر تعیین و میانگین بر حسب وزن هزار دانه محاسبه گردید. اندازگیری تعداد و وزن خشک علف‌های‌هرز در مترمربع با شناسایی جنس و گونه و تفکیک پهن‌برگ و باریک‌برگ در پنج زمان شامل ۳۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ روز پس از کاشت و زمان برداشت (۱۶۰ روز پس از کاشت) با استفاده از کوادرات ۰/۵ × ۰/۵ صورت گرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاد از نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مربوط به عملکرد کلزا

برهم‌کنش علف‌کش و زمان سم‌پاشی بر صفت عملکرد دانه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بالاترین میزان عملکرد دانه کلزا (۲۱۳۶ کیلوگرم در هکتار) مربوط به کاربرد علف‌کش تریفلورالین و زمان سم‌پاشی یک هفته قبل از کاشت بود که بین این تیمار با تیمارهای کاربرد علف‌کش تریفلورالین در دو هفته قبل از کاشت، همزمان با کاشت و یک هفته بعد از کاشت و همچنین

با عملکرد دانه در تیمار کاربرد علف‌کش اکسی‌فلورفن، زمانی که سم‌پاشی دو هفته قبل از کاشت (۱۹۸۲ کیلوگرم در هکتار) انجام شد، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. میانگین عملکرد دانه کلزا در هر چهار زمان سم‌پاشی علف‌کش تریفلورالین بیش از ۱۵ درصد و کاربرد علف‌کش اکسی‌فلورفن، در دو هفته قبل از کاشت حدود ۱۱ درصد نسبت به عملکرد دانه در شاهد بدون وجین افزایش نشان داد (شکل ۱).

افزایش عملکرد کلزا و کارآیی مهار علف‌های‌هرز با علف‌کش پیش‌رویشی تریفلورالین توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است. در پژوهشی نشان داده شد که کاربرد علف‌کش تریفلورالین در مزرعه کلزا به‌صورت پیش‌رویشی در مقایسه با مصرف همین علف‌کش به‌صورت پیش‌کاشت و یا کاربرد علف‌کش ستوکسیدیم به‌صورت پس‌رویشی، نقش مؤثرتری در مهار علف‌های‌هرز و افزایش عملکرد کلزا داشت (Lekhanath *et al.*, 2008). در مطالعه‌ای که اثرات علف‌کش‌های پیش‌رویشی (تریفلورالین، متالاکلر، پندیمتالین و متریبوزین) و پس‌رویشی (اگزادیازون، فلوآزیفوپ–بوتیل، کلودینافوپ–پروپارژیل، پروپاکوئیزافوپ و فنوکساپروپ–پی–اتیل) بر عملکرد کلزا بررسی گردید، کمترین تراکم و تعداد جمعیت علف‌های‌هرز و بالاترین میزان عملکرد دانه کلزا با ۱۵۶۸ کیلوگرم در هکتار در شرایط کاربرد علف‌کش پیش‌رویشی تریفلورالین به‌دست آمد (Ahmad Khan *et al.*, 2008).

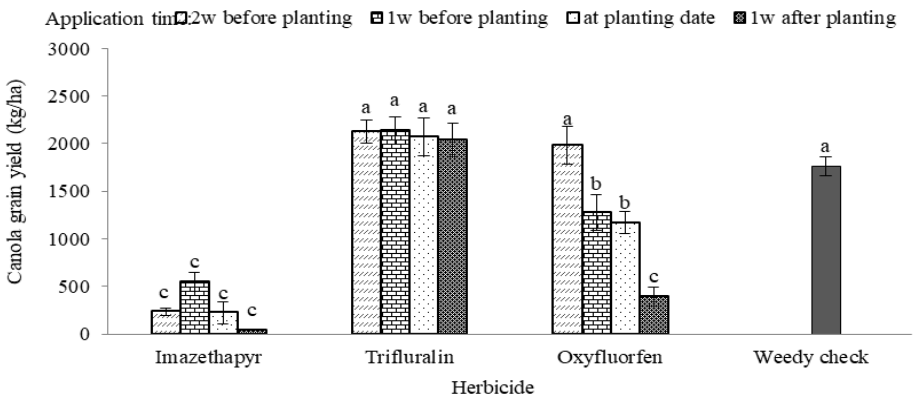
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات نوع علف‌کش و زمان سم‌پاشی بر روی صفات عملکردی کلزا

Table 2- ANOVA (mean of squares) for the effects of herbicide type and application time on Canola yield characteristics

S.O.V	df	Mean of squares: Seed yield	Biological yield	Harvest index	1000-seed weight	Silique per plant	Seed per silique	Number of branches Per plant	Density of Canola per m^{-2} (after herbicide application): Before thinning	on harvest time
Replication	2	6.4^{ns}	439.7^{ns}	0.11*	0.10^{ns}	7.4*	0.08^{ns}	0.55*	3.1^{ns}	0.7^{ns}
Herbicide	2	1004.5**	6368.2**	0.25**	0.31^{ns}	53.3**	3.9**	2.03**	38.8**	96.7**
Application time	3	65.0**	1045.8**	0.05^{ns}	0.91^{ns}	17.9**	2.4**	0.71*	30.6**	19.3**
Herbicide × application time	6	37.7**	318.3^{ns}	0.03^{ns}	0.45^{ns}	14.6**	2.1**	0.48*	21.5**	8.4*
خطا error	22	10.0	159.3	0.04	0.36	2.1	0.15	0.15	2.0	2.4
C.V (%)	-	14	25	18	16	13	9	20	10	22

ns، ** و *: به‌ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively



شکل ۱- عملکرد دانه کلزا تحت تأثیر نوع علف‌کش و زمان سم‌پاشی

Figure 1- Canola grain yield affected by herbicide type and herbicide application time

ستون آخر مربوط به شاهد بدون وجین در تجزیه و تحلیل‌ها نیامده است. میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند (Duncan P ≤ 0.05).

The last column (weedy check) was not included in data analysis. Means with the same letter are not significantly different (Duncan P ≤ 0.05).

در تیمارهای کاربرد علف‌کش اکسی‌فلورفن، کاهش در عملکرد دانه بسته به زمان سم‌پاشی متغیر بود، درحالی‌که سم‌پاشی با اکسی‌فلورفن دو هفته قبل از کاشت عملکرد دانه بالایی را به همراه داشت، با نزدیک شدن سم‌پاشی به کاشت یعنی یک هفته قبل از کاشت و هم‌زمان با کاشت، عملکرد دانه نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد. خسارت اکسی‌فلورفن به بوته‌های کلزا زمانی که یک هفته بعد از کاشت سم‌پاشی شدند، سبب گردید که کمترین میزان عملکرد دانه کلزا در شرایط کاربرد علف‌کش اکسی‌فلورفن مربوط به همین زمان سم‌پاشی باشد. از نظر آماری، عملکرد دانه تیمار اکسی‌فلورفن یک هفته بعد از کاشت مشابه با کاربرد علف‌کش ایمازاتاپیر در هر چهار زمان سم‌پاشی بود. کمترین میزان عملکرد دانه را تیمار کاربرد علف‌کش ایمازاتاپیر در هر چهار زمان سم‌پاشی (دو و یک هفته قبل از کاشت، هم‌زمان با کاشت و یک هفته بعد از کاشت) به خود اختصاص داد (شکل ۱). علف‌کش اکسی‌فلورفن در محصولاتی مانند پیاز به‌عنوان علف‌کش انتخابی پس‌رویشی زودهنگام استفاده می‌شود (Modhej *et al*., 2018) و کارآیی بالایی در مهار طیف وسیعی از علف‌های‌هرز دارد (US EPA, 2002). با توجه به نتایج این آزمایش، در محصولات حساسی نظیر کلزا اگر در زمان مناسب استفاده گردد، می‌تواند کاندید خوبی به‌عنوان یک علف‌کش پیش‌رویشی باشد.

با وجودی که ارقام تراریخته کلزا مانند رقم هایولا ۵۷۱ که در برخی کشورهای جهان ثبت و تجاری‌سازی شده‌اند و به خانواده شیمیایی ایمیدازولینون‌ها از جمله علف‌کش ایمازاتاپیر مقاوم هستند (Concato *et al*., 2022Jhala *et al*., 2010;)، ولی با توجه به نتایج این آزمایش، رقم «هایولا ۵۰» حساسیت بالایی به ایمازاتاپیر نشان داد که این موضوع توسط محققان دیگر در ارقام معمولی کلزا و چغندرقند[1] گزارش شده است (Yu *et al*., 2015).

نتایج نشان داد که اثر نوع علف‌کش بر عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان عملکرد بیولوژیکی کلزا به‌میزان ۵۲۷۴ کیلوگرم در هکتار متعلق به کرت‌هایی بود که با علف‌کش تریفلورالین سم‌پاشی شده بودند و بعد از آن، کرت‌های تیمار شده با علف‌کش اکسی‌فلورفن بودند که عملکرد بیولوژیکی آن ۳۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. شاخص برداشت کلزا در تیمارهای تریفلورالین و اکسی‌فلورفن به‌ترتیب با میزان ۳۶ و ۳۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کمترین عملکرد بیولوژیکی (به‌میزان ۹۰۵ کیلوگرم در هکتار) و شاخص برداشت (۲۷ درصد) را علف‌کش ایمازاتاپیر به خود اختصاص داد.

تغییرات عملکرد بیولوژیکی تحت تأثیر زمان سم‌پاشی نیز معنی‌دار گردید، به‌طوری‌که با تأخیر در زمان سم‌پاشی از دو هفته قبل از کاشت تا یک هفته بعد از کاشت، مقدار عملکرد بیولوژیکی از ۳۹۷۲ به ۲۱۳۷ کیلوگرم در هکتار به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. زمان سم‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت نشان نداد.

عملکرد دانه در تمام فصل و عملکرد بیولوژیکی بیشتر با جمعیت علف‌های‌هرز اول فصل همبستگی معنی‌دار و منفی نشان داد (نتایج همبستگی نشان داده نشده است). علف‌های‌هرز با مصرف بیشتر عناصر غذایی خاک باعث کاهش تجمع ماده خشک در گیاهان و کاهش عملکرد بیولوژیک می‌شوند (Deligios *et al*., 2018). کاهش عملکرد بیولوژیک محصول زراعی به‌دلیل حضور علف‌های‌هرز در دیگر تحقیقات نیز گزارش شده است (Gul, 2011).

در واقع، کارآیی مناسب علف‌کش در جلوگیری از رشد علف‌های‌هرز می‌تواند دلیلی برای رشد بهتر، افزایش قدرت رقابت گیاهان زراعی و در پی آن، افزایش عملکرد گیاهان زراعی شود (Zohrabi *et al*., 2012). بهبود عملکرد دانه و اجزاء عملکرد به‌دلیل مهار علف‌های‌هرز با مصرف علف‌کش در محصولات دیگر نیز گزارش شده است (Saadi Al-Kasir *et*Jabran *et al*., 2012 ; *al*., 2014).

برهم‌کنش نوع علف‌کش و زمان سم‌پاشی بر اجزاء عملکرد اندازه‌گیری شده به‌جز وزن هزار دانه معنی‌دار گردید (جدول ۲). با کاربرد علف‌کش تریفلورالین دو هفته قبل کاشت، بوته‌های کلزا تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و تعداد شاخه در بوته بیشتری داشتند، ولی اختلافات با دیگر زمان‌های کاربرد تریفلورالین معنی‌دار نبود. کمترین اجزاء عملکرد کلزا به علف‌کش ایمازاتاپیر به‌ویژه در یک هفته بعد از کاشت اختصاص یافت (جدول ۳). در میان اجزاء عملکرد، بیشترین تغییرات بین زمان‌های سم‌پاشی سه علف‌کش مربوط به تعداد بوته در مترمربع در هر دو مرحله قبل از تنک (مرحله سه تا چهار برگی) و بعد از تنک در زمان برداشت بود.

در اثر آسیب ناشی از علف‌های‌هرز در مزرعه کلزا، طول دوره گل‌دهی کوتاه شده و تعداد گل‌های بارور کاهش می‌یابد و این امر سبب کاهش تعداد خورجین می‌گردد. همچنین کاهش میزان ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های جانبی، عملکرد دانه و عملکرد روغن کلزا در پی تداخل علف‌های‌هرز گزارش شده است (Mirshekari, 2010 ; Firouzi *et al*., 2011).

1 - *Beta vulgaris*

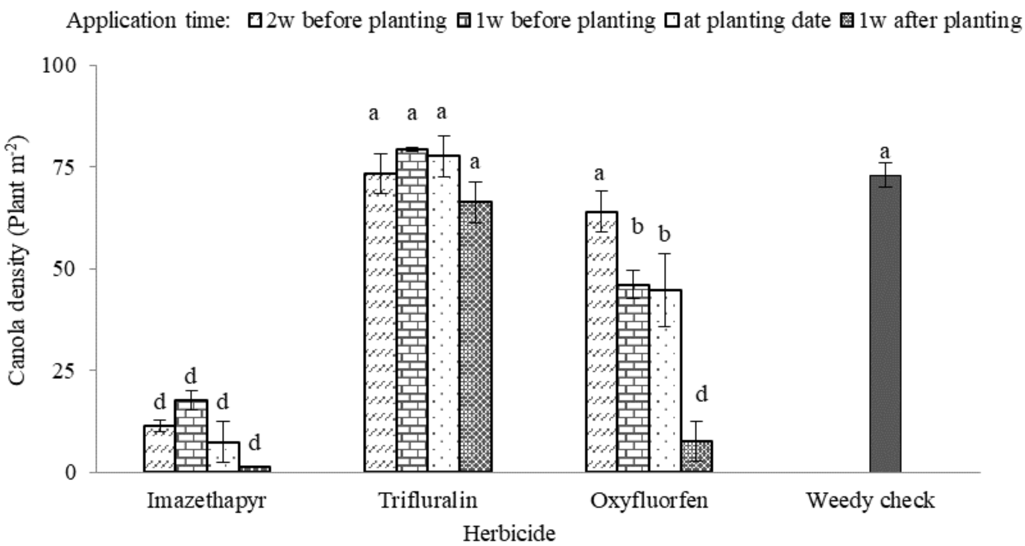
جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع علف‌کش و زمان سم‌پاشی بر اجزاء عملکرد کلزا

Table 3- Mean copmparison of interaction effects of herbicide type and herbicide application time on canola yield components

Herbicide	Application time	Silique per plant	Seed per silique	Number of branches Per plant
Imazethapyr	2w before planting	105b*	17.9b	3.2bc
	1w before planting	132b	22.3ab	4.1ab
	at planting date	103b	16.9b	2.8bc
	1w after planting	7c	2.0c	0.2c
Trifluralin	2w before planting	161a	22.6a	6.5ab
	1w before planting	152ab	20.9ab	4.7ab
	at planting date	150ab	20.9ab	5.9ab
	1w after planting	140ab	21.9ab	5.0ab
Oxyfluorfen	2w before planting	151ab	21.8ab	5.3ab
	1w before planting	135ab	20.3ab	3.3b
	at planting date	142ab	22.2ab	3.7ab
	1w after planting	143ab	19.4ab	3.6ab
Weedy check		141	20	5.5

* در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند (Duncan P ≤ 0.05)

* In each column, means followed by the same letter in each treatment are not significantly different, (Duncan P ≤ 0.05)



شکل ۲- تراکم کلزا در مترمربع در زمان برداشت تحت تأثیر نوع علف‌کش و زمان سم‌پاشی

ستون آخر مربوط به شاهد بدون وجین در تجزیه و تحلیل‌ها نیامده است

میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند (Duncan P ≤ 0.05).

Figure 2- Canola density (Plant m^{-2}) at harvest time affected by herbicide type and herbicide application time.
The last column (weedy check) was not included in data analysis
Means with the same letter are not significantly different (Duncan P ≤ 0.05).

بیشترین تراکم در مرحله سه تـا چهـار برگـی و زمـان برداشـت، متعلق به تیمار کاربرد علف‌کش تریفلورالین بود که در هر چهار زمـان سم‌پاشی (دو و یک هفته قبل از کاشت، همزمـان بـا کاشـت و یـک هفته بعد از کاشت) کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد مشـاهده نشـد. کمترین تراکم در مرحله سه تا چهار برگی و زمـان برداشـت را تیمـار کاربرد علف‌کش ایمازاتاپیر در هر چهار زمان سم‌پاشی (دو و یک هفته قبل از کاشت، همزمان با کاشت و یک هفته بعد از کاشـت) بـه خـود اختصـاص داد. در زمـان برداشـت در تیمارهـای کـاربرد علـف‌کش اکسی‌فلورفن، کاهش در تراکم بسته به زمـان سم‌پاشـی متغیـر بـود، درحالی‌که بیشترین تراکم در کاربرد علف کش اکسی‌فلورفن دو هفتـه قبل از کاشت مشاهده شد که تفاوت غیرمعنی‌دار با تیمار شاهد داشت. با نزدیک شدن سم‌پاشی به کاشت یعنی یک هفتـه قبـل از کاشـت و همزمان با کاشت تراکم نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشـان داد. خسارت اکسی‌فلورفن بـه بوتـه‌های کلـزا یـک هفتـه بعـد از کاشـت به‌شدت افزایش یافت، به‌طوری‌که در زمان برداشت تعـداد محـدودی بوته کلزا در این تیمار مشاهده شد (شکل ۲).

تراکم و ماده خشک علف‌های‌هرز

مشخصات علف‌های‌هرز موجود در مزرعه آزمایشی در طول آزمایش در جدول ۴ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، تراکم و ماده خشک علف‌های‌هرز باریک‌برگ نسبت به علف‌های‌هرز پهن‌برگ مزرعه در شاهد و تیمارهای آزمایشی بیشتر بود، ولی ازآن‌جایی‌که روند تأثیر تیمارهای نوع علف‌کش‌های آزمایش شده و زمان سمپاشی بر علف‌های‌هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ تفاوت معنی‌داری در مراحل رشدی نداشت، نتایج تجزیه واریانس برای مجموع علف‌های‌هرز نشان داده شد (جدول ۵). هر سه علف‌کش ایمازاتاپیر، تریفلورالین و اکسی‌فلورفن، تعداد و وزن جمعیت علف‌های‌هرز را نسبت به شاهد کاهش دادند. بیشترین تأثیر کاهشی سه علف‌کش ایمازاتاپیر، تریفلورالین و اکسی‌فلورفن نسبت به شاهد در ۶۰ روز پس از کاشت به‌ترتیب روی تعداد علف‌های‌هرز به‌میزان ۴۷، ۶۹ و ۶۲ درصد و بر وزن علف‌های‌هرز به‌مقدار ۶۷، ۷۲ و ۶۸ درصد مشاهده شد. اختلافات بین سه علف‌کش در کاهش تعداد علف‌های‌هرز در ۶۰ و ۸۰ روز پس از کاشت و در وزن علف‌های‌هرز در ۸۰ روز پس از کاشت معنی‌دار گردید. بیشترین و کمترین کاهش تعداد و وزن علف‌های‌هرز به‌ترتیب مربوط به علف‌کش‌های تریفلورالین و ایمازاتاپیر بود (جدول ۵).

جدول ٤- علف‌های هرز با جمعیت غالب در مزرعه

Table 4- Dominant weed communitiess in the field

Scientific name	Family name	Growth cycle	Scientific name	Family name	Growth cycle
Emex spinosa	Polygonaceae	یک‌ساله	*Cynodon dactylon*	Poaceae	چندساله
Chenopodium album	Chenopodiaceae	یک‌ساله	*Cyperus* rotundus.	Cyperaceae	چندساله
Malva parviflora.	Malvaceae	یک‌ساله	*Polypogon* monspeliensis	Poaceae	یک‌ساله
Sinapis arvensis	Brassicaceae	یک‌ساله	*Lolium temulentum*	Poaceae	یک‌ساله
Sisymbrium erysimoides	Brassicaceae	یک‌ساله	*Avena ludovisiana*	Poaceae	یک‌ساله
Lactuca sativa	Asteraceae	یک‌ساله	*Hordeum murinum*.	Poaceae	یک‌ساله
Carthamus tinctorius	Asteraceae	یک‌ساله	*Hordeum spontaneum*	Poaceae	یک‌ساله

جدول ۵– تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات نوع علف‌کش و زمان سمپاشی روی تعداد و ماده خشک علف‌های‌هرز مزرعه کلزا

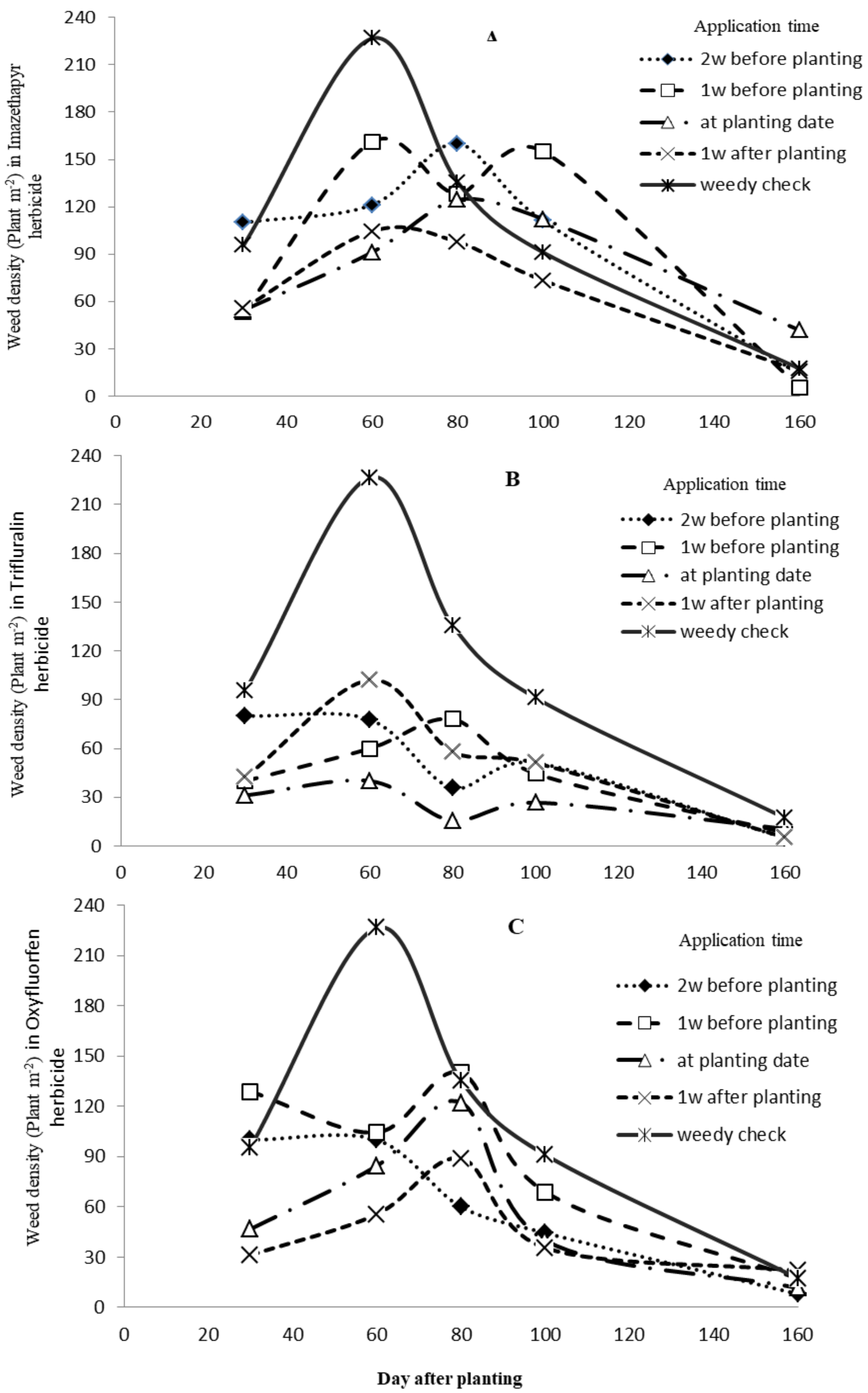
Table 5- ANOVA (mean of squares) for the effects of herbicide type and application time on number and dry matter of canola weeds

S.O.V	df	Mean of squares									
		Density of weed per m^{-2}					Dry matter of weed per m^{-2}				
		Day after planting					Day after planting				
		30	60	80	100	160	30	60	80	100	160
Replication	2	0.035^{ns}	0.012^{ns}	0.16*	0.11^{ns}	0.11^{ns}	0.11^{ns}	0.01^{ns}	0.11*	0.20*	0.16^{ns}
Herbicide	2	0.018^{ns}	0.041*	0.25**	0.06^{ns}	0.17^{ns}	0.01^{ns}	0.02^{ns}	0.27**	0.06^{ns}	0.47^{ns}
Application time	3	0.057^{ns}	0.009^{ns}	0.06^{ns}	0.06^{ns}	0.13^{ns}	0.05^{ns}	0.02^{ns}	0.04^{ns}	0.01^{ns}	0.27^{ns}
Herbicide × application time	6	0.019^{ns}	0.015^{ns}	0.07^{ns}	0.06^{ns}	0.16^{ns}	0.14*	0.03^{ns}	0.03^{ns}	0.06^{ns}	0.29^{ns}
error	22	0.023	0.011	0.04	0.05	0.13	0.05	0.02	0.03	0.04	0.23
C.V (%)	-	9	6	11	14	25	23	11	13	14	25

ns، ** و *: به‌ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$, respectively

علف‌کش ایمازاتاپیر در مقایسه با شاهد، تا ۶۰ روز پس ازکاشت به‌خوبی علف‌های‌هرز را مهار کرد، ولی پس از آن تا زمان برداشت به‌دلیل اینکه بوته‌های کلزا در پی کاربرد ایمازاتاپیر دچار گیاه‌سوزی شدند و از تراکم کلزا کاسته شد (شکل ۲)، در نتیجه تنک شدن محصول، فضای مناسب‌تری برای جوانه‌زنی و رشد علف‌های‌هرز به‌وجود آمد و تعداد علف‌های‌هرز نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۳ A). به‌دلیل تأخیر در زمان جوانه‌زنی در هر چهار زمان سمپاشی علف‌کش ایمازاتاپیر، با وجود خسارت وارده به کلزا و کاهش تراکم (شکل ۲)، علف‌های‌هرز نسبت به شاهد وزن کمتری داشتند (داده‌ها نشان داده نشده است).



شکل ۳- روند تغییرات تراکم علف‌هرز در مترمربع در طی رشد کلزا تحت تأثیر زمان سم‌پاشی علف‌کش ایمازاتاپیر (A)، تریفلورالین (B) و اکسی‌فلورفن (C)

Figure 3- Changes in the weed density (Plant m^{-2}) during Canola growing affected by application time Imazethapyr (A), Trifluralin (B) and Oxyfluorfen herbicide (C)

علف‌کش ایمازاتاپیر از خانواده شیمیایی ایمیدازولینون‌ها به‌سختی جذب کلوئیدها می‌شوند و میزان مواد آلی و اسیدیته خاک در مقدار جذب آن به خاک تأثیرگذار هستند. به‌دلیل پایداری (نیمه عمر ۱۸ تا ۲۱ روز) و میزان آب‌شویی بالای علف‌کش ایمازاتاپیر، خسارت به محصولات زراعی در تناوب زراعی گزارش شده است (Sondhia *et al*., 2015; Concato *et al*., 2022). در همین راستا، در پژوهشی بیان شد که کاربرد علف‌کش ایمازاتاپیر به‌صورت پس‌رویشی در گیاه کینوا[1] ضمن داشتن نقشی مؤثر در مهار علف‌های‌هرز، بر گیاه زراعی خسارت کمی داشت (Abbaspoor, 2022). کارآیی بالای استفاده از علف‌کش ایمازاتاپیر قبل از کشت و یا به‌صورت پیش‌رویشی به‌تنهایی و یا در اختلاط با علف‌کش پندیمتالین در مهار علف‌های‌هرز سویا و افزایش عملکرد دانه گزارش شده است (Younesabadi *et al*., 2021).

نتایج نشان داد که علف‌کش تریفلورالین در مقایسه با شاهد بدون وجین علف‌های هرز، در تمام فصل زراعی، تراکم (شکل ۳ B) و وزن (داده‌ها نشان داده نشده است) علف‌های‌هرز را به‌خوبی مهار کرد. بیشترین عملکرد دانه و تراکم کلزا را نیز علف‌کش تریفلورالین در هر چهار زمان‌سم‌پاشی به خود اختصاص داد. با توجه به نتایج، به نظر می‌رسد که تریفلورالین به‌عنوان یک علف‌کش پیش‌کاشت و حتی پیش‌رویشی زودهنگام (یک هفته پس از کاشت)، کاندید بهتری نسبت به دو علف‌کش دیگر است. تأثیر زمان سم‌پاشی علف‌کش اکسی‌فلورفن بر روند مهار علف‌های‌هرز در طول فصل در مقایسه با شاهد متغیر بود. اکسی‌فلورفن در زمان سم‌پاشی دو هفته قبل از کاشت به‌صورت پایدار و پیوسته در تمام فصل زراعی، علف‌های‌هرز را نسبت به شاهد مهار کرد. ولی در کرت‌هایی که علف‌کش اکسی‌فلورفن با تأخیر و یک هفته قبل کاشت و یا بعد از آن به‌کار رفت، روند کاهشی تعداد (شکل ۳ C) و وزن (داده‌ها نشان داده نشده است) علف‌های‌هرز نسبت به شاهد کمتر و دیرتر اتفاق افتاد.

زمان سم‌پاشی دو هفته قبل از کاشت با علف‌کش اکسی‌فلورفن، تعداد علف‌هرز کمتر و عملکرد دانه کلزا بیشتر (شکل ۱) و تراکم بالاتری (شکل ۲) نسبت به کاربرد این علف‌کش در دیگر زمان‌های مصرف (یک هفته قبل، هم‌زمان و یک هفته بعد از کشت) داشت. دیگر محققین نیز نشان دادند، یک علف‌کش زمانی انتخابی عمل می‌کند و بدون آسیب به گیاه زراعی، علف‌هرز را مورد هدف و مهار قرار می‌دهد که در زمان مناسب و به‌درستی مصرف گردد و اگر زمان توصیه شده برای مصرف علف‌کش رعایت نشود، منجر به ایجاد خسارت بر عملکرد گیاه زراعی می‌گردد (Tozzi *et al*., 2015; Zargar *et al*., 2014).

نتیجه‌گیری کلی

در میان سه علف‌کش ایمازاتاپیر، تریفلورالین و اکسی‌فلورفن، کاربرد علف‌کش تریفلورالین در هر زمان سم‌پاشی با مهار مناسب و پایدار جمعیت علف‌های‌هرز از همان مراحل اولیه رشدی کلزا تا زمان برداشت سبب افزایش ۱۸ درصدی عملکرد دانه کلزا نسبت به شاهد گردید. کاربرد علف‌کش اکسی‌فلورفن دو هفته قبل از کاشت با افزایش ۱۲ درصدی عملکرد دانه بدون خسارت جدی بر بوته‌های کلزا و با حفظ تراکم بالا، می‌تواند در محصولات حساسی نظیر کلزا نیز به‌عنوان یک علف‌کش پیش‌رویشی با نحوه عمل متفاوت، توصیه گردد. علف‌کش ایمازاتاپیر در مقایسه با شاهد، تا ۶۰ روز پس ازکاشت به‌خوبی علف‌های‌هرز را مهار کرد، ولی افزایش جمعیت علف‌های‌هرز پس از آن تا زمان برداشت و کاهش عملکرد دانه پیامد اثرات گیاه‌سوزی بوته‌های کلزا و در نتیجه، کاهش بوته‌های سالم و قوی بود. تغییرات در تراکم کلزا می‌تواند شاخص مناسبی از ایمنی نوع علف‌کش و یا زمان مناسب سم‌پاشی برای گیاهان زراعی باشد، از طرفی تراکم نهایی و یا تعداد بوته در مترمربع یکی از اجزاء عملکرد می‌باشد که در این آزمایش نیز همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه (۹۰ درصد)، عملکرد بیولوژیکی (۸۹ درصد، و اجزاء عملکرد و همبستگی منفی و معنی‌داری با تعداد علف‌های هرز (۴۱- درصد) نشان داد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌خاطر تقبل هزینه‌های این تحقیق قدردانی می‌گردد (شماره پژوهانه SCU.AA1402.224).

References

1. Abbaspoor, M. (2022). Herbicide Screening for weed control in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Plant Production Research*, *29*(3), 89-104. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/jopp.2022.19425.2866
2. Ahmad Khan, I., Hassan, G., Marwat, K.B., & Daur, I. (2008). Eefficacy of some pre and post-emergence

1- *Chenopodium quinoa*

herbicides on yield and yield components of canola. *Pakistan Journal of Botany*, *40*(5), 1943-1947

3. Concato, A.C., Galon, L., Sutorillo, N.T., Tamagno, W.A., Paula, M.O., Vanin, A.P., Alves, C., Silva, J.D.G., Concenço, G., Perin, G.F., & Kaizer, R.R. (2022). Does the application of herbicides with distinct mechanisms of action change enzymatic activity and grain yield of Clearfield® canola? *Australian Journal of Crop Science*, *16*(1), 93-102. https://doi.org/ 10.21475/ajcs.22.16.01.p3282
4. Cook, S.K, Ballingall, M., Stobart, R., Doring, T., Berry, P., & Ginsburg, D. (2015). *New approaches to weed control in oilseed rape*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/282362621
5. Deligios, P.A., Carboni, G., Farci, R., Solinas, S., & Ledda, L. (2018). Low-input herbicide management: Effects on rapeseed production and profitability. *Sustainability*, *10*(7), 2258, 1-16. https://doi.org/10.3390/su10072258
6. Dhammu, H., Seymour, M., Hashem, A., & Bucat, J. (2020). *Chemical weed control in canola*. https://www.agric.wa.gov.au/sites/gateway/files/Weed%20Control%20in%20Canola.pdf
7. El-Metwally, I., & Shalaby, S. (2019). Herbicidal efficacy of some natural products and mulching compared to herbicides for weed control in onion fields. *Journal of Plant Protection Research*, *59*(4), 479-485. https://doi.org/10.24425/jppr.2019.131266
8. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2018). *FAOSTAT database for agriculture*. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL
9. Firouzi, H., Mirshekari, B., & Khorshidi Benam, M.B. (2011). Assessment of interference of growing period of amaranth (*Amaranthus retroflexus* L.) and lambs quarter (*Chenopodium album*) on yield and its components of rapeseed. *Crop ecophysiology*, *5*(18), 1-10. (in Persian with English abstract)
10. Gul, B., Marwat, K.B., Saeed, M., Hussain, Z., & Ali, H. (2011). Impact of tillage, plant population and mulches on weed management and grain yield of maize. *Pakistan Journal of Botany*, *43*(3), 1603-1606.
11. Harker, K.N., Blackshaw, R.E., Kirkland, K.J., Derksen, D.A., & Wall, D. (2000). Herbicide-tolerant canola: weed control and yield comparisons in western Canada. *Canadian journal of plant science*, *80*(3), 647–654.
12. Haskins, B. (2012). *Weed management, using pre-emergent herbicides in conservation farming systems*. NSW DPI, District Agronomist, Hillston Broadacre Cropping Unit. Available at: https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0003/431247/Using-pre-emergent-herbicides-in-conservation-farming-systems.pdf
13. Jabran, K., Farooq, M., Hussain, M., Ehsanullah, Khan, M.B., Shahid, M., & Lee, D.J. (2012). Efficient weeds control with penoxsulam application ensures higher productivity and economic returns of direct seeded rice. *International Journal of Agriculture and Biology*, *14*(6), 901–907. https://doi.org/12–405/AKA/2012/14–6–901–907
14. Jhala, A.J., Raatz, L.L., Dexter, J.E., & Hall, L.M. (2010). Adventitious presence: Volunteer flax (*Linum usitatissimum*) in herbicide-resistant canola (*Brassica napus*). *Weed Technology*, *24*(3), 244–252. http://www.jstor.org/stable/40801432
15. Kadivar, S.H., Ghavami, M., Gharachorloo, M., & Delkhosh, B. (2010). Chemical evaluation of oil extracted from different varieties of canola. *Journal of Food Technology and Nutrition*, *7*(2), 19-29. https://sid.ir/paper/143261/en
16. Lekhanath, P., Bishnoi, O., Kegode, G., & Cebert, E. (2008). Influence of timing of herbicide application on winter canola performance. *World Journal of Agricultural Sciences*, *4*(S), 908-913.
17. Lemerle, D., Luckett, D.J., Wu, H., & Widderick, M.J. (2017). Agronomic interventions for weed management in canola (*Brassica napus* L.) – A review. *Crop Protection*, *95*, 69-73. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.07.007
18. Mirshekari, B. (2010). Study effects of different times of weeds control on morphological traits, yield and harvest index of three winter rapeseed cultivars. *Electronical Journal of Crop Production*, *4*(4), 51-66. (in Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.2008739.1390.4.4.4.2
19. Modhej, A., Zarezadeh, H., & farhoudi, R. (2018). Chemical weed control in onion (*Allium cepa* L.) under Ramhormoz conditions. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *32*(3), 409-417. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.v32i3.68514
20. Richards, M. (2019). *Winter oilseed rape –integrated weed management*. Technical note. TN727. SRUC, West Mains Road, Edinburgh, EH9 3JG. Pp: 9. Available at: https://www.fas.scot/publication/technical-note-tn727-winter-oilseed-rape-integrated-weed-management/
21. Saadi Al-Kasir, F., Modhej, A., & Farhoudi, R. (2014). (Brief report) Efficiency of doual-purpose herbicides application at different stages on weed control and grain yield of wheat under shoushtar conditions. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *27*(4), 513-515. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.v27i4.29915
22. Samtani, J.B., Ben Weber, J., & Fennimore, S.A. (2012). Tolerance of strawberry cultivars to oxyfluorfen and flumioxazin herbicides. *Horticultural Science*, *47*(7), 848-851. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.7.848
23. Sangeetha, C., Chinnusamy, C., & Prabhakaran, N.K. (2013). Early post-emergence herbicides for weed control in soybean. *Indian Journal of Weed Science*, *45*(2), 140–142
24. Sarani, M., Oveisi, M., Rahimian Mashhadi, H., & Alizadeh, H. (2016). Modelling interactive effects of herbicide application timing and dose for the control of *Bromus japonicus* in wheat in an arid environment. *Weed Research*,

56(1), 50–58. https://doi.org/10.1111/wre.12182
25. Shivani Grewal, S.K., Gill, R.K., Kaur Virk, H., & Bhardwaj, R.D. (2022). Impact of post-emergent imazethapyr on morpho-physiological and biochemical responses in lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *28*(9), 1681-1693. https://doi.org/10.1007/s12298-022-01244-x.
26. Sondhia, S., Khankhane, P.J., Singh, P.K., & Sharma, A.R. (2015). Determination of imazethapyr residues in soil and grains after its application to soybeans. *Journal of Pesticide Science*, *40*(3), 106-110.
27. Tozzi, E., Harker, K.N., Blackshaw, R.E., O'Donovan, J.T., Strelkov, S.E., & Willenborg, C.J. (2015). Late glyphosate applications alter yield and yield components in glyphosate-resistant canola (*Brassica napus*). *Weed Technology*, *29*(4), 675–683. http://www.jstor.org/stable/43702557
28. US EPA. *Pesticides- fact sheet for Oxyfluorfen*. (2002). United States Environmental Protection Agency Government agency. Available at: https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/reregistration/fs_PC-111601_1-Oct-02.pdf
29. Younesabadi, M., Nouralizadeh Otaghsara, M., Habibian, L., & Savarinejad, A. (2021). Evaluation the effect of Imazethapyr, Pendimethalin and Oxyfluorfen in soybean weed control. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *35*(1), 103-115. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.2021.32671.0
30. Yu, L., Eerd, L.L.V., O'Halloran, I., Sikkema, P.H., & Robinson, D.E. (2015). Response of four fall-seeded cover crops to residues of selected herbicides. *Crop Protection*, *75*, 11-17. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.05.005
31. Zargar, M., Pakina, E.N., & Romanova, E.V. (2014). Herbicide doses and application times in weed suppression on different red bean varieties. *APCBEE Procedia*, *8*, 75–81. https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2014.03.004
32. Zohrabi, A., Naderidarbaghshahi, M., & Jalalizand, A. (2012). Chemical weed control of autumnal rapeseed in Isfahan (Iran). *International Journal of Agricultural Science*, *2*(8), 696-701.

Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 4, 2025, p. 387-406

Study of Comparative Phenology and the Effect of Emergence Date and Scarification on the Growth and Performance of Caspian Vetch (*Vicia hyrcanica*) and Narbon Vetch (*Vicia narbonensis*) in Wheat (*Triticum aestivum*) Fields

V. Kamari Direh[1], S. Babaei[2*], I. Nosratti[3], I. Tahmasebi Khorne[4]

1, 2 and 4- Department of Plant Production and Genetics Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, respectively
3- Department of Plant Production and Genetics Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
(*- Corresponding author's Email: s.babaei@uok.ac.ir)

Received: 31-05-2024 Revised: 13-08-2024 Accepted: 17-09-2024 Available Online: 03-03-2025	**How to cite this article:** Kamari Direh, V., Babaei, S., Nosratti, I., & Tahmasebi Khorne, I. (2025). Study of comparative phenology and the effect of emergence date and scarification on the growth and performance of caspian vetch (*Vicia hyrcanica*) and narbon vetch (*Vicia narbonensis*) in wheat (*Triticum aestivum*) fields. *Iranian Plant Protection Research, 38*(4), 387-406. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88318.1193

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important cereal crops in the world as a source of carbohydrates, protein, and minerals (Esposito *et al*., 2023). Its yield and planted area account for about one-third of food production. Thus, wheat plays a significant role in global food security. Various factors such as climate change, food shortages, and weeds are the most significant challenges for wheat production and seriously limit continuous improvements in wheat yield and grain quality. Vetch species are among the most important weeds in wheat fields. Since knowledge and awareness of weed phenological stages play an important role in weed management, the present study was conducted to investigate the comparative phenology of caspian vetch (*Vicia hyrcanica*) and narbon vetch (*Vicia narbonensis*) as two problematic weeds with wheat.

Materials and Methods

The experiment was conducted in the 2022-2023 agricultural year on an irrigated farm with a sprinkler system in the village of Chaqazard, 24 km from Kermanshah, in the Mahidasht district (46°48' E, 34°17' N, altitude 1362 m) at Kermanshah province. The area has a temperate to cold, dry climate with hot, semi-arid summers and cold, wet winters. The average rainfall during the experiment was 347 mm. The experimental factors include the date of vetch planting (once every three weeks after wheat cultivation), the scratching of vetch seeds (scratching and non-scratching), and the presence and absence of wheat cultivars. A separate experiment was designed using the above three factors for vetch species. For this research, irrigated Pishtaz

https://doi.org/10.22067/jpp.2024.88318.1193

wheat seeds were purchased under Kermanshah Agricultural Jihad supervision, and narbon vetch and caspian vetch seeds, considered weeds, were collected from the region. A factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with four replications, including vetch planting dates (every three weeks in autumn, every five weeks in winter), seed scratching (scratched, non-scratched), and the presence or absence of wheat. A weed-free plot of wheat was included. The land was prepared on November 6, and wheat was planted on November 15 with 20 cm row spacing. narbon vetch and caspian vetch were planted between the wheat rows on November 15, December 5, January 25, and February 27, with irrigation starting November 16. Growth stage development of the vetch was monitored twice weekly, focusing on germination, cotyledon emergence, branch production, flowering, and pod formation.

Results and Discussion

The results of this study showed that on the first planting date (late November), the highest vegetative and reproductive growth of narbon vetch and caspian vetch was observed, and the lowest amount was obtained on the fourth planting date (mid-March). On the other hand, it was found that scraping had a different effect on the characteristics of narbon vetch and caspian vetch and increased some of the traits of these two weed species. In addition, the most significant increase in the growth and seed production of narbon vetch and caspian vetch was seen in their pure planting, and by planting these weeds between the rows of wheat, their amount decreased. Based on the results of the phenology stages in narbon vetch, the GDD and the number of days required to complete the emergence stage in different planting dates varied between 35.9 to 164.65 and 19 to 75, respectively. In caspian vetch, the GDD of growth and the number of days required for the emergence stage in different planting dates varied between 24.1 to 68.8 and 9 to 83 days, respectively. The results of comparative phenology stages showed that the life cycle of narbon vetch and caspian vetch was 16 days earlier than wheat, and their ripening did not coincide with wheat ripening.

Conclusion

The study results indicated that delaying the emergence of vicia (especially on March 9) benefits the crop. Specifically, the later establishment of narbotn vicia and caspian vetch on March 9 reduced their competition and seed production compared to other emergence dates. Thus, delaying the emergence of these weeds can mitigate their impact on fields. Conversely, narbotn vicia and caspian vetch seeds exhibited dormancy, and scarification broke dormancy, leading to quicker weed emergence and crop damage. The emergence of these weeds between wheat rows also showed a negative impact due to better resource use and intense interspecies competition for light and space. Phenological stage analysis revealed that except for the maturation stage, other growth stages of these weeds matched those of wheat. The Vicia life cycle was 16 days shorter than wheat's, with their maturation not coinciding. The optimal herbicide application time for these weeds is at wheat’s 3-6 leaf stage for the first and second emergence dates and from tillering to the first detectable node for the third and fourth emergence dates.

Keywords: Competitiveness, Growing degree- days, Planting date, Vetch

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸ شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص. ۴۰۶-۳۸۷

مطالعه فنولوژی تطبیقی و تأثیر تاریخ رویش و خراش‌دهی بر رشد و عملکرد ماشک خزری (*Vicia hyrcanica*) و ماشک برگ‌پهن (*Vicia narbonensis*) در مزارع گندم (*Triticum aestivum*)

وحید کمری دیره[1] - سیروان بابائی[2]* - ایرج نصرتی[3] - ایرج طهماسبی خورنه[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷

چکیده

گونه‌های ماشک یکی از مهم‌ترین علف‌های هرز مزارع گندم محسوب می‌شوند. ازآنجایی‌که شناخت و آگاهی از مراحل فنولوژی علف‌های هرز نقش مهمی در مدیریت علف‌های هرز دارد، مطالعه حاضر به‌منظور بررسی فنولوژی تطبیقی ماشک خزری (*Vicia hyrcanica* L.) و برگ‌پهن (*Vicia narbonensis* L.) به‌عنوان دو علف هرز مشکل‌ساز مزارع گندم به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه‌ای آبی واقع در روستای چقازرد در شهر ماهیدشت، استان کرمانشاه اجرا شد. برای هر گونه ماشک یک آزمایش جداگانه طراحی شد. فاکتورهای هر آزمایش شامل تاریخ کاشت ماشک (هر سه هفته یک‌بار پس از کشت گندم) و خراش‌دهی بذر ماشک (خراش و عدم خراش) و وجود و عدم وجود گیاه زارعی گندم بود. نتایج این مطالعه نشان داد که در تاریخ کاشت اول (اواخر آبان ماه)، بیشترین رشد رویشی و زایشی ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری مشاهده شد. کمترین میزان آن‌ها نیز در تاریخ کاشت چهارم (اواسط اسفند) حاصل شد. از سوی دیگر، مشخص شد که خراش‌دهی اثر معنی‌داری روی صفات ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری داشت و موجب افزایش ارتفاع بوته و تعداد برگ این دو گونه علف هرز شد. به‌علاوه، بیشترین افزایش رشد و تولید بذر ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری در کاشت تکی آن‌ها مشاهده شد و با کاشت این علف‌های هرز در بین ردیف‌های گندم، میزان آن‌ها کاهش یافت. براساس نتایج مراحل فنولوژی در ماشک برگ‌پهن، درجه روز-رشد و تعداد روز لازم برای تکمیل مرحله سبز شدن در تاریخ‌های مختلف کاشت به‌ترتیب بین ۳۵/۹ تا ۱۶۴/۶۵ و ۱۹ تا ۷۵ متغیر بود. در ماشک خزری نیز میزان درجه-روز رشد و تعداد روز لازم برای مرحله سبز شدن در تاریخ‌های مختلف کاشت به‌ترتیب بین ۲۴/۱ تا ۶۸/۸ و ۹ تا ۸۳ روز متغیر بود. نتایج بررسی مراحل فنولوژی تطبیقی نشان داد که چرخه زندگی ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری ۱۶ روز زودتر از گندم شروع شد و رسیدگی آن‌ها نیز با رسیدگی گندم همزمان نبود. در مجموع، نتایج این آزمایش نشان داد که با استقرار ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری در آبان، میزان رقابت و تولید بذر آن نسبت به سایر تاریخ‌های استقرار بیشتر بود، بنابراین تأخیر در رویش (۱۸ اسفند) و استقرار دیرتر آن موجب کاهش مشکلات مربوط به این دو گونه علف هرز در مزارع گندم شد. براساس نتایج ارزیابی فنولوژی تطبیقی گندم و ماشک، بهترین زمان استفاده از علف‌کش برای مهار مناسب این دو گونه علف هرز در تاریخ کاشت اول و دوم، مرحله سه تا شش برگی گندم و در تاریخ کاشت سوم و چهارم، شروع پنجه‌زنی تا ظهور اولین گره قابل لمس در گندم است.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، درجه روز-رشد، رقابت‌پذیری، ماشک

۱، ۲، و ۴- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: s.babaei@uok.ac.ir)
https://doi.org/0.22067/jpp.2024.88318.1193

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات غلات در جهان به‌عنوان منبع مهم کربوهیدرات، پروتئین و مواد معدنی محسوب می‌شود (Esposito *et al*., 2023). عملکرد و سطح کاشت آن، حدود یک سوم محصولات غذایی را تشکیل می‌دهد، بنابراین گندم نقش مهمی در امنیت غذایی جهان ایفا می‌کند. عوامل مختلفی مانند تغییرات اقلیمی، کمبود مواد غذایی و علف‌های هرز مهم‌ترین چالش‌ها برای تولید گندم هستند و به‌طور جدی بهبود مستمر در عملکرد گندم و کیفیت دانه را محدود می‌کنند (Moradi *et* ; Sharifi Kaliani *et al*., 2021, 2024; Xu *et al*., *al*., 2023 2023). علف هرز، گیاه، یا جمعیتی از گیاهان است که به‌طور فوری و یا در بلندمدت در زمان و مکان خاصی، زیان قابل توجهی ایجاد می کنند (Naghib-Alsadati *et al*., 2020Merfield, 2022 ;). علف‌های هرز اغلب همراه با محصول یا مدت کوتاهی پس از کاشت محصول سبز می‌شوند و به‌طور قابل توجهی عملکرد و کیفیت دانه گندم را به‌دلیل رقابت برای جذب مواد مغذی، نور و آب کاهش می- دهند (Babaei *et al*., 2014; Zhao *et al*.,Adeli *et al*., 2023a ;2024). خصوصیاتی مانند اندازه و ساختار تاج‌پوشش علف‌های هرز در رقابت بر سر نور و تثبیت دی‌اکسیدکربن و همچنین تحمل سایه بر رقابت‌پذیری آنها با گندم تأثیر می‌گذارند (Adeli *et al*., 2023b ; Hendriks *et al*., 2022). ماشک برگ‌پهن (*Vicia narbonensis* L.) و ماشک خزری (*Vicia hyrcanica* Fisch. & C.A. Mey) دو گونه علف هرز یک‌ساله مشکل‌ساز در محصولات زراعی غرب ایران، به‌ویژه در محصولات در حال رشد در شرایط دیم، هستند (Ahmadi *et al*., 2024).

ماشک برگ‌پهن (*V. narbonensis*)، گونه‌ای از بقولات فصل سرد با پتانسیل عملکرد بالا، متحمل به خشکی و مقاوم به سرما است و به‌دلیل داشتن بذرهای درشت به‌آسانی استقرار می‌یابد (Muhammed & Karim, 2021). این گونه ماشک به دمای پایین زمستان به‌خوبی سازگار است و در نتیجه، در دمای سردتر قادر به رشد است و زودتر به مرحله برداشت می‌رسد. ازآنجایی‌که گیاهان در دوره مرطوب، رشد خود را کامل می‌کنند، می‌توان آن‌ها را هم در شرایط دیم و هم مناطق آبی بدون آبیاری کشت کرد (İleri & Koç, 2021). این گیاه پراکنش طبیعی در اروپای مرکزی، مدیترانه، خاور نزدیک، اتیوپی، آسیای مرکزی و هند دارد (Kokten *et al*., 2022). ماشک خزری یا گل زرد (*V. hyrcanica*)، یک گونه بقولات یک- ساله، زودرس، پاییزه و تا حدودی مقاوم به سرما و خشکی می‌باشد که از لحاظ اکولوژیکی، سازگار به مناطق مدیترانه‌ای، معتدل و مرطوب می‌باشد که دامنه دمایی رشد آن در محدوده صفر (جوانه‌زنی) تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد (دمای سقف) متغیر می‌باشد و اخیراً جزء گیاهان مهاجم ایران محسوب می‌شود (Karami *et al*., 2023). این ماشک در مزارع آیش و شرایط بارانی در ارتفاع ۱۱۰۰ تا ۲۴۴۰ متر رشد می‌کند. منشأ آن نواحی دریای خزر می‌باشد و سپس به مناطق نیمه خشک گسترش یافته است (Ahmadi *et al*., 2024).

ارزیابی‌ها در سطح جهانی نشان داده‌اند که رقابت علف‌های هرز منجر به کاهش ۲۳ درصدی عملکرد در کشت گندم می‌شود (Lorestani *et al*., 2023). کاهش عملکرد محصولات عمده ناشی از علف‌های هرز در ایران ممکن است، بین ۳۰ تا ۸۰ درصد باشد (Nosratti *et al*., 2020). بنابراین، عدم مدیریت علف‌های هرز در طول فصل زراعی، منجر به کاهش شدید عملکرد گندم خواهد شد (Babaei *et al*., 2022Choudhary *et al*., 2021 ;). استفاده از مدل‌سازی فنولوژی با تاکتیک‌های مناسب، حداکثر کارآیی مهار را به‌دست می‌آورد و هزینه‌های مدیریت علف‌های هرز و خطرات آلودگی‌های جدید را در مناطق دیگر کاهش می‌دهد (Piskackova *et al*., 2020). فنولوژی گیاهی، مشاهده دوره‌ای پدیده‌های مکرر رشد گیاه و ثبت زمان وقوع آن‌ها است. این پدیده به‌واسطه برهم‌کنش عوامل داخلی با محیط بیرونی مانند دما، طول روز یا خشکی ایجاد می‌شود. ویژگی‌های فنولوژیکی علف‌های هرز شامل زمان ظهور، رشد و تولیدمثل جنسی است و می‌تواند برای پیش‌بینی توزیع گونه‌های علف‌های هرز تحت شرایط محیطی متفاوت استفاده شود (Asaduzzaman *et al*., 2022). مطالعات فنولوژیکی علف‌های هرز برای ردیابی تأثیر تدریجی تغییر اقلیم بر تنوع زیستی و تأثیر آن بر رویدادهای کلیدی فنولوژیکی در چرخه زندگی نیز استفاده می‌شود (Kumar *et al*., 2022). این رویدادهای فنولوژیکی برای بقاء و موفقیت یک گونه علف هرز، مهم هستند. بنابراین، توصیف بیولوژیکی معنی‌دار رویدادهای فنولوژیکی برای درک بهتر پویایی زمانی یک گونه علف هرز به‌کار می‌رود (Javaid Akhter *et al*., 2020). به‌علاوه، پیش‌بینی فنولوژی گونه‌های علف‌های هرز به توصیه آگاهانه زمان‌بندی مناسب برای مهار موفق آن‌ها کمک می‌کند و می‌توان عملیات مهار شیمیایی و غیرشیمیایی را براساس مرحله رشد علف هرز و گیاه زراعی برنامه‌ریزی کرد (Necajeva *et al*., 2022; Amjadi *et al*., 2025). با توجه به اینکه هیچ مدل ظهور یا فنولوژی تطبیقی برای آگاهی از زمان دقیق رویش و مراحل رشدی علف‌های هرز ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری برای مهار مؤثر آن‌ها وجود ندارد، بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور بررسی فنولوژی تطبیقی ماشک خزری (*V. hyrcanica*) و برگ‌پهن (*V. narbonensis*) با گندم (*T. aestivum*) برای زمان دقیق مهار این دو علف هرز در طول رشد انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در یک مزرعه آبی مجهز به سیستم آبیاری بارانی (تهیه آب از منبع چاه) در روستای چقازرد واقع در ۲۴ کیلومتری شهر کرمانشاه در بخش ماهیدشت با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۳۶۲ متر از سطح دریا اجرا شد. محل اجرای آزمایش دارای اقلیم معتدل و متمایل به سرد و خشک است و از تابستان‌های گرم و نیمه خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب برخوردار است. میانگین بارندگی منطقه در سال اجرای آزمایش ۳۴۷ میلی‌متر می‌باشد و اطلاعات هواشناسی ماهیانه منطقه در طی مرحله کاشت تا برداشت محصولات برای منطقه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی ماهیانه در طول اجرای آزمایش

Table 1- Monthly variations of weather conditions during the experiment

Month	Temperature (°C)		Relative humidity (%)		Rainfall (mm)
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	
October	1.8	17.1	44	70	0
November	1.4	11.7	54	85	17
December	3.2	5.9	69	85	35.4
January	1.8	6.7	63	84	30.3
February	2.8	11.2	51	74	49.4

برای انجام این پژوهش، بذر گندم آبی رقم پیشگام اصلاح شده از شرکت‌های فروش بذر مجاز تحت نظر جهاد کشاورزی کرمانشاه تهیه شد. بذر ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری، در سال زراعی قبل از آزمایش در منطقه شناسایی و جمع‌آوری شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل تاریخ کاشت ماشک در چهار سطح (در تاریخ‌های ۲۴ آبان، ۱۴ آذر، ۱۶ بهمن و ۱۸ اسفند) به‌عنوان فاکتور اول و خراش‌دهی بذر در دو سطح (خراش و عدم خراش‌دهی بذر گونه‌های ماشک) به‌عنوان فاکتور دوم و وجود و عدم وجود گیاه زارعی گندم در دو سطح به‌عنوان فاکتور سوم بودند. کرت شاهد نیز به‌صورت کشت خالص گندم (وجین تمام فصل) لحاظ شد.

برای آماده‌سازی زمین جهت کاشت، در تاریخ ۱۵ آبان از گاوآهن برگردان‌دار و دیسک استفاده شد، سپس کرت‌بندی زمین انجام شد. کاشت گندم به‌صورت دستی در ۲۴ آبان ۱۴۰۱ به‌صورت ردیفی و با فواصل بین ردیف‌های گندم ۲۰ سانتی‌متر و عمق کاشت چهار تا پنج سانتی‌متر، صورت گرفت. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت **به**‌طول دو متر و عرض یک متر بود. فاصله بین دو کرت ۵۰ سانتی‌متر و بین بلوک‌ها یک متر در نظر گرفته شد. دو گونه ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری به‌عنوان علف هرز همراه با گندم به‌صورت دستی با تراکم ثابت (۳۵۰ بوته در متر مربع) در بین ردیف‌های گندم کشت و سایر علف‌های هرز حذف گردید. تراکم ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری ۴۸ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. مطالعه تأثیر تیمارهای فوق بر هر گونه ماشک به‌صورت جداگانه و به‌عنوان یک آزمایش مستقل در نظر گرفته شد. در هر آزمایش، در تاریخ ۲۴ آبان، بذور ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری پس از خراش‌دهی با استفاده از کاغذ سنباده (دانه متوسط ۱۵۰-۱۰۰ گریت) در بین ردیف‌های گندم یا بدون گندم به تعداد مشخص و به‌صورت دستی کشت شدند. تاریخ‌های بعدی کاشت ماشک‌ها ۱۴ آذر، ۱۶ بهمن و ۱۸ اسفند بود. کشت به‌صورت آبی انجام شد و اولین آبیاری در تاریخ ۲۵ آبان انجام گرفت.

پس از کاشت گونه‌های ماشک، در طول دوره رشد، مراحل مهم نموی ماشک خزری و برگ پهن، در هر هفته دو بار مورد یادداشت - برداری و ثبت گردید. بدین منظور، از هر کرت آزمایشی تعداد پنج بوته سالم و هم‌اندازه که نمایانگر کرت آزمایشی باشد، از گونه‌های ماشک انتخاب شدند. مراحل مورد ارزیابی شامل سبز شدن و ظهور برگ لپه‌ای، تولید شاخه فرعی، گل‌دهی و غلاف‌دهی بودند.

به‌منظور اندازه‌گیری درصد سبز شدن ماشک، دو بار در هفته بعد از هر تاریخ کاشت برای ظهور تجمعی، شمارش انجام شد. بدین صورت که پس از تثبیت تعداد بوته‌های سبز شده در هر کرت، در یک خط مشخص از هر واحد آزمایشی، گیاهچه‌های سبز شده قابل رؤیت شمارش گردید و با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (Bodsworth & Bewley, 1981).

$$\text{درصد سبز شدن} = \Sigma ni/N \times 100 \quad (1)$$

که در آن، ni و N: به‌ترتیب تعداد بذرهای سبز شده در شمارش i ام و تعداد بذور کشت شده در هر ردیف کاشت می‌باشد.

به‌علاوه در طول فصل رشد گیاهان ماشک هر دو هفته یک بار، تعداد پنج بوته از زمان ظهور بوته تا مرحله آخر ریزش برگ به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه در بوته، تعداد گل، تعداد غلاف در بوته و تعداد بذر در **بوته** ثبت شد. همچنین ۱۵ روز پس از رویش گندم، تعداد ۱۰ بوته به‌طور

تصادفی از خطوط میانی هر کرت انتخاب و علامت‌گذاری شد و مراحل نمو به‌صورت غیرتخریبی به‌طور هفتگی براساس وضعیت رشد ونمو این بوته‌های منتخب بررسی شد. از مقیاس زادوکس[1] (ZS) برای تعیین مراحل مختلف فنولوژیک از جمله ظهور اولین برگ حقیقی (ZS, 11)، آغاز پنجه زنی (ZS, 21) بر مبنای ۵۰ درصد از بوته‌های هر واحد آزمایشی استفاده شد (Zadoks *et al.*, 1974). زمان ساقه‌دهی با شناسایی اولین گره ساقه (ZS, 31)، زمان ظهور برگ پرچم با مشاهده زبانک (ZS, 39)، آبستنی با مشاهده خروج نوک ریشک‌ها از غلاف برگ پرچم (ZS, 49)، سنبله‌دهی با خروج کامل سنبله از غلاف برگ پرچم (ZS, 59)، زمان گرده‌افشانی بر مبنای ظهور بساک زرد (ZS, 61) و زمان رسیدگی فیزیولوژیک براساس زرد شدن پدانکل و سخت شدن دانه (ZS, 90) ثبت شد. فاصله زمانی بین ۵۰ درصد ظهور بساک در سنبله هر رقم تا رسیدن فیزیولوژیک، به‌عنوان طول دوره پرشدن دانه در نظر گرفته شد.

ازآنجاکه استفاده از تقویم زمانی رویش هر گیاه تابع عوامل محیطی نظیر دمای محیط در طول دوره رشد است، برای ثبت مراحل فنولوژی از متغیر درجه–روز رشد استفاده می‌شود. بنابراین، با توجه به عدم همزمانی ورود به مرحله فنولوژی جدید در بوته‌های ماشک‌ها، معیار آغاز هر مرحله، ورود۲۰ درصد گیاهان به آن مرحله بود. به‌منظور تعیین درجه روز–رشد مراحل فنولوژیک، علاوه‌بر دمای پایه، ثبت دمای حداقل و حداکثر روزانه ضروری است. به همین منظور، درجه–روز رشد از زمان سبز شدن هر یک از گونه‌های ماشک، زمان کامل شدن رسیدگی بذرها محاسبه گردید.

اطلاعات مربوط به دمای حداقل و حداکثر روزانه، از ایستگاه سینوپتیک شهر کرمانشاه تهیه و درجه روز–رشد تجمعی با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد.

$$\mathrm{GDD} = \sum(\mathrm{T\ average}) - (\mathrm{Tb}) \qquad (۲)$$

که در آن، GDD: درجه روز–رشد رشد تجمعی، $T_{average}$: میانگین دمای ۲۴ ساعت و T_b: دمای پایه یا صفر فیزیولوژیک گیاه است که براساس تعاریف، کمترین دمایی است که در آن دما، رشد گیاه متوقف می‌شود.

در پایان، تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

1- Zadoks Scale

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

براساس نتایج تجزیه واریانس، ارتفاع بوته هر دو گونه ماشک تحت تأثیر تاریخ کاشت، خراش‌دهی و محصول زراعی قرار گرفت (جدول ۲ و ۳). بلندترین بوته‌های ماشک برگ‌پهن به‌میزان ۱۷ سانتی‌متر مربوط به تیمار خراش‌دهی بذر با سنباده در تاریخ کاشت سوم (۱۶ بهمن) و کشت بین ردیف‌های گندم بود که نسبت به عدم وجود گندم، ۷/۱۳ سانتی‌متر افزایش مقدار داشت. کوتاه‌ترین بوته‌ها در کشت خالص ماشک برگ‌پهن (بدون گندم) در تاریخ کاشت چهارم (۱۸ اسفند) و بدون خراش‌دهی با سنباده مشاهده شد که البته با خراش‌دهی و کشت با حضور گندم تفاوت معنی‌داری نداشت. به‌طور کلی، در کشت با حضور گندم، ارتفاع بوته ماشک برگ‌پهن بیشتر از کشت تکی ماشک بود (جدول ۲).

در ارزیابی ارتفاع بوته ماشک خزری نتایج نشان داد که بلندترین بوته‌های ماشک خزری (۱۶/۴۶ سانتی‌متر) در تاریخ کاشت ۲۴ آبان به‌دست آمد که در مقایسه با تاریخ ۱۸ اسفند (۱۰/۵۰ سانتی‌متر) برتری نشان داد. خراش‌دهی (۱۴/۳۰ سانتی‌متر) بذر نیز موجب افزایش ارتفاع بوته ماشک خزری نسبت به گیاهان بدون خراش‌دهی (۱۳/۸۰ سانتی‌متر) شد. بلندترین گیاهان مربوط به کشت ماشک خزری با حضور گندم (۱۵/۷۳) بود که اختلاف معنی‌داری نسبت به عدم وجود گندم (کشت تکی ماشک) داشت (شکل ۱).

ارتفاع گیاه به‌عنوان یک عامل مهم برای تعیین موفقیت رقابتی برای گرفتن تابش خورشید بسته به ویژگی‌های ژنتیکی و محیطی شناخته می‌شود. با کاشت زودتر، گیاهان زمان بیشتری برای جذب آب و مواد مغذی از خاک، دستیابی به رشد رویشی مناسب، استفاده کارآمدتر از تابش و توسعه فتوسنتز بیشتر نسبت به کاشت دیرتر دارند (Mahdipour-Afra *et al.*, 2021). افزایش ارتفاع بوته هر دو گونه ماشک ممکن است به‌دلیل تاریخ کاشت زودهنگام باشد که در مقایسه با سه تاریخ کاشت دیگر، دوره نسبتاً خنک تری را برای گیاهان فراهم می‌کند، که منجر به تحریک تجمع سیتوکینین و جیبرلین، اصلاح تعادل هورمونی و افزایش طول ساقه گیاه می‌شود (Ahmed *et al.*, 2020).

ارتفاع بیشتر بوته‌ها در تیمارهای خراشیدگی بذور ممکن است به‌دلیل سبز شدن زودتر گیاهچه‌ها باشد. خراش دادن بذرها باعث افزایش جذب، بهبود جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و در نتیجه، افزایش پتانسیل رشد و بهبود رقابت‌پذیری گیاهچه در زمان کوتاه‌تری نسبت به بذرهای تیمار نشده می‌شود (Ibrahim & Hawramee, 2019).

دلیل افزایش ارتفاع بوته در کشت مخلوط نسبت به خالص ممکن است به این واقعیت مرتبط باشد که گیاهان در سیستم کشت تکی نسبت به کشت مخلوط، فرصت بهتری برای جذب منابع محیطی

مانند آب، نور و مواد مغذی دارند و همچنین هیچ رقابت بـین‌گونـه‌ای وجـود نـدارد (Habte *et al.*, 2016). بـه عبـارت دیگـر، در کشـت مخلوط، به جهت بالا بودن تراکم گیاهی، نور به بخـش‌هـای پـایینی نرسیده، و در این حالت هورمون اکسین تجزیـه نمـی‌شـود کـه عـدم تجزیه آن سبب افزایش غلظت اکسین و در نتیجه، افزایش ارتفاع بوته خواهد شـد (Saed-Moucheshi *et al*, 2023; Neyestani *et al*., 2024).

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر صفات اندازه گیری شده ماشک برگ‌پهن

Table 2- Analysis of variance for the effects of the treatments on *V. narbonensis* traits

S.O.V	df	Mean of squares					
		Plant height	No. leaves	No. branches	No. flowers	No. pods	No. seeds
Block	3	2.14 ns	16.84 ns	0.83 ns	1.85 ns	2.60 ns	12.96 ns
Planting date (P)	3	43.86 **	1231.27 **	37.86 **	197.20 **	1850.48 **	1651.89 **
Scarification (S)	1	12.07 **	6.25 ns	0.23 ns	6.12 ns	68.89 **	93.12 **
Cropping (C)	1	496.17 **	16724.95 **	1029.60 **	530.15 **	6233.10 **	7301.70 **
P × S	3	2.80 ns	181.92 **	0.76 ns	3.93 ns	84.27 **	151.35 **
P × C	3	0.90 ns	240.32 **	7.27 *	58.99 **	1058.26 **	1096.06 **
S × C	1	1.62 ns	4.62 ns	1.72 ns	4.20 ns	3.61 ns	0.01 ns
P × S × C	3	3.17 *	288.97 **	19.45 **	1.85 ns	147.22 *	111.09 **
Error	45	1.07	30.72	2.49	2.11	5.10	12.02
CV (%)	-	9.06	13.78	13.30	27.42	16.01	26.57

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

**, *, and ns indicate significance at the 1% and 5% probability levels and non-significance, respectively.

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر صفات اندازه گیری شده ماشک خزری

Table 3- Analysis of variance for the effects of the treatments on *V. hyrcanica* traits

S.O.V	df	Mean squares					
		Plant height	No. Leaves	No. of branches	No. flowers	No. pods	No. seeds
Block	3	1.64 ns	497.24 ns	5.12 ns	8.12 ns	65.77 ns	3.94 ns
Planting date (P)	3	104.72 **	90488.49 **	544.18 **	702.85 ns	10065.3 **	524.47 **
Scarification (S)	1	4.15 *	1551.37 ns	7.91 ns	0.08 ns	715.56 **	135.14 **
Cropping (C)	1	179.89 **	264697.38 **	2663.85 **	240.22 **	54522.2 **	5704.02 **
P × S	3	0.69 **	852.64 ns	36.57 **	3.55 ns	102.43 *	214.09 **
P × C	3	2.32 ns	1169.72 ns	15.24 **	23.75 *	6782.79 **	436.69 **
S × C	1	0.43 ns	980.47 ns	1.02 ns	11.30 ns	625 **	136.30 **
P × S × C	3	1.90 ns	2137.93 *	54.35 **	48.01 **	148.79 **	355.27 **
Error	45	0.89	539.63	2.08	6.91	27.28	5.33
CV (%)	-	6.72	11.64	7	18.37	14.03	18.97

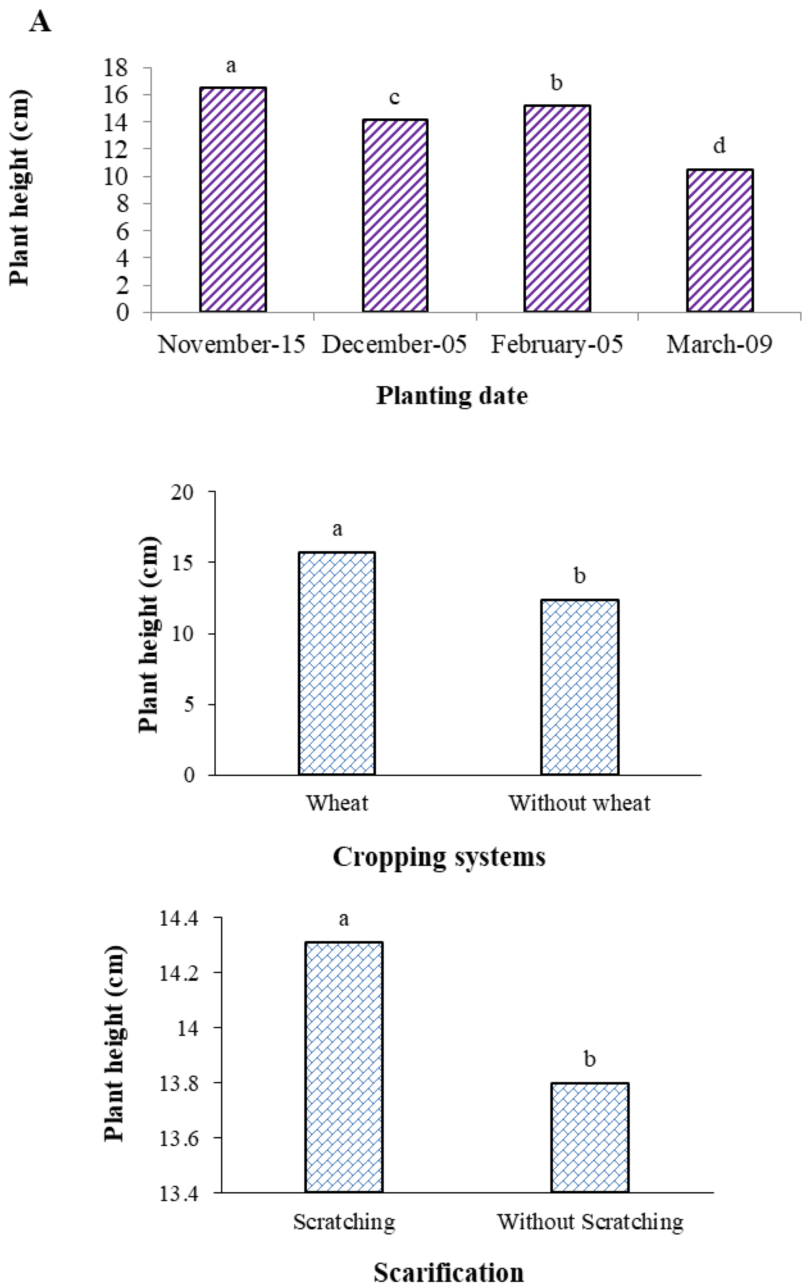
**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

**, *, and ns indicate significance at the 1% and 5% probability levels and non-significance, respectively.

تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد برگ در ماشک برگ‌پهن و خزری تحت تأثیر تاریخ کاشت، محصـول زراعـی و اثـرات متقابـل تاریخ کاشت در خراش‌دهی در محصول قرار گرفـت (جـدول ۲ و ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه نشان داد که بیشترین تعـداد برگ با میانگین ۸۲ عدد مربوط به کشـت ماشـک بـرگ‌پهن خـالص بدون گندم در تاریخ اول و عدم خراش‌دهی بود. کمترین تعـداد بـرگ نیز در تاریخ کاشت ۱۸ اسفند مربوط به تیمار کشت ماشک بـرگ‌پهن با حضور گندم و بدون خراش‌دهی به‌میزان ۱۷ عدد بود کـه بـا تیمـار کشت ماشک برگ‌پهن با حضور گندم و با خـراش‌دهـی و تیمارهـای تاریخ کشت ۱۴ آذر و ۱۶ بهمن با خراش‌دهـی و بـدون خـراش‌دهـی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

همچنین نتایج نشان داد که بیشترین تعداد برگ ماشـک خـزری (۳۹۶ عدد) در تاریخ کشت ۲۴ آبان با خراش‌دهی بذر و بـدون وجـود گندم به‌دست آمد و تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها داشـت. کشت ماشک خزری بـا گنـدم در تـاریخ کاشـت ۱۸ اسـفند و بـدون خراش‌دهی نیز کمترین تعداد برگ (۶۹ عدد) را به خود اختصـاص داد (جدول ۴).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر ساده تاریخ کاشت (A)، خراش‌دهی (B) و سیستم‌های کشت (C) بر ارتفاع بوته ماشک خزری

Figure 1- Means comparison of the simple effect of planting date (A), scarification (B), and crop (C) on the plant height of *V. hyrcanica*

تعداد برگ بیشتر در تاریخ کاشت اول به تعداد روزهای بیشتر بین زمان کاشت اول و برداشت نسبت به زمان‌های دیگر کاشت نسبت داده می‌شود. به‌علاوه در کاشت زودهنگام، گیاهان دارای سیستم ریشه بهتر بوده و توانایی استفاده بهتر از بارندگی زمستانه و بهاره را داشته باشند (Kir, 2021). از سوی دیگر، تأخیر در تاریخ کاشت با کوتاه شدن دوره رشد رویشی (به‌دلیل دمای بالا در این مرحله) و کاهش پتانسیل فتوسنتزی باعث کاهش ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی از گیاه شده و در نهایت، تعداد برگ در بوته به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Harati *et al*., 2023).

خراشیدگی باعث ایجاد شکاف و ترک در پوشش دانه و افزایش

نفوذپذیری پوشش بذر در آب می‌شود، در نتیجه به دانه‌ها اجازه جذب آب و جوانه‌زنی را می‌دهد (Nourmohammadi *et al*., 2019)، در نتیجه، گیاهچه‌ها رشد بیشتری می‌کنند. دلیل دیگر ممکن است فعالیت اسید جیبرلیک در مریستم رأسی باشد. این امر منجر به سنتز بیشتر نوکلئوپروتئینی می‌شود که مسئول افزایش آغازش برگ است (Sheoran *et al*., 2019).

افزایش تعداد برگ در کشت خالص را می‌توان به کاهش ارتفاع و شاخه جانبی در این تیمار نسبت داد. احتمالاً رقابت درون‌گونه‌ای شدید در شرایط کشت خالص، سبب کاهش ارتفاع گیاهان برای کسب نور و در نتیجه، افزایش تعداد شاخه فرعی و برگ شده است (Tahmasebi *et al*., 2024Shahbazi *et al*., 2022 ;). به عبارتی، ازآنجایی‌که بین ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته همبستگی نزدیکی وجود دارد.، کاهش تعداد برگ در کشت مخلوط ممکن است ناشی کاهش ارتفاع بوته به‌علت رقابت برون‌گونه‌ای در کشت مخلوط باشد (Dabbagh Mohammadi Nasab *et al*., 2017). به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر نیز کاهش ارتفاع بوته و تعداد برگ در کشت مخلوط ناشی از رقابت برون‌گونه‌ای بوده است.

تعداد شاخه در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تعداد شاخه در بوته در ماشک برگ‌پهن تحت تأثیر تاریخ کاشت، محصول زراعی، اثرات متقابل تاریخ کاشت در محصول زراعی و اثر متقابل سه‌گانه قرار گرفت (جدول ۲). تعداد شاخه در بوته در ماشک خزری نیز تحت تأثیر تاریخ کاشت، محصول زراعی، اثرات متقابل تاریخ کاشت در محصول زراعی، تاریخ کشت در خراش‌دهی و اثر متقابل سه‌گانه قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین تعداد شاخه ماشک برگ‌پهن (۱۹ عدد) در تاریخ کاشت ۲۴ آبان در تیمار ماشک خالص و بدون خراش‌دهی حاصل شد و اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها داشت. کمترین تعداد شاخه نیز به‌ترتیب در تاریخ کاشت ۱۸ اسفند (هفت عدد) بدون خراش‌دهی و تاریخ کاشت ۱۸ اسفند (۸) و ۱۶ بهمن (۹ عدد) با خراش‌دهی و کشت با حضور گندم مشاهده شد که نسبت به هم تفاوت آماری معنی‌دار نداشتند (جدول ۴).

بیشترین تعداد شاخه ماشک خزری در کشت خالص ماشک (۳۸ عدد) با خراش‌دهی در تاریخ کشت ۲۴ آبان مشاهده شد. کمترین تعداد شاخه نیز به‌ترتیب در تاریخ کاشت ۱۸ اسفند (۱۰ عدد) و تاریخ کشت ۱۶ بهمن (۱۰ و ۱۱ عدد) با خراش‌دهی و بدون خراش‌دهی در کشت با حضور گندم به‌دست آمد (جدول ۴).

در تاریخ کاشت اول، دوره رویشی طولانی باعث بهبود رشد رویشی و افزایش تولید شاخ و برگ و جذب بهتر نور و در دسترس بودن مواد فتوسنتزی بیشتر شد، در نتیجه صفات ریخت‌شناختی شامل ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی در بوته بیشتر شد (Harati *et al*., 2023). دلیل دیگر تعداد بالای شاخه در کاشت‌های اولیه به‌دلیل فصل رشد طولانی‌تر است (Datta *et al*., 2023).

به نظر می‌رسد که کاهش تعداد شاخه جانبی ماشک در کشت با حضور گندم به‌دلیل بیشتر بودن ارتفاع گندم و افزایش تعداد پنجه آن باشد که باعث شده است تا ماشک به‌جای تعداد شاخه جانبی بیشتر بر ارتفاع خود بیفزاید تا از توان رقابتی بیشتری برای رشد بهره ببرد. به‌علاوه در کشت خالص، گیاه از فضای بیشتری برای رشد برخوردار بوده و با افزایش نور بیشتر جهت افزایش تعداد شاخه بیشتر تحریک شده و در کشت مخلوط به‌دلیل سایه‌اندازی و کاهش نور، تحریک لازم جهت شاخه‌دهی انجام نگرفته که در نتیجه، ارتفاع بوته افزایش و تعداد شاخه کاهش پیدا می‌کند (Abdollahpour *et al*., 2020). کاهش تعداد شاخه فرعی در شرایط کشت مخلوط به‌دلیل افزایش رقابت و حضور سایر گونه‌ها در وضعیت کشت مخلوط و کاهش منابع محیطی در دسترس نیز می‌باشد (Mojtabaie Zamani & Norouzi, 2017).

تعداد گل

براساس نتایج حاصل، تاریخ کاشت ماشک و حضور یا عدم حضور گندم، اثر معنی‌داری بر تعداد گل هر دو گونه ماشک داشت (جدول ۲ و ۳). بیشترین تعداد گل در تاریخ کاشت ۲۴ آبان در شرایط بدون کاشت گندم حاصل شد که در مقایسه با کشت بین ردیف‌های گندم در همین تاریخ کشت ۶۹/۷۳ درصد افزایش نشان داد. می‌توان گفت که تأخیر در کاشت ماشک سبب کاهش تعداد گل در کاشت و عدم کاشت گندم نسبت به تاریخ کاشت اول (۲۴ آبان) شد (شکل ۲).

نتایج اثر متقابل سه عامل تاریخ کاشت در خراش‌دهی در حضور یا عدم حضور گندم نشان داد که بیشترین تعداد گل ماشک خزری با میانگین ۳۴ عدد در کشت خالص ماشک در ۲۴ آبان و با خراش‌دهی بذر مشاهده شد که حدود ۱۷۵/۳۶ درصد نسبت به عدم خراش‌دهی افزایش تعداد داشت. از سوی دیگر، کمترین میزان آن نیز با میانگین سه عدد به ماشک کاشته شده در بین ردیف‌های گندم در تاریخ ۱۶ بهمن با خراش‌دهی و بدون خراش‌دهی اختصاص داشت (جدول ۵).

گزارش شده است که دوره زایشی با افزایش دمای محیط کوتاه‌تر می‌شود. احتمالاً کاهش تعداد گل در کاشت تأخیری، به دلیل کاهش دمای پایان فصل رشد و تمایل گیاه به تکمیل چرخه زندگی و دوری از عوامل نامطلوب محیطی باشد (Mirzaie *et al*., 2020). به عبارت دیگر، به‌دلیل شرایط دمایی مناسب و فرصت کافی در تاریخ کاشت اول، گیاه دارای شاخه‌های فرعی بیشتر، ارتفاع زیادتر و داشتن سطح برگ بیشتر (منبع قوی‌تر) شد و تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به اندام‌های زایشی گیاه، شرایط مناسبی را برای افزایش اندام‌های زایشی و متعاقب آن افزایش تعداد گل در بوته فراهم کرد (Harati *et al*., 2023).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای مورد بررسی بر صفات رشدی ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری

Table 4- Means comparison of the interaction effect of investigated treatments on the growth traits of *V. narbonensis* and *V. hyrcanica*

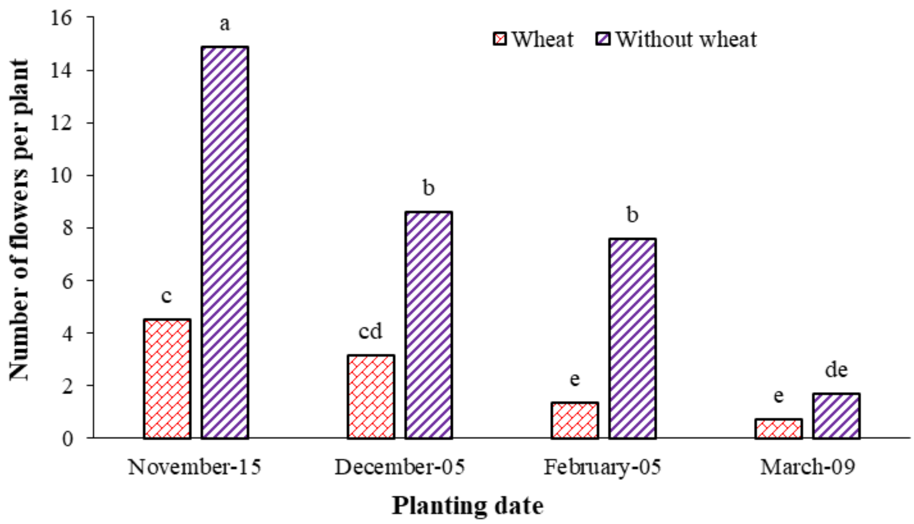
Planting date	Scarification	Cropping	*V. narbonensis* Plant height (cm)	*V. narbonensis* No. leaves	*V. narbonensis* No. branches	*V. hyrcanica* No. leaves	*V. hyrcanica* No. branches
November-15	Scratching	Wheat	15.3b*	31.4d	8.85ef	211.1d	20.35ef
		Without-Wheat	10.57de	63.07b	15.37bc	396.38a	38.22a
	Without-scratching	Wheat	15.92ab	30.1de	6.17h	233.48d	21.5e
		Without-wheat	9.85ef	82.6a	19.05a	355.9b	33.95b
December-05	Scratching	Wheat	14.62b	23.65def	6.42gh	137.4fg	13.82h
		Without-wheat	8.47fg	57.3b	13.42cd	282.48c	30.32c
	Without-scratching	Wheat	11.67cd	24.55def	6.82fgh	165.8f	15.97g
		Without-wheat	7.8gh	48.77c	12.7d	268.35c	25.27d
February-05	Scratching	Wheat	17a	20.17f	8.65efg	82.78hi	10.47i
		Without-wheat	9.87ef	63.72b	18.9a	202.15de	19.15f
	Without-scratching	Wheat	14.67b	23.27ef	10.17e	106.8gh	10.9i
		Without-wheat	9.55ef	48.35c	16.37b	228.55d	28.52c
March-09	Scratching	Wheat	12.45c	20.12f	8.42efg	73.75hi	10.07i
		Without-wheat	6.9h	42.72c	15.42bc	169.83ef	19.65ef
	Without-scratching	Wheat	12.35c	17.07f	7.37fgh	69.65i	10.17i
		Without-wheat	6.42h	42.45c	15.82b	206.1d	21.4e

* در هر ستون میانگین‌های با حروف یکسان نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* Means with the same letters in each column are not significant differences based on the LSD Test (p≤0.05).

به نظر می‌رسد که در تاریخ کاشت زودهنگام به‌دلیل شرایط رشد بهتر و استقرار بهتر بوته، تراکم کمتر باعث رقابت کمتر بین گیاهان شده و شرایط بهتری را برای استفاده از رطوبت، عناصر غذایی، فضا و نور فراهم می‌کند که منجر به رشد بهتر گیاهان شده و در هر بوته، گل و غلاف بیشتری تولید می‌شود (Mahdipour-Afra *et al.*, 2021). با تأخیر در تاریخ کشت، زمان گرده‌افشانی تسریع شده و سرعت نمو افزایش و طول دوره گل‌دهی کاهش می‌یابد. در ضمن دمای بالا همراه با کاهش رطوبت هوا، سبب پژمردگی غنچه‌های گل می‌شود (Iravani Panah *et al.*, 2022).

به نظر می‌رسد که گیاه ماشک قادر به رشد همسان، در کشت مخلوط نیست و نمی‌تواند همگام با گیاه همراه به رشد و توسعه اندام‌های رویشی و زایشی خود بپردازد (Kahraryan & Fatemi, 2023). به عبارتی، در کشت مخلوط با افزایش سایه‌اندازی گیاه پابلند، گیاه لگوم بیشتر انرژی خود را صرف رشد رویشی و از جمله افزایش ارتفاع بوته کرده و در نتیجه، انرژی کمتری جهت تشکیل و رشد اندام زایشی باقی می‌ماند (Abbasi & Namdari, 2022). احتمالاً کاهش تعداد گل هر دو گونه ماشک در شرایط کشت بدون گندم، به‌دلیل رقابت درون‌گونه‌ای بر سر جذب نور، موجب افزایش ریزش گل‌های تشکیل شده باشد.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و حضور یا عدم حضور گندم بر تعداد گل در بوته ماشک برگ‌پهن

Figure 2- Means comparison of the interaction effect of planting date and the presence or absence of wheat on the number of flowers per plant of *V. narbonensis*

تعداد غلاف در بوته

تعداد غلاف در بوته ماشک برگ‌پهن و خـزری تحـت تـأثیر اثـر سه‌گانه تاریخ کاشت، خراش‌دهی و حضور یا عدم حضـور گـندم قـرار گرفت و تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار شد (جدول ۲ و ۳). تـأخیر در کاشت و حضور گیاه زراعی سبب کاهش تعداد غلاف در بوتـه هـر دو گونه ماشک برگ‌پهن و ماشک خـزری شـد. بیشـترین تعـداد غـلاف ماشک برگ‌پهن خالص (بدون وجود گندم) بدون خراش‌دهی و کشت شده در تاریخ ۲۴ آبان (۵۳ عدد) مشاهده شـد، در رتبـه بعـدی تیمـار خراش‌دهی (۴۴ عدد) با همین شرایط کاشـت قـرار داشـت. کمتـرین تعداد غلاف ماشک برگ‌پهن در تاریخ کشـت ۱۸ اسـفند و کشـت بـا حضور گندم با خراش‌دهی (۰/۱۵ عدد) و بدون خراش‌دهی (یک عدد) بود (جدول ۵). حداکثر تعداد غلاف ماشک خزری نیز بـا میـزان ۱۱۵ عدد مربوط به کشت تکی بذر ماشک بدون خراش‌دهی در تـاریخ ۲۴ آبان بود و حداقل تعداد آن نیز در کشت ماشک خزری بین ردیف‌های گندم در تاریخ ۱۸ اسفند با بدون خراش‌دهی و خراش‌دهی بـه‌ترتیـب با میزان دو و چهار عدد بود (جدول ۵).

افزایش تعداد غلاف در تاریخ‌های اولیه کاشت را می‌توان به طول رشد بیشتر دوره رویشی و زایشی و تولیـد بیشـتر انـدام‌هـای زایشـی نسبت داد. کاشت گیاه زودرس به دلیل توسعه سریع‌تر و بیشتر سـطح برگ باعث جذب بیشتر نور و افزایش فتوسنتز بـرای رشـد غـلاف‌هـا می‌شود (Fakhr *et al*., 2020). رشد رویشی آهسته، در ابتدا بـه‌دلیل دماهای پایین‌تر و به دنبال آن دماهای بالاتر در طول دوره پـر شـدن غلاف‌ها و بلوغ فیزیولوژیک، موجب کاهش میزان تجمع ماده خشـک و کاهش تعداد غلاف در گیاهان می‌شـود (Al-Shakarchy, 2021).

به‌علاوه شرایط نامناسب محیطی در تاریخ‌های کاشت بعدی منجر بـه ریزش گل یا عدم لقاح شده که در نتیجه باعث کاهش تعداد غلاف در گیاه می‌شود (Mohamed, 2022).

با ایجاد خراش در بذر، مانع برای جذب آب از بین می‌رود. بـاایـن حال، ازآنجایی‌که جنین به‌طور ناگهانی در معرض عوامل محیطی قرار می‌گیرد، ممکن است تحت تنش رطوبتی قرار گیرد، همچنـین جنـین ممکـن اسـت هنگـام برداشـتن پوشـش بـذر آسـیب ببینـد (Nourmohammadi *et al*., 2019). بااین‌حال، عوامل دیگری مانند موقعیت نسبی بذر روی گیاه مادر، ریزمحیط، مقـدار محتـوای ذخیـره غذایی و منشأ که در بسیاری از گونه‌ها دیده مـی‌شـود، مـی‌توانـد بـر درصد جوانه‌زنی بذرها و همچنین روی تغییرات زنده‌مـانی بـذر تـأثیر بگذارد (Ibrahim & Hawramee, 2019).

کاهش تعداد غلاف در هر بوته در حضور گندم نسبت بـه کشـت تکی می‌تواند به‌دلیل افـزایش رقابـت بـین گونـه‌ای باشـد. همچنـین افزایش رقابت برای نور و مواد معدنی و در نتیجـه، افـزایش سـایه در کشت مخلوط منجر به کاهش فتوسنتز و درف نتیجه ریزش بیشـتر و کاهش غلاف در بوتـه مـی‌شـود (Oskoii *et al*., 2015). همچنـین دلیل بیشتر بودن تعداد غلاف در کشت خالص ممکـن اسـت بـه‌دلیل عدم رقابت بین گونه‌ای باشد که با تولید شاخه جـانبی بیشـتر، تعـداد غلاف نیز افزایش پیدا مـی‌کنـد (Abdollahpour *et al*., 2020). در الگوی کشت ماشک در بین ردیف‌های گندم، ماشک برای دریافت نور و مقابله با سایه‌اندازی گندم، انرژی بیشتری را صرف رشد رویشـی از جمله افزایش ارتفاع بوته کرده و منابع کربوهیدراتی کمتری را جهـت تشکیل و رشد غلاف‌ها اختصاص داده است، بنابراین تعداد غـلاف در

بوته در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص کاهش یافته است (Mojtabaie Zamani & Norouzi, 2017).

تعداد بذر در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تعداد بذر در بوته در هر دو گونه ماشک تحت تأثیر تاریخ کاشت، خراش‌دهی، حضور یا عدم حضور محصول زراعی و اثرات متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲ و ۳). نتایج نشان داد که در هر چهار تاریخ کاشت، عدم خراش‌دهی بذر و عدم حضور گندم موجب کاهش معنی‌دار تعداد بذر در بوته ماشک برگ‌پهن شد، به‌طوری‌که بیشترین تعداد بذر در بوته با میانگین ۴۹ و ۴۸ عدد به‌ترتیب از کشت بذر خالص ماشک برگ‌پهن بدون خراش‌دهی و با خراش‌دهی در تاریخ کاشت ۲۴ آبان مشاهده شد. کمترین تعداد آن نیز با میانگین کمتر از یک عدد (۰/۱۵ و ۰/۴۰ عدد) از کشت بذر ماشک برگ‌پهن در بین ردیف‌های گندم با خراش‌دهی و بدون خراش‌دهی در تاریخ کاشت ۱۸ اسفند به‌دست آمد. پس از آن، در رتبه بعدی کشت بذر ماشک برگ‌پهن با حضور گندم و بدون خراش‌دهی در تاریخ کاشت ۱۶ بهمن، ۱۴ آذر و ۲۴ آبان و کشت بذر ماشک برگ‌پهن با حضور گندم و با خراش‌دهی در تاریخ کاشت ۱۶ بهمن بود که نسبت به یکدیگر تفاوت آماری معنی‌دار داشتند (جدول ۵).

بیشترین تعداد بذر در بوته با میزان ۴۷ عدد مربوط به کشت تکی بذر ماشک خزری بدون خراش‌دهی در تاریخ ۲۴ آبان بود. کمترین تعداد آن نیز در کشت بذر ماشک خزری خراش‌دهی شده در تاریخ ۱۴ آذر در بین ردیف‌های گندم به‌میزان یک عدد مشاهده شد. در واقع، عدم خراش‌دهی با سنباده و وجود محصول زراعی گندم موجب کاهش تعداد بذر داخل بوته علف هرز ماشک خزری شد (جدول ۵).

افزایش تعداد بذر در بوته ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری احتمالاً به‌دلیل شرایط اقلیمی مطلوب در تاریخ کاشت اولیه است که منجر به رهگیری بیشتر تابش خورشیدی و انتقال مواد فتوسنتزی جذب شده از منبع (برگ‌ها و ساقه‌ها) به مخزن (دانه‌ها) می‌شود که باعث تولید تعداد غلاف بالاتر و دانه گرده زنده در گیاه شده که این امر مستقیماً بر تشکیل دانه تأثیر گذاشته و در نهایت، منجر به تعداد دانه بالاتر می‌شود (Yusuf *et al.*, 2019). به نظر می‌رسد که دلیل اصلی افزایش تولید بذر در ابتدای کاشت، دمای مطلوب در زمان کاشت باشد که منجر به رشد سریع‌تر گیاه و در نهایت، گیاهان قوی‌تر و تولید بیشتر بذر می‌شود. با تأخیر در کاشت بذر، گیاه در دمای بالای محیط، بالغ شده که منجر به افزایش تنفس گیاه، کاهش ذخیره مواد جذب شده فتوسنتزی و در نهایت، کاهش تعداد بذر در گیاه می‌شود (Mirzaie *et al.*, 2020). همچنین با تأخیر در کاشت، گیاهان در زمان رسیدن به مرحله زایشی، ماده خشک کمتر و سطح برگ کمتری دارند و در نتیجه، به‌دلیل کوتاه‌تر بودن دوره رشد غلاف و دوره پر شدن دانه، غلاف و بذرها در کشت تأخیری کوچک‌تر شده و تعداد دانه در بوته کاهش می‌یابد (Fakhr *et al.*, 2020).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای مورد بررسی بر صفات زایشی ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری

Table 5- Means comparison of the interaction effect of investigated treatments on the reproductive traits of *V. narbonensis* and *V. hyrcanica*

			V. narbonensis		*V. hyrcanica*		
Planting date	**Scarification**	**Cropping**	**No. pods**	**No. seeds**	**No. flowers**	**No. pods**	**No. seeds**
November-15	Scratching	Wheat	9.5^{f*}	7.65^{d}	12.3^{f}	11.5^{fg}	4.82^{efg}
		Without-wheat	44.5^{b}	48^{a}	33.87^{a}	88.75^{c}	17.3^{d}
	Without-scratching	Wheat	4.25^{gh}	1.85^{e}	17.25^{d}	9.5^{fgh}	1.55^{ghi}
		Without-wheat	53.5^{a}	48.7^{a}	26.87^{b}	115.25^{a}	46.85^{a}
December-05	Scratching	Wheat	6.5^{fg}	4.4^{de}	11.3^{f}	11.5^{fg}	0.97^{i}
		Without-wheat	32.25^{c}	35.45^{b}	22.27^{c}	100.25^{b}	23.45^{c}
	Without-scratching	Wheat	6^{g}	1.22^{e}	11.1^{f}	15.25^{f}	5.32^{ef}
		Without-wheat	17^{e}	16.5^{c}	22.35^{c}	105.5^{b}	22.25^{c}
February-05	Scratching	Wheat	4^{gh}	2.05^{e}	2.8^{g}	4.5^{gh}	2.6^{fghi}
		Without-wheat	21.5^{d}	12.97^{c}	14.07^{def}	45^{e}	29.5^{b}
	Without-scratching	Wheat	2.75^{hi}	1.22^{e}	3^{g}	6.5^{gh}	2.62^{fghi}
		Without-wheat	15.5^{e}	17.4^{c}	16.42^{de}	61.75^{d}	21^{c}
March-09	Scratching	Wheat	0.15^{i}	0.15^{e}	4.5^{ef}	3.75^{h}	2.55^{fghi}
		Without-wheat	2.75^{hi}	3.37^{de}	13.05^{ef}	5.75^{gh}	4.55^{fgh}
	Without-scratching	Wheat	0.75^{i}	0.4^{e}	3.2^{def}	2^{h}	1.4^{hi}
		Without-wheat	4.8^{gh}	7.45^{d}	14.55^{def}	9^{fgh}	8^{e}

* در هر ستون میانگین‌های با حروف یکسان نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* Means with the same letters in each column are not significant differences based on the LSD Test ($p \leq 0.05$).

در کشت با حضور گندم، تعداد دانه در بوته در ماشک کاهش یافت، این کاهش را می‌توان به رقابت گندم با ماشک بر سر مواد غذایی و سایه‌اندازی گندم روی ماشک (کاهش نور دریافتی) نسبت داد که سبب کاهش شدت فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها در ماشک شد. کهراریان و همکاران (Kahraryan *et al*., 2019) رقابت بین گونه‌ای را دلیل افزایش رشد رویشی و کاهش اجزاء زایشی بیان کردند، همچنین بیان نمودند که این امر انرژی کسب شده توسط گونه را به‌سمتی سوق می‌دهد که بتواند اثرات رقابتی را کاهش دادخ و یا حذف کند و در نتیجه، میزان انرژی کمتری به تولید دانه اختصاص می‌دهد. همچنین شاید یکی از دلایل کاهش تعداد دانه ماشک در کشت با حضور گندم در مقایسه با کشت تکی را بتوان به کاهش فضای لازم برای رشد و به دنبال آن رقابت به‌خاطر آب، مواد غذایی و نور نسبت داد. علت تولید بیشتر در کشت خالص را به یکنواختی بیشتر محیط نسبت به کشت مخلوط مربوط می‌دانند (Kahraryan & Fatemi, 2023).

مراحل فنولوژی ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری بر مبنای درجه-روز رشد تجمعی

در مجموع، چهار مرحله فنولوژی برای علف‌های هرز ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری مشاهده شد (جدول ۶ و ۷). مراحل فنولوژی به سبز شدن، تولید شاخه فرعی، گل‌دهی و غلاف‌دهی تقسیم شد. در جدول ۶، طول مراحل فنولوژی ماشک برگ‌پهن براساس تعداد روز و درجه-روز رشد تجمعی نشان داده شده است. میزان درجه روز-رشد و تعداد روز مورد نیاز برای تکمیل چرخه زندگی از زمان سبز شدن تا غلاف‌دهی دو گونه ماشک در تاریخ‌های کاشت مختلف متفاوت بود. مراحل فنولوژی در برخی از تاریخ‌های کاشت هم‌پوشانی داشتند. در ماشک برگ‌پهن، درجه روز-رشد و تعداد روز لازم برای تکمیل مرحله سبز شدن در تاریخ‌های مختلف کاشت به‌ترتیب بین ۳۵ تا ۱۶۴ و ۱۹ تا ۷۵ متغیر بود (جدول ۶). ماشک برگ‌پهن در تاریخ کاشت اول با طی ۱۱۹ روز و کسب ۳۵۸ درجه-روز رشد ، تاریخ کاشت دوم ۷۵ روز و کسب ۴۲۰ درجه-روز رشد ، تاریخ کاشت سوم ۶۷ روز و کسب ۸۵۶ درجه-روز رشد و تاریخ کاشت چهارم ۷۵ روز و کسب ۹۹۷ درجه-روز رشد از مرحله سبزشدن تا پایان غلاف‌دهی چرخه زندگی خود را تکمیل کرد. در بین هر چهار تاریخ کاشت، مرحله سبزشدن طولانی‌ترین (۷۵ روز) و مرحله تولید شاخه فرعی (شش روز) کوتاه‌ترین مراحل فنولوژی ماشک برگ‌پهن بود. علاوه‌براین، تاریخ کشت اول در دو مرحله سبز شدن (۳۵) و تولید شاخه فرعی (۲۵)، کمترین درجه-روز رشد تجمعی را داشت. بین مرحله فنولوژی گل‌دهی در تاریخ کاشت سوم و چهارم با مرحله غلاف‌دهی در تاریخ کاشت اول و دوم هم‌پوشانی وجود داشت، به‌طوری‌که با طی ۱۹ روز و دریافت ۱۷۶/۸ درجه-روز رشد، این مراحل پایان یافت. همچنین مرحله غلاف‌دهی بین تاریخ کاشت سوم و چهارم نیز هم‌پوشانی داشت و برای تکمیل این مرحله ۵۳۶ درجه-روز رشد و ۲۰ روز زمان نیاز بود (جدول ۶).

براساس تاریخ تقویمی، سبزشدن در ماشک برگ‌پهن در تاریخ کاشت آبان ماه ۳۶ روز بعد از کاشت (۲۹ آذر)، در تاریخ کاشت آذر ماه ۵۸ روز بعد از کاشت (۱۶ بهمن)، در تاریخ کاشت بهمن ۳۵ روز بعد از کاشت (۲۰ اسفند) و در تاریخ کاشت اسفند ۱۱ روز بعد از کاشت در ۲۸ اسفندماه رخ داده است. سایر مراحل نموی نیز روند متفاوتی داشتند (جدول ۷).

مشابه با ماشک برگ‌پهن، در ماشک خزری نیز تعداد روز و درجه روز-رشد مورد نیاز برای تکمیل چرخه زندگی در تاریخ‌های مختلف با توجه به مرحله فنولوژیکی متفاوت بود (جدول ۸). در ماشک خزری میزان درجه-روز رشد و تعداد روز لازم برای مرحله سبز شدن در تاریخ‌های مختلف کاشت به‌ترتیب بین ۲۴ تا ۶۹ و ۹ تا ۸۳ روز متغیر بود. بیشترین درجه روز-رشد مورد نیاز (۹۲۷) برای تکمیل کلیه مراحل فنولوژیکی مربوط به تاریخ کاشت چهارم (۱۸ اسفند ماه) ماشک خزری بود. بیشترین تعداد روزهای مورد نیاز (۱۳۴ روز) مربوط به تاریخ کاشت اول (۲۴ آبان ماه) بود. نتایج بررسی مراحل فنولوژی ماشک خزری نشان داد که طول دوره غلاف‌دهی که مهم‌ترین نقش را در پراکنش و دوام این علف‌هرز دارد، بین ۱۹ تا ۲۰ روز به طول انجامید که تاریخ کاشت سوم و چهارم با میزان ۵۳۶ درجه-روز رشد، بیشترین مقدار را دریافت نمود. همانند ماشک برگ‌پهن در ماشک خزری نیز مرحله گل‌دهی در تاریخ کاشت سوم و چهارم با مرحله غلاف‌دهی در تاریخ کاشت اول و دوم هم‌پوشانی وجود داشت. در مرحله غلاف‌دهی نیز تاریخ کاشت سوم و چهارم هم‌پوشانی داشتند (جدول ۸).

نتایج این مطالعه نشان داد که کل چرخه زندگی در ماشک خزری در تاریخ کاشت اول در ۱۶ آذر که ۱۳۴ روز از سبز شدن آن گذشت با درجه - روز رشد ۳۹۰ انجام شد. در تاریخ کاشت دوم نیز در ۱۶ بهمن ماه سبز شدن به‌وقوع پیوست که ۸۱ روز بود و ۴۴۰ درجه-روز رشد دریافت کرد. طول چرخه فنولوژی در دو تاریخ کاشت سوم (شروع مرحله از ۱۸ اسفند) و چهارم (شروع مرحله از۲۰ اسفند) به‌ترتیب ۷۱ و ۷۷ روز بعد از سبز شدن و با درجه-روز رشد ۸۷۵ و ۹۲۷ به‌وقوع پیوست (جدول ۸ و ۹).

جدول ٦- درجه روز-رشد لازم برای تکمیل مراحل فنولوژیک مختلف ماشک برگ‌پهن استقرار یافته در تاریخ‌های مختلف کاشت

Table 6- Degree of growth days required to complete different phenological stages of *V. narbonensis* established in different planting dates

Phenological stages	First planting date		Second planting date		Third planting date		Fourth planting date	
	Duration of stage (day)	GDD	Duration of stage (day)	GDD	Duration of stage (day)	GDD	Duration of stage (day)	GDD
Emergence	75	35.9	35	77.1	19	94.05	29	164.65
Branching	6	25.3	8	52.6	9	49.85	19	120
Flowering	19	120	13	114.3	19	176.8	19	176.8
Podding	19	176.8	19	176.8	20	535.9	20	535.9
Total	119	358	75	420.8	67	856.6	87	997.35

جدول ۷- تاریخ تقویمی مراحل فنولوژیک مختلف ماشک برگ‌پهن استقرار یافته در تاریخ‌های مختلف کاشت

Table 7- Calendar date of different phenological stages *V. narbonensis* established in different planting dates

Phenological stages	First planting date		Second planting date		Third planting date		Fourth planting date	
	Beginning	End	Beginning	End	Beginning	End	Beginning	End
Emergence	2022.12.20	2023.3.4	2023.2.5	2023.3.11	2023.3.11	2023.3.29	2023.3.19	2023.4.16
Branching	2023.2.27	2023.3.4	2023.3.4	2023.3.11	2023.3.11	2023.3.19	2023.3.29	2023.4.16
Flowering	2023.3.29	2023.4.16	2023.4.16	2023.4.28	2023.4.28	2023.5.16	2023.4.28	2023.5.16
Podding	2023.4.28	2023.5.16	2023.4.28	2023.5.16	2023.5.16	2023.6.4	2023.5.16	2023.6.4

جدول ۸- درجه روز-رشد لازم برای تکمیل مراحل فنولوژیک مختلف ماشک خزری استقرار یافته در تاریخ‌های مختلف کاشت

Table 8- Degree of growth days required to complete different phenological stages of *V. hyrcanica* established on different planting dates

Phenological stages	First planting date		Second planting date		Third planting date		Fourth planting date	
	Duration of stage (day)	GDD	Duration of stage (day)	GDD	Duration of stage (day)	GDD	Duration of stage (day)	GDD
Emergence	83	24.1	28	33.6	13	68.8	9	49.85
Branching	13	68.8	21	114.9	19	94.05	29	164.65
Flowering	19	120	13	114.3	19	176.8	19	176.8
Podding	19	176.8	19	176.8	20	535.9	20	535.9
Total	134	389.7	81	439.6	71	875.55	77	927.2

جدول ۹- تاریخ تقویمی مراحل فنولوژیک مختلف ماشک خزری استقرار یافته در تاریخ‌های مختلف کاشت

Table 9- Calendar date of different phenological stages *V. hyrcanica* established in different planting dates

Phenological stages	First planting date		Second planting date		Third planting date		Fourth planting date	
	Beginning	End	Beginning	End	Beginning	End	Beginning	End
Emergence	2022.12.7	2023.2.27	2023.2.5	2023.3.4	2023.2.27	2023.3.11	2023.3.11	2023.3.19
Branching	2023.2.27	2023.3.11	2023.2.27	2023.3.19	2023.3.11	2023.3.29	2023.3.19	2023.4.16
Flowering	2023.3.29	2023.4.16	2023.4.16	2023.4.28	2023.4.28	2023.5.16	2023.4.28	2023.5.16
Podding	2023.4.28	2023.5.16	2023.4.28	2023.5.16	2023.5.16	2023.6.4	2023.5.16	2023.6.4

مراحل فنولوژی گندم بر مبنای درجه-روز رشد تجمعی

براساس مشاهدات انجام شده، جوانه‌زنی بذرهای گندم، در ۱۶ آذرماه شروع شد و نخستین برگ حقیقی گندم در مزرعه، در ۲۹ آذرماه (با کسب ۲۵۳ درجه-روز رشد) سر از خاک بیرون زد. مراحل

فنولوژی گندم بر حسب درجه–روز رشد در جدول ۱۰ ارائه شده است. بر این اساس، گندم طی ۲۲۵ روز از ظهور نخستین برگ تا مرحله رسیدگی با کسب ۲۰۷۲/۵ درجه–روز رشد به حیات خود ادامه می‌دهد. نتایج نشان داد که تعداد روز و درجه–روز رشد برای هر یک از مراحل فنولوژی گندم متفاوت است. طولانی‌ترین مراحل فنولوژی به‌ترتیب شامل، مرحله سبز شدن تا پنجه اول (۹۰ روز)، مراحل کشت تا سبز شدن (۳۶ روز) و اوایل گرده‌افشانی تا خمیری (۲۰ روز) می‌باشد. کوتاه‌ترین مرحله فنولوژی گندم، مرحله اولین پنجه تا چهارمین پنجه (۱۱ روز) بود. در این بررسی، نمو گندم از مرحله کاشت تا اول مرحله خوشه شکم با کسب ۱۰۶۴ درجه–روز رشد، تا اول مرحله گرده‌افشانی با دریافت ۱۳۳۶ درجه–روز رشد و تا ابتدای مرحله خمیری نرم با کسب ۱۷۰۹ درجه روز–رشد به انجام رسید.

همانند نتایج این مطالعه، سرحدی و همکاران (Sarhaddi *et al.*, 2018) گزارش کردند که گندم در ۱۸۸ روز، از ظهور نخستین برگ حقیقی (۹۵ درصد مزرعه در مرحله یک برگی) تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن پدانکل ۵۰ درصد از بوته‌ها) و با کسب ۲۳۹۷ درجه–روز رشد، چرخه زندگی خود را تکمیل کرد. طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین مرحله فنولوژی، به‌ترتیب شامل، مرحله پنجه‌زنی (۵۹ روز) و مرحله سر کشیدن سنبله گندم (۱۲ روز) بود. در پژوهش دیه‌جی و همکاران (Diaji *et al.*, 2016)، مرحله سبزشدن بذور گندم در مزرعه، ۱۸ روز پس از کاشت بود. گندم در مجموع، در طول دوره زندگی خود نیاز به حدود ۲۱۴۳ درجه روز–رشد داشت و جهت تأمین آن، واحدهای حرارتی ۲۱۹ روز تقویمی نیاز بود.

جدول ۱۰- درجه روز–رشد لازم برای تکمیل مراحل فنولوژیک مختلف گندم

Table 10- Degree of growth days required to complete different phenological stages of wheat

Phenological stages	Stage date: Beginning	Stage date: End	Duration of stage (day)	Sum duration (day after planting)	GDD	Total GDD
Planting to emergence	2022.11.15	2022.12.20	36	-	253.25	-
Emergence to one tiller	2022.12.20	2023.3.19	90	126	418.55	671.8
One tiller to fourth tiller	2023.3.19	2023.3.29	11	137	101.7	773.5
Fourth tiller to stem node production	2023.3.29	2023.4.16	19	156	111.5	885
Stem node production to spike production	2023.4.16	2023.4.28	13	169	179.3	1064.3
Spike production to anthesis	2023.4.28	2023.5.16	19	188	271.8	1336.1
Anthesis to grain dough stage	2023.5.16	2023.6.4	20	208	373	1709.1
Grain dough stage to ripening	2023.6.4	2023.6.20	17	225	363.4	2072.5

فنولوژی تطبیقی ماشک برگ‌پهن، ماشک خزری و گندم

نتایج بررسی فنولوژی تطبیقی ماشک برگ‌پهن و گندم در تاریخ کاشت ۲۴ آبان نشان داد که مرحله سبزشدن این علف‌هرز هم‌زمان با گندم (۲۹ آذرماه) آغاز شد. در ماشک برگ‌پهن، مرحله سبز شدن در هر چهار تاریخ کاشت متغیر بود و از مرحله یک برگی گندم آغاز و تا مرحله مشاهده اولین گره قابل لمس گندم پایان یافت. تولید شاخه فرعی در علف هرز ماشک برگ‌پهن از مرحله سه برگی گندم آغاز و با اولین گره قابل لمس گندم ادامه یافت. مرحله گل‌دهی ماشک برگ‌پهن همزمان با شروع چهارمین پنجه تا اول گرده‌افشانی گندم اتفاق افتاد. ظهور غلاف ماشک نیز همزمان با خوشه شکم و پایان مرحله خمیری نرم گندم انجام شد.

بررسی فنولوژی تطبیقی ماشک خزری و گندم نیز نشان داد که مرحله سبزشدن این علف‌هرز، ۱۴ روز زودتر از گندم (۱۶ آذرماه در مقابل ۲۹ آذرماه) آغاز شد. به‌طور مشابه، هر چهار مرحله فنولوژی تطبیقی در ماشک خزری با گندم در تاریخ‌های مختلف کاشت متغیر بود. به‌طور کلی، مرحله سبز شدن از مرحله جوانه‌زنی گندم آغاز و تا مرحله آغاز پنجه‌زنی گندم پایان یافت. تولید شاخه فرعی در علف هرز ماشک خزری از مرحله سه برگی گندم آغاز و با اولین گره قابل لمس گندم ادامه یافت. مرحله گل‌دهی ماشک خزری هم‌زمان با شروع چهارمین پنجه تا اول گرده‌افشانی گندم اتفاق افتاد. ظهور غلاف ماشک نیز هم‌زمان با خوشه شکم و پایان مرحله خمیری نرم گندم انجام شد. در مجموع، نتایج این بررسی نشان داد که تکمیل چرخه زندگی ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری ۱۶ روز زودتر از گندم بود و اتمام فرآیند رسیدگی آن، با رسیدگی گندم هم‌زمان نبود.

به‌طور مشابه، دیه‌جی و همکاران (Diaji *et al.*, 2016) گزارش کردند که علف هرز جودره مراحل فنولوژی خود را سریع‌تر از گندم به پایان رساند، به‌طوری‌که جهت تکمیل دوره زندگی جودره به ۱۸۳۹/۱ درجه–روز رشد و ۲۰۴ روز نیاز بود. در مرحله رسیدگی بذور گندم، بذور جودره به‌طور کامل به‌استثناء دو بذر انتهایی سنبلک ریزش نمودند. سرحدی و همکاران (Sarhaddi *et al.*, 2018) نیز بیان نمودند که ارشته خطایی، طی ۲۰۲ روز و با کسب ۲۶۷۳ درجه–روز رشد، از مرحله سبز شدن تا رسیدگی و آزاد شدن بذر، به چرخه زندگی

خود ادامه داد و مراحل نمو آن در انطباق کامل با مراحل نمو گندم بود.

ازآنجاکه تعین بهترین زمان مهار علف‌های هرز که جایگاه ویژه‌ای در کارآمدی عملیات مهار و کاهش خسارت آن‌ها روی گیاهان زراعی دارد، برنامه‌های مدیریت علفهای هرز باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که مانع از تداخل علفهای هرز در دوره بحرانی گیاه زراعی شوند (Rostampour *et al*., 2018). مهار علفهای هرز تازه رویش یافته، ممکن است به کاهش رقابت در طی مرحله حساس استقرار گیاه زراعی کمک کند، امّا گیاهچه‌های دیر رویش یافته ممکن است از عملیات مهار فرار کنند و با تولید بذر موجب افزایش بانک بذر خاک شوند (Khakzad *et al*., 2020).

براساس اطلاعات مربوط به مراحل فنولوژی گندم و ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری در چهار تاریخ کاشت مورد مطالعه، زمان کاربرد علف‌کش‌های پس‌رویشی می‌تواند با توجه به تاریخ کاشت متغیر باشد. احتمالاً بهترین زمان مبارزه با علف‌های هرز ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری مرحله تولید شاخه فرعی است، زیرا با توجه به نتایج به‌دست آمده، این مرحله مصادف با تحمل بیشتر گندم به علف‌کش‌ها می‌باشد. با توجه به نتایج جدول ۷، در تاریخ کاشت اول وقوع این مرحله از رشد ماشک برگ‌پهن برابر با مرحله سه تا چهار برگی گندم بود. در تاریخ کاشت دوم، همزمان با مرحله چهار تا شش برگی گندم رخ داد. در تاریخ کاشت سوم در مرحله شش برگی تا شروع پنجه‌زنی گندم اتفاق افتاد. در تاریخ کشت چهارم، این مرحله با ظهور چهارمین پنجه تا مشاهده دو گره قابل لمس بود. همچنین براساس جدول ۹، در تاریخ کاشت اول، مرحله تولید شاخه فرعی ماشک خزری در مرحله سه تا شش برگی گندم به‌وقوع پیوست. تاریخ کاشت دوم در مرحله سه برگی تا شروع پنجه‌زنی گندم، تاریخ کاشت سوم در مرحله شش برگی تا ظهور چهارمین پنجه و تاریخ کاشت چهارم در مرحله شروع پنجه زنی تا دو گره قابل لمس گندم بود.

براساس جدول ۷ و ۹ نتایج نشان داد که مرحله پنجه‌زنی گندم مرحله مناسب مصرف علف‌کش پهن‌برگ‌کش است. این مرحله در تاریخ کاشت اول و دوم برابر با اواخر تولید شاخه فرعی و اوایل گل‌دهی ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری است. بنابراین با توجه به اینکه گونه‌های علف هرز به اندازه زیاد رشد کرده‌اند و مناسب کنترل نیست و علف‌کش‌ها کارآیی پایینی در مهار آن‌ها دارند، بهتر است برای مهار بهتر علفهای هرز در مرحله سه تا شش برگی گندم از علف‌کش استفاده شود. امّا در تاریخ کاشت سوم و چهارم، مرحله فنولوژی شروع پنجه‌زنی تا ظهور اولین گره قابل لمس در گندم، بهترین زمان برای مبارزه با این علفهای هرز است. در این دو تاریخ کشت، علفهای هرز ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری به اندازه کافی رشد کرده‌اند و سطح برگ آن‌ها توانایی دریافت مقدار مناسب علف‌کش را دارد و کاربرد علف‌کش اثر خوبی در مهار آن‌ها دارد.

گزارش شده است که مصرف علف‌کش‌ها در زمان پنجه‌زنی گندم، کارآیی آن‌ها را نسبت به مرحله ساقه رفتن افزایش می‌دهد (Ebadati *et al*., 2020). سعدی آل کثیر و همکاران (Al-Saadi Kasir *et al*., 2014) نیز بیان کردند که کاربرد علف‌کش‌ها در ابتدای پنجه‌زنی گندم نتایج مطلوب‌تری در مقایسه با زمان کاربرد آن‌ها در ابتدای ساقه رفتن داشت. مصرف علف‌کش‌ها در مرحله پنجه‌زنی، میانگین عملکرد دانه را نسبت به تیمار ساقه رفتن ۱۰ درصد افزایش داد.

نتیجه‌گیری

نتایج کلی این مطالعه نشان داد که تأخیر در رویش ماشک (به‌خصوص ۱۸ اسفند) به‌نفع گیاه زراعی گندم است، به عبارتی با استقرار دیرتر ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری (در تاریخ ۱۸ اسفند)، میزان رقابت و تولید بذر آن نسبت به سایر تاریخ‌های رویش کمتر بود، بنابراین با تأخیر در رویش ماشک و استقرار دیرتر علفهای هرز با تغییر تاریخ کاشت گندم و استفاده از علف‌کش‌های پیش رویشی می‌توان مشکلات مربوط به این دو گونه علف هرز را در مزارع کاهش داد. از سوی دیگر، بذر ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری دارای خواب بودند که خراش‌دهی باعث شکست خواب و رویش سریع‌تر علفهای هرز شد که این مسئله باعث خسارت به محصول زراعی شد. همان طور که ذکر شد، عملیات خاک‌ورزی موجب ایجاد خراش روی بذر، رفع خواب و رویش سریع‌تر این گونه‌ها می‌شود، بنابراین با رفتن به‌سوی گزینه‌های کم خاک‌ورزی و یا بی‌خاک‌ورزی، ممکن است تا حد زیادی خسارت این گونه‌ها را کاهش داد. نتایج بررسی رویش ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری در بین ردیف‌های گندم نیز بیانگر تأثیر منفی رویش علف‌های هرز در بین محصول زراعی به‌دلیل استفاده بهتر از منابع غذایی و رقابت بین گونه‌ای شدید برای کسب نور و فضای بیشتر برای رشد است. به این ترتیب، چرخه زندگی ماشک برگ‌پهن و ماشک خزری ۱۶ روز پیش از گندم به پایان رسید و فرآیند رسیدگی آن‌ها با رسیدگی گندم همزمان نبود. از سوی دیگر، با توجه به عدم حساسیت گندم به علف‌کش‌ها در مرحله سه تا شش برگی گندم که مصادف با تاریخ رویش اول و دوم گونه‌های ماشک و همچنین شروع پنجه‌زنی تا ظهور اولین گره قابل لمس در گندم مصادف با تاریخ رویش سوم و چهارم ماشک بود، بهترین زمان استفاده از علف‌کش برای مهار مناسب این دو گونه علف هرز خواهد بود.

References

1. Abbasi, R., & Namdari, M. (2022). Study of soybean (*Glycine max* (l) merrill) and chia (*Salvia hispanica* l.) competition in the different intercropping ratios based on replacement method. *Plant Productions***,** *45*(1), 1-14. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22055/ppd.2022.37720.1986
2. Abdollahpour, K., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Khorramdel, S. (2020). Effect of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and black seed (*Nigella sativa* L.) additive intercropping on yield and yield components. *Iranian Journal of Field Crops Research***,** *18*(1), 31-47. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/GSC.V18I1.71335
3. Adeli, T., Tahmasebi, I., Babaei, S., & Sadeghpour, A. (2023a). Assessing allelopathic potential: *Boreava orientalis* impact on *Triticum aestivum*. *Journal of Crop Protection*, *12*(4), 389-401. http://jcp.modares.ac.ir/article-3-70747-en.html
4. Adeli, T., Tahmasebi, I., & Babaei, S. (2023b). Response of waxy leaved mustard weed (*Boreava orientalis* Jaub. & Spach.) to different herbicides in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Weed Science*, *19*(2), 1-12. https://doi.org/10.22034/IJWS.2023.361442.1432
5. Ahmadi, S., Nosratti, I., Bromandan, P., & Bagheri, A. (2024). Phenological development, growth, and fecundity of *Vicia narbonensis* and *Vicia hyrcanica* under rain-fed conditions. *Journal of Arid Environments*, *220*, 105121. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105121
6. Ahmed, M.A., Abd-Elsaber, A., & Abdelsatar, M.A. (2020). Effect of sowing dates on yield and yield-attributes of some sunflower hybrids. *Agricultura*, *113*(1-2), 131-144. https://doi.org/10.15835/agrisp.v113i1-2.13678
7. Al-Shakarchy, W.Y.R. (2021). Effect of planting dates on nature inheritance of some growth traits and yield of four varieties in faba bean (*Vicia faba*). *Research on Crops*, *22*(2), 265-272. https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.067
8. Amjadi, H., Heidari, G., Babaei, S., & Sharifi, Z. (2025). Evaluation of yield, yield components and some quality traits of tuber of potato (*Solanum tuberosum* L.) under different weed and nutritional management practices. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1495541. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1495541
9. Asaduzzaman, M., Wu, H., Koetz, E., Hopwood, M., & Shepherd, A. (2022). Phenology and population differentiation in reproductive plasticity in feathertop rhodes grass (*Chloris virgata* sw.). *Agronomy*, *12*(3), 736. https://doi.org/10.3390/agronomy12030736
10. Babaei, S., Alizadeh, H., Baghestani, M.A., & Naghavi, M.R. (2014). Effect of some adjuvants on sulfosulfuron efficacy in *Hordeum spontaneum* control in wheat fields. *Iranian Journal of Weed Science*, *10*(2), 132-121. (In Persian with English abstract)
11. Babaei, S., Mahmoudi, G., & Mohammadi, N. (2021). Evaluation of the effect of chemical methods, intercropping and mulching on weed control of Field Pumpkin (*Cucurbita Pepo*). *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 10(2), 23-32. https://doi.org/10.22034/arpp.2021.12837
12. Babaei, S., Lahooni, S., Mousavi, S.K., Tahmasebi, I., Sabeti, P., & Abdulahi, A. (2022). Efficiency of herbicides for weed control in chickpea and effect of their residues on wheat growth. *Agronomía Colombiana*, *40*(2), 249-257. https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n2.101580
13. Bodsworth, S., & Bewley, J.D. (1981). Osmotic priming of seeds of crop species with polyethylene glycol as a means of enhancing early and synchronous germination at cool temperature. *Canadian Journal of Botany*, *59*, 672-676. https://doi.org/10.1139/b81-094
14. Choudhary, A.K., Yadav, D.S., Sood, P., Rahi, S., Arya, K., Thakur, S.K., Lal, R., Kumar, S., Sharma, J., Dass, A., Babu, S., Bana, R.S., Rana, D.S., Kumar, A., Rajpoot, S.K., Gupta, G., Kumar, A., Harish, M.N., Noorzai, U., Rajanna, D.G.A., Halim Khan, M., Dua, V.K., & Singh, R. (2021). Post-emergence herbicides for effective weed management, enhanced wheat productivity, profitability and quality in north-western Himalayas: A ‘participatory mode’ technology development and dissemination. *Sustainability*, *13*(10), 5425. https://doi.org/10.3390/su13105425
15. Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Javanmard, A., & Arzheh, J. (2017). Forage production in different intercropping patterns of sorghum (*Sorghum Bicolor* L.) with hairy vetch (*Vicia Villosa*) in nitrogen fertilizer levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production***,** *27*(1), 63-83. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.24764310.1396.27.1.5.5
16. Datta, S., Sarkar, R.K., & Rai, U. (2023). Effect of sowing dates on growth, yield and quality components of bush type vegetable french bean varieties. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, *14*(4), 611-616. https://doi.org/10.23910/1.2023.3269
17. Diaji, A., Baghestani Mibodi, M.A., Samedani, B., & Zand, E. (2016). Comparative phenology of wild barely in wheat field from germination until end of dormancy stage. *Iranian Journal of Weed Science*, *11*(2), 145-157. (In Persian with English abstract)
18. Ebadati, A., Gholamalipour, A.E., Avasaji, Z., & Rahemi, K.A. (2020). Effect of application time of dual purpose herbicides and mixing herbicides on weeds control and wheat yield. *Plant Ecophysiology*, 11(39), 192-209. (In Persian with English abstract). 20.1001.1.20085958.1398.11.39.16.2

19. Esposito, M., Cirillo, V., De Vita, P., Cozzolino, E., & Maggio, A. (2023). Soil nutrition management may preserve non-detrimental weed communities in rainfed winter wheat (*T. aestivum*). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *355*, 108596. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108596
20. Fakhr, S.K.M., Fotouhi, F., Khaniani, B.H., Sadeghi, M., & Zadeh, S.A.F. (2020). Effect of planting date and density on yield and yield components of bean genotypes (*Vicia faba* L.). *Legume Research-An International Journal*, 43(5), 672-677. https://doi.org/10.18805/D-207
21. Habte, A., Kassa, M., & Sisay, A. (2016). Maize (*Zea mays* L.)-common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping response to population density of component crop in Wolaita Zone Southern Ethiopia. *Journal of Natural Sciences Research*, *6*(15), 69-74.
22. Harati, E., Moosavi, S.G., Nakhaei, F., & Seghatoleslami, M.J. (2023). Effect of sowing date and nitrogen rate on morphological traits, seed production and essential oil of *Pulicaria gnaphalodes* (Vent.) Boiss. *Journal of Medicinal plants and By-product*, *12*(3), 233-242. https://doi.org/10.22092/JMPB.2022.354919.1373
23. Hendriks, P.W., Gurusinghe, S., Ryan, P.R., Rebetzke, G.J., & Weston, L.A. (2022). Competitiveness of early vigour wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes is established at early growth stages. *Agronomy*, *12*(2), 377. https://doi.org/10.3390/agronomy12020377
24. Ibrahim, H.S., & Hawramee, O.K.A. (2019). Impact of acid scarification and cold mist stratification on enhancing seed germination and seedling early growth of *Albizia lebbeck* (L.) Benth. *Mesopotamia Journal of Agriculture*, *47*(2), 1-13. https://doi.org/10.33899/magrj.2019.163175
25. İleri, O., & Koç, A. (2021). Performances of the promising narbon vetch genotypes in central Anatolia conditions. *2nd International Congress of the Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 112-115.
26. Iravani Panah, H., Parsa Motlagh, B., Soleimani, A., & Mazaheri Tirani, M. (2022). Effect of different sowing dates on yield and some physiological traits of three chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science***,** *53*(2), 1-16. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2021.321358.654817
27. Javaid Akhter, M., Melander, B., Mathiassen, S.K., Labouriau, R., Vendelbo Nielsen, S., & Kudsk, P. (2020). Growth and phenology of *Vulpia myuros* in comparison with *Apera spica-venti*, *Alopecurus myosuroides* and *Lolium multiflorum* in monoculture and in winter wheat. *Plants*, *9*(11), 1495. https://doi.org/10.3390/plants9111495
28. Kahraryan, B., & Fatemi, R. (2023). The effect of intercropping Additive on yield and yield components of spring barley and vetch. *Iranian Journal of Field Crop Science***,** *54*(4), 35-46. (In Persian with English abstract). http//doi.org/10.22059/ijfcs.2023.349393.654945
29. Kahraryan, B., Farahvash, F., Mohammadi, S., Mirshekari, B., & Rashidi, V. (2019). Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and vetch (*Vicia villosa* Roth) intercropping. *Journal of Crop Ecophysiology (Agriculture Science)*, *12*(4), 651-670. (In Persian with English abstract)
30. Karami, A., Nosratti, I., Mohammadi, G., Bagheri, A., & Babaei, S. (2023). Investigating the diversity and flora of weeds and the distribution of Caspian vetch (*Vicia hyrcanica*) in comparison to other weeds in Kermanshah wheat and chickpea fields. *Iranian Plant Protection Research*, *37*(2). (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.2023.73615.1110
31. Khakzad, R., Alebrahim, M.T., & Oveisi, M. (2020). Investigating the effect of management operations on the time of spotted spurge (*Euphorbia maculata*) emergence in Soybean. *Iranian Journal of Weed Science***,** *16*(2), 27-43. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/IJWS.2020.1602.1340
32. Kir, H. (2021). Determining the proper sowing time for the mixture of Hungarian vetch and triticale under continental climate conditions. *Ciência Rural*, 52(2), p.e20201115. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20201115
33. Kokten, K., Uzun, S., Kaplan, M., & Seydosoglu, S. (2022). Fatty acid composition and mineral elements of narbon vetch lines. *Chemistry of Natural Compounds*, *58*(6), 1122-1124. https://doi.org/10.1007/s10600-022-03881-w
34. Kumar, A., Singh, S., Chand, H.B., & Kumar, R. (2022). Phenological documentation of *Lantana camara* L. using modified BBCH scale in relation to climatic variables. *Plant Science Today*, *9*(2), 376-385. https://doi.org/10.14719/pst.1481
35. Lorestani, E., Babaei, S., Tahmasebi, I. & Sabeti, P. (2023). Assessment of tribenuron methyl soil residual on crops germination properties. *Gesunde Pflanzen*, 75(4), 765-773. https://doi.org/10.1007/s10343-022-00781-5
36. Mahdipour-Afra, M., AghaAlikhani, M., Abbasi, S., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2021). Growth, yield and quality of two guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) ecotypes affected by sowing date and planting density in a semi-arid area. *Plos One*, *16*(9), e0257692. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257692
37. Merfield, C.N. (2022). Redefining weeds for the post-herbicide era. *Weed Research*, *62*(4), 263-267. https://doi.org/10.1111/wre.12544
38. Mirzaie, A., Mohammadi, K., Parvini, S., Khoramivafa, M., & Saeidi, M. (2020). Yield quantity and quality of two linseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars as affected by sowing date. *Industrial Crops and Products*, *158*, 112947. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112947

39. Mohamed, Z.M. (2022). Effect of different planting dates on the growth and yield of green broad beans (*Vicia faba* L.). *British Journal of Global Ecology and Sustainable Development*, *6*, 48-54.
40. Mojtabaie Zamani, M., & Norouzi, S.H. (2017). Evaluation of different intercropping patterns of barley (*Hordeum vulgare* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) through competitive and economic indices. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, *7*(3), 145-158. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/jcpp.7.3.145
41. Moradi, M., Babaei, S., Tahmasebi, I., & Nosratti, I. (2023). Assessing resistance to Clodinafop-propargyl herbicide in wild oat *Avena ludoviciana* populations in wheat fields of some western and southwestern regions of Iran. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, *12*(4), 461-473. https://doi.org/10.22034/ARPP.2023.16898
42. Muhammed, S.R., & Karim, S.F. (2021). The effect of harvesting stages and locations on seed yield and its components of some narbon vetch (*Vicia narbonensis*) lines under rainfed condition of sulaimani governorate-Iraq. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*, *33*(s1);143-159.
43. Naghib-Alsadati, M., Babaei, S., Tahmasebi, I., & Kiani, H. (2020). Evaluation of airborne dust effect on the efficiency of Atlantis OD, clodinafop propargyl and 2,4-D + MCPA herbicides on weed control in wheat. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *50*(4), 1-11. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2019.278717.654599
44. Necajeva, J., Royo-Esnal, A., Loddo, D., Jensen, P., Taab, A., Synowiec, A., Uludag, A., Uremis, I., Murdoch, A., Bochenek, A., Onofri, A., & Torresen, K. (2022). Phenological development of barnyard grass plants originating from different geographical locations. *Agronomy Journal*, *114*(6), 3407-3419. https://doi.org/10.1002/agj2.21219
45. Neyestani, H., Abbasdokht, H., & Gholami, A. (2023). The effect of nitrogen application on some quantitative and qualitative characteristics of barley mixed with vetch. Plant Productions, 46(2), 171-183. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22055/ppd.2023.42974.2080
46. 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
47. Nourmohammadi, K., Kartoolinejad, D., Naghdi, R., & Baskin, C.C. (2019). Effects of dormancy-breaking methods on germination of the water-impermeable seeds of *Gleditsia caspica* (Fabaceae) and seedling growth. *Folia Oecologica*, *46*(2). https://doi.org/10.2478/foecol-2019-0014
48. Oskoii, F.J., Nasrollahzadeh, S., Shakiba, M.R., & Nasab, A.D.M. (2015). Effect of different intercropping patterns on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *In Biological Forum*, *7*(2), p. 854.
49. Piskackova, T.A.R., Reberg-Horton, C., Richardson, R.J., Jennings, K.M., & Leon, R.G. (2020). Integrating emergence and phenology models to determine windows of action for weed control: A case study using *Senna obtusifolia*. *Field Crops Research*, *258*, 107959. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107959
50. Rostampour, M.F., Moosavi, S.G., & Shoushtari, M.K. (2018). Determination of the critical weed control periods of okra (*Abelmuschus esculentus* L.). *Journal of Crop Ecophysiology (Agriculture Science)*, *48* (4), 687-702. (In Persian with English abstract)
51. Saadi Al-Kasir, F., Modhej, A., & Farhoudi, R. (2014). Brief report (efficiency of doual-purpose herbicides application at different stages on weed control and grain yield of wheat under shoushtar conditions. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *27*(4), 509-512. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JPP.V27I4.29915
52. Saed-Moucheshi, A., Babaei, S., & Ansarshourijeh, F. (2024). Innovative multi-trial breeding and genotype screening in triticale (x Triticosecale Wittmack) for enhanced stability under drought stress. *Scientific Reports*, 14(1), 28273. https://doi.org/10.1038/s41598-024-79615-5
53. Sarhaddi, M., Rastgoo, M., Izadi-darbandi, E., & Ghanbari, A. (2018). Comparative phenology of lepyrodiclis (*Lepyrodiclis holosteoides* Fenzl.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) to determine the best herbicide-sensitive growth stage. *Iranian Journal of Weed Science*, *14*(2), 43-60. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/IJWS.2019.121566.1250
54. Shahbazi, M., Khodaei Joghan, A., Moradi Telavat, M.R., & Moshatati, A. (2022). Morphological and quantitative yield response of peppermint and guar to simultaneous and relay intercropping ratios. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(2), 143-154. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2021.313800.654774
55. Sharifi Kaliani, F., Babaei, S., & ZafarSohrabpour, Y. (2021). Study of the effects of dusts on the morphological and physiological traits of some crops. *Journal of Plant Production Research*, *28*(3), 205-220. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/JOPP.2021.18782.2768
56. Sharifi Kalyani, F., Babaei, S., Zafarsohrabpour, Y., Nosratti, I., Gage, K., & Sadeghpour, A. (2024). Investigating the impacts of airborne dust on herbicide performance on *Amaranthus retroflexus*. *Scientific Reports*, *14*(1), 3785. https://doi.org/10.1038/s41598-024-54134-5
57. Sheoran, V., Kumar, M., Sharma, J.R., Gaur, R.K., & Saini, H. (2019). Effect of scarification treatments on growth parameters of ber seedling. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(1), 658-661.

58. Tahmasebi, B. K., Zand, E., Yousefi, A., Babaei, S., & Sadeghpour, A. (2024). Surveillance and mapping of tribenuron-methyl-resistant weeds in wheat fields. *Scientific Reports*, 14(1), 28626. https://doi.org/10.1038/s41598-024-75308-1

59. Xu, K., Shu, L., Xie, Q., Song, M., Zhu, Y., Cao, W., & Ni, J. (2023). Precision weed detection in wheat fields for agriculture 4.0: A survey of enabling technologies, methods, and research challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, *212*, 108106. https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108106

60. Yusuf, M., Kumar, S., Dhaka, A.K., Singh, B., & Bhuker, A. (2019). Effect of sowing dates and varieties on yield and quality performance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Science Digest-A Research Journal*, *39*(4), 306-310. https://doi.org/10.18805/ag.D-4977

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

62. Zhao, Z., Han, L., Li, M., Sheng, Y., Xie, M., Wu, Q., & Zhang, Y. (2024). Weed control performance of different sowing modes in organic wheat production. *Crop Protection*, *175*, 106473. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106473

Contents

Iranian Plant Protection Research

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol . 38 No. 4 2025

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

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

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

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

انجمن قارچ شناسی ایران
2010 ۱۳۸۹

Vol.38 No.4
2025

Contents