

Effect of Some Adjuvants on Efficacy and optimization use of Imidacloprid against (*Brevicoryne brassicae* L.) (Hemiptera: Aphididae) in Rapeseed (Canola)

Mohammad Heidari¹, Behzad Habibpour¹, Hadi Mosallanejad^{*2}, Habibolah Roshanfeker³

1- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

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

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

*Corresponding author: hmosalla@gmail.com

<https://doi.org/10.22067/JPP.2026.96271.1261>

Introduction

Rapeseed, *Brassica napus* (Canola) is one of the most important oilseed crops in the Brassicaceae family having significant economic value. The global production of Canola is expected to increase due to global oil use and renewable energy directives being established. Damage by insect pests is resulting in an annual yield loss in oilseed rape production of 15% on a European scale. Management of insect pests in rapeseed rely heavily on insecticides due to the lack of effective crop rotation and resistant cultivar. The mealy cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* L., is one of the important and key pests of canola, which using chemical insecticides is the main control method. Imidacloprid (IRAC 4A), the most well-known and widely used representative of the neonicotinoid insecticides, is recommended to control this aphid in Iran. It provides systemic protection in plants. The outer surface of canola leaves, with their waxy layer, are susceptible to drops of solution washing off during spraying. Agricultural adjuvants are tank-mix additives that can solve such problems and increase the efficacy of insecticides by improving the physical and chemical properties of the insecticide's solution. There has been very limited research on the role of adjuvants in improving insecticide performance in rapeseed. This research, aimed to evaluate the effects of three commercial adjuvants (Rapido[®], Spredex[®] and Eco-Tac[®]) on the efficiency of imidacloprid (SC35%) to control the mealy cabbage aphid in canola crop. These adjuvants have different properties, such as wetting, sticking and spreading. Imidacloprid is formulated as suspension concentrate type (SC) which is water-based formulations. It is known that in SC formulation, the solid particles dispersed in a liquid carrier, and it is hard to spread on the Canola leaves. Therefore, this kind of formulation needs more adjuvant for better performance.

Materials and Methods

The project was performed in a research farm in Firouzabad city (Fars province, Iran), based on a completely randomized design with 8 treatments and 3 replicates. The efficacy in the sampling units were recorded at 3, 7 and 14 days after treatment, using the Henderson and Tilton's formula. The surface tension and the contact angle of the spray solution were also measured using an automatic interface tensiometer. Determination of the residual effects of insecticides is very important helping the choice of spraying frequency to avoid unnecessary

insecticide applications. The treatments were: imidacloprid (recommended dose); imidacloprid+ Rapido®; imidacloprid+ Spredex®; imidacloprid+ Eco-Tac®; 20% reduction of imidacloprid dosage + each adjuvant. The control treatment was sprayed by water only. An atomizer sprayer was calibrated before running the experiment. The sprayer was cleaned well with water before applying each treatment. The application rate of the Rapido and Eco-Tac adjuvant was 0.1% in spray solutions, while in the case of Spredex was 0.05%. The results of the field efficacy trials were subjected to an analysis of variance (ANOVA), and the mean values of the treatments were then separated using a Tukey test with the SAS software (version 9.1). The threshold to assess significant differences was set as $\alpha = 0.05$.

Results and Discussion

The results showed that all adjuvants were able to improve the efficacy of imidacloprid. For example, after 3 days after treatment, the imidacloprid alone, showed 78.81% efficacy (b statistical group), however the efficacy in “imidacloprid+ Rapido®”, “imidacloprid+ Spredex®” and “imidacloprid+ Eco-Tac®” was evaluated as 90.93, 89.26 and 87.99%, respectively (a statistical group). The results of the surface tension and the contact angle measurements indicated that when adjuvants were added to the imidacloprid solutions, the contact angle decreased substantially as a result of the lowered surface tension of the droplets. When Rapido® and Spredex® were used in combination of reduced dosage of imidacloprid (20%), the efficacy of imidacloprid stayed as high in all days after treatment, being 88.94 and 92.43% in 3 days after treatment. In the case of Eco-Tac®, when used with 20% reduction of imidacloprid, the efficacy was 77.86% (statistical group b), which was not significantly different from imidacloprid treatment alone. Our results also support this statement as the adjuvant improved the efficacy of imidacloprid insecticides with the SC formulation. Furthermore, our results indicate that the selection of appropriate adjuvants (such as Spredex® and Rapido®) can allow for reduction use of imidacloprid up to 20% without reducing efficacy, which is important from an economic perspective, reducing environmental pollution, and resistance pest management.

Keywords: integrated pest management, optimization use of insecticides, additives

تأثیر چند ماده افزودنی (ادجوانت) در کارایی و مصرف بهینه ایمیداکلوپراید در کنترل شته مومی کلم (*Brevicoryne brassicae* L.) (Hemiptera: Aphididae) در

کلزا

محمد حیدری^۱، بهزاد حبیب پور^۱، هادی مصطفی نژاد^۲ و حبیب اله روشنفکر^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵

۱- گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

۲- موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تهران، ایران

۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

نویسنده مسئول: hmosalla@gmail.com

<https://doi.org/10.22067/JPP.2026.96271.1261>

چکیده

شته مومی کلم (*Brevicoryne brassicae* L.) یکی از آفات مهم و کلیدی کلزا است که کنترل آن معمولاً با استفاده از حشره‌کش‌های شیمیایی انجام می‌شود. برگ‌های کلزا با دارا بودن لایه مومی، مستعد ریزش قطرات محلول در هنگام سمپاشی هستند که این امر باعث کاهش کارایی حشره‌کش‌ها می‌شود. ادجوانت‌ها مواد افزودنی هستند که اگر به مخزن سمپاش اضافه شوند، با بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محلول، می‌توانند مشکل ریزش قطرات را حل کرده و با افزایش چسبندگی و نفوذ محلول سم، کارایی حشره‌کش‌ها را افزایش دهند. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر سه ادجوانت به نام‌های *Rapido*[®]، *Spredex*[®] و *Eco-Tac*[®] بر کارایی ایمیداکلوپراید در کنترل شته مومی کلزا انجام شد. آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۸ تیمار و ۳ تکرار در یک مزرعه تحقیقاتی در فیروزآباد (استان فارس) در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ اجرا شد. ارزیابی‌ها در یک روز قبل از سم‌پاشی، ۳، ۷ و ۱۴ روز پس از سم‌پاشی انجام و درصد کارایی ایمیداکلوپراید با فرمول هندرسون-تیلتون محاسبه شد. همچنین کشش سطحی محلول پاشش در تیمارها و اندازه زاویه تماس آنها با برگ نیز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که افزودن هر سه ادجوانت به ایمیداکلوپراید، باعث افزایش معنی‌دار کارایی شد. به‌طوری‌که در بازه زمانی سه روز پس از سمپاشی، تیمار ایمیداکلوپراید به تنهایی با ۷۸/۸۱ درصد کارایی در گروه آماری b قرار گرفت، اما تیمارهای "ایمیداکلوپراید + *Rapido*[®]"، "ایمیداکلوپراید + *Spredex*[®]" و "ایمیداکلوپراید + *Eco-Tac*[®]" به ترتیب با ۹۰/۹۳ و ۸۹/۲۶ و ۸۷/۹۹ درصد کارایی همگی در گروه آماری a قرار گرفتند. اضافه کردن ادجوانت‌های *Rapido*[®] و *Spredex*[®] وقتی با کاهش دز مصرفی ایمیداکلوپراید (۲۰٪) همراه شد، در فواصل نمونه‌برداری، کارایی موثر ایمیداکلوپراید در کنترل شته، حفظ شد به‌طوری‌که در بازه سه روز پس از سمپاشی، این تیمارها به‌ترتیب با کارایی ۸۸/۹۴ و ۹۲/۴۳ درصد در گروه آماری a قرار گرفتند. در مورد ادجوانت *Eco-Tac*[®] وقتی با کاهش ۲۰ درصدی دز مصرف ایمیداکلوپراید همراه شد، کارایی آن ۷۷/۸۶ درصد بود (گروه آماری b) که با تیمار ایمیداکلوپراید به تنهایی، تفاوت معنی‌داری نداشت. این نتایج نشان می‌دهد که انتخاب ادجوانت مناسب (به‌ویژه *Spredex*[®] و

- ۱ Rapido®)، می‌تواند امکان کاهش مصرف ایمیداکلوپراید تا ۲۰ درصد را بدون کاهش کارایی فراهم کند که از نظر
- ۲ اقتصادی، کاهش آلودگی زیست‌محیطی و مدیریت مقاومت آفات حائز اهمیت است.
- ۳ **واژه‌های کلیدی:** مدیریت تلفیقی آفات، مصرف بهینه حشره‌کش‌ها، مواد افزودنی

مجله علمی
پژوهش
انتشار

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در جهان محسوب می‌شود که در تولید روغن خوراکی، علوفه، کود سبز و سوخت زیستی، اهمیت اقتصادی ویژه ای دارد. این محصول با تولید سالانه جهانی بیش از ۷۰ میلیون تن، در رتبه سوم تولید روغن‌های گیاهی، پس از پالم و سویا قرار دارد (Murphy, 2025). در ایران، کلزا یک محصول راهبردی محسوب شده و برنامه‌ریزی برای افزایش سطح زیرکشت آن، به منظور کاهش وابستگی به واردات روغن خام در دستور کار قرار گرفته است. در میان عوامل خسارت‌زا در کلزا، شته مومی کلم (*Brevicoryne brassicae* L.) به عنوان آفت کلیدی شناخته می‌شود (Iosob et al., 2023). این حشره با تغذیه از شیره گیاهی، علاوه بر ایجاد خسارت مستقیم ناشی از مکیدن آب و مواد غذایی، باعث ترشح عسلک می‌شود که بستر مناسبی برای رشد قارچ‌های دوده‌ای فراهم می‌کند. این قارچ‌ها با پوشاندن سطح برگ، فرآیند فتوسنتز را مختل کرده و کیفیت محصول را کاهش می‌دهند (Ali et al., 2024). از سوی دیگر، این شته به‌عنوان ناقل مهم ویروس‌های گیاهی از جمله ویروس موزاییک ترب (*Turnip mosaic virus*) و ویروس زردی چغندر قند (*Beet yellows virus*) عمل کرده و خسارات ثانویه قابل توجهی وارد می‌سازد. بر اساس گزارش‌های موجود، خسارت این آفت در کلزا، در شرایط آلودگی شدید می‌تواند تا ۸۰ درصد کاهش عملکرد را به همراه داشته باشد (Peng et al., 2023). کنترل شته مومی کلزا عموماً با مصرف حشره‌کش‌ها انجام می‌شود که ایمیداکلوپراید، به عنوان یک ترکیب سیستمیک متعلق به گروه نئونیکوتینوئیدها (IRAC 4A)، یکی از پرکاربردترین آن‌ها در دنیا محسوب می‌شود (Pal & Singh, 2013). در کشور ما نیز بر اساس دستورالعمل اجرایی سازمان حفظ نباتات کشور، جهت کنترل شیمیایی این آفت در ایران، حشره‌کش‌های ایمیداکلوپراید و پرمیکارب توصیه می‌شوند (Nourbaksh, 2025). استفاده مکرر و غیراصولی از ایمیداکلوپراید می‌تواند منجر به بروز مشکلات جدی بشود. از جمله این مشکلات می‌توان به بروز مقاومت در آفات هدف، اثرات منفی بر حشرات مفید (به‌ویژه زنبور عسل و سایر گرده‌افشان‌ها)، آلودگی منابع آبی، تجمع در خاک و زنجیره‌های غذایی و در نهایت تهدید سلامت انسان و محیط زیست اشاره کرد. این مسائل ضرورت توسعه راهکارهای نوین برای بهینه‌سازی مصرف حشره‌کش‌ها را دوچندان کرده است (Bao et al., 2022).

به‌طور کلی یکی از راهبردهای مؤثر و امیدوارکننده برای کاهش مصرف و استفاده بهینه همه انواع حشره‌کش‌ها (حتی حشره‌کش‌های زیستی)، ادجوانت‌ها هستند (Lan et al., 2018; Zhao et al., 2022; Holka).

(Kowalska, 2023). ادجوانت‌ها ترکیباتی هستند که بدون داشتن فعالیت بیولوژیک مستقل، با افزودن به فرمولاسیون حشره‌کش‌ها در کارخانه یا محلول سم‌پاشی در مزرعه، عملکرد آن‌ها را بهبود می‌بخشند (Green, & Beestman, 2007; Williams *et al.*, 2020). این مواد از طریق سازوکارهای مختلف فیزیکی شیمیایی، باعث افزایش خیس‌کنندگی و پخش‌کنندگی محلول سم‌پاشی روی سطوح هدف، بهبود چسبندگی قطرات به سطح برگ، کاهش تبخیر و بادبردگی، افزایش نفوذپذیری در کوتیکول گیاهی و بافت‌های حشرات، کاهش آبشویی در اثر باران و در نهایت باعث بهبود کارایی حشره‌کش‌ها می‌شوند (Gaskin *et al.*, 2010; Gautam *et al.*, 2016; Roubos *et al.*, 2019). اهمیت تجاری این مواد در سال‌های اخیر افزایش یافته، به‌طوری‌که میزان فروش انواع مواد افزودنی کشاورزی در دنیا در سال ۲۰۲۴، بیش از چهار میلیارد دلار بوده و پیش‌بینی می‌شود این رقم در سال ۲۰۳۳ به حدود ۶/۶ میلیارد دلار برسد. تنها در استرالیا بیش از ۳۰۰ نوع از انواع مختلف مواد افزودنی در بازار وجود دارد (Congreve & Cameron, 2019).

برگ‌های کلزا به‌دلیل وجود لایه مومی در سطح خود، خاصیت آب‌گریزی زیادی دارند. این ویژگی سبب می‌شود که محلول سم‌پاشی به‌خوبی در سطح برگ‌ها پخش نشده و به‌راحتی جدا شده و در نتیجه کاهش اثربخشی حشره‌کش‌ها را به دنبال داشته باشد (Yuan *et al.*, 2020). این ویژگی مورفولوژیک گیاه، یکی از موانع اصلی در کارایی عملیات محلول‌پاشی محسوب می‌شود و استفاده از ادجوانت‌ها را به‌عنوان یک ضرورت در افزایش اثربخشی حشره‌کش‌ها در این محصول مطرح می‌سازد (Wang *et al.*, 2007; Xu *et al.*, 2010). به علاوه، امیداکلوپراید با فرمولاسیون سوسپانسیون غلیظ (suspension concentrate, SC) عرضه می‌شود که تحقیقات متعدد، ثابت کرده‌اند ادجوانت‌های معینی می‌توانند کارایی آنرا افزایش دهند (Nagy *et al.*, 2020). با وجود اهمیت بالای این موضوع، مرور منابع نشان می‌دهد که تحقیقات انجام‌شده در خصوص نقش ادجوانت‌ها در بهبود عملکرد حشره‌کش‌ها در گیاه کلزا، بسیار محدود بوده و بیشتر مطالعات پیشین به کاربرد آن‌ها در ترکیب با علف‌کش‌ها اختصاص یافته است (Delchev & Barakova, 2018; Garcia *et al.*, 2025). در نتیجه، خلأ پژوهشی قابل‌توجهی در زمینه تاثیر ادجوانت‌ها بر حشره‌کش‌ها وجود دارد که می‌تواند افق‌های جدیدی برای مدیریت تلفیقی آفات و کاهش مصرف حشره‌کش‌ها بگشاید. بنابراین، انجام تحقیقات نه‌تنها می‌تواند زمینه‌ساز مصرف عملی و کاربردی این مواد را فراهم

کند، بلکه می‌تواند به بهبود کنترل آفات در مزارع کلزا کمک کند و با کاهش میزان مصرف حشره‌کش‌ها، نقش مهمی در ارتقا کشاورزی پایدار خواهد داشت (Lo and Lee, 2018; Zheng *et al.*, 2020).

مواد و روش‌ها

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۸ تیمار و ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی شهرستان فیروزآباد واقع در استان فارس در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شد. محل اجرای آزمایش در موقعیت جغرافیایی $28^{\circ}51'N$ و $52^{\circ}34'E$ و ارتفاع ۱۲۸۸ متری از سطح دریا قرار داشت. آزمایش روی رقم کلزا هایولا (Hyola 330) انجام شد که یکی از ارقام پرمحصول و متداول در منطقه است. اندازه کرت‌های آزمایشی 4×3 متر (۱۲ متر مربع) با فاصله ۳ متر بین کرت‌ها در نظر گرفته شد.

تیمارهای مورد بررسی شامل سه نوع ادجوانت با نام‌های تجاری $\text{Eco-Tac}^{\text{®}}$ ، $\text{Sprex}^{\text{®}}$ ، $\text{Rapido}^{\text{®}}$ در ترکیب با دوزهای مختلف ایمیداکلوپراید (IRAC 4A) (SC 35%)، (فرموله شده توسط شرکت شیمیایی گل‌سم گرگان) بودند. ایمیداکلوپراید یک حشره‌کش سیستمیک از گروه نئونیکوتینوئیدها است که با اتصال به گیرنده‌های نیکوتینی استیل کولین (nAChRs) در سیستم عصبی حشرات عمل می‌کند. این اتصال باعث اختلال در انتقال پیام‌های عصبی، فلج و در نهایت مرگ حشره می‌شود (Bass *et al.*, 2015). تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از:

۱. ایمیداکلوپراید با دوز نیم در هزار (توصیه‌شده)

۲. ایمیداکلوپراید نیم در هزار + $\text{Rapido}^{\text{®}}$

۳. ایمیداکلوپراید ۰/۴ در هزار + $\text{Rapido}^{\text{®}}$

۴. ایمیداکلوپراید نیم در هزار + $\text{Sprex}^{\text{®}}$

۵. ایمیداکلوپراید ۰/۴ در هزار + $\text{Sprex}^{\text{®}}$

۶. ایمیداکلوپراید نیم در هزار + $\text{Eco-Tac}^{\text{®}}$

۷. ایمیداکلوپراید ۰/۴ در هزار + $\text{Eco-Tac}^{\text{®}}$

۸. تیمار شاهد (سم‌پاشی با آب)

مشخصات ادجوانت‌ها

- **Rapido[®]**: یک سوپر خیس کننده و نفوذکننده سیلیکونی شامل ۱۰٪ ارگانوسیلیکون ها به همراه ۵۶٪ روغن گیاهی اولئیک اسید. این ادجوانت در (۱/۰٪) از محلول سمپاشی مصرف شد (معادل یک در هزار).

- **Spredex[®]**: یک خیس کننده عمومی از سورفکتانت های غیریونی با فرمولاسیون سوسپانسیون غلیظ (SC) که در (۰/۰۵) از محلول سمپاشی مصرف شد (معادل نیم در هزار).

- **Eco-Tac[®]**: ادجوانت ثبت شده و مجاز در کشاورزی ارگانیک با قابلیت چسبندگی بالا حاوی ۳۶٪ پارافین واکس، فرمولاسیون این ادجوانت (EW) می باشد و در (۱/۰٪) از محلول سمپاشی مصرف شد (معادل یک در هزار).

نمونه برداری از واحدهای آزمایشی، یک روز قبل از سمپاشی و ۳، ۷ و ۱۴ روز پس از سمپاشی انجام شد. برای نمونه برداری از هر واحد آزمایشی ۵ بوته و از هر بوته چهار برگ انتهایی در نظر گرفته شد و جمعیت پوره و حشرات کامل روی برگها شمارش شدند. درصد کارایی هر تیمار با فرمول هندرسون-تیلتون (Henderson and Tilton 1955) به شرح زیر تعیین شد (Dara et al., 2019).

$$\text{کارایی (\%)} = \left[1 - \left(\frac{T_a}{T_b} \times \frac{C_b}{C_a} \right) \right] \times 100$$

Ta = میانگین تعداد شته در تیمار بعد از سمپاشی

Tb = میانگین تعداد شته در تیمار قبل از سمپاشی

Ca = میانگین تعداد شته در شاهد بعد از سمپاشی

Cb = میانگین تعداد شته در شاهد قبل از سمپاشی

شاخص کارایی نسبی تیمارها

برای ارزیابی دقیق تر تأثیر ادجوانت ها بر عملکرد ایمیداکلوپراید، شاخص کارایی نسبی^۱ محاسبه شد. این شاخص با تقسیم درصد کارایی هر تیمار بر درصد کارایی ایمیداکلوپراید به تنهایی و ضرب در ۱۰۰ به دست آمد (Palumbo, 2019).

¹ Relative Efficacy Index

$$REI = \left(\frac{\text{درصد کارایی تیمار موردنظر}}{\text{درصد کارایی ایمیداکلوپراید تنها}} \right) \times 100$$

اندازه‌گیری کشش سطحی محلول پاشش و اندازه زاویه محلول با برگ کلزا

اندازه‌گیری کشش سطحی محلول پاشش (بر حسب میلی نیوتن بر متر و به روش خاصیت موئینگی) و اندازه زاویه تماس آنها با برگ (بر حسب درجه) هر یک جداگانه و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و چهار تکرار توسط دستگاه‌های مربوطه در شرکت نانو مهندسی سطح ژیکان انجام شد. تیمارها عبارت بودند از: ایمیداکلوپراید به تنهایی، (۲) ایمیداکلوپراید + Rapido® (۳) ایمیداکلوپراید + Spredex® (۴) ایمیداکلوپراید + Eco-Tac® (۵) تیمار شاهد (آب).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای SAS نسخه ۹٫۴ انجام شد. پیش از انجام تجزیه واریانس، نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون Shapiro-Wilk و همگنی واریانس‌ها با آزمون Levene مورد بررسی قرار گرفت. کارایی تیمارهای مختلف به صورت درصد کاهش جمعیت و بر اساس فرمول هندرسون و تیلتون (۱۹۵۵) برآورد شد. برای مقایسه کارایی تیمارها از تجزیه واریانس یکطرفه (One-way ANOVA) استفاده شد. برای آنالیز نتایج داده‌ها نیز از رویه GLM بهره گرفته شد. در تمام آزمون‌ها از نرم افزار SPSS ver. 22 و هم چنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Tukey چند دامنه‌ای در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج

الف) مقایسه درصد کارایی تیمارهای آزمایشی پس از گذشت سه روز بعد از سم‌پاشی

با توجه به نتایج تجزیه آماری ($F=9.87$; $df=6$; $P<0.001$)، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی دیده شد. گروه‌بندی آماری میانگین درصد کارایی تیمارهای آزمایشی در جدول ۱ آمده است. براساس این نتایج می‌توان گفت که در فاصله زمانی سه روز پس از سم‌پاشی، اضافه کردن هر سه ادجوانت به ایمیداکلوپراید باعث افزایش کارایی شد. چون تیمار ایمیداکلوپراید به تنهایی با ۷۸/۸۱ درصد کارایی در گروه آماری b قرار گرفت، اما

تیمارهای ایمیداکلوپراید+ Rapido[®], ایمیداکلوپراید+ Spredex[®] و ایمیداکلوپراید+ Eco-Tac[®] به ترتیب با ۹۰/۹۳ و ۸۹/۲۶ و ۸۷/۹۹ درصد کارایی همگی در گروه آماری a قرار گرفتند.

در خصوص تیمارهایی که با کاهش بیست درصدی دز مصرف ایمیداکلوپراید همراه بودند، اضافه کردن ادجوانتهای Rapido[®] و Spredex[®] وقتی با کاهش دز ایمیداکلوپراید همراه شد، کارایی موثر خود را حفظ کردند به طوری که این تیمارها به ترتیب با کارایی ۸۸/۹۴ و ۹۲/۴۳ درصد در گروه آماری a قرار گرفتند. در مورد ادجوانتهای Eco-Tac[®] وقتی با کاهش ۲۰ درصدی ایمیداکلوپراید همراه شد، کارایی ۷۷/۸۶ درصد بود که در گروه آماری b قرار گرفت که با تیمار ایمیداکلوپراید به تنهایی، تفاوت معنی داری نداشت.

برای ارزیابی دقیق تر تأثیر ادجوانتهای بر عملکرد ایمیداکلوپراید، شاخص کارایی نسبی محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. در این شاخص، کارایی ایمیداکلوپراید به تنهایی (بدون ادجوانته)، ۱۰۰ در نظر گرفته می شود و کارائی سایر تیمارها، نسبت به این تیمار سنجیده می شوند. در سه روز پس از سم پاشی، شاخص کارایی نسبی همه تیمارها (بجز Eco-Tac[®] + ۲۰٪ کاهش دز ایمیداکلوپراید) بیشتر از ۱۰۰ محاسبه شد که در بین آنها تیمار Spredex[®] + ۲۰٪ کاهش دز ایمیداکلوپراید، بالاترین شاخص کارایی نسبی (۱۱۷/۲۸) را نشان داد که نشان دهنده بهبود ۱۷/۲۸ درصدی کارایی نسبت به تیمار ایمیداکلوپراید بدون ادجوانته است.

(ب) مقایسه درصد کارایی تیمارهای آزمایشی پس از گذشت هفت روز بعد از سم پاشی در فاصله زمانی هفت روز پس از سم پاشی نیز، نتایج تجزیه آماری ($F=8.42$; $df=6$; $P<0.0001$) نشان داد که اختلاف معنی داری بین تیمارهای آزمایشی وجود دارد. تیمار ایمیداکلوپراید به تنهایی با کارایی ۸۱/۱۵ درصد در گروه آماری (b) قرار گرفت. اضافه کردن هر سه ادجوانته به ایمیداکلوپراید باعث افزایش کارایی این حشره کش شد. اما تیمارهای ایمیداکلوپراید + Rapido[®] و ایمیداکلوپراید + Eco-Tac[®] به ترتیب با ۹۱/۲۰ و ۹۱/۹۹ درصد کارایی، در گروه آماری a قرار گرفتند. تیمار ایمیداکلوپراید + Spredex[®] نیز با کارایی ۸۸/۰۸ درصد در گروه آماری (ab) قرار گرفت.

در خصوص تیمارهایی که با کاهش ۲۰ درصدی دز ایمیداکلوپراید همراه بودند، اضافه کردن ادجوانتهای Spredex[®] وقتی با کاهش دز ایمیداکلوپراید همراه شد، کارایی موثر خود را حفظ کرد به طوری که این تیمار به ترتیب با کارایی ۹۰/۷۶ درصد در گروه آماری a قرار گرفت. ادجوانته Rapido[®] وقتی با کاهش دز ایمیداکلوپراید همراه

شد، با کارایی ۸۷/۱۹ در گروه آماری ab قرار گرفت. در مورد ادجوانت Eco-Tac® وقتی با کاهش ۲۰ درصدی ایمیداکلوپراید همراه شد، کارایی ۷۹/۹۰ درصد بود که در گروه آماری ab قرار گرفت.

محاسبه شاخص کارایی (جدول ۲) نسبی نیز نشان داد که همه تیمارها (بجز Eco-Tac® + ۲۰٪ کاهش دز ایمیداکلوپراید) بیشتر از ۱۰۰ محاسبه شد که در میان آنها، تیمار ایمیداکلوپراید + Eco-Tac® بالاترین شاخص کارایی نسبی (۱۱۳/۳۶) را نشان داد که نشان دهنده بهبود ۱۳/۳۶ درصدی کارایی نسبت به تیمار ایمیداکلوپراید بدون ادجوانت است (جدول ۲).

ج) مقایسه درصد کارایی تیمارهای آزمایشی پس از گذشت چهارده روز بعد از سمپاشی با توجه به نتایج تجزیه آماری ($F=7.23$; $df=6$; $P<0.001$)، اختلاف معنی داری بین تیمارهای آزمایشی دیده شد. براساس این نتایج در فاصله زمانی ۱۴ روز پس از سمپاشی، اضافه کردن هر سه ادجوانت به ایمیداکلوپراید باعث افزایش کارایی شد. تیمار ایمیداکلوپراید به تنهایی با کارایی ۸۳/۴۸ درصد در گروه آماری b قرار داشت، اما تیمارهای "ایمیداکلوپراید + Rapido®، ایمیداکلوپراید + Spredex® و ایمیداکلوپراید + Eco-Tac® به ترتیب ۹۲/۵۳، ۹۰/۰۶ و ۹۱/۶۶ درصد کارایی در گروه آماری a قرار گرفتند.

علاوه بر آن، اضافه کردن ادجوانت‌های Rapido® و Spredex® وقتی با کاهش دز ایمیداکلوپراید همراه شد، توانستند کارایی موثر ایمیداکلوپراید را حفظ کنند، به طوری که تیمار ایمیداکلوپراید با ۲۰٪ کاهش دز + Spredex® با ۸۹/۷۶ درصد و ایمیداکلوپراید با ۲۰٪ کاهش دز + Rapido® با ۸۹/۲۷ درصد، هر دو در گروه آماری (a) قرار گرفتند. این نتایج نشان می‌دهند که Spredex® و Rapido® حتی با کاهش ۲۰ درصدی دز ایمیداکلوپراید، توانسته‌اند کارایی را در سطح تیمار دز کامل حفظ کنند و تفاوت معنی داری با آن‌ها نداشته‌اند. اما تیمار ایمیداکلوپراید با ۲۰٪ کاهش دز + Eco-Tac® با کارایی ۸۰/۲۳ درصد در گروه آماری b قرار گرفت. به عبارت دیگر، ادجوانت Eco-Tac® با کاهش دز حتی پایین‌تر از تیمار ایمیداکلوپراید به تنهایی عمل کرد (۸۳/۴۸٪)، که بیانگر این است که این ادجوانت در شرایط کاهش دز ایمیداکلوپراید، نه تنها قادر به جبران کاهش دز حشره کش نیست، بلکه باعث کاهش بیشتر کارایی نیز می‌شود. این در حالی است که ادجوانت Eco-Tac® همراه با دز کامل ایمیداکلوپراید عملکرد بسیار خوبی (۹۱/۶۶٪) داشت.

محاسبه شاخص کارایی نسبی (جدول ۲) نیز نشان داد که همه تیمارها (بجز $+Eco-Tac^{\circledR}$ ۲۰٪ کاهش دز ایمیداکلوپراید) بیشتر از ۱۰۰ محاسبه شد که در میان آنها، تیمار ایمیداکلوپراید + $Rapido^{\circledR}$ بالاترین شاخص کارایی نسبی (۱۱۰/۸۴) را نشان داد که نشان دهنده بهبود ۱۰/۸۴ درصدی کارایی نسبت به تیمار ایمیداکلوپراید بدون ادجوانت است (جدول ۲).

اندازه گیری کشش سطحی محلول پاشش و اندازه زاویه محلول با برگ کلزا

نتایج نشان داد که تمامی ادجوانت ها در غلظت آزمایش شده باعث کاهش معنی دار کشش سطحی محلول پاشش و همچنین زاویه تماس آنها با برگ شدند (جدول ۳).

جدول ۱- میانگین درصد کارایی ($\pm$ اشتباه استاندارد) تیمارهای مختلف آزمایشی علیه شته مومی کلزا (*Brevicoryne brassicae* L.) در ۳، ۷ و ۱۴ روز بعد از سم پاشی

Table 1- Mean percentage of efficacy ($\pm$ Standard Error) in different experimental treatments against cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* L. in 3, 7 and 14 days after spraying

Treatments (تیمارها)	+3 days	+7 days	+14 days
Imidacloprid (recommended dose)	78.81 $\pm$ 3.95 ^b	81.15 $\pm$ 3.95 ^b	83.48 $\pm$ 1.44 ^b
Imidacloprid + Rapido [®]	90.93 $\pm$ 3.21 ^a	91.20 $\pm$ 1.49 ^a	92.53 $\pm$ 1.69 ^a
Imidacloprid (-20%) + Rapido [®]	88.94 $\pm$ 3.65 ^a	87.19 $\pm$ 4.16 ^{ab}	89.27 $\pm$ 1.73 ^a
Imidacloprid + Spredex [®]	89.26 $\pm$ 4.36 ^a	88.08 $\pm$ 3.28 ^{ab}	90.06 $\pm$ 2.97 ^a
Imidacloprid (-20%) + Spredex [®]	92.43 $\pm$ 3.72 ^a	90.76 $\pm$ 2.57 ^a	89.76 $\pm$ 2.21 ^a
Imidacloprid + Eco-Tac [®]	87.99 $\pm$ 2.91 ^a	91.99 $\pm$ 2.05 ^a	91.66 $\pm$ 2.53 ^a
Imidacloprid (-20%) + Eco-Tac [®]	77.86 $\pm$ 1.78 ^b	79.90 $\pm$ 2.69 ^b	80.23 $\pm$ 2.71 ^b

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

جدول ۲- شاخص کارایی نسبی و ارزیابی تیمارهای مختلف علیه شته مومی کلزا (*Brevicoryne brassicae* L.) در ۳، ۷ و ۱۴ روز پس از سم پاشی

Table 2 - Relative Efficacy Index of Different Treatments Against Cabbage Aphid (*Brevicoryne brassicae* L.) at 3, 7, and 14 Days After Spraying

Treatment	REI
3 Days After Spraying	
Imidacloprid (recommended dose)	100.00
Imidacloprid + Rapido [®]	115.40
Imidacloprid (-20%) + Rapido [®]	112.84
Imidacloprid + Spredex [®]	113.27
Imidacloprid (-20%) Spredex [®]	117.28

Treatment	REI
Imidacloprid + Eco-Tac [®]	111.67
Imidacloprid (-20%) + Eco-Tac [®]	98.79
7 Days After Spraying	
Imidacloprid recommended dose	100.00
Imidacloprid + Rapido [®]	112.39
Imidacloprid (-20%) + Rapido [®]	107.45
Imidacloprid + Spredex [®]	108.55
Imidacloprid (-20%) + Spredex [®]	111.86
Imidacloprid + Eco-Tac [®]	113.36
Imidacloprid (-20%) + Eco-Tac [®]	98.46
14 Days After spraying	
Imidacloprid (recommended dose)	100.00
Imidacloprid + Rapido [®]	110.84
Imidacloprid (-20%) + Rapido [®]	106.93
Imidacloprid + Spredex [®]	107.88
Imidacloprid (-20%) + Spredex [®]	107.51
Imidacloprid + Eco-Tac [®]	109.80
Imidacloprid (-20%) + Eco-Tac [®]	96.11

Note: REI = Relative Efficacy Index, calculated as (Treatment Efficacy / Control Efficacy) × 100.

جدول ۳- کشش سطحی محلول پاشش و زاویه تماس قطرات با برگ کلزا

Table 3- Static surface tension of treatment solutions and contact angle of sessile droplet, determined on canola leaves

Treatments	Static surface (n M m ⁻¹)	Contact angle (deg)
Imidacloprid	70.98±2.54 a	114.23±5.02 a
Imidacloprid + Rapido [®]	32.59±3.24 b	80.78±2.47 b
Imidacloprid + Spredex [®]	34.24±2.21 b	79.39±1.52 b
Imidacloprid + Eco-Tac [®]	35.28±4.34 b	82.92±3.20 b
Water	72.86±1.09 a	116.98±2.23 a

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

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که هر سه ادجوانت قادرند که کارایی ایمیداکلوپراید را افزایش دهند. چون در همه زمان‌های پس از سم‌پاشی، نتایج فوق تأیید شد (جدول ۱). همچنین محاسبه شاخص کارایی نسبی (جدول ۲) نشان داد که این بهبود در عملکرد بین ۶/۹۳ تا ۱۷/۲۸ درصد متغیر بود، که اهمیت انتخاب نوع ادجوانت مناسب را برجسته می‌سازد. بر اساس مشخصات فنی ارائه شده توسط شرکت سازنده، Rapido®، Spredex® و Eco-Tac®، سه محصول تجاری هستند که ویژگی‌هایی مانند خیس‌کنندگی، چسبندگی، پخش‌کنندگی و افزایش نفوذکنندگی برای آن‌ها ذکر شده است. بنابراین، خواص اشاره شده سبب شد که کارایی ایمیداکلوپراید افزایش پیدا کند. ادجوانت‌ها با کاهش کشش سطحی قطرات و کاهش زاویه تماس قطرات با سطح و افزایش چسبندگی و نفوذ آن‌ها، موجب بهبود توزیع یکنواخت محلول سمپاشی و در نهایت افزایش کارایی حشره‌کش‌ها می‌شوند (Melo et al., 2019) که در این تحقیق ثابت شد (جدول ۳). این موضوع به‌ویژه در گیاهانی با پوشش مومی (مثل کلزا)، اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند و می‌تواند تأثیر زیادی در کنترل آفات داشته باشند. گزارش‌های نسبتاً محدودی در خصوص این سه ادجوانت در دنیا وجود دارد. در بررسی منابع، تحقیقات مشابهی با این ادجوانت‌ها یافت نشد، اما مطالعات متعددی در خصوص تأثیر سایر ادجوانت‌ها در کارایی حشره‌کش‌ها و کنه‌کش‌ها انجام شده است که در اینجا فقط به چند گزارش در مورد ایمیداکلوپراید اشاره می‌شود. محققین چینی گزارش کرده‌اند که کارایی ایمیداکلوپراید علیه شته سبز هلو (Myzus persicae Sulzer) روی گیاه تنباکو، توسط دو ادجوانت به نام های Beichuang و Jiexiaoli از طریق نفوذ بهتر حشره‌کش، افزایش پیدا کرد (Chen et al., 2014). در تحقیق دیگری که در مصر روی مینوز برگ گوجه فرنگی (Tuta absoluta Meyrick) انجام شده، ثابت شد که اضافه کردن ادجوانتی به نام Sylgard 309® کارایی ایمیداکلوپراید را به‌نحوی افزایش می‌دهد که جمعیت آفت در مزرعه تا ۹۸ درصد کاهش می‌یابد (Ismail et al., 2024). مصلی‌نژاد و همکاران (Mosallanejad et al., 2021) نیز در تحقیقی روی شته جالیز (Aphis gossypii) در گلخانه خیار نشان دادند که دو ادجوانت به نام های Scorch و Torpedo II قادرند کارایی ایمیداکلوپراید و فلونیکامید را افزایش دهند.

یافته دیگر تحقیق حاضر این است که اضافه‌شدن ادجوانت‌های Rapido® و Spredex® به دز کاهش‌یافته ایمیداکلوپراید (۲۰٪)، کارایی ایمیداکلوپراید حفظ شد و کاهش نیافت. گزارشی از چین نشان داده است که در مزارع گندم برای مبارزه با شته گندم (*Schizaphis graminum*)، افزودن دو نوع ادجوانت یکی از نوع ارگانوسیلیکون

(LY-QF) و دیگری از نوع روغن گیاهی، می‌تواند مصرف ایمیداکلوپراید را تا ۲۰٪ کاهش دهد (Meng et al., 2018). همچنین گزارش شده است که افزودن ادجوانتی به نام Glow[®] به اسفنوالریت و پروفنفسوس، ضمن افزایش کارایی، باعث کاهش دز مصرفی این دو حشره‌کش به نصف مقدار توصیه شده می‌شود (Abdelgaleil et al., 2015). گزارش دیگری از فلوریدای آمریکا نیز حاکی از آن است که در شرایط گلخانه کاربرد ادجوانت Silwet[®] L-77 قادر است که مصرف ایمیداکلوپراید و آبامکتین را (به میزان نصف تا یک چهارم کمترین دز توصیه شده) در مبارزه با پسیل آسیایی مرکبات (*Diaphorina citri*) کاهش دهد (Srinivasan et al., 2008). آبرون و همکاران (Abron et al., 2015) هم نشان دادند که استفاده از ادجوانت D-Octa (دی‌اکتیل‌سدیم‌سولفوسوکسینات) می‌تواند کارایی کنه‌کش هگزیتازوکس علیه کنه تارتن دولکه‌ای (*Tetranychus urticae*) را تا ۲۵٪ افزایش دهد. علاوه بر این، استفاده از این ماده افزودنی منجر به کاهش دز مصرفی کنه‌کش (حدود ۱۵٪) و افزایش دوام و اثربخشی در طول زمان، شد. غفوری و همکاران (Ghafouri et al., 2015) نیز در بررسی اثرات ادجوانت اشاره شده (D-Octa) با هدف افزایش کارایی کنه‌کش هگزیتازوکس گزارش کردند که تنها یک روز پس از سمپاشی، بیشترین کارایی در تیمار هگزیتازوکس (با ۱۵٪ کاهش دز) + ادجوانت ثبت شد. این یافته‌ها با نتایج تحقیق حاضر که نشان داد [®]Spredex و [®]Rapido می‌تواند تا ۲۰٪ کاهش دز ایمیداکلوپراید را جبران کند، مطابقت دارد. در خصوص ادجوانت [®]Eco-Tac، نتایج نشان داد که اضافه شدن آن، وقتی با کاهش دز ایمیداکلوپراید همراه شد، کارایی ایمیداکلوپراید در حد بالایی حفظ نشد و در برخی بازه‌های زمانی کاهش معنی‌دار مشاهده شد. این می‌تواند ناشی از تفاوت در ترکیبات تشکیل‌دهنده [®]Eco-Tac نسبت به دو ادجوانت دیگر باشد. بر اساس اطلاعات فنی، [®]Eco-Tac یک ادجوانت طبیعی بر پایه روغن‌های گیاهی است، در حالی که [®]Rapido ادجوانت سیلیکونی و [®]Spredex ترکیبی از سورفکتانت‌های غیریونی هستند. بنابراین تفاوت در عملکرد ادجوانت‌ها، می‌تواند ناشی از ترکیبات متفاوت در مواد تشکیل‌دهنده آنها باشد که در این تحقیق ثابت شد. نکته دیگر اینکه ماده موثره حشره‌کش‌ها، در ترکیب شدن با ادجوانت‌ها، ممکن است پاسخ‌های فیزیولوژیک مختلفی را باعث شوند.

استفاده از ادجوانت‌ها در کشاورزی هوشمند و دقیق می‌تواند گام مهمی در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و کاهش مصرف حشره‌کش‌ها باشد. ادجوانت‌ها همچنین در سیستم‌های سم‌پاشی هوایی (مانند پهپادها) به بهینه‌سازی

توزیع سم و کاهش ضایعات کمک می‌کند. به‌ویژه در مناطق با پوشش گیاهی متنوع و دشوار، استفاده از ادجوانتها می‌تواند بهبود قابل توجهی در کنترل آفات داشته باشد (Wang *et al.*, 2022; Baek *et al.*, 2024).

نتیجه گیری

در مجموع، نتایج تحقیق حاضر می‌تواند هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست‌محیطی حائز اهمیت باشد، چرا که براساس نتایج مشخص شد که استفاده از ادجوانتها نه تنها کارایی ایمیداکلوپراید را افزایش می‌دهند، بلکه امکان کاهش دز مصرف را نیز فراهم می‌کند. این امر می‌تواند به کاهش هزینه‌های تولید، کاهش آلودگی محیط زیست، کاهش باقیمانده سموم در محصول و در نهایت کاهش خطر بروز مقاومت در آفات کمک کند (Lo and Lee, 2018; Zheng *et al.*, 2020).

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز (گرت شماره AP1403.323) انجام شد که بدین وسیله تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

- Abdelgaleil, S. A. M., Abdel-Aziz, N. F., Sammour, E. A., El-Bakry, A. M., & Kassem, S. M. I. (2015). Use of tank-mix adjuvants to improve effectiveness and persistence of chlorpyrifos and cyhalothrin formulations. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(6), 1539–1549.
- Abron, P., Beigham, Z., Heydari, A., & Kishani Farahani, H. (2015). Investigating the effect of dioctyl sodium sulfosuccinate on the efficacy of hexythiazox (EC 10%) insecticide for controlling two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch, on cucumber. *Pesticides in Plant Protection Sciences*, 2(2), 133–142. (In Farsi). 10.22092/JPPPS.2015.102530
- Ali, J., Abbas, A., Abbas, S., Ji, Y., Khan, K. A., Ghramh, H. A., & Chen, R. (2024). Honeydew: A keystone in insect–plant interactions, current insights and future perspectives. *Journal of Applied Entomology*, 148(6), 727–733. <https://doi.org/10.1111/jen.13269>
- Baek, J. W., Eun, H. R., Kim, S. H., Lee, Y. H., Jeong, M. J., Han, X., & Shin, Y. (2024). Reduction of pesticide dosage and off-target drift with enhanced control efficacy in unmanned aerial vehicle-based application using lecithin adjuvants. *Pest Management Science*. <https://doi.org/10.1002/ps.8551>
- Bao, Z., Wu, Y., Song, R., Gao, Y., Zhang, S., Zhao, K., & Du, F. (2022). The simple strategy to improve pesticide bioavailability and minimize environmental risk by effective and ecofriendly surfactants. *Science of the Total Environment*, 851, 158169. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158169>
- Bass, C., Denholm, I., Williamson, M. S., & Nauen, R. (2015). The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.04.004>
- Chen, H., Zhang, Y., Zhang, H., & Ding, W. (2014). Synergistic effect of imidacloprid combined with synergistic agents (Beichuang, Jiexiaoli) on *Myzus persicae*. *International Journal of Pest Management*, 60(3), 201–207. <https://doi.org/10.1080/09670874.2014.956355>

- Congreve, M., & Cameron, J. (Eds.). (2019). *Adjuvants – oils, surfactants and other additives for farm chemicals used in grain production*. Australian Government, Grains Research & Development Corporation (GRDC Publication), Australia.
- Dara, S. K. (2019). The new integrated pest management paradigm for the modern age. *Journal of Integrated Pest Management*, 10(1), 12. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz010>
- Delchev, G., & Barakova, T. (2018). Efficacy of herbicides and herbicide combinations at winter oilseed canola (*Brassica napus* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 24(1), 25–32.
- Garcia, L. C., Sformi, L. J. V., Hennipman, F. S., Milléo, M. V. R., Freitas, C., Scheremetta, Y. T., & Gonçalves, D. R. P. (2025). Canola pre-harvest management techniques to reduce seed losses: Cutting and swathing, spraying desiccant and spraying silique sealant adjuvant. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 53, 1–9. <https://doi.org/10.1080/01140671.2025.2503383>
- Gaskin, R. E., Horgan, D. B., & Manktelow, D. W. (2010). Adjuvant effects on the retention and uptake of spirotetramat insecticide sprays on kiwifruit. *New Zealand Plant Protection*, 63, 60–65. DOI:10.30843/nzpp.2010.63.6569
- Gautam, B. K., Little, B. A., Taylor, M. D., Jacobs, J. L., Lovett, W. E., Holland, R. M., & Sial, A. A. (2016). Effect of simulated rainfall on the effectiveness of insecticides against spotted wing drosophila in blueberries. *Crop Protection*, 81, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.12.017>
- Ghafouri, A., Grigi Fereiden, W., & Kishani Farahani, H. (2014). Examining the effects of D-Octa on increasing the efficacy of hexythiazox insecticide for controlling the damage of two-spotted spider mite in cucumber greenhouses in Yazd province. Proceedings of the 2nd National Conference on Applied Research in Agricultural Sciences, Yazd, Iran. (In Farsi)
- Green, J. M., & Beestman, G. B. (2007). Recently patented and commercialized formulation and adjuvant technology. *Crop Protection*, 26(3), 320–327. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.04.018>
- Henderson, C. F., & Tilton, E. W. (1955). Tests with acaricides against the brown wheat mite. *Journal of Economic Entomology*, 48, 157–161.
- Holka, M., & Kowalska, J. (2023). The potential of adjuvants used with microbiological control of insect pests with emphasis on organic farming. *Agriculture*, 13(9), 1659. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091659>
- Iosob, G. A., Cristea, T. O., & Bute, A. (2023). Future perspectives for pest and disease management in *Brassica*: A review. *Scientific Studies & Research. Series Biology / Studii și Cercetări Științifice. Seria Biologie*, 32(1).
- Ismail, H. S., Omar, A. E., El-Sobki, A. E., & Hendawi, M. Y. (2024). Influence of SYLGARD 309 adjuvant on imidacloprid used in controlling tomato leaf miner, *Tuta absoluta*, infesting tomato grown in open field. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 51(5), 963–970 <https://doi.org/10.21608/zjar.2024.391946>
- Lan, Y., Mei, G., Guo, Y., Song, J., & Wang, Z. (2018). Effect of aerial spray adjuvant applying on the efficiency of small unmanned aerial vehicle for wheat aphid control. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(5), 46–53. DOI: [10.25165/j.ijabe.20181105.4298](https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181105.4298)
- Lo, C. C., & Lee, T. L. (2018). Effects of adjuvants on pesticide combinations: Water quality on physical compatibility. *Adjuvants and Agrochemicals*, 2, 23–45. DOI: [10.1201/9781351069496-12](https://doi.org/10.1201/9781351069496-12)
- Melo, A. A., Hunsche, M., Guedes, J. V., Hahn, L., & Feltrin, N. M. (2019). Study of the effects of adjuvants associated with insecticides on the physicochemical properties of the spray solution and characterization of deposits on wheat and maize leaves under simulated rain. *Engenharia Agrícola*, 39 (3), 315–322. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n3p315-322/2019>
- Mosallanejad, H., Forouzan, M., & Ebrahimi, L. (2021). Effect of two adjuvants, Scorch and Torpedo, on the efficacy of imidacloprid and flonicamid insecticides against cotton aphid (*Aphis gossypii* Glover) in cucumber greenhouse. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 35(3), 11. (In Farsi). [10.22067/JPP.2021.70680.1025](https://doi.org/10.22067/JPP.2021.70680.1025)

- Murphy, D. J. (2025). Agronomy and environmental sustainability of the four major global vegetable oil crops: Oil palm, soybean, rapeseed, and sunflower. *Agronomy*, 15(6), 1465. <https://doi.org/10.3390/agronomy15061465>
- Nagy, K., Duca, R. C., Lovas, S., Creta, M., Scheepers, P. T., Godderis, L., & Ádám, B. (2020). Systematic review of comparative studies assessing the toxicity of pesticide active ingredients and their product formulations. *Environmental Research*, 181, 108926. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108926>
- Noorbakhsh, S. (Ed.). (2025). List of important pests, diseases and weeds of major agricultural crops, pesticides and recommended methods to control them. *Iranian Plant Protection Organization Publication*, 224 pp. (In Farsi)
- Pal, M., & Singh, R. (2013). Biology and ecology of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Linn.) (Homoptera: Aphididae): A review. *Journal of Aphidology*, 27(1), 59–78.
- Palumbo, J. C. (2019). Relative efficacy index (REI) for biopesticides on desert produce. Arizona Experiment Station, Veg. IPM Updates, Vol. 10, No. 4.
- Peng, Q., Li, W., Zhou, X., Sun, C., Hou, Y., Hu, M., & Lei, L. (2023). Genetic diversity analysis of brassica yellows virus causing aberrant color symptoms in oilseed rape. *Plants*, 12(5), 1008. <https://doi.org/10.3390/plants12051008>
- Roubos, C. R., Gautam, B. K., Fanning, P. D., Van Timmeren, S., Spies, J., Liburd, O. E., & Sial, A. A. (2019). Evaluation of adjuvants to improve control of spotted-wing drosophila in organic fruit production. *Journal of Applied Entomology*, 143(7), 706–720. <https://doi.org/10.1111/jen.12638>
- Srinivasan, R., Hoy, M. A., Singh, R., & Rogers, M. E. (2008). Laboratory and field evaluations of Silwet L-77 and Kinetic alone and in combination with imidacloprid and abamectin for the management of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). *Florida Entomologist*, 91(1), 87–100. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2008\)091\[0087:LAFEOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2008)091[0087:LAFEOS]2.0.CO;2)
- Stock, D., & Holloway, P. J. (1993). Possible mechanisms for surfactant-induced foliar uptake of agrochemicals. *Pesticide Science*, 38(2–3), 165–177. <https://doi.org/10.1002/ps.2780380211>
- Wang, C. J., & Liu, Z. Q. (2007). Foliar uptake of pesticides—Present status and future challenge. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 87(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2006.04.004>
- Wang, S., Li, X., Zeng, A., Song, J., Xu, T., Lv, X., & He, X. (2022). Effects of adjuvants on spraying characteristics and control efficacy in unmanned aerial application. *Agriculture*, 12(2), 138. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020138>
- Xu, L. Y., Zhu, H. P., Ozkan, H. E., Bagley, W. E., Derksen, R. C., & Krause, C. R. (2010). Adjuvant effects on evaporation time and wetted area of droplets on waxy leaves. *Transactions of the ASABE*, 53(1), 13–20. DOI:10.13031/2013.29495
- Yuan, Z., Jiang, Y., Liu, Y., Xu, Y., Li, S., Guo, Y., & Ni, Y. (2020). Exogenous hormones influence Brassica napus leaf cuticular wax deposition and cuticle function. *PeerJ*, 8, e9264. <https://doi.org/10.7717/peerj.9264>
- Zhao, R., Yu, M., Sun, Z., Li, L. J., Shang, H. Y., Xi, W. J., & Wu, X. M. (2022). Using tank-mix adjuvant improves the physicochemical properties and dosage delivery to reduce the use of pesticides in unmanned aerial vehicles for plant protection in wheat. *Pest Management Science*, 78(6), 2512–2522. <https://doi.org/10.1002/ps.6879>
- Zheng, X., Koopmann, B., Ulber, B., & von Tiedemann, A. (2020). A global survey on diseases and pests in oilseed rape—Current challenges and innovative strategies of control. *Frontiers in Agronomy*, 2, 590908. <https://doi.org/10.3389/fagro.2020.590908>

نسخه
پیش
انتشار