Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)

49(3), Autumn, 2026

10.22055/ppr.2026.52358.1892

Evaluation of the efficacy of novel aphicides against the Lettuce Aphid, *Nasonovia ribisnigri* Mosley (Hemiptera: Aphididae), in lettuce fields of Golestan Province, Iran

M. Sharifi*[1], A. Sheikhigarjan[2], D. Mansouri[3], K. Ghaderi[1]

1. ***Corresponding Author**: Plant Protection Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran (mahboobehsharifi67@yahoo.com)
2. Department of Agricultural Entomology, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
3. Department of Horticulture and Plant Medicine, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 10 June 2026 Revised: 6 September 2026 Accepted: 29 September 2026

Abstract

Background and Objectives

The lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Mosley), is recognized as one of the most destructive insect pests of lettuce in major production regions worldwide. This species causes direct damage through continuous phloem feeding, resulting in reduced plant vigor, foliar deformation, and significant deterioration of marketable quality. Chemical control remains a cornerstone of lettuce aphid management programs; however, the intensive and repeated use of insecticides with similar modes of action has raised concerns regarding resistance evolution, reduced field efficacy, and the long-term sustainability of aphid management strategies. Consequently, the identification and evaluation of insecticides with novel modes of action have become increasingly important for insecticide resistance management (IRM) programs and may also contribute to integrated pest management (IPM) strategies. Dimpropyridaz is a recently introduced carboxamide insecticide and is currently the sole registered member of IRAC Group 36. Unlike conventional aphicides, this compound disrupts the function of insect chordotonal organs through a unique mode of action that is distinct from all other registered insecticide classes. Previous studies have demonstrated its systemic activity and effective translocation within plant vascular tissues, resulting in substantial efficacy against a broad range of sap-feeding pests, including aphids, leafhoppers, and whiteflies. Therefore, the present study was conducted to evaluate the efficacy of dimpropyridaz (Efficon® 120 SL) compared with spirotetramat (Movento® 10% SC) and flonicamid (Teppeki® 50% WG) against *N. ribisnigri* in commercial lettuce fields of Golestan Province, Iran.

Materials and Methods

Field experiments were conducted during the 2025 growing season in three commercial lettuce fields located in the eastern, central, and western regions of Golestan Province, Iran. Each field was managed according to standard commercial production practices, and treatments were applied at the rosette stage when aphid populations were actively colonizing inner leaves. The experiment was arranged as a randomized complete block design (RCBD) with three replications per location. Six treatments were evaluated: dimpropyridaz (Efficon® 120 SL) at

0.50 and 0.75 mL L^{-1}, spirotetramat (Movento® 10% SC) at 0.50 and 0.75 mL L^{-1}, flonicamid (Teppeki® 50% WG) at 0.50 g L^{-1}, and an untreated control.
Aphid populations were assessed on five randomly selected plants per plot by counting the number of *N. ribisnigri* individuals per plant. Counts were performed before treatment application (pre-treatment baseline) and at 3, 7, and 14 days after treatment (DAT). Data were analyzed using a repeated-measures linear mixed-effects model (LMM) fitted with the function in the *nlme* package in R software (v4.4.1). Treatment, sampling date, and their interaction were considered fixed effects, while plot identity was included as a random factor to account for repeated measurements within experimental units. Estimated marginal means (EMMs) were calculated, and pairwise comparisons were performed using Sidak-adjusted contrasts to control the family-wise error rate. Biological efficacy was additionally calculated using the Henderson–Tilton formula.

Results

The linear mixed-effects model indicated significant effects of treatment ($P < 0.05$), sampling date ($P < 0.05$), and the treatment × sampling date interaction ($P < 0.05$) on *N. ribisnigri* density. All insecticide treatments significantly reduced aphid populations compared with the untreated control throughout the evaluation period. Aphid densities declined markedly within three days after application in all insecticide-treated plots and remained substantially suppressed until the final assessment at 14 days after treatment (DAT). Pairwise comparisons among insecticide treatments revealed no statistically significant differences, indicating comparable aphicide performance among all evaluated products and rates. Nevertheless, dimpropyridaz at 0.75 mL L^{-1} consistently exhibited the lowest mean adjusted aphid density across all sampling dates. Henderson–Tilton efficacy calculations further showed that this treatment achieved the highest corrected efficacy (97.33 ± 1.88%) among the evaluated insecticides. The untreated control maintained significantly higher aphid densities than all insecticide-treated plots throughout the study period.

Discussion

The results demonstrate that dimpropyridaz provided effective and sustained suppression of *N. ribisnigri* under commercial field conditions, showing comparable performance with the established aphicides spirotetramat and flonicamid. Although no statistically significant differences in efficacy were detected among insecticide treatments, dimpropyridaz at 0.75 mL L^{-1} showed the highest numerical efficacy across all evaluation intervals, suggesting that studies with greater statistical power may be useful to further confirm this trend. To the best of our knowledge, this study represents the first field-based evaluation of dimpropyridaz against lettuce aphid in Iran. Considering its distinct mode of action within IRAC Group 36 and the lack of reported cross-resistance with conventional aphicide classes, dimpropyridaz may provide a valuable new option for diversifying chemical control programs and supporting sustainable IRM strategies in commercial lettuce production systems.

Keywords: Pesticides, Nasonovia ribisnigri, Lettuce, linear mixed-effects model (LMM), Henderson-Tilton equation

Associate editor: M. Ziaee (Prof.)

Citation: Sharifi, M., Sheikhigarjan, A., Mansouri, D., & Ghaderi, K. (2026). Evaluation of the efficacy of novel aphicides against the Lettuce Aphid, *Nasonovia ribisnigri* Mosley (Hemiptera: Aphididae), in lettuce fields of Golestan Province, Iran. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 49*(3), 1-16. https://doi.org/ 10.22055/ppr.2026.52358.1892

گیاه‌پزشکی (مجله علمی کشاورزی)
جلد ۴۹، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵

10.22055/ppr.2026.52358.1892

ارزیابی کارایی شته‌کش‌های نوین علیه *Nasonovia ribisnigri* Mosley (Hemiptera:Aphididae) در مزارع کاهوی استان گلستان

محبوبه شریفی[1*]، عزیز شیخی گرجان[2]، داریوش منصوری[3]، کورش قادری [1]

۱- * **نویسنده مسوول**: بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۲- بخش حشره شناسی، موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۳- گروه باغبانی و گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۰۷

چکیده

شته کاهو *Nasonovia ribisnigri* (Mosley, 1841)، یکی از مهم‌ترین آفات کاهو است که با تغذیه مستقیم از شیره گیاهی و آلودگی محصول، موجب کاهش کیفیت و بازار پسندی آن می‌شود. این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی چند شته‌کش نوین در کنترل این آفت در شرایط مزرعه‌ای استان گلستان انجام شد. آزمایش در سال ۱۴۰۴ در سه مزرعه‌ی کاهو در استان گلستان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل دیم پروپیریداز (۰/۵۰ و ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر)، اسپیروتترامات (۰/۵۰ و ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر)، فلونیکامید (۰/۵۰ گرم در لیتر) و شاهد (آب) بودند. داده‌ها با استفاده از مدل خطی آمیخته (LMM) مبتنی بر اندازه‌گیری‌های تکراری تجزیه شدند و درصد کارایی اصلاح‌شده هر تیمار با استفاده از معادله هندرسون-تیلتون محاسبه گردید. نتایج مدل خطی آمیخته نشان داد که اثر تیمار، زمان ارزیابی و اثر متقابل تیمار× زمان بر تراکم شته معنی‌دار بود. تمامی حشره‌کش‌های مورد بررسی موجب کاهش معنی‌دار تعداد کل شته‌ها، شامل پوره‌ها و افراد بالغ، نسبت به شاهد شدند. در تمامی زمان‌های پس از محلول‌پاشی، تراکم شته در تیمارهای حشره کش به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود، در حالی که اختلاف آماری معنی‌داری میان حشره‌کش‌ها مشاهده نشد. با این وجود، تیمارهای حاوی دیم‌پروپیریداز با غلظت ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر، در ۷ روز پس از محلول‌پاشی، ۱/۸۸ ± ۹۷/۳۳ درصد تلفات ایجاد کردند و در میان مؤثرترین تیمارها قرار گرفتند. این ترکیب که برای نخستین بار درایران علیه شته کاهو ارزیابی شد، کارایی قابل مقایسه‌ای با شته کش‌های متداول داشت. در مجموع، یافته‌ها نشان داد که دیم‌پروپیریداز با نحوه اثر متفاوت می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مؤثر در برنامه‌های مدیریت شیمیایی و مدیریت مقاومت شته کاهو مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: آفت‌کش‌ها، شته *Nasonovia ribisnigri*، کاهو، مدل خطی آمیخته، هندرسون-تیلتون

دبیر تخصصی: دکتر معصومه ضیائی

مقدمه

کاهو (*Lactuca sativa* L.) یکی از مهم‌ترین سبزی‌های برگی در جهان محسوب می‌شود و به‌دلیل ارزش غذایی بالا، مصرف گسترده و اهمیت اقتصادی قابل توجه، در بسیاری از مناطق کشاورزی دنیا کشت می‌شود (Barrière et al., 2014; Shi et al., 2022). بر اساس آخرین آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد فائو، سطح زیر کشت جهانی کاهو و کاسنی در سال ۲۰۲۴ حدود ۱/۲۹ میلیون هکتار و میزان تولید آن حدود ۲۹ میلیون تن بوده است. در همین سال، سطح زیر کشت این محصول در ایران ۱۴/۵۲۷ هکتار و میزان تولید آن، ۴۳۴/۸۵۲ تن گزارش شده است (FAO, 2025). در ایران نیز کاهو از جمله محصولات مهم زراعی و سبزی‌های پر مصرف به‌شمار می‌رود (Aghabeigi et al., 2017) و استان گلستان یکی از مناطق مهم تولید این محصول در شمال کشور محسوب می‌شود. با این‌حال، تولید پایدار کاهو با چالش‌های متعددی مواجه است که در میان آن‌ها خسارت ناشی از آفات مکنده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شته‌ها (Aphididae) یکی از گروه‌های مهم حشرات آفت با بیش از ۴۵۰ گونه شناخته شده هستند که خسارت قابل توجهی به محصولات کشاورزی و سیستم‌های زراعی عمده در سطح جهان وارد می‌کنند (Garrett et al., 2024; Siegwart et al., 2024). شته کاهو، *Nasonovia* Mosley (Hemiptera: Aphididae) *ribisnigri*، یکی از مهم‌ترین آفات کاهو در بسیاری از مناطق تولیدکننده‌ی این محصول در جهان به‌شمار می‌رود (Shrestha et al., 2014; Cantó-Tejero et al., 2022). این آفت با تغذیه مستقیم از شیره‌ی گیاهی موجب کاهش رشد، ضعف عمومی گیاه، تغییر شکل برگ‌ها و افت کیفیت بازارپسندی محصول می‌شود. علاوه بر خسارت مستقیم، شته کاهو به‌عنوان ناقل برخی ویروس‌های گیاهی نیز اهمیت دارد؛ بطوری‌که انتقال عوامل بیماری‌زا می‌تواند موجب کاهش آستانه زیان اقتصادی و افزایش خسارت در مزارع شود (Morales et al., 2013; Mahdavi et al., 2025). همچنین، تولید عسلک توسط جمعیت‌های بالای شته و رشد قارچ‌های دوده‌ای متعاقب آن می‌تواند موجب کاهش ارزش تجاری محصول شود. از آنجا که بخش عمده خسارت این آفت در قسمت‌های داخلی بوته و نواحی برداشت‌پذیر محصول رخ می‌دهد، حتی تراکم‌های نسبتاً پایین نیز می‌توانند موجب کاهش کیفیت بازارپسندی و ارزش اقتصادی محصول شوند (Morales et al., 2013). کنترل شیمیایی همچنان یکی از مهم‌ترین روش‌های مدیریت شته کاهو در بسیاری از نظام‌های تولیدی محسوب می‌شود. با این‌حال، استفاده مکرر از حشره‌کش‌های دارای سازوکار اثر مشابه در سال‌های اخیر نگرانی‌های فزاینده‌ای در خصوص بروز مقاومت، کاهش کارایی حشره‌کش‌ها و محدود شدن گزینه‌های مدیریتی ایجاد کرده است. توسعه‌ی مقاومت در جمعیت شته‌ها در برابر گروه‌های مختلف حشره‌کش در بسیاری از مناطق جهان گزارش شده و به‌یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیریت پایدار این آفات تبدیل شده است (Walley et al., 2017). اما اغلب حشره‌کش‌های موجود در کشور برای کنترل شته‌های سبزی و صیفی ثبت شده‌اند و شته‌کش اختصاصی برای کاهو ثبت نشده است و کشاورزان با کاربرد حشره‌کش‌های مختلف و در مواردی خطرناک و بدون در نظر گرفتن نکات فنی و دوره کارنس، اقدام به سم‌پاشی‌های بی‌رویه علیه شته کاهو می‌کنند. با توجه به‌مصرف تازه خوری کاهو، باقیمانده آفت‌کش در آن‌ها سلامت مصرف کنندگان را بشدت تهدید می‌کند. لذا ثبت و توصیه حشره کش‌های مؤثر و در عین حال کم‌خطر می‌تواند در حفظ سلامت محصولات تولیدی مفید باشد. از این‌رو، معرفی و ارزیابی ترکیبات جدید با سازوکارهای اثر متفاوت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دیم‌پروپیریداز[۱] با ساختار کاربوکسامیدی جدیدترین ماده مؤثره معرفی شده برای کنترل آفات مکنده بوده و تنها عضو گروه ۳۶ طبقه‌بندی کمیته اقدام مقاومت[۲] به حشره‌کش‌ها محسوب می‌شود. این ترکیب از طریق اختلال در عملکرد اندام‌های کوردوتونال حشرات عمل می‌کند و بنابراین دارای سازوکار اثری متفاوت

[۱] Dimpropyridaz

[۲] Insecticide Resistance Action Committee (IRAC)

از بسیاری از حشره‌کش‌های متداول مورد استفاده علیه شته‌ها است. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که دیم‌پروپیریداز دارای فعالیت سیستماتیک بوده و قابل جابجایی در مسیر آوندی را دارا می‌باشد و علیه طیف وسیعی از آفات مکنده از جمله شته‌ها، زنجرک‌ها و سفیدبالک‌ها کارایی مناسبی دارد (Hodges et al., 2025). از سوی دیگر، نبود مقاومت متقاطع گسترده با بسیاری از گروه‌های رایج حشره‌کش، این ماده مؤثره را به گزینه‌ای ارزشمند در برنامه های مدیریت مقاومت تبدیل کرده است (Hodges et al., 2025; Maienfisch, 2026). همچنین این حشره‌کش در آب حلالیت زیادی داشته و فشار بخار آن پایین است اما پایداری آن در خاک و آب بالا بوده و در برابر نور خورشید نسبتاً پایدار است (Hodges et al., 2025). اگر چه مطالعات متعددی کارایی فلونیکامید و اسپیروتترامات را علیه گونه‌های مختلف آفات مکنده گزارش کرده‌اند (Moradi et al., 2019; Rezaei and Graily Moradi, 2025)، تاکنون مطالعه مزرعه‌ای منتشر شده‌ای درباره ارزیابی دیم‌پروپیریداز علیه *N. ribisnigri* در شرایط تولید تجاری کاهو در ایران وجود نداشته است. افزون براین، مطالعات منتشرشده درباره این حشره‌کش عمدتاً بر معرفی ویژگی‌ها، نحوه اثر و ارزیابی آن علیه گونه‌های مختلف آفات مکنده متمرکز بوده‌اند (Brück et al., 2009; Hodges et al., 2025). از این‌رو، مقایسه‌ی مستقیم کارایی دیم‌پروپیریداز با شته‌کش‌های متداول علیه *N. ribisnigri* در شرایط واقعی تولیدکاهو، به‌ویژه در مناطق تولیدکننده‌ی کاهوی خاورمیانه، از اهداف این پژوهش بود. با توجه به اینکه تاکنون شته‌کش اختصاصی ثبت شده‌ای برای کنترل شته کاهو در ایران وجود ندارد، فلونیکامید و اسپیروتترامات به‌عنوان دو شته‌کش مورد استفاده برای مدیریت این آفت و دارای سازوکارهای اثر متفاوت بر اساس طبقه‌بندی کمیته اقدام مقاومت به حشره‌کش‌ها انتخاب شدند؛ فلونیکامید در گروه ۲۹ و اسپیروتترامات در گروه ۲۳ طبقه‌بندی می‌شوند. انتخاب این دو ترکیب امکان مقایسه کارایی دیم‌پروپیریداز با شته‌کش‌های رایج و دارای سازوکار اثر متفاوت را در شرایط مزرعه‌ای فراهم کرد. از این‌رو، نتایج حاصل از ارزیابی مزرعه‌ای این ترکیب می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای توسعه برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات و راهبردهای مدیریت مقاومت فراهم کند. افزون بر این، بیشتر ارزیابی‌های منتشر شده تاکنون در شرایط آزمایشگاهی، گلخانه‌ای یا روی محصولات زراعی دیگر انجام شده‌اند و اطلاعات مربوط به عملکرد این ترکیبات در مزارع تجاری کاهو و تحت شرایط واقعی تولید محدود است. همچنین، تفاوت شرایط اقلیمی، شیوه‌های مدیریت مزرعه و پویایی جمعیت آفت می‌تواند بر کارایی حشره‌کش‌ها در مناطق مختلف تأثیرگذار باشد (Sparks et al., 2019). بنابراین، ارزیابی میدانی حشره‌کش‌های جدید در شرایط تولیدی هر منطقه، گام مهمی در توسعه راهکارهای مؤثر مدیریت آفات محسوب می‌شود. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارایی دیم‌پروپیریداز (Efficon®)، اسپیروتترامات (Movento®) و فلونیکامید (Teppeki®) در کنترل شته کاهو در مزارع تجاری استان گلستان انجام شد. همچنین، کارایی این ترکیبات در ارزیابی‌های مختلف پس از محلول‌پاشی با استفاده از درصد کارایی اصلاح شده بر اساس معادله هندرسون-تیلتون و تحلیل داده‌ها با مدل خطی آمیخته مبتنی بر اندازه گیری‌های تکراری مورد مقایسه قرار گرفت تا ظرفیت آن‌ها برای استفاده در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه و طراحی آزمایش

این پژوهش در فروردین سال زراعی ۱۴۰۴ در مزارع تجاری کاهوی رقم پیچ سالادی استان گلستان انجام شد. به‌منظور ارزیابی کارایی شته‌کش‌ها در شرایط واقعی تولید، آزمایش در سه منطقه کشت کاهو شامل روستای مرزنکلاته با مختصات جغرافیایی N 36.862582,E 54.585603 و ارتفاع ۹۰ متر از سطح دریا در مرکز استان، روستای کلاسنگیان با مختصات جغرافیایی 36.819891, E N 54.301521 و ارتفاع ۵۵ متر از سطح دریا در غرب استان، و روستای فاضل آباد با مختصات جغرافیایی N 55.205777 ,E 37.065642 و ارتفاع ۱۵۰ متر از سطح دریا در شرق استان اجرا گردید. بر اساس داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به هر منطقه، میانگین دما

در طول دوره اجرای آزمایش در سه محل به‌ترتیب ۲۰، ۲۰ و ۲۱ درجه سلسیوس و میانگین رطوبت نسبی نیز به ترتیب ۶۲، ۶۲، ۶۰ درصد بود. آزمایش در هر مزرعه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و شش تیمار انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف کشت به‌طول ۵ متر بود. فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌های کشت ۳۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که معادل تراکم تقریبی ۱۴/۳ بوته در متر مربع بود. به‌منظور جلوگیری از تداخل اثر تیمارها، بین کرت‌های مجاور فاصله‌ای برابر با یک متر (بطور تقریبی معادل سه ردیف کشت) در نظر گرفته شد. تمام عملیات زراعی شامل آبیاری، کنترل علف‌های هرز و سایر عملیات داشت مطابق با عرف منطقه و توصیه‌های فنی رایج برای کشت کاهو در ایران انجام شد. تمامی مزارع تحت مدیریت زراعی متداول منطقه قرار داشتند و از نظر تاریخ کشت، عملیات داشت و شیوه مدیریت مزرعه، شرایط مشابهی داشتند.

تیمارهای حشره‌کش و نحوه کاربرد

شش تیمار شامل پنج تیمار حشره‌کش و یک تیمار شاهد مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل حشره‌کش دیم‌پروپیریداز (آلمان ,Efficon® 120 % SL BASF,) در دو غلظت ۰/۷۵ و ۰/۵۰ میلی‌لیتر در لیتر، حشره‌کش اسپیروتترامات (ایران،کاوش کیمیای کرمان ، 10 Movento® % SC) در دو غلظت ۰/۷۵ و ۰/۵۰ میلی‌لیتر در لیتر، حشره کش فلونیکامید (ایران ، افراسم ، Teppeki® 50 % WG) به میزان ۰/۵۰ گرم در لیتر و تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب) بودند. غلظت‌های مورد استفاده بر اساس غلظت توصیه شده فرآورده‌های ثبت شده توسط سازمان حفظ نباتات ایران و اهداف پژوهش انتخاب شدند. فلونیکامید تنها در غلظت توصیه شده برچسب (معادل ۲۰۰ گرم در هکتار یا ۰/۵۰ گرم در لیتر با حجم محلول‌پاشی ۴۰۰ لیتر در هکتار) ارزیابی شد. برای دیم‌پروپیریداز و اسپیروتترامات علاوه بر غلظت توصیه شده، یک غلظت پایین‌تر نیز برای ارزیابی پاسخ به غلظت و مقایسه کارایی در شرایط مزرعه انتخاب شد. محلول‌پاشی ۲۰ روز بعد از انتقال نشا به زمین اصلی در ۲۰ فروردین ۱۴۰۴ انجام شد. در این زمان، بوته‌های کاهو در مرحله رزت قرار داشتند و جمعیت شته شامل پوره‌ها و افراد بالغ به‌طور فعال برگ‌های داخلی بوته را آلوده کرده بود. کلیه محلول‌پاشی‌ها با استفاده از سمپاش پشتی اتمایزر کالیبره شده ، با فشار ۱/۵ بار و حجم محلول‌پاشی ۴۰۰ لیتر در هکتار، مطابق با دستورالعمل‌های رایج کنترل شیمیایی آفات در مزارع کاهو انجام شد.

ارزیابی جمعیت شته

پیش از اجرای تیمارها (روز صفر)، از تمامی کرت‌های آزمایشی نمونه‌برداری اولیه انجام شد تا تراکم اولیه جمعیت شته پیش از محلول‌پاشی تعیین شود. این داده‌ها به‌عنوان مبنای مقایسه تغییرات جمعیت شته در ارزیابی‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفتند. در هر نوبت ارزیابی، پنج بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب، به‌طور کامل از زمین خارج و در کیسه‌های پلاستیکی دربسته به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه، تعداد پوره‌ها و افراد بالغ زنده شته با بررسی برگ‌های داخلی هر بوته، که محل اصلی استقرار این آفت هستند، شمارش و به‌صورت تعداد پوره‌ها و افراد بالغ زنده در هر بوته ثبت شد. ارزیابی‌ها در چهار نوبت شامل قبل از محلول‌پاشی (روز صفر) و ۳، ۷ و ۱۴ روز پس از محلول‌پاشی انجام شد. نمونه‌برداری‌ها در ساعات اولیه روز انجام شدند. دوره ارزیابی تا ۱۴ روز پس از محلول‌پاشی انتخاب شد، زیرا مطابق دستورالعمل‌های متداول ارزیابی کارایی حشره‌کش‌ها و همچنین محدودیت‌های مدیریتی مزارع تجاری، پس از این زمان امکان ادامه نمونه‌برداری وجود نداشت.

محاسبه کارایی حشره کش‌ها

درصد کارایی اصلاح شده تیمارها با استفاده از فرمول هندرسون-تیلتون (Henderson & Tilton, 1955) محاسبه شد. این روش با در نظر گرفتن تغییرات طبیعی جمعیت آفت در تیمار شاهد، برآورد دقیق‌تری از کارایی واقعی حشره کش‌ها در شرایط مزرعه ارائه می‌دهد.

فرمول هندرسون – تیلتون: $(1 - \frac{T_a \times C_b}{T_b \times C_a}) \times 100$ = درصد کارایی تیمارها

T_a = میانگین تعداد آفت بعد از محلول‌پاشی در واحد آزمایشی، T_b = میانگین تعداد آفت قبل از محلول‌پاشی در واحد آزمایشی، C_a = میانگین تعداد آفت در قطعات شاهد بعد از محلول‌پاشی، C_b = میانگین تعداد آفت در قطعات شاهد قبل از محلول‌پاشی

تجزیه و تحلیل آماری

به منظور ارزیابی اثر تیمارها بر تراکم شته، از مدل‌های خطی آمیخته (Linear Mixed-Effects Models; LMMs) استفاده شد. در این مدل، تیمار، زمان نمونه برداری و اثر متقابل تیمار × زمان به عنوان اثرات ثابت در نظر گرفته شدند. بمنظور کنترل تغییر پذیری ناشی از اجرای آزمایش در سه مزرعه واقع در مناطق مختلف، اثر مزرعه و تکرارهای تودرتوی هر مزرعه[۱] به‌عنوان اثرات تصادفی در مدل لحاظ شدند. این ساختار تصادفی تغییرپذیری بین مزارع و تکرارهای داخل هر مزرعه را در مدل کنترل کرد. برازش مدل با استفاده از تابع lme در بسته nlme نرم افزار R انجام شد. به‌منظور در نظر گرفتن ناهمگنی واریانس بین زمان‌های مختلف نمونه برداری، ساختار واریانس ناهمسان varident برای روزهای ارزیابی در مدل تعریف گردید. ساختار نهایی مدل شامل count ~ treatment × day بعنوان اثرات ثابت و farm/rep به‌عنوان ساختار اثرات تصادفی بود. معنی‌داری اثرات ثابت با استفاده از آزمون آنالیز واریانس مدل آمیخته بررسی گردید. میانگین‌های تعدیل شده (Estimated Marginal Means; EMMs) برای مقایسه تیمارها در هر زمان نمونه‌برداری برآورد شدند و مقایسه چندگانه میانگین‌ها با استفاده از تعدیل Sidak در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. گروه‌بندی میانگین‌ها نیز با استفاده از نمایش فشرده حروف (Compact Letter Display; CLD) ارائه شد. تمام تجزیه‌های آماری در محیط نرم‌افزار R نسخه ۴,۶,۰ انجام شد.

نتایج

اثر تیمارهای حشره‌کش و زمان ارزیابی بر تراکم شته کاهو

نتایج مدل خطی آمیخته نشان داد که تیمارهای حشره‌کش، زمان ارزیابی و اثر متقابل تیمار و زمان، تأثیر معنی داری بر تراکم شته کاهو داشتند (جدول ۱). اثر اصلی تیمارها برجمعیت شته بسیار معنی‌دار بود ($F_{5,184}$= 80.86, $P<$ 0.0001) که بیانگر تفاوت قابل توجه بین تیمارهای مورد بررسی است. همچنین اثر زمان ارزیابی نیز معنی‌دار بود ($F_{3,184}$= 35.93, $P<$ 0.0001)، به‌گونه‌ای که تراکم شته در طول دوره پس از کاربرد حشره‌کش‌ها تغییر محسوسی نشان داد. علاوه بر این، اثر متقابل تیمار و زمان نیز معنی‌دار بود ($F_{15,184}$= 2.66, P= 0.0011) که نشان می‌دهد روند تغییرات جمعیت شته در طول زمان برای تمامی تیمارها یکسان نبوده و پاسخ جمعیت شته به تیمارهای مختلف در زمان‌های مختلف متفاوت بوده است.

مقایسه میانگین تیمارها در زمان‌های مختلف ارزیابی

مقایسه میانگین‌های تعدیل‌شده حاصل از مدل آمیخته نشان داد که در روز صفر (پیش از محلول‌پاشی)، تیمار شاهد دارای بیشترین میانگین تعدیل شده تراکم شته بود، در حالی‌که میانگین تراکم آفت در سایر تیمارها پایین‌تر بود. با این‌حال، به‌دلیل انجام نشدن تیمارها در این زمان، این اختلافات صرفاً بیانگر تغییرات اولیه موجود بین واحدهای آزمایشی بود. سه روز پس از محلول‌پاشی، تراکم شته در تمامی تیمارهای حشره‌کش به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود. در این زمان، تمامی تیمارهای حشره‌کش در یک گروه آماری مشترک قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. در حالی‌که تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری بیشترین تراکم شته را داشت (جدول ۱). الگوی مشابهی در ارزیابی‌های ۷ و ۱۴ روز پس از محلول‌پاشی نیز مشاهده شد. در تمامی این زمان‌ها، میانگین تراکم شته در تیمارهای حشره‌کش به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد باقی ماند، در حالی‌که اختلافات مشاهده شده بین حشره‌کش‌های مختلف از نظر آماری معنی‌دار نبود و تمامی آن‌ها در یک گروه آماری مشترک قرار گرفتند. در مقابل، تیمار شاهد در تمامی

[۱] rep nested within farm

ارزیابی‌های پس از محلول‌پاشی دارای بالاترین تراکم جمعیت شته بود و به‌طور معنی‌داری از تمامی تیمارهای حشره‌کش متمایز شد (جدول ۱). اگر چه اختلاف معنی‌داری بین حشره کش‌های مورد بررسی مشاهده نشد، دیم‌پروپیریداز با غلظت ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر در بیشتر زمان‌های ارزیابی کمترین میانگین تعدیل شده تراکم شته را نشان داد و بیشترین درصد کارایی اصلاح شده را در پایان دوره ارزیابی به خود اختصاص داد. به‌عنوان مثال، میانگین تعدیل شده تراکم شته در این تیمار در روزهای ۳، ۷ و ۱۴ پس از محلول‌پاشی به‌ترتیب ۰/۵۰± ۰/۳۰، ۰/۲۸ ± ۰/۲۶ و ۰/۱۱ ± ۰/۱۷ بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که دیم‌پروپیریداز، که برای نخستین بار در ایران علیه شته کاهو ارزیابی شد، از نظر عددی کارایی قابل مقایسه‌ای با شته‌کش‌های متداول داشت و می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای ارزیابی‌های تکمیلی و برنامه‌های مدیریت شیمیایی این آفت باشد.

جدول ۱- میانگین‌های تعدیل شده (Estimated Marginal Means) تیمارها (± خطای استاندارد) در روزهای مختلف نمونه‌برداری همراه با نمایش حروف فشرده (CLD). حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها هستند (آزمون سیداک، $p < 0.05$)

Table 1. Estimated marginal means (±SE) of treatments across sampling days with compact letter display (CLD). Different letters indicate significant differences (Sidak-adjusted, $p < 0.05$).

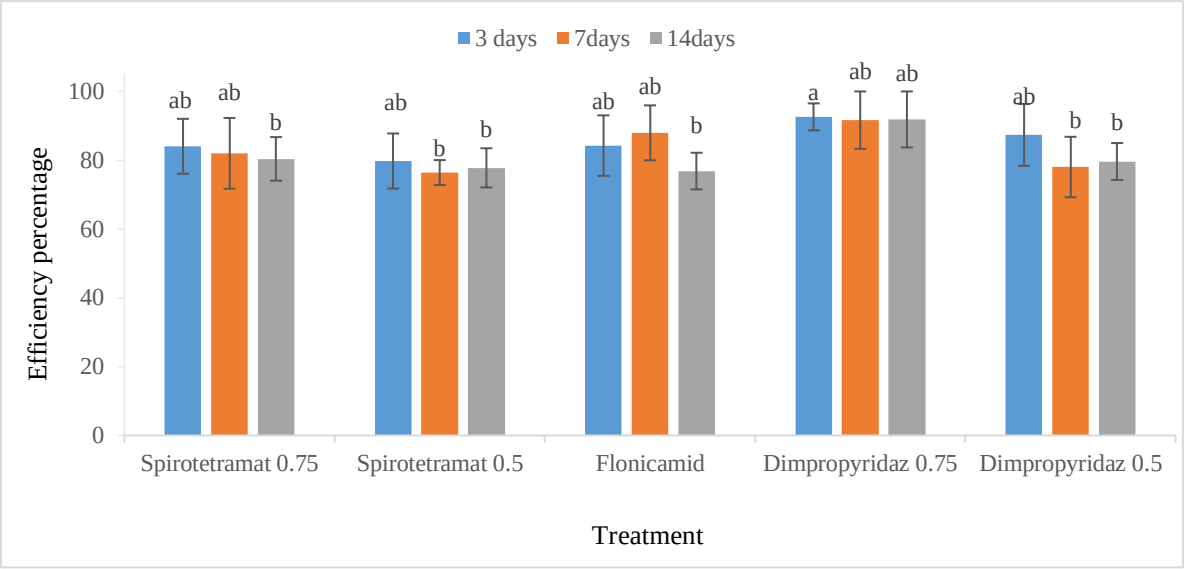
Day	Treatment	Mean	SE	Lower CI	Upper CI	Group
0	Dimpropyridaz 0.50 mL L^{-1}	2.19	0.61	-0.43	4.8	a
0	Spirotetramat 0.50 mL L^{-1}	2.56	0.61	-0.06	5.18	a
0	Flonicamid 0.50 g L^{-1}	2.89	0.61	0.27	5.51	Ab
0	Spirotetramat 0.75 mL L^{-1}	2.96	0.61	0.34	5.58	Ab
0	Dimpropyridaz 0.75 mL L^{-1}	3.11	0.61	0.49	5.73	Ab
0	Control	5.26	0.61	2.64	7.88	B
3	Dimpropyridaz 0.75 mL L^{-1}	0.3	0.5	-1.87	2.46	a
3	Dimpropyridaz 0.50 mL L^{-1}	0.41	0.5	-1.76	2.57	a
3	Spirotetramat 0.75 mL L^{-1}	0.74	0.5	-1.43	2.91	a
3	Flonicamid 0.50 g L^{-1}	0.81	0.5	-1.35	2.98	a
3	Spirotetramat 0.50 mL L^{-1}	0.81	0.5	-1.35	2.98	a
3	Control	5.67	0.5	3.5	7.83	B
7	Dimpropyridaz 0.75 mL L^{-1}	0.26	0.28	-0.94	1.46	a
7	Spirotetramat 0.75 mL L^{-1}	0.3	0.28	-0.9	1.49	a
7	Dimpropyridaz 0.50 mL L^{-1}	0.48	0.28	-0.71	1.68	a
7	Flonicamid 0.50 g L^{-1}	0.52	0.28	-0.68	1.71	a
7	Spirotetramat 0.50 mL L^{-1}	0.63	0.28	-0.57	1.83	a
7	Control	3.74	0.28	2.54	4.94	B
14	Dimpropyridaz 0.75 mL L^{-1}	0.11	0.17	-0.61	0.83	a
14	Spirotetramat 0.75 mL L^{-1}	0.26	0.17	-0.46	0.98	a
14	Dimpropyridaz 0.50 mL L^{-1}	0.37	0.17	-0.35	1.09	a
14	Spirotetramat 0.50 mL L^{-1}	0.44	0.17	-0.27	1.16	a
14	Flonicamid 0.50 g L^{-1}	0.48	0.17	-0.24	1.2	a
14	Control	2.44	0.17	1.73	3.16	B

نتایج شاخص هندرسون-تیلتون

نتایج درصد کارایی اصلاح شده بر اساس فرمول هندرسون-تیلتون در مزرعه واقع در روستای مرزنکلاته نشان داد که هر سه حشره‌کش مورد بررسی در زمان‌های ارزیابی سه، هفت و چهارده روز پس از محلول‌پاشی، بیش از هشتاد درصد کارایی در کنترل شته کاهو داشتند. دیم‌پروپیریداز با غلظت ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر در هر سه زمان ارزیابی بالاترین میانگین درصد کارایی را نشان داد. به طوری‌که دیم‌پروپیریداز با غلظت ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر سه روز پس از محلول‌پاشی بیشترین درصد کارایی را در کنترل شته داشت؛ با این‌حال، بر اساس گروه‌بندی آماری اختلاف معنی‌داری بین برخی از تیمارها مشاهده نشد و چندین تیمار در گروه‌های آماری مشترک قرار گرفتند (شکل ۱).

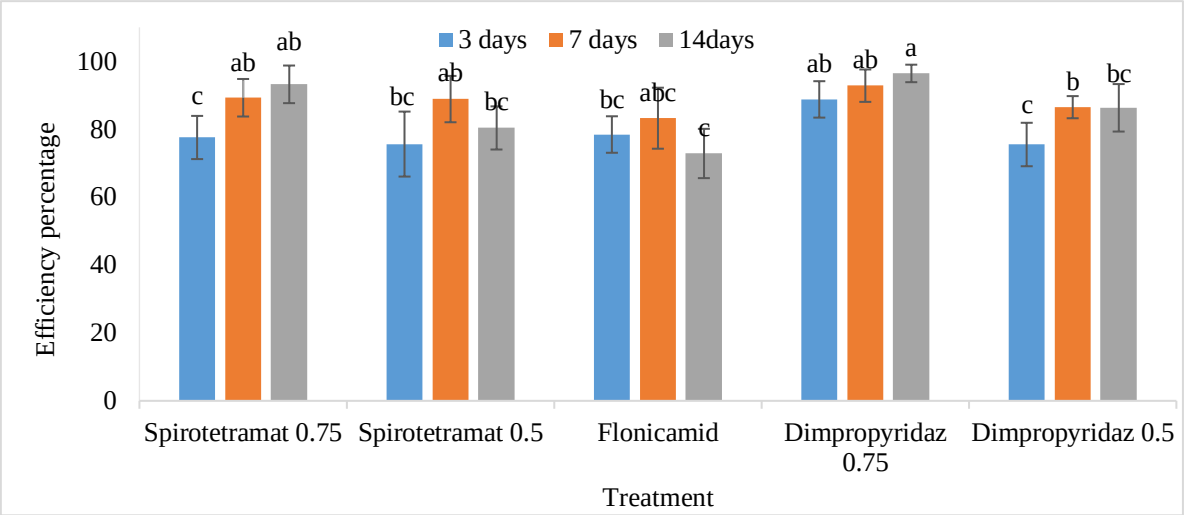
نتایج درصد کارایی اصلاح شده بر اساس فرمول هندرسون-تیلتون در مزرعه واقع در روستای کلاسنگیان در غرب استان گلستان نشان داد که بیشترین میانگین درصد کارایی مربوط به دیم‌پروپیریداز با غلظت ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر، ۱۴ روز پس از محلول‌پاشی بود. در حالی‌که کمترین سطح کارایی در تیمارهای اسپیروتترامات با غلظت ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر ۳ روز پس از محلولپاشی، فلونیکامید ۱۴ روز پس از محلولپاشی، و دیم‌پروپیریداز غلظت ۰/۵۰ میلی‌لیتر در لیتر، ۳ روز پس از محلول‌پاشی مشاهده شد (شکل ۲).

نتایج درصد کارایی اصلاح شده بر اساس فرمول هندرسون-تیلتون در مزرعه واقع در روستای فاضل آباد نشان داد که دیم‌پروپیریداز با غلظت ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر، ۷ روز پس از محلول‌پاشی بالاترین درصد کاریی را نشان داد. با این‌حال، ۱۴ روز پس از محلولپاشی، کارایی اسپیروتترامات و دیم‌پروپیریداز، هر دو با غلظت ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر ، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت (شکل ۳).



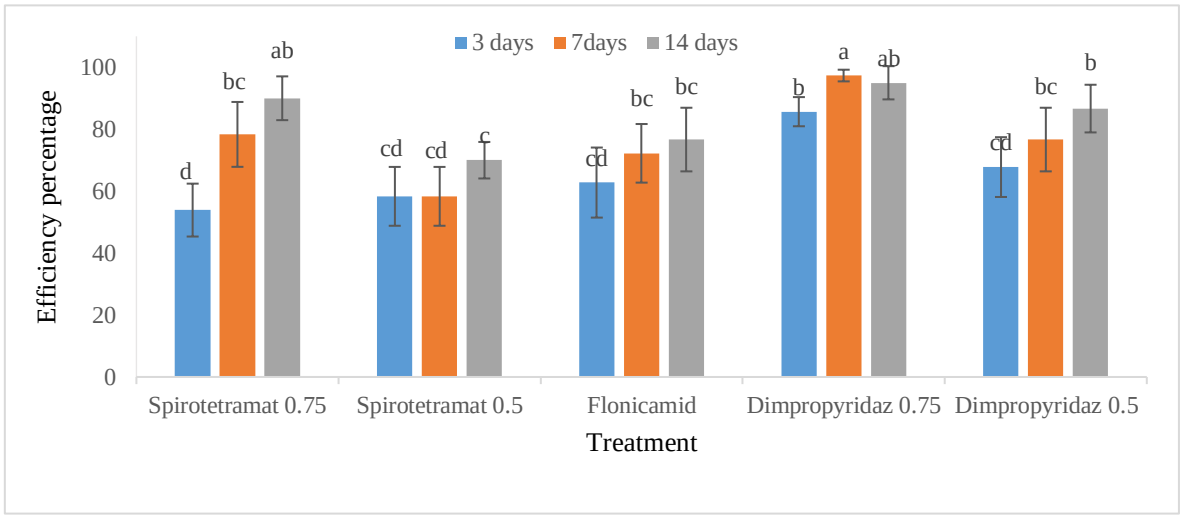
شکل ۱- درصد کارایی دیم‌پروپیریداز (۰/۵۰ و ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر)، اسپیروتترامات (۰/۵۰ و ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر) و فلونیکامید (۰/۵۰ گرم در لیتر) در سه زمان ارزیابی علیه شته کاهو *Nasonovia ribisnigri* در مزرعه واقع در روستای مرزنکلاته. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد و حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌داری هستند.

Figure 1. Corrected efficacy (%) of dimpropyridaz (0.50 and 0.75 mL L^{-1}), spirotetramat (0.50 and 0.75 mL L^{-1}), and flonicamid (0.50 g L^{-1}) at 3, 7 and 14 day after application against the lettuce aphids *Nasonovia ribisnigri* in a lettuce field located in Marzan Kalateh village. Bars with different letters are significantly different according to Tukey`s multiple comparison test ($P < 0.05$).



شکل ۲- درصد کارایی دیم‌پروپیریداز (۰/۵۰ و ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر)، اسپیروتترامات (۰/۵۰ و ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر) و فلونیکامید (۰/۵۰ گرم در لیتر) در سه زمان ارزیابی علیه شته کاهو *Nasonovia ribisnigri* در مزرعه واقع در روستای کلاسنگیان. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد و حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌داری هستند.

Figure 2. Corrected efficacy (%) of dimpropyridaz (0.50 and 0.75 mL L^{-1}), spirotetramat (0.50 and 0.75 mL L^{-1}), and flonicamid (0.50 g L^{-1}) at 3, 7 and 14 day after application against the lettuce aphids *Nasonovia ribisnigri* in a lettuce field located in Kola Sangian village. Bars with different letters are significantly different according to Tukey`s multiple comparison test ($P < 0.05$).



شکل ۳- درصد کارایی دیم‌پروپیریداز (۰/۵۰ و ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر)، اسپیروتترامات (۰/۵۰ و ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر) و فلونیکامید (۰/۵۰ گرم در لیتر) در سه زمان ارزیابی علیه شته کاهو *Nasonovia ribisnigri* در مزرعه واقع در روستای فاضل آباد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد و حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌داری هستند.

Figure 3. Corrected efficacy (%) of dimpropyridaz (0.50 and 0.75 mL L^{-1}), spirotetramat (0.50 and 0.75 mL L^{-1}), and flonicamid (0.50 g L^{-1}) at 3, 7 and 14 day after application against the lettuce aphids *Nasonovia ribisnigri* in a lettuce field located in Fazelabad village. Bars with different letters are significantly different according to Tukey`s multiple comparison test ($P < 0.05$).

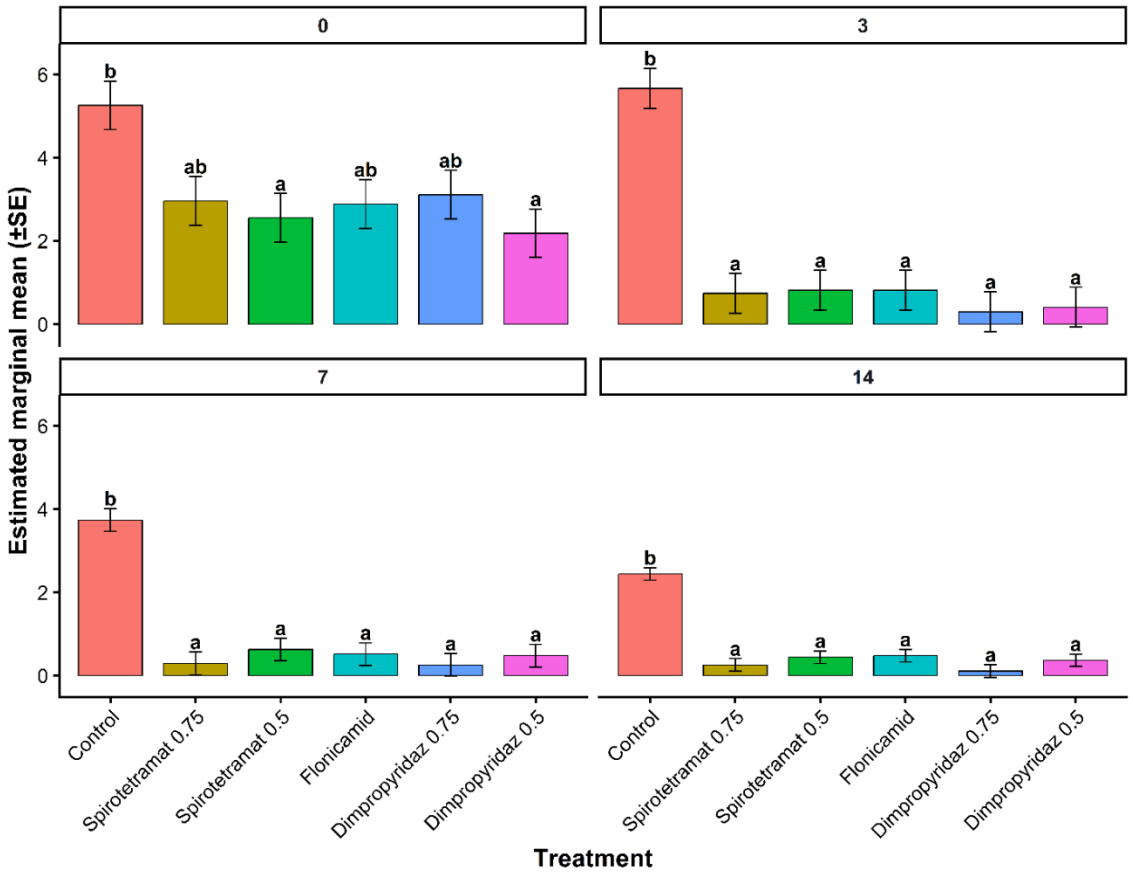
همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در روز صفر (پیش از محلول‌پاشی) تفاوت‌هایی در تراکم اولیه شته بین واحدهای آزمایشی مشاهده شد. این اختلافات مربوط به شرایط اولیه مزرعه بوده و پیش از اعمال تیمارها ثبت شدند؛ بنابراین مبنایی برای مقایسه حشره‌کش ها محسوب نمی‌شوند.

با این‌حال، پس از کاربرد حشره‌کش‌ها، جمعیت شته در تمامی تیمارهای حشره‌کش به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. از روز سوم تا چهاردهم پس از محلول‌پاشی، تمامی تیمارهای حشره‌کش در یک گروه آماری مشترک قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد، در

حالی‌که تیمار شاهد در تمامی ارزیابی‌های پس از کاربرد دارای تراکم شته به‌طور معنی‌داری بیشتری نسبت به سایر تیمارها بود. اگر چه اختلاف آماری بین حشره‌کش ها مشاهده نشد، تیمار دیم‌پروپیریداز با غلظت ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر در اکثر زمان‌های ارزیابی کمترین تراکم شته را نشان داد و از نظر عددی عملکرد بهتری نسبت به سایر تیمارها داشت (شکل ۴).

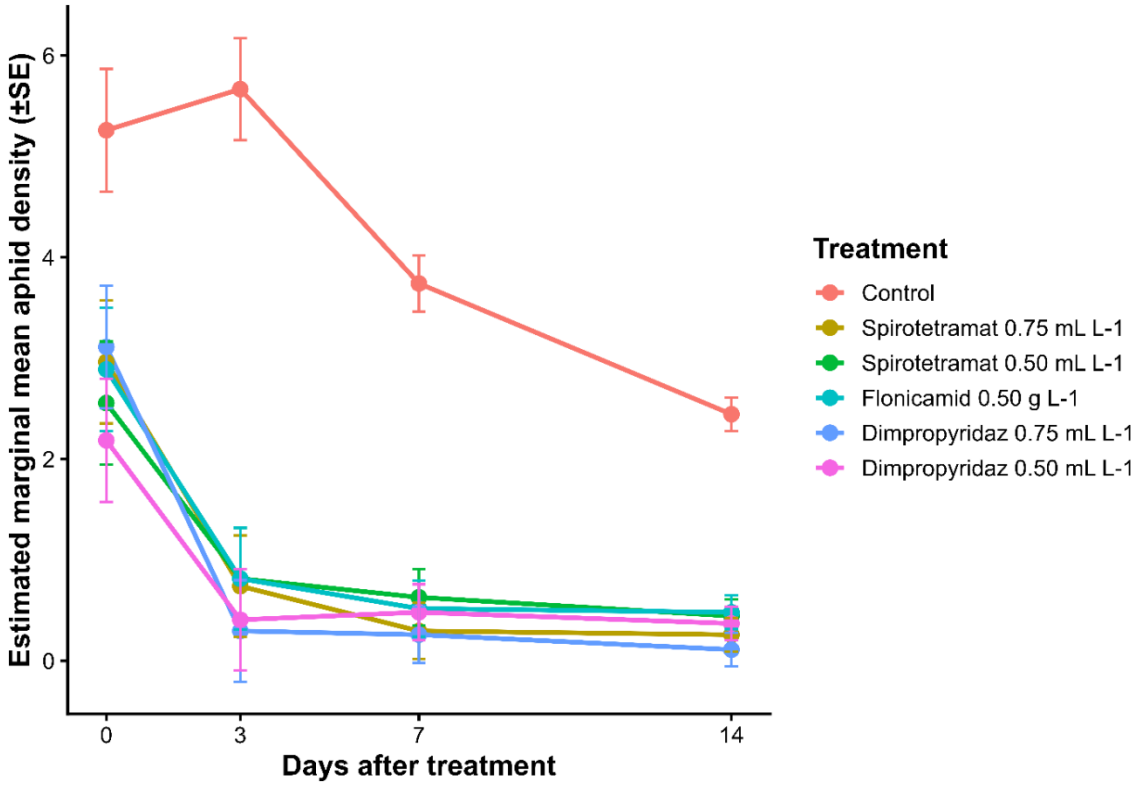
روند زمانی تغییرات جمعیت شته کاهو پس از کاربرد حشره‌کش‌ها

بررسی روند زمانی میانگین‌های تعدیل شده حاصل از مدل خطی آمیخته نشان داد که کاربرد تمامی حشره‌کش‌های مورد مطالعه موجب کاهش سریع و چشمگیر تراکم شته کاهو از سه روز پس از محلول‌پاشی شد (شکل ۵). این کاهش در تمامی تیمارهای حشره‌کش تا پایان دوره ارزیابی حفظ گردید و تراکم آفت در سطوحی بسیار پایین‌تر از شاهد باقی ماند. در مقابل، جمعیت شته در تیمار شاهد در روز سوم پس از محلول‌پاشی افزایش یافت و سپس روند کاهشی تدریجی نشان داد، با این‌حال در تمامی زمان‌های ارزیابی به‌طور قابل توجهی بیشتر از تیمارهای حشره‌کش بود. اگر چه الگوی تغییرات جمعیت در میان حشره‌کش مختلف مشابه بود، دیم‌پروپیریداز با غلظت ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر در اغلب زمان‌های ارزیابی کمترین میانگین تعدیل شده تراکم شته را نشان داد. به‌طور کلی، نتایج بیانگر اثر سریع و پایدار تمامی حشره‌کش‌های مورد بررسی در کاهش جمعیت شته کاهو در شرایط مزرعه‌ای بود.



شکل ٤- میانگین‌های تعدیل شده (±SE) تراکم شته کاهو *Nasonovia ribisnigri* در تیمارهای مختلف حشره‌کش در روزهای ۰، ۳، ۷ و ١٤ پس از محلول‌پاشی. حروف متفاوت نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در هر زمان ارزیابی بر اساس مقایسه‌های زوجی با تعدیل Sidak در سطح احتمال ٥ درصد هستند.

Figure 4. Estimated marginal means (±SE) of lettuce aphid density under different insecticide treatments at 0,3,7 and 14 day after application. Different letters indicate significant differences among treatments within each sampling date according to Sidak-adjusted pairwise comparisons ($p < 0.05$).



شکل ۵- روند زمانی میانگین‌های تعدیل شده (±SE) تراکم شته کاهو *Nasonovia ribisnigri* در تیمارهای مختلف حشره‌کش بر اساس مدل خطی آمیخته.

Figure 5. Temporal dynamics of estimated marginal means (±SE) of lettuce aphid density under different insecticide treatments based on the linear mixed-effects model.

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که تمامی حشره‌کش‌های مورد ارزیابی توانستند جمعیت شته کاهو را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش دهند. افزایش جمعیت شته در تیمار شاهد طی سه روز نخست پس از محلول‌پاشی، بیانگر ادامه رشد طبیعی جمعیت آفت در غیاب کنترل شیمیایی بود. این روند، در کنار کاهش شدید جمعیت تیمارهای حشره‌کش، اثر بخشی کاربرد حشره‌کش‌ها را در شرایط مزرعه تأیید می‌کند. این یافته‌ها بیانگر کارایی مناسب هر سه ماده مؤثره مورد مطالعه، شامل دیم‌پروپیریداز، اسپیروتترامات و فلونیکامید در مدیریت این آفت مهم کاهو در شرایط مزرعه است. معنی‌دار بودن اثر تیمار و همچنین اثر متقابل و زمان نشان داد که پاسخ جمعیت شته به حشره‌کش‌ها در طول دوره ارزیابی ثابت نبوده و روند کاهش جمعیت در زمان‌های مختلف متفاوت بوده است. چنین الگویی در مطالعات مزرعه‌ای کنترل شیمیایی آفات امری متداول محسوب می‌شود، زیرا کارایی حشره‌کش‌ها تحت تأثیر عواملی نظیر ویژگی‌های فیزیولوژیک آفت، شرایط محیطی، رشد گیاه میزبان و پایداری باقیمانده آفت‌کش قرار می‌گیرد (Pedigo, 1996). فلونیکامید و اسپیروتترامات طی سال‌های اخیر به‌عنوان دو ترکیب مؤثر در مدیریت شته‌ها شناخته شده‌اند. مطالعات اخیر نیز نشان داده‌اند که این دو حشره‌کش در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای، سمیت و کارایی مناسبی علیه گونه‌های مختلف Aphididae دارند (Mahdavi et al., 2025; Sabra et al., 2025; Rezaei and Graily Moradi, 2025). فلونیکامید از طریق اختلال در تغذیه آفت عمل می‌کند (Morita et al., 2007)، درحالی‌که اسپیروتترامات با انتقال دو طرفه در آوندهای گیاه قادر است آفات مکنده مستقر در بخش‌های مختلف گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Brück et al., 2009; Shafaghi et al., 2022). بنابراین، نتایج مزرعه‌ای این پژوهش در راستای یافته‌های مطالعات آزمایشگاهی و گلخانه‌ای پیشین قرار دارد. یکی از مهم‌ترین یافته های این پژوهش، عملکرد مطلوب

دیم‌پروپیریداز در شرایط مزرعه‌ای بود. اگر چه مقایسه‌های چندگانه حاصل از مدل آمیخته، اختلاف آماری معنی‌داری میان دیم‌پروپیریداز و سایر حشره‌کش‌ها نشان نداد، اما این ترکیب در اغلب زمان‌های ارزیابی در میان کمترین تراکم‌های ثبت شده قرار داشت. از دیدگاه زیست‌شناسی کاربردی، این موضوع حائز اهمیت است؛ زیرا در شرایط مزرعه، دستیابی به سطوح مشابهی از کنترل در مقایسه با حشره‌کش‌های تثبیت شده‌ی بازار، برای یک ماده مؤثره جدید شاخص ارزشمند محسوب می‌شود. دیم‌پروپیریداز به‌عنوان یک ماده مؤثره نسبتاً جدید، دارای سازوکار اثر متفاوتی در مقایسه با بسیاری از شته‌کش‌های متداول است (Hodges et al., 2025). نتایج این پژوهش نشان داد که این ترکیب در هر دو غلظت مورد بررسی توانست جمعیت شته را تا پایان دوره ارزیابی در سطح پایینی حفظ کند. از دیدگاه مدیریت مقاومت به حشره کش‌ها، دسترسی به ترکیباتی با سازوکار اثر متفاوت اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا استفاده متناوب از آن‌ها می‌تواند فشار انتخابی وارد بر جمعیت آفت را کاهش داده و پایداری برنامه‌های کنترل را افزایش دهد. با این‌حال، کاربرد دیم‌پروپیریداز در برنامه‌های مدیریت تلفیقی شته کاهو باید در کنار سایر روش‌های کنترل و با رعایت اصول مدیریت مقاومت به حشره‌کش‌ها مورد توجه قرار گیرد (Hodges et al., 2025). عملکرد عددی مطلوب دیم‌پروپیریداز در کنار کارایی مناسب مشاهده شده در شاخص‌های زیستی، نشان می‌دهد که این ترکیب می‌تواند گزینه‌ای امیدوار کننده برای استفاده در برنامه‌های مدیریت شیمیایی و مدیریت مقاومت شته کاهو در مناطق تولیدی این محصول باشد. اگر چه آزمایش در سه منطقه جغرافیایی با شرایط اقلیمی متفاوت انجام شد، تغییرات دما و رطوبت نسبی در طول دوره اجرای آزمایش بین مناطق محدود بود و الگوی کلی پاسخ تیمارها در هر سه منطقه مشابه باقی ماند. از این‌رو؛ نتایج حاضر حاکی از ثبات نسبی عملکرد تیمارها در دامنه شرایط محیطی مورد بررسی است؛ هر چند برای ارزیابی تعمیم‌پذیری این نتایج به دامنه وسیع‌تری از شرایط اقلیمی، مطالعات بیشتری در مناطق و شرایط محیطی متنوع مورد نیاز است. در مطالعه حاضر، نتایج حاصل از مدل آماری و شاخص هندرسون-تیلتون دو جنبه متفاوت از کارایی حشره‌کش‌ها را نشان دادند (Henderson & Tilton, 1955). مدل خطی آمیخته برای ارزیابی اختلافات آماری میان تیمارها طراحی شده و تغییرپذیری ناشی از زمان و تکرارهای مزرعه‌ای را در محاسبات لحاظ می‌کند. در مقابل، شاخص هندرسون-تیلتون بیشتر بر میزان کاهش عملی جمعیت آفت نسبت به شاهد تمرکز دارد و تصویر کاربردی از کارایی مزرعه‌ای ارائه می دهد. بنابراین مشاهده‌ی تفاوت‌های عددی میان تیمارها در نتایج هندرسون-تیلتون، در حالی‌که این اختلافات در مدل خطی آمیخته به سطح معنی‌داری آماری نرسیده‌اند، یک تناقض محسوب نمی‌شود؛ بلکه بیانگر تفاوت این دو رویکرد تحلیلی است (Piepho et al., 2003). عدم مشاهده‌ی اختلاف آماری بین حشره‌کش‌ها لزوماً به معنای یکسان بودن کامل عملکرد آن‌ها نیست. در مطالعات مزرعه‌ای، تغییرپذیری طبیعی جمعیت آفات، ناهمگنی شرایط محیطی و تفاوت‌های مکانی بین مزارع می‌توانند موجب افزایش واریانس داده‌ها شوند و توان آشکارسازی اختلافات کوچک بین تیمارها را کاهش دهند (Pedigo, 1996). از این‌رو، مقایسه هم‌زمان نتایج مدل آماری و شاخص‌های کارایی زیستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین، تفاوت مشاهده شده میان رتبه بندی عددی تیمارها در نتایج هندرسون-تیلتون و عدم تفکیک آماری آن‌ها در مدل آمیخته، یک تناقض محسوب نمی‌شود، بلکه بازتاب دو رویکرد متفاوت برای ارزیابی کارایی حشره‌کش‌ها است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تمامی حشره‌کش‌های مورد ارزیابی توانستند جمعیت شته کاهو را در شرایط مزرعه به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش دهند. اثر معنی‌دار تیمار، زمان ارزیابی و اثر متقابل آن‌ها نشان داد که پاسخ جمعیت آفت به حشره‌کش‌ها در طول دوره‌ی پس از کاربرد پویا بوده است. اگرچه مقایسه‌های آماری، اختلاف معنی‌داری میان حشره‌کش‌های مورد بررسی نشان نداد، اما تیمارهای حاوی دیم‌پروپیریداز در اغلب زمان‌های ارزیابی در میان کمترین تراکم‌های مشاهده شده قرار داشتند و کارایی مناسبی در سرکوب جمعیت آفت نشان دادند. نتایج حاصل

از شاخص هندرسون-تیلتون نیز مؤید کارایی بالای این ترکیب در شرایط مزرعه بود. در مجموع، یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که دیم‌پروپیریداز در شرایط مطالعه حاضر، یعنی در مرحله رزت کاهو، با غلظت ۰/۷۵ میلی‌لیتر در لیتر و در حضور جمعیت‌های شامل پوره و افراد بالغ شته کاهو، با توجه به سازوکار اثر متفاوت آن، می‌تواند به‌عنوان یکی از گزینه‌های مؤثر برای مدیریت شیمیایی این آفت در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات مورد استفاده قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

این پژوهش بخشی از داده‌های مرتب با طرح مصوب پروژه تحقیقاتی به شماره ۰۴-۱۶-۱۶-۰۸۹-۰۳۰۹۵۴ مربوط به موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان می‌باشد، بدین‌منظور نویسندگان از دو ارگان مذکور به جهت تامین تجهیزات و امکانات لازم، کمال تشکر را دارند.

References

Aghabeigi, M., Imani, M., Hajianfar, R., Khodadadi, M., Rafiee, R., & Mousavi, H. (2017). *Iceberg lettuce production technology and introduction of its commercial cultivars* (Technical Publication). Vegetable and Cucurbit Research Department, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO).

Barrière, V., Lecompte, F., Nicot, P. C., Maisonneuve, B., Tchamitchian, M., & Lescourret, F. (2014). Lettuce cropping with less pesticides. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *34*(1), 175-198. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0158-5

Brück, E., Elbert, A., Fischer, R., Krueger, S., Kühnhold, J., Klueken, A. M., & van Waetermeulen, X. (2009). Movento®, an innovative ambimobile insecticide for sucking insect pest control in agriculture: biological profile and field performance. *Crop Protection*, *28*(10), 838-844. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.06.015

Cantó-Tejero, M., Pascual-Villalobos, M. J., & Guirao, P. (2022). Aniseed essential oil botanical insecticides for the management of the currant-lettuce aphid. *Industrial Crops and Products*, *181*, 114804. 10.1016/j.indcrop.2022.114804

FAO. 2025. *Agricultural production statistics– 2010–2024*. FAOSTAT Analytical Briefs, No. 121. Rome. https://doi.org/10.4060/cd8035en

Hodges, D. (2025). Discovery, research and development of axalion® active insecticide: dimpropyridaz†. *Pest Management Science*, 81: 2529-2534. https://doi.org/10.1002/ps.8385

Henderson, C. F., & Tilton, E. W. (1955). Tests with acaricides against the brown wheat mite. *Journal of Economic Entomology*, 48, 157–161.

Garrett, D., Teakle, G., Collier, R., Bell, J.R., Cerezo-Medina, S. & Morales-Hojas, R. (2024) Genome assembly and transcriptomic analysis to elucidate the ability of *Nasonovia ribisnigri* to break host plant resistance. *Insect Molecular Biology*, 33(3), 228–245. Available from: https://doi.org/10.1111/imb.12894

Mahdavi, R., Rasekh, A., Jam, N. A., Rakhshani, E., & Farsi, A. (2025). Evaluation of sublethal and intergenerational effects of three insecticides on life table parameters of currant lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Mosely)(Hemiptera: Aphididae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 102500. https://doi.org/10.1016/j.aspen.2025.102500

Maienfisch, P. (2026). IRAC: Nematicide Mode of Action Classification. *Modern Crop Protection Compounds*, *3*, 1979-2009.

Morita, M., Ueda, T., Yoneda, T., Koyanagi, T. & Haga, T. (2007), Flonicamid, a novel insecticide with a rapid inhibitory effect on aphid feeding. *Pest Management Science*, 63: 969-973. https://doi.org/10.1002/ps.1423

Moradi, B., Sheibani Tezerji, Z. & Basirat, M. (2019). The effect of water pH on efficiency of spirotetramat and imidacloprid against *Agonoscena pistaciae* under field conditions. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *42*(4), 1–12. https://doi.org/10.22055/ppr.2019.15286.

Morales, I., Diaz, B. M., Hermoso de Mendoza, A., Nebreda, M., & Fereres, A. (2013). The development of an economic threshold for *Nasonovia ribisnigri* (Hemiptera: Aphididae) on lettuce in central Spain. *Journal of Economic Entomology*, *106*(2), 891–898. https://doi.org/10.1603/ec12275

Piepho, H.P., Büchse, A. and Emrich, K. (2003), A Hitchhiker's guide to Mixed Models for Randomized Experiments. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189: 310-322. https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2003.00049.x

Pedigo, L. P. (1996). *Entomology and pest management* (No. Ed. 2, pp. xxii+-679).

Rezaei, M. & Graily Moradi, F. (2025). Greenhouse evaluation of flonicamid efficacy against green peach aphid (*Myzus persicae*) and western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) at different population densities. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *48*(3), 71–79. https://doi.org/10.22055/ppr.2025.49455.1807.

Sabra, S. G., Abbas, N., & Hafez, A. M. (2025). Evaluation of insecticide toxicity and field performance against *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) in laboratory and greenhouse conditions. *Agronomy*, *15*(2), 280. https://doi.org/10.3390/agronomy15020280

Shafaghi, F., Foruzan, M., Morowati, M., Khosravi, M., Namvar, P. & Sheikhi Garjan, A. (2022). The Efficacy of different insecticides against *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) and the determination of Emamectin Benzoate and Acetamiprid residue levels on greenhouse cucumber. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *45*(2), 109–120. https://doi.org/10.22055/ppr.2022.17578.

Sparks, T. C., Wessels, F. J., Lorsbach, B. A., Nugent, B. M., & Watson, G. B. (2019). The new age of insecticide discovery-the crop protection industry and the impact of natural products. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *161*, 12-22. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.09.002

Siegwart, M., Gauffre, B., Lecerf, E., & Poëssel, J. L. (2024). Efficacy of 2 botanical aphicides, chicoric and 3, 5-dicaffeoylquinic acids, on aphids susceptible and resistant to synthetic insecticides. *Journal of Economic Entomology*, *117*(4), 1347-1355. https://doi.org/10.1093/jee/toae069

Shi, M., Gu, J., Wu, H., Rauf, A., Emran, T. B., Khan, Z., Mitra, S., Aljohani, A. S. M., Alhumaydhi, F. A., Al-Awthan, Y. S., Bahattab, O., Thiruvengadam, M., & Suleria, H. A. R. (2022). Phytochemicals, nutrition, metabolism, bioavailability, and health benefits in lettuce—A comprehensive review. *Antioxidants*, *11*(6), 1158. https://doi.org/10.3390/antiox11061158

Shrestha, G., Skovgård, H., & Enkegaard, A. (2014). Parasitization of commercially available parasitoid species against the lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Hemiptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, *43*(6), 1535–1541. https://doi.org/10.1603/EN14068

Walley, P. G., Hough, G., Moore, J. D., Carder, J., Elliott, M., Mead, A., Jones, J., Teakle, G., Barker, G., Buchanan-Wollaston, V., Hand, P., Pink, D., & Collier, R. (2017). Towards new sources of resistance to the currant-lettuce aphid (*Nasonovia ribisnigri*). *Molecular Breeding*, *37*(1), 4. https://doi.org/10.1007/s11032-016-0606-4

© 2026 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/.