

Research Paper

Evaluation of the Efficiency of an Unmanned Aerial Vehicle Sprayer in Controlling Two-Spotted Spider Mite (*Tetranychus Urticae*) Bean

Mona Tahmasebi^{1*}, Nikroz Bagheri², Abolfazl Hedayatipour¹, Sedighe Ashtari³

¹ Agricultural Engineering Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Arak, Iran.

² Agriculture Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

³ Plant Protection Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Arak, Iran.

Article information	Abstract
Submitted: 2025/12/21 Revised: 2026/02/18 Accepted: 2026/03/10 Published online: 2026/03/21	Common bean, with a cultivated area of 99,090 ha, is the most important irrigated legume crop in the country. The two-spotted spider mite (<i>Tetranychus urticae</i>) is one of the key pests of this crop and can cause substantial yield losses if not controlled in a timely manner. This study was conducted to evaluate the effectiveness of an agricultural spraying UAV in controlling this mite and compare it with the conventional spraying method (tractor-mounted lancer sprayer). The experiment was carried out over two growing seasons using a randomized complete block design with three replications. The UAV treatments were variable in two levels of spraying height and spraying rate: T1- UAV sprayer (1.2 L/min, 1.5 m), T2- UAV sprayer (1.2 L/min, 2.5 m), T3- UAV sprayer (2.4 L/min, 1.5 m), T4- UAV sprayer (2.4 L/min, 2.5 m), and T5- tractor-mounted lancer sprayer (conventional method). The results showed that the UAV sprayer reduced pesticide consumption and drift compared with the conventional method. Drift rates for treatments 1 to 5 were 21.67%, 22.5%, 7.5%, 10%, and 34.17%, respectively. Increasing flight height at both spray rates increased drift, and the lowest drift value, 7.5%, was obtained at 2.4 L/min and 1.5 m. The field efficiency of the UAV sprayer at flight heights of 1.5 and 2.5 m was 72.3% and 69.4%, respectively, which was significantly higher than that of the lancer sprayer (42.3%). The effective field capacity of the UAV sprayer was 6.72 and 7.8 ha/h, while that of the lancer sprayer was 0.83 ha/h. Increasing the spray rate also improved spray uniformity. Pest control efficacy at 7 and 14 days after spraying showed no significant difference among UAV treatments, but the lancer sprayer had the lowest efficacy. Overall, considering its technical performance and economic advantages, the use of a UAV sprayer is recommended for spraying bean fields.
Keywords: Unmanned Aerial Vehicle sprayer Smart agriculture pest control beans	

*Corresponding author:
tahmasebi.mona@gmail.com

ORCID: 
 0000-0001-5413-4870



How to cite this paper:

Tahmasebi, M., Bagheri, N., Hedayatipour, A., Ashtari, S. (2026). Evaluation of the Efficiency of an Unmanned Aerial Vehicle Sprayer in Controlling Two-Spotted Spider Mite (*Tetranychus Urticae*) Bean, *Journal of Research in Mechanics of Agricultural Machinery*. 38: 1-16.
<https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2026.14808.744>. (In Persian)



Authors retain the copyright and full publishing rights. Published by [Shahrood University](https://www.shahrood.ac.ir). This article is an open access article licensed under the [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

<https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2026.14808.744>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Legumes are the second most consumed food source for humans, and beans rank first among water legumes in Iran based on the area under cultivation. The two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) is a major pest of common bean, causing reduced growth, yield losses, and, in severe cases, plant mortality. Without timely intervention, infestations can cause significant economic damage, prompting reliance on chemical control methods. According to reports, bean fields are sprayed with various pesticides and acaricides using sprayers, on average 3 to 5 times (in some cases 8 times) each year, to control this pest. This level of pesticide spraying, along with environmental pollution, increases production costs, eliminates natural enemies, and increases unauthorized pesticide residues in the product. Today, the use of unmanned aerial vehicle (UAV) to control pests and diseases of various crops has been proposed as a new method of spraying. According to the results of the research conducted, spraying with UAV has been more effective and efficient than other spraying methods. Therefore, considering the problems of spraying beans with conventional sprayers and the capabilities of UAV in pest management, the aim of this study is to assess the technical efficacy of unmanned aerial vehicle (UAV) sprayers in managing of two-spotted spider mite in bean fields compared to tractor-mounted lancer sprayers as a conventional method.

Material and Methods

In order to investigate the effect of spraying rate and height on the consumption of the solution pesticide, the drift, the spraying uniformity, and control of two-spotted spider mite, a randomized complete block design with three replications was employed in two crop years at the station of the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Markazi Province. The experimental treatments included: T1- UAV sprayer (spraying rate of 1.2 L/min- spraying

height of 1.5 m), T2- UAV sprayer (spraying rate of 1.2 L/min- spraying height of 2.5 m), T3- UAV sprayer (spraying rate of 2.4 L/min- spraying height of 1.5 m), T4- UAV sprayer (spraying rate of 2.4 L/min- spraying height of 2.5 m), and T5- tractor-mounted lancer sprayers (conventional method). In all tests, the flying speed of the UAV sprayer was 6 m/s. Conventional tractor-mounted lancer sprayers, the standard regional method, served as the control. Data were analyzed using SPSS, and ANOVA revealed significant treatment differences at the 1% level.

Results and Discussion

The results demonstrated that the UAV sprayer not only reduced pesticide consumption but also significantly decreased the spray drift rate compared to tractor-mounted lancer sprayers. This dual effect substantially minimized pesticide waste and mitigated environmental contamination. The highest drift (34.17%) occurred with the lancer sprayer, whereas the lowest drift (7.5%) was observed for the UAV treatment 3 (2.4 L/min, 1.5 m height). The highest consumption rate of the UAV sprayer was 26.4 L/hr, achieved at a spraying rate of 2.4 L/min and a speed of 6 m/s. This was substantially lower than the amount of solution used by the lancer sprayer by 502.2 L/hr. The average effective field capacity was 7.8 ha/hr and 6.7 ha/hr for the UAV sprayer at 2.5 m and 1.5 m heights, respectively, compared to 0.83 ha/hr for the lancer sprayer. The field efficiency of the UAV sprayer was 72.33% and 69.49% at heights of 1.5 m and 2.5 m, respectively.

In contrast, the lowest field efficiency (42.33%) was attained with the lancer sprayer. Accordingly, the effective field capacity of the UAV sprayer at heights of 1.5 m and 2.5 m, and the lancer sprayer was obtained 6.72, 7.8, and 0.83 hr/hr, respectively. Increasing the spray flow rate at constant speed enhanced the spraying uniformity coefficient. Among the UAV treatments, treatment 3 (2.4 L/min, 1.5 m) showed the lowest spraying coefficient. All

UAV treatments outperformed conventional spraying in mite control while using less pesticide. The lancer sprayer showed the lowest effectiveness in controlling the two-spotted spider mite on beans at 7 and 14 days after spraying. Although there was no significant difference between the experimental treatments 14 days after spraying, both spraying methods were effective in controlling the two-spotted spider mite. Notably, Treatment 2 (1.2 L/min, 2.5 m) achieved the highest efficacy at 7 and 14 days after spraying. In conclusion, from a technical standpoint, the UAV sprayer is superior to the lance sprayer for controlling bean pests, offering significant advantages in efficiency, drift reduction, and chemical usage.

Conclusions

This study was conducted to evaluate the performance of a UAV sprayer with two spray rates and two spray heights for controlling the two-spotted spider mite pest of common beans, and to compare it with the conventional spraying method (a tractor-mounted lancer sprayer).

- In spraying with the UAV sprayer, in addition to reducing the consumption of pesticide solution, the amount of drift was lower than with a lancer sprayer.
- The effective field capacity and field efficiency of the UAV sprayer are higher than that of the lancer sprayer.
- The UAV sprayer has acceptable spraying quality factors.
- The lance sprayer showed the lowest percentage of effectiveness in controlling the two-spotted spider mite of beans at 7 and 14 days after spraying.

Due to its greater field efficiency, the UAV sprayer is advantageous for large areas and in conditions of pest epidemics. Also, in fields where tractors cannot enter due to flat bean cultivation (or rainfall and post-irrigation conditions), the best spraying method is to use a UAV. In general, when spraying with the

UAV sprayer to control bean spider mites, a flight height of 1.5 m, a maximum flight speed of 6 m/s, and a flow rate of 2.4 L/min are recommended.

Author Contributions

Author 1: Conceptualization, Data collection and analysis, Funding acquisition, Investigation, Methodology, Writing (original draft, review & editing).

Author 2: Methodology, Experimental procedures, Writing (review & editing).

Author 3: Data collection, Data curation, Formal analysis, Investigation.

Author 4: Consulting, Formal analysis and Writing—specific section (spraying efficiency).

Data Availability Statement

Not applicable.

Ethical Considerations

The authors confirm adherence to ethical principles throughout the research and publication process.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Funding Statement

The authors received no specific funding for this research.



ارزیابی کارایی پهباد سم‌پاش در پایش کنه تارتن دولکه‌ای (*Tetranychus urticae*) لوبیا

منا طهماسبی^۱، نیکروز باقری^۲، ابوالفضل هدایتی‌پور^۳، صدیقه اشتیری^۳

۱- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران.

۲- موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳- بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران.

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰	لوبیا با سطح زیرکشت ۹۹۰۹۰ هکتار، مهم‌ترین حبوبات آبی کشور محسوب می‌شود. کنه تارتن دولکه‌ای از آفات کلیدی این محصول است که در صورت عدم کنترل به‌موقع، خسارت قابل‌توجهی به مزارع وارد می‌کند. این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی پهباد سم‌پاش در کنترل کنه تارتن دولکه‌ای لوبیا و مقایسه آن با روش مرسوم سم‌پاشی (سم‌پاش لانس‌دار پشت‌تراکتوری) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و طی دو سال زراعی اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل: T ₁ : پهباد سم‌پاش (نرخ پاشش ۱/۲ لیتر در دقیقه- ارتفاع ۱/۵ متر)، T ₂ : پهباد سم‌پاش (نرخ پاشش ۱/۲ لیتر در دقیقه- ارتفاع ۲/۵ متر)، T ₃ : پهباد سم‌پاش (نرخ پاشش ۲/۴ لیتر در دقیقه- ارتفاع ۱/۵ متر)، T ₄ : پهباد سم‌پاش (نرخ پاشش ۱/۵ لیتر در دقیقه- ارتفاع ۲/۴ لیتر در دقیقه- ارتفاع ۱/۵ متر) و T ₅ : سم‌پاش لانس‌دار پشت‌تراکتوری بودند. نتایج نشان داد استفاده از پهباد سم‌پاش موجب کاهش مصرف محلول و بادبردگی نسبت به روش مرسوم شد. میزان بادبردگی در تیمارهای ۱ تا ۵ به‌ترتیب ۲۱/۶۷، ۲۲/۵، ۷/۵، ۱۰ و ۳۴/۱۷ درصد بود. افزایش ارتفاع پرواز در هر دو نرخ پاشش باعث افزایش بادبردگی شد و کمترین مقدار آن (۷/۵ درصد) در نرخ پاشش ۲/۴ لیتر در دقیقه و ارتفاع پرواز ۱/۵ متر به دست آمد. بازده مزرعه‌ای پهباد در ارتفاع‌های ۱/۵ و ۲/۵ متر به‌ترتیب ۷۲/۳ و ۶۹/۴ درصد بود که به‌طور قابل‌توجهی از سم‌پاش لانس‌دار (۴۲/۳ درصد) بیشتر بود. همچنین ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر پهباد در دو ارتفاع مذکور به‌ترتیب ۶/۷۲ و ۷/۸ هکتار در ساعت و برای سم‌پاش لانس‌دار ۰/۸۳ هکتار در ساعت محاسبه شد. افزایش نرخ پاشش نیز سبب بهبود ضریب یکنواختی پاشش گردید. ارزیابی کارایی کنترل آفت در ۷ و ۱۴ روز پس از سم‌پاشی نشان داد بین تیمارهای پهباد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما سم‌پاش لانس‌دار کمترین کارایی را داشت. در مجموع، پهباد سم‌پاش با وجود مصرف کمتر محلول کنه‌کش، کنترل مؤثرتری بر کنه تارتن دولکه‌ای اعمال کرد. بنابراین، با توجه به عملکرد فنی و مزایای اقتصادی، استفاده از پهباد سم‌پاش برای سم‌پاشی مزارع لوبیا توصیه می‌شود.
بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۲۹	
پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۱۹	
انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱	
واژه‌های کلیدی: پهباد سم‌پاش کشاورزی هوشمند پایش آفت، لوبیا	
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: tahmasebi.mona@gmail.com	
ORCID:  ۰۰۰۰-۰۰۰۱-۵۴۱۳-۴۸۷۰	
	

نحوه استناد به این مقاله:

طهماسبی، م.، باقری، ن.، هدایتی‌پور، ا. و اشتیری، ص. (۱۴۰۵). ارزیابی کارایی پهباد سم‌پاش در پایش کنه تارتن دولکه‌ای (*Tetranychus urticae*) لوبیا. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی، ۳۸: ۱-۱۶. <https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2026.14808.744>

مقدمه

براساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ وزارت جهاد کشاورزی، تولید لوبیا در بین حبوبات آبی در کشور با سطح زیرکشت ۹۹۰۹۰ هکتار، مقام اول را به خود اختصاص داده است (Ahmadi et al., 2023). بیش از ۷۰ درصد لوبیای کشور در استان‌های لرستان، مرکزی، چهارمحال و بختیاری، زنجان، فارس، آذربایجان شرقی و اصفهان کشت می‌شود. استان مرکزی از نظر سطح زیرکشت لوبیا (با سطح زیرکشت ۱۴۵۰۰ هکتار) مقام دوم را در کل کشور دارد و این محصول پس از گندم و جو مهم‌ترین محصول زراعی استان است. غالباً در استان مرکزی ارقام لوبیا چیتی (غفار، کوشا و صدر)، لوبیا سفید (درسا و شکوفا) و لوبیا قرمز (یاقوت و دادفر) کشت می‌شوند.

کنه تارتن لوبیا با نام علمی *Tetranychus urticae* *complex* از مهم‌ترین آفت‌های لوبیا در ایران است (Khanjani, 2004) که در صورت پایش نشدن به موقع، موجب کاهش عملکرد معنی‌دار محصول، خسارت مالی زیاد به کشاورزان و افزایش احتمالی جمعیت آفت در سال‌های آینده خواهد شد. براساس گزارش‌ها، هر ساله برای مبارزه با این آفت، به طور متوسط ۳ تا ۵ مرتبه (در برخی موارد ۸ مرتبه) مبارزه شیمیایی انجام می‌شود (Yousefi & Dori, 2012). استفاده بیش از حد از سموم شیمیایی علاوه بر آلودگی محیط‌زیست، باعث افزایش هزینه تولید، حذف دشمنان طبیعی و افزایش باقی‌مانده غیرمجاز سم در محصول می‌شود (Lege et al., 1992; Vassiliou & Kitsis, 2013). بنابراین، مدیریت سم‌پاشی برای پایش این آفت ضروری است. کاشت لوبیا به روش کرتی، رونده‌بودن محصول لوبیا، نبود تراکتورهای چرخ باریک مناسب عملیات داشت و عدم امکان ورود تراکتور و سم‌پاش‌های بوم‌دار به داخل کشت از زمان چهاربرگی بوته به بعد، باعث شده است که برای مبارزه با آفت کنه تارتن دولکه‌ای از سم‌پاش‌های پشتی و تراکتوری (لانس‌دار) استفاده شود. این سم‌پاش‌ها نه تنها پاشش یکنواختی ندارند، بلکه باعث افزایش مصرف محلول آب، هزینه‌های سمپاشی و کارگری می‌شوند (Safari & Bagheri, 2021).

امروزه استفاده از پهباد^۱ برای مبارزه با آفات و بیماری‌های محصولات گوناگون به عنوان روش نوین سم‌پاشی مطرح شده است. براساس نتایج پژوهش‌های انجام شده، سم‌پاشی با پهباد

نسبت به روش‌های دیگر سم‌پاشی دارای عملکرد و اثربخشی بیش‌تری بوده است. به عنوان مثال، نتایج کاربرد پهباد سم‌پاش برای پایش آفات باغ‌های انگور نشان داد که در این روش خطای کاری و مکانیکی کم‌تر، کارایی بیش‌تر و مصرف محلول سم کم‌تر بودند. هم‌چنین مقدار محلول مصرفی ۵۰-۱۰ لیتر در هکتار و ظرفیت کاری پهباد سم‌پاش ۵-۲ هکتار در ساعت گزارش شد (Giles & Billing, 2015).

در تحقیقی دیگر، از پهباد سم‌پاش برای مبارزه با آفات محصول برنج و بادام‌زمینی استفاده شد. نتایج نشان داد که ظرفیت مزرعه‌ای سم‌پاشی برای این دو محصول به ترتیب ۱/۱۵ و ۱/۰۸ هکتار در ساعت است. یکنواختی پاشش با افزایش ارتفاع پرواز و فشار پاشش، افزایش یافت (Yallappa, 2017). در پژوهش دیگری، عملکرد چهار نوع پهباد سم‌پاش برای پایش آفت محصول گندم ارزیابی شد. نتایج نشان داد که دقت سم‌پاشی کم و توزیع قطره‌ها غیریکنواخت بوده و پهباد نیاز به اصلاح و بهبود عملکرد فنی دارد (Wang et al., 2017). محققین تأثیر عامل‌های سم‌پاشی با پهباد برای مبارزه با کپک پودری گندم در ارتفاع کاری مختلف و غلظت‌های مختلف محلول سم‌پاشی را مورد مطالعه قرار دادند (Qin et al., 2018). آزمایش‌های سم‌پاشی با پهباد با عرض ثابت در ارتفاع‌های ۳/۵ و ۵ متر و سرعت سم‌پاشی ۴ متر بر ثانیه انجام شد. نتایج نشان داد که تأثیر ارتفاع سم‌پاشی بر توزیع قطرات روی برگ‌های بالایی بوته گندم کاملاً مشهود است. بیش‌ترین مقدار پوشش قطرات روی لایه زیرین بوته گندم در ارتفاع سم‌پاشی ۵ متر و سرعت سم‌پاشی ۴ متر بر ثانیه به‌دست آمد. این پژوهشگران گزارش کردند که پهباد سم‌پاش می‌تواند با کاهش ۲۰ تا ۳۰ درصدی مقدار سم، بازده سم‌پاشی را بیش از ۶۰ درصد افزایش دهد. طبق نتایج تحقیقی، هدایت‌پذیری و پایش پهباد در ارتفاع کم در طول عملیات سم‌پاشی، دقیق‌تر و پایدارتر خواهد بود (Kharim et al., 2019).

در مطالعه‌ای، اثربخشی پهباد سم‌پاش برای کاربرد آفت‌کش روی محصول برنج در مراحل مختلف رشد ارزیابی شد (Zhou et al., 2020). نتایج نشان داد که بازده سم‌پاشی با پهباد سم‌پاش در همه مراحل رشد بیش‌تر از سم‌پاش‌های رایج است.

در تحقیقی دیگر، کیفیت پاشش یک پهباد سم‌پاش با دو نوع سم‌پاش متداول (بوم‌دار و لانس‌دار پشت تراکتوری) در

^۱ پرنده هدایت‌پذیر از دور

سم‌پاش به ترتیب مقدار محلول سم مصرفی ۱۲۰۰، ۲۱۱ و ۳۲ لیتر در هکتار، بازده مزرعه‌ای ۶۰/۶۶، ۶۹ و ۹۰/۲ درصد و بادبردگی ۴۵/۶، ۱۳/۰۶ و ۲۰/۶۸ درصد بوده است. پهنپاش سم‌پاش نسبت به دو روش دیگر سم‌پاشی، کارایی بیشتری داشت. از نظر اقتصادی، نسبت سود به هزینه در سم‌پاش‌های لانس‌دار، اتومایزر و پهنپاش سم‌پاش به ترتیب ۴/۸۸، ۴/۱۵ و ۲/۳۳ گزارش شد. کارایی سه روش سم‌پاشی با پهنپاش، سم‌پاش لانس‌دار و سم‌پاش پشتی اتومایزر به‌منظور پایش آفت توتا گوجه فرنگی ارزیابی کردند (Safari et al., 2023b). نتایج نشان داد که در سم‌پاش لانس‌دار، اتومایزر و پهنپاش سم‌پاش به ترتیب مقدار محلول سم مصرفی ۳۷۳/۳، ۲۰۷/۱ و ۸/۴ لیتر در هکتار، بازده مزرعه‌ای ۴۴/۶، ۳۵/۷ و ۶۸/۰ درصد و بادبردگی ۴۶/۵، ۳۲/۶ و ۹/۹ درصد بوده است. براساس نتایج، پهنپاش سم‌پاش از نظر ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای مؤثر، بادبردگی و زمان سم‌پاشی در هکتار نسبت به دو روش دیگر برتری داشت. اما از نظر کارایی سم‌پاشی، سم‌پاش لانس‌دار با ۸۲ درصد بیش‌ترین مقدار کارایی را داشت. این محققین گزارش کردند که کاربرد پهنپاش سم‌پاش با وجود کارایی سم‌پاشی کمتر، به علت هزینه کمتر سم‌پاشی، توصیه می‌شود.

بررسی نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کاربرد پهنپاش سم‌پاش به لحاظ فنی و اقتصادی گزینه مناسبی برای مدیریت آفات و بیماری‌های گیاهی است. اما تاکنون پژوهشی در خصوص ارزیابی کارایی سم‌پاشی با پهنپاش روی محصول لوبیا و برای مبارزه با کنه تارتن انجام نشده است. بنابراین، با توجه به اهمیت اقتصادی این محصول و خسارت‌های فراوان ناشی از آفت، هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد و مقایسه کارایی پهنپاش سم‌پاش و سم‌پاش لانس‌دار پشت تراکتوری (به عنوان روش مرسوم سم‌پاشی) برای مهار کنه تارتن دو لکه‌ای محصول لوبیا است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش عملکرد و کارایی پهنپاش سم‌پاش و سم‌پاش لانس‌دار پشت تراکتوری (روش مرسوم سم‌پاشی در منطقه) برای پایش کنه تارتن دولکه‌ای لوبیای چیتی نیمه‌رونده (رقم کوشا) ارزیابی شد.

مقایسه تیمارها با استفاده طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در دو سال زراعی در ایستگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل: T₁- پهنپاش سم‌پاش (نرخ پاشش ۱/۲

زراعت پنبه مقایسه شد (Nowrouzieh et al., 2022). نتایج نشان داد که پهنپاش سم‌پاش در مقایسه با دو سم‌پاش دیگر، دارای کم‌ترین درصد پوشش سطح در سه ناحیه بوته بود. بهترین شاخص کیفیت پاشش متعلق به سم‌پاش بوم‌دار و بعد از آن پهنپاش سم‌پاش بود. هم‌چنین، از نظر سرعت سم‌پاشی و مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب، پهنپاش سم‌پاش بهترین گزینه بود.

در کنترل شیمیایی پوره سن گندم، سم‌پاش میکرونر پشتی با پهنپاش سم‌پاش مجهز به افشانک میکرونر مقایسه شد. برای پهنپاش سم‌پاش و سم‌پاش میکرونر پشتی به ترتیب مقدار محلول مصرفی ۱۴/۶ و ۳۰/۰ لیتر در هکتار، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ۳/۷۵ و ۰/۵ هکتار بر ساعت و حجم پاشش ۱۴/۶ و ۳۰/۰ لیتر در هکتار گزارش شد (Sheikhigjarjan et al., 2024). در تحقیقی سه وسیله سم‌پاشی پهنپاش سم‌پاش، سم‌پاش بوم‌دار پشت تراکتوری و سم‌پاش توربینی زراعی (توربولایزر) برای مبارزه با علف‌های هرز مزارع گندم مقایسه شدند (Zarifneshat et al., 2022). نتایج به ترتیب برای پهنپاش سم‌پاش، سم‌پاش بوم‌دار و سم‌پاش توربولایزر در مقدار محلول سم مصرفی ۱۱/۱، ۳۵۱/۶ و ۲۴۹/۱ لیتر در هکتار، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ۶/۷، ۵/۹ و ۷/۷ هکتار در ساعت، درصد بادبردگی ۱۶/۸، ۷/۷ و ۳۸/۶ و انرژی مصرفی ۲۸۳۷/۸، ۴۱۸ و ۴۷۹۶/۲ کیلوژول در هکتار گزارش شد. طبق این نتایج، پهنپاش سم‌پاش نسبت به دو سم‌پاش دیگر مقدار پاشش محلول سم و انرژی مصرفی کمتر و بازده زراعی بیشتری داشت. این سم‌پاش از نظر ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، بادبردگی و زمان سم‌پاشی در حد واسط دو سم‌پاش مرسوم قرار گرفت.

در پژوهشی عملکرد پهنپاش سم‌پاش در مقایسه با سم‌پاش توربولایزر برای پایش شته مومی کلزا ارزیابی شد. نتایج نشان داد که در پهنپاش سم‌پاش و سم‌پاش توربولایزر به ترتیب مقدار محلول مصرفی ۱۱/۱ و ۱۸۷/۶ لیتر در هکتار، بازده مزرعه‌ای ۵۱/۴ و ۳۲/۳ درصد، ضریب کیفیت پاشش ۱/۱۵ و ۱/۲۱، و انرژی مصرفی ۳/۴ و ۱۰۰/۵ کیلووات-ساعت بود. کارایی پهنپاش سم‌پاش در مقایسه با سم‌پاش توربولایزر در سه و هفت روز پس از سم‌پاشی کمتر و در ۱۴ روز پس از سم‌پاشی بیش‌تر بود (Bagheri et al., 2022).

در تحقیقی دیگر، عملکرد پهنپاش سم‌پاش در مقایسه با سم‌پاش لانس‌دار و سم‌پاش پشتی اتومایزر برای مهار آفت هلیوتیس گوجه‌فرنگی ارزیابی شد (Safari et al., 2023a). نتایج نشان داد که برای سم‌پاش‌های لانس‌دار، اتومایزر و پهنپاش

۲۵ و ۲۴ درصد بود. سرعت متوسط باد در ارتفاع ۱/۵ متر از سطح زمین در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب ۱/۷ و ۱/۸ متر بر ثانیه و در ارتفاع ۲/۵ متر از سطح زمین به ترتیب ۱/۸۶ و ۱/۹ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد.

سم‌پاشی هنگامی که تراکم آفت به ۲۰ درصد رسید (مشاهده آلودگی در ۲۰ برگ از ۱۰۰ برگ نمونه‌برداری شده؛ به‌طور میانگین ۵-۳ کنه فعال) انجام شد (Noorbakhsh, 2021). از سم کنه‌کش هگزای تیاژوکس نیسورون^۱ با ترکیب ۱۰٪ براساس دوز توصیه شده روی قوطی کنه‌کش به مقدار ۰/۵ در هزار استفاده شد.

لیتر در دقیقه- ارتفاع ۱/۵ متر)، T₂- پهباد سم‌پاش (نرخ پاشش ۱/۲ لیتر در دقیقه- ارتفاع ۲/۵ متر)، T₃- پهباد سم‌پاش (نرخ پاشش ۲/۴ لیتر در دقیقه- ارتفاع ۱/۵ متر)، T₄- پهباد سم‌پاش (نرخ پاشش ۲/۴ لیتر در دقیقه- ارتفاع ۱/۵ متر) و T₅- سم‌پاش لانس‌دار پشت‌تراکتوری (روش رایج) بودند.

در همه آزمون‌ها سرعت پرواز پهباد سم‌پاش، ۶ متر بر ثانیه بود. مشخصات پهباد سم‌پاش و سم‌پاش لانس‌دار پشت تراکتوری آزمون در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

متوسط دمای هوا در روز اجرای آزمایش به ترتیب در سال اول و دوم ۲۸/۳ و ۳۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی محیط

جدول ۱- مشخصات پهباد سم‌پاش آزمون شده

عامل	مشخصات
مدل و شرکت سازنده	MG-1P (DJI, China)
تعداد موتورها	۸
تعداد افشانک‌ها	۴
مدل افشانک‌ها	XR11001VS بادی‌زنی
متوسط اندازه قطره‌ها (XR11001VS)	۲۵۰-۱۳۰ میکرومتر (با توجه به محیط کار و سرعت پاشش)
عرض مؤثر پاشش	۴-۶ متر
ارتفاع پاشش از بالای سر محصول	۱-۲/۵ متر
(بیش‌ترین مقدار پاشش برای هر افشانک)	۰/۴۵ لیتر در دقیقه
مداومت پروازی	۲۰ دقیقه (با وزن درخواستی ۱۳/۸ کیلوگرم با ظرفیت باتری ۱۲۰۰۰ میلی‌آمپر ساعت) ۹ دقیقه (با وزن درخواستی ۲۳/۸ کیلوگرم با ظرفیت باتری ۱۲۰۰۰ میلی‌آمپر ساعت)
حجم مخزن	۱۰ لیتر
حداکثر سرعت عملیات	۷ متر بر ثانیه

جدول ۲- مشخصات سم‌پاش لانس‌دار آزمون شده

نوع دستگاه	نوع افشانک	نوع پمپ	توان مصرفی (اسب بخار)	شرکت سازنده	حجم مخزن	عرض پاشش	مقدار پاشش (لیتر در دقیقه)
سم‌پاش سوار شونده	مخروطی	پیستونی C75	۶/۴	فلز کار ایران	۴۰۰ لیتر	تا ۱۰ متر	تا ۶۷

۱٪ انجام شد. در این ارزیابی عواملی مانند تعیین مقدار محلول مصرفی، بادی‌زدگی، یکنواختی پاشش، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، بازده مزرعه‌ای و کارایی سم‌پاشی برای هر دو روش سم‌پاشی اندازه‌گیری شد که به شرح زیر توضیح داده شده است:

مقدار محلول مصرفی در واحد سطح

برای تعیین مقدار محلول مصرفی از روش کالیبره کردن

برای اندازه‌گیری کارایی سم‌پاشی، نمونه‌برداری یک روز پیش از سم‌پاشی و هم‌چنین ۷ و ۱۴ روز پس از سم‌پاشی تیمارها انجام شد. پیش از کاربرد پهباد سم‌پاش در مزرعه، کالیبره کردن شامل اندازه‌گیری دبی پمپ و افشانک‌ها و تعیین عرض کار مؤثر سم‌پاشی مطابق با دستورالعمل انجام شد (Seidin, 2018; Safarai & Bagheri, 2021). داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 تحلیل شدند. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده براساس آزمون دانکن در سطح آماری

¹ Hexythiazox Nisuron

شد (شکل ۲). کاغذهای حساس به آب پس از شماره‌گذاری در فاصله‌های منظم یک متری از یک‌دیگر و خارج از عرض پاشش مزرعه و در جهت عمود بر حرکت سم‌پاش‌ها قرار داده شدند (Wolf *et al.*, 1993; Gil *et al.*, 2013). پس از عملیات سم‌پاشی کاغذها جمع‌آوری، و پس از خشک شدن در کیسه‌های زیپ‌دار برچسب‌گذاری شده قرار داده شدند. پس با استفاده از اسکنر Plustek مدل OpticSlim 1180 اسکن شدند. درصد خیس‌شدگی کاغذهایی که در معرض قطرات سم کنه‌کش قرار گرفته‌اند، با توجه به مساحت کاغذهای حساس و مساحت کل کاغذهای قرار داده شده، تعیین شد و درصد بادرده‌گی به دست آمد (Behzadi Pour *et al.*, 2017; Kharim *et al.*, 2019).

یکنواختی پاشش

برای تعیین یکنواختی پاشش کاغذهای حساس به آب در مسیر پاشش و به فاصله ۰/۵ متری از یک‌دیگر عمود بر جهت سم‌پاشی قرار داده شدند. پس از سم‌پاشی، کاغذها جمع‌آوری و با اسکنر، با قدرت تفکیک ۳۰۰ dpi اسکن شدند. پس از شمارش قطرات، تراکم قطره‌های سم در قسمت مرکزی خط عمود بر مسیر حرکت نسبت به طرفین مقایسه شد. معیار یکنواختی پاشش (U)، ضریب کیفیت پاشش است که از تقسیم قطر میانه حجمی^۲ (VMD) بر قطر میانه عددی^۳ (NMD) (رابطه ۴) به دست می‌آید.

$$U = \frac{VMD}{NMD} \quad (4)$$

قطرهای میانه عددی و حجمی با استفاده از رابطه (۵) به دست آمد (Behrouzi Lar, 1999). در ادامه با تشکیل جدول فراوانی و تعیین قطر قطراتی که در ۵۰٪ فراوانی قرار داشتند مقادیر VMD و NMD تعیین شد (Kharim *et al.*, 2019).

$$D_{pq}^{p-q} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n N_i D_i^p}{\sum_{i=1}^n N_i D_i^q} \right)^{\frac{1}{p-q}} \quad (5)$$

که در آن: p و q : ۱، ۲، ۳ یا ۴ و $p > q$; D_i : قطر قطره برای گروه اندازه i (μm); N_i : تعداد قطره در گروه اندازه i (μm); n : تعداد گروه اندازه‌ها و i : تعداد اندازه گروه است.

کارایی سم‌پاشی

برای تعیین کارایی سم‌پاشی^۴ نمونه‌برداری یک روز پیش از سم‌پاشی و همچنین ۷ و ۱۴ روز پس از سم‌پاشی تیمارها

سم‌پاش‌ها در مزرعه استفاده شد. برای این منظور مقدار دبی افشانک‌ها (یا مقدار خروجی محلول سم از افشانک‌ها) در مدت یک دقیقه، مقدار مسافت طی شده توسط سم‌پاش با سرعت ثابت در دقیقه (متر بر دقیقه) و عرض کار سم‌پاش محاسبه شد. سپس مقدار محلول کنه‌کش توزیع شده در هر هکتار با هر یک از سم‌پاش‌ها براساس رابطه (۱) تعیین شد (Amirshaghghi & Safari, 2016):

$$q = \frac{Q}{S \times W} \times 10000 \quad (1)$$

که در این رابطه:

Q: مقدار دبی افشانک‌ها (L/min)، q: مقدار محلول مصرفی در هکتار (L/ha)، S: سرعت پیشروی (m/min) و W: عرض کار مؤثر (m) است.

بازده مزرعه‌ای

بازده مزرعه‌ای سمپاشی عبارت است از نسبت ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر به ظرفیت مزرعه‌ای تئوری که طبق رابطه (۲) به دست می‌آید (Safari & Sheikhiharjan, 2020). برای اندازه‌گیری بازده مزرعه‌ای ابتدا ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (زمان لازم برای سمپاشی یک هکتار زمین) در سه تکرار اندازه‌گیری شد. با توجه به عرض کار مؤثر هر سم‌پاش و سرعت پیشروی آن، زمان لازم برای سم‌پاشی یک هکتار به وسیله کروномتر اندازه‌گیری و در نهایت، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر اندازه‌گیری شد. سپس ظرفیت مزرعه‌ای تئوری از رابطه (۳) محاسبه شد و بازده مزرعه‌ای محاسبه شد (Safari & Sheikhiharjan, 2020):

$$E = \frac{C_o}{C_t} \times 100 \quad (2)$$

که در آن: E: بازده مزرعه‌ای (%), C_o : ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (ha/h), C_t : ظرفیت مزرعه‌ای تئوری و

$$C_t = \frac{W \times S}{10} \quad (3)$$

که در آن: W: عرض کار (m)، S: سرعت پیشروی (km/h)، C_t : ظرفیت مزرعه‌ای تئوری (ha/h) است.

مقدار بادرده‌گی

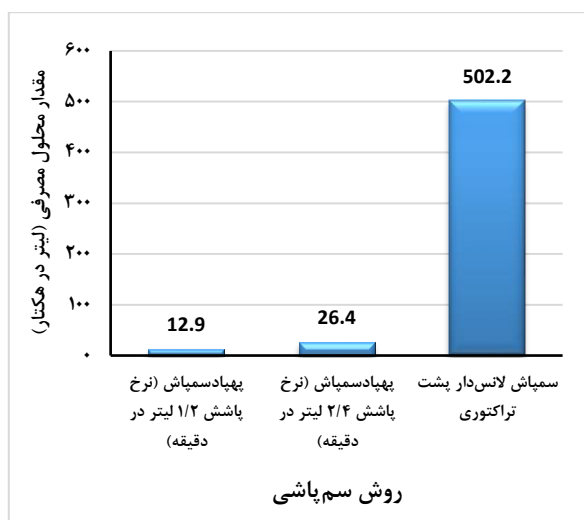
برای تعیین این عامل، از کاغذهای حساس به آب^۱ استفاده

^۴ Spraying Efficacy

^۱ Water Sensitive Paper (WSP)

^۲ Volume Median Diameter (VMD)

^۳ Number Median Diameter (NMD)



شکل ۱- مقایسه میانگین مقدار محلول مصرفی پهیاد سمپاش و سمپاش لانس‌دار

براساس شکل ۱، با افزایش نرخ پاشش پهیاد سمپاش، مقدار محلول مصرفی افزایش داشته است. بیش‌ترین مقدار محلول مصرفی پهیاد سمپاش در مقدار پاشش ۲/۴ لیتر در دقیقه به مقدار ۲۶/۴ لیتر در هکتار به دست آمد. بیش‌ترین مقدار مصرف محلول کنه‌کش مربوط به سمپاش لانس‌دار (۵۰۲/۲ لیتر در هکتار) بود. بنابراین، مقدار محلول مصرفی پهیادسمپاش بسیار کم‌تر از مقدار محلول مصرفی سمپاش لانس‌دار بود. این نتایج با نتایج تحقیقات (Safari et al., 2021) هم‌خوانی دارد. آن‌ها سمپاش لانس‌دار را در گروه سمپاش‌های پرمصرف و پهیاد سمپاش را در گروه سمپاش‌های کم مصرف قرار دادند. با توجه به این نتایج، کاهش محلول مصرفی برای پهیاد سمپاش به علت نوع افشانک، سرعت پیشروی زیاد و عرض کاری قابل قبول بوده و با یافته‌های باقری و همکاران (Bagheri et al., 2024)، صفری و همکاران (Safari et al., 2023a; 2023b)، نوروزیه و همکاران (Nowrouzieh et al., 2022)، ظریف نشاط (Zarifneshat et al., 2022)، صفری (Safari et al., 2018) و شیخی گرجان و همکاران (Sheikhigarjan et al., 2024) مطابقت دارد.

بازده مزرعه‌ای سمپاشی

عرض پاشش مؤثر، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر و تئوری در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به عرض کار و سرعت پیشروی بیان شده برای هر دو روش سمپاشی، میانگین ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر پهیاد سمپاش در ارتفاع‌های ۱/۵ و ۲/۵ متر از سطح زمین و سمپاش لانس‌دار به ترتیب برابر با ۶/۷۲، ۷/۸ و

انجام شد. برای تعیین مقدار آلودگی تیمارهای مختلف بر کنترل کنه تارتن دولکه‌ای لوبیا، از روش نمره‌دهی استفاده شد. برای نمونه‌برداری از هر تیمار ۱۰ بوته به تصادف (حرکت در دو قطر) انتخاب شد. از هر بوته نیز فقط دو برگ یکی از پایین و دیگری از بالای آن انتخاب شدند. به این ترتیب از هر تیمار در مجموع ۲۰ برگ جدا شده و نمره‌دهی شدند. با توجه به اینکه تغذیه کنه تارتن دولکه‌ای باعث ایجاد نقاط نکروزه می‌شود، مقیاس خسارت ظاهری با امتیازبندی از ۱ تا ۶ به شرح زیر انجام می‌شود:

۱- بدون خسارت، ۲- خسارت کم‌تر از ۵ درصد، ۳- خسارت بین ۵-۲۵ درصد، ۴- خسارت بین ۲۵-۴۵ درصد، ۵- خسارت بین ۴۵-۶۵ درصد و ۶- خسارت بیش از ۶۵ درصد (Ashtari et al., 2020).

ارزیابی اقتصادی دو سمپاش

یکی از اهداف اصلی در عملیات کشاورزی، سودآوری است و باید تا حد امکان نرخ بهره‌وری و درنهایت سودآوری در تولید را افزایش داد (Eskouinejad, 2020). از این رو، ارزیابی اقتصادی دو سمپاش (پهیادسمپاش و سمپاش لانس‌دار) از شاخص اقتصادی منفعت به هزینه با استفاده از رابطه (۶) محاسبه شد (Eskouinejad, 2020). همه هزینه‌های عملیات شامل کاشت، داشت و برداشت که در هر دو تیمار آزمایش یکسان بوده‌اند، در محاسبات در نظر گرفته نشده‌اند.

$$B/C = \frac{\text{هزینه-درآمد}}{\text{هزینه}} \quad (6)$$

هم‌چنین برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، از یک کادر یک مترمربعی در سه تکرار استفاده شد. بافه‌های برداشت‌شده لوبیا جهت خرمن‌کوبی به ایستگاه مرکز انتقال داده شد و پس از خشک‌شدن، با استفاده از خرمن‌کوب آزمایشگاهی، دانه‌ها جدا و عملکرد اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

مقدار محلول مصرفی در واحد سطح

با توجه به مشخصات پهیاد سمپاش و سمپاش لانس‌دار در جدول‌های ۱ و ۲ و براساس نتایج کالیبره‌کردن سمپاش‌ها و عرض پاشش مؤثر اندازه‌گیری شده، مقدار محلول مصرفی در هر هکتار محاسبه شد. میانگین مقدار محلول مصرفی به ازای مقدار پاشش در دو روش سمپاشی در شکل ۱ آورده شده است.

اختلاف ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر و بازده مزرعه‌ای زیاد بود. این اختلاف را می‌توان به سرعت پیشروی بیش‌تر سم‌پاشی با پهپاد سم‌پاش مرتبط دانست. مطابق جدول ۳ بیش‌ترین بازده مزرعه‌ای مربوط به پهپاد سم‌پاش در ارتفاع سم‌پاشی ۱/۵ متر از سطح زمین و کم‌ترین بازده مزرعه‌ای متعلق به سم‌پاش لانس‌دار بود.

۰/۸۳ هکتار در ساعت بود. از آنجا که این شاخص‌ها تابع عرض کار و سرعت پیشروی هستند و به نرخ پاشش بستگی ندارند، مقدار تیمار ۱ با تیمار ۲ تیمار ۴ برابر شد. نتایج نشان داد که در ارتفاع پاشش کم‌تر، عرض کار مؤثر کاهش می‌یابد؛ لذا ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر و تئوری در ارتفاع ۲/۵ متر نسبت به ۱/۵ متر بیش‌تر است. اگرچه عرض کار سم‌پاش لانس‌دار با پهپاد سم‌پاش یکسان تنظیم شد، اما

جدول ۳- ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر و بازده مزرعه‌ای

تیمار	عرض مؤثر پاشش (متر)	ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (هکتار بر ساعت)	ظرفیت تئوری (درصد)	بازده مزرعه‌ای (درصد)
۱	۴/۳	b۶/۷۲	۹/۲۹	۷۲/۳۳
۲	۵/۲	c۷/۸۰	۱۱/۲۳	۶۹/۴۵
۳	۴/۳	b۶/۷۲	۹/۲۹	۷۲/۳۳
۴	۵/۲	c۷/۸۰	۱۱/۲۳	۶۹/۴۵
۵	۵	a۰/۸۳	۱/۹۴	۴۲/۳۳

است. براساس نتایج جدول، با افزایش ارتفاع سم‌پاشی، مقدار بادبردگی افزایش یافت اما اختلاف معنی‌دار نبود.

در مقایسه پهپاد با سم‌پاش لانس‌دار، نتایج اندازه‌گیری نشان داد، بیش‌ترین بادبردگی مربوط به سم‌پاش لانس‌دار به مقدار ۳۴/۱۷ درصد بوده است؛ در حالی که کم‌ترین مقدار بادبردگی در تیمار ۳ (جدول ۵) مشاهده شده است. یکی از دلایل کم‌تر بودن بادبردگی در روش سم‌پاشی با پهپاد براساس گزارشات دیگر محققان می‌تواند به دلیل وجود پهپاد باشد که با ایجاد جریان گردابی رو به پایین، قطرات سم را به سمت هدف هدایت می‌کند. در سم‌پاش لانس‌دار به دلیل درشت‌تر بودن قطرات سم و هدایت پاشش شده قطرات به سمت هدف، محلول سم به گیاه هدف برخورد نموده، اما پس از برخورد به هدف پخش شده و توسط باد پراکنده می‌شود (Safari et al., 2018). در تحقیقات صفری و همکاران (Safari et al., 2020) به ترتیب بادبردگی سم‌پاش لانس‌دار پشت تراکتوری ۲۵/۳ و ۴۲/۶ گزارش شده است. نتایج تحقیقات سعیدی‌راد و همکاران (Saeidirad et al., 2023) نشان داد که پهپاد سم‌پاش کم‌ترین بادبردگی را (۱۷/۵ درصد) نسبت به دو محلول‌پاش لانس‌دار و اتومایزر (۲۴/۷ و ۲۵/۴ درصد) دارد.

کارایی سم‌پاشی

جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش را روی کارایی سم‌پاشی یک روز پیش از سم‌پاشی و هم‌چنین ۷ و ۱۴

این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های صفری و همکاران (Safari et al., 2022; 2018; 2009)، ظریف‌نشاط و همکاران (Zarifneshat et al., 2022)، سعیدی‌راد و همکاران (Saeidirad et al., 2023) و نوروزیه و همکاران (Nowrouzieh et al., 2022) همخوانی داشت. آن‌ها نیز نشان دادند پهپاد سم‌پاش در مقایسه با سم‌پاش لانس‌دار، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر و بازده مزرعه‌ای بیش‌تری دارد.

مقدار بادبردگی

جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش را روی مقدار بادبردگی نشان می‌دهد. اثر تیمار و سال روی درصد بادبردگی در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار بود. دلیل معنی‌دار شدن سال این است که شرایط محیطی آزمایش در دو سال آزمایش متفاوت بوده است. جدول ۵ مقایسه میانگین مقدار بادبردگی اندازه‌گیری شده را با استفاده از آزمون دانکن در سطح آماری ۱٪ نشان می‌دهد.

براساس نتایج جدول ۵، بیش‌ترین مقدار بادبردگی در مقدار پاشش کم‌تر (۱/۲ لیتر در دقیقه) مشاهده شد. هم‌چنین، نتایج نشان داد که مقدار بادبردگی در مقدار پاشش ۲/۴ لیتر در دقیقه در مقایسه با مقدار پاشش ۱/۲ لیتر در دقیقه در دو سال آزمایش به صورت معنی‌داری کم‌تر بود که یکی از دلایل مهم، افزایش میزان نشست سم بر روی گیاه بوده

روز پس از سم‌پاشی نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) برای دو سال آزمایش نشان داد که پیش از سم‌پاشی از نظر مقدار وجود آفت بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح آماری ۵٪ وجود داشت. براساس نتایج مقایسه میانگین در جدول ۵، کم‌ترین و بیش‌ترین مقیاس خسارت در روش سم‌پاشی با پهیاد سم‌پاش به ترتیب مربوط به تیمارهای ۴ (نرخ پاشش ۲/۴ لیتر در دقیقه- ارتفاع ۱/۵ متر) و ۲ (نرخ پاشش ۱/۲ لیتر در دقیقه- ارتفاع ۲/۵ متر) بود. هم‌چنین، مقدار خسارت در تیمار ۵ (سم‌پاش پشت تراکتوری لانس‌دار) ۲/۳۵ بود. تمام تیمارهای آزمایش (پهیاد سم‌پاش و سم‌پاش پشت تراکتوری لانس‌دار)، تراکم جمعیت کنه در مزرعه کاهش پیدا کرده که نشان می‌دهد هر دو روش سم‌پاشی در مهار کنه تارتن دولکه‌ای مؤثر بوده‌است (شکل ۲).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی روی صفات اندازه‌گیری شده

میانگین مربعات			درجه آزادی	منابع تغییر	
نمره‌دهی					
۱۴ روز بعد از سم‌پاشی	۷ روز بعد از سم‌پاشی	۱ روز قبل از سم‌پاشی	بادبردگی (درصد)		
۰/۰۳۷ ^{ns}	۰/۰۳۴ ^{ns}	۰/۰۵۱ ^{ns}	۳/۳۳ ^{ns}	۲	تکرار
۰/۱۰۲ [*]	۰/۱۸۷ [*]	۰/۲۷ [*]	۶۹۳/۷۵ ^{**}	۴	تیمار
۰/۰۳۵	۰/۰۳۹	۰/۰۲۸	۱۰/۶۲۵	۸	خطای آزمایش
۳/۰۷ ^{**}	۶/۳۲۹ ^{**}	۱۸/۳۹ ^{**}	۶۷/۵ ^{**}	۱	سال
۰/۰۶۷ ^{ns}	۰/۰۹۸ ^{ns}	۰/۰۳۳ ^{**}	۱۹/۵۸ [*]	۴	سال×تیمار
۰/۰۲۸ ^{ns}	۰/۰۳۶ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۳۰/۰۰ [*]	۲	سال×تکرار
۰/۰۲۶	۰/۰۳۹	۰/۰۴۲	۳/۹۶	۸	خطای آزمایش
۱۱/۷	۱۲/۶	۹/۷	۱۰/۴		ضریب تغییرات(%)

*** و **: نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار تیمار روی صفت مربوطه به ترتیب در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد است.
ns: نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار تیمار روی صفت مربوطه به ترتیب در سطح آماری ۵ درصد است.

هفت روز پس از سم‌پاشی اثر تیمار و سال بر مقیاس خسارت به ترتیب در سطح پنج و یک درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد. بیش‌ترین و کم‌ترین مقیاس خسارت در روش‌های سم‌پاشی به ترتیب مربوط به تیمارهای ۵ و ۳ هستند (جدول ۵). هرچند در این مرحله سم‌پاشی، مقیاس خسارت چهار تیمار سم‌پاشی با پهیاد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، اما مقدار خسارت سم‌پاش پشت تراکتوری لانس‌دار (تیمار ۵) برابر با ۱/۸۶ گزارش شد که از تیمارهای پهیاد سم‌پاش بیش‌تر بود و این اختلاف معنی‌دار بود. ۱۴ روز پس از سم‌پاشی، اثر تیمار بر مقیاس خسارت در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری نشان داد. در این مرحله کم‌ترین و بیش‌ترین مقیاس خسارت مانند هفت روز پس از سم‌پاشی به ترتیب تیمارهای ۵ و ۳ بودند (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر مقدار بادبردگی و کارآیی در دو سال آزمایش پهیاد سم‌پاش

تیمار	بادبردگی (درصد)	نمره‌دهی		
		۱ روز قبل از سم‌پاشی	۷ روز بعد از سم‌پاشی	۱۴ روز بعد از سم‌پاشی
۱	۲۱/۶۷b	۲/۲۵b	۱/۵۳a	۱/۳۵a
۲	۲۲/۵b	۲/۳۵b	۱/۴۶a	۱/۳۵a
۳	۷/۵a	۱/۹۴a	۱/۴۲a	۱/۲۷a
۴	۱۰a	۱/۹۳a	۱/۵۷a	۱/۳۱a
۵	۳۴/۱۷c	۲/۳۵b	۱/۸۶b	۱/۶۰b

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۱٪ است.

سم‌پاش در ۱۴ روز پس از سم‌پاشی پایش بیش‌تری روی جمعیت شته داشت. در پژوهش (Chen *et al.*, 2020) نیز کارآیی سم‌پاشی با پهباد سم‌پاش در هفت روز پس از سم‌پاشی بیش از یک روز پس از سم‌پاشی گزارش شد.

یکنواختی پاشش

ضریب یکنواختی پاشش سم‌پاشی در جدول ۶ ارائه شده است. اندازه قطرات و میزان تراکم آن‌ها در پهباد سم‌پاش نسبتاً یکنواخت بود. یکنواختی پاشش برای سم‌پاش لانس‌دار به‌علت خیس‌شدگی کامل کاغذها قابل محاسبه نبود. این نتایج نشان می‌دهد که در سم‌پاش‌های لانس‌دار هم بر روی کاغذهای حساس و هم در طول خط عمود بر مسیر حرکت یکنواختی پاشش مشاهده نمی‌شود.

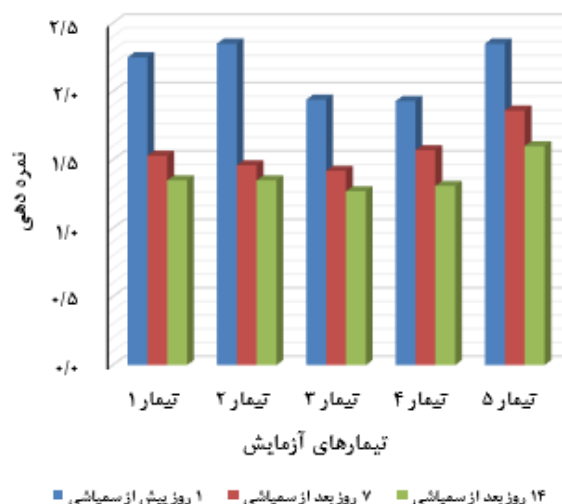
با توجه به نتایج جدول ۶، در شرایط سرعت پرواز ثابت و دبی پاشش بیش‌تر، ضریب یکنواختی پاشش بیش‌تر شده است و کم‌ترین کیفیت پاشش را تیمار ۱ (نرخ پاشش ۱/۲ لیتر در دقیقه-ارتفاع ۱/۵ متر) داشته است و با نتایج خریم و همکاران (Kharim *et al.*, 2019) همخوانی دارد. در واقع آن‌ها نیز گزارش نمودند که سرعت پاشش کم‌تر و هم‌زمان دبی پاشش بیش‌تر باعث یکنواختی بیش‌تر در پاشش می‌شود. اگرچه تفاوت معناداری بین تیمارها وجود ندارد و ضرایب کیفیت سم‌پاشی به رقم یک نزدیک هستند، اما با افزایش ارتفاع پاشش پهباد سم‌پاش از ۱/۵ متر به ۲/۵ متر، ضریب کیفیت پاشش بهبود یافته است. در تحقیقات صفری و همکاران (Safari *et al.*, 2023a; 2009) و ظریف نشاط و همکاران (Zarifneshat *et al.*, 2022) نیز پهباد سم‌پاش کیفیت سم‌پاشی بهتری را نسبت به دیگر سم‌پاش‌ها نشان داد.

جدول ۶- مقایسه میانگین ضریب یکنواختی پاشش

تیمار	ضریب یکنواختی پاشش
۱	۱/۳۳a
۲	۰/۹۷b
۳	۰/۸۹b
۴	۱/۰۴b
۵	غیر قابل اندازه‌گیری

نسبت منافع به هزینه

هزینه‌های سم‌پاشی شامل مقدار سم کنه‌کش خالص مصرفی در هکتار، مجموع هزینه‌های خرید کنه‌کش، هزینه اجاره سم-



شکل ۲- میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر کارایی سم‌پاشی در دو سال آزمایش پهباد سم‌پاش

نتایج نشان داد کم‌ترین کارایی متعلق به سم‌پاش لانس‌دار است. در تمام تیمارهای سم‌پاشی با پهباد سم‌پاش در مقایسه با سم‌پاش لانس‌دار، پهباد با مصرف محلول سم کنه‌کش کم‌تر، توانسته است آفت کنه تارتن دولکه‌ای را بهتر مهار کند. از سوی دیگر در بین تیمارهای سم‌پاشی با پهباد، تیمار ۴ کم‌ترین درصد تأثیر در ۷ و ۱۴ روز پس از سم‌پاشی داشته است.

ظریف نشاط و همکاران (Zarifneshat *et al.*, 2022) گزارش کردند که در مقایسه سم‌پاشی با سم‌پاش‌های توربولاینر، لانس‌دار و پهباد سم‌پاش، کارایی سه روش اختلاف معنی‌داری نداشته و تأثیر سم‌پاشی بر پایش علف‌های هرز یکسان بوده است. یکسان بودن کارایی روش‌های سم‌پاشی (پهباد سم‌پاش و میکرونر) در پایش پوره سن گندم در نتایج در تحقیق شیخی گرجان و همکاران (Sheikhigharjan *et al.*, 2024) نیز تأیید شده است.

هم‌چنین صفری و همکاران (Safari *et al.*, 2018) در تحقیق خود گزارش کردند که اگرچه کارایی روش سم‌پاشی با پهباد سم‌پاش از سم‌پاش لانس‌دار در پایش آفت زنجبرک نخل در سه روز پس از سم‌پاشی معنی‌دار نبوده است، اما پس از ۷ روز اختلاف معنی‌داری را نشان داده است و در واقع دو روش سم‌پاشی تأثیر یکسان در پایش آفت داشته‌اند. نتایج تحقیق باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2024) نشان داد که دو روش سم‌پاشی (توربولاینر و پهباد سم‌پاش) نتایج قابل قبولی در پایش جمعیت شته کلزا نشان دادند. اما پهباد

به دست آمد که بسیار کم‌تر از مقدار مصرف سم‌پاش لانس‌دار بود ($50.2/2$ لیتر در دقیقه).

- بادبردگی در سم‌پاشی با پهیاد سم‌پاش نسبت به سم‌پاش لانس‌دار، کم‌تر بود. هم‌چنین مقدار بادبردگی پهیاد سم‌پاش در نرخ پاشش $2/4$ لیتر در دقیقه نسبت به نرخ پاشش $1/2$ لیتر در دقیقه کم‌تر بود. از سوی دیگر در دو نرخ پاشش با افزایش ارتفاع پاشش پهیاد سم‌پاش، بادبردگی افزایش یافته است.

- بازده مزرعه‌ای پهیاد سم‌پاش در ارتفاع $1/5$ و $2/5$ متری از سطح زمین به ترتیب برابر با $72/3$ و $69/4$ درصد و سم‌پاش لانس‌دار برابر با $42/3$ درصد به دست آمد.

- پهیاد سم‌پاش دارای ضرایب کیفیت سم‌پاشی قابل قبولی است. در بین تیمارهای سم‌پاشی با پهیاد، تیمار نرخ پاشش $1/24$ لیتر در دقیقه و ارتفاع $1/5$ متر (تیمار ۱)، کم‌ترین کیفیت ضریب پاشش را نشان داد.

- تیمارهای پهیاد سم‌پاش در مبارزه با کنه تارتن دولکه‌ای لوبیا در ۷ و ۱۴ روز پس از سم‌پاشی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. اما سم‌پاش لانس‌دار کم‌ترین درصد کارایی را نشان داد.

- از نظر اقتصادی، نسبت منافع به هزینه در روش‌های پهیاد سم‌پاش با نرخ پاشش $1/2$ و $2/4$ لیتر در دقیقه و سم‌پاش لانس‌دار به ترتیب $126/24$ ، 161 و $79/55$ به دست آمد. این شاخص در روش پهیاد سم‌پاش بیش‌تر از سم‌پاش لانس‌دار است و برتری نسبی روش پهیاد سم‌پاش را در مقایسه با روش سم‌پاش لانس‌دار نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج به دست آمده از نظر فنی، سم‌پاشی با پهیاد سم‌پاش نسبت به سم‌پاش لانس‌دار دارای برتری است و استفاده از این روش برای سم‌پاشی آفات لوبیا مزایای زیادی داشته و قابل توصیه است. هم‌چنین پهیاد سم‌پاش به دلیل بازده مزرعه‌ای بیش‌تر، برای مناطق وسیع و در شرایط طغیان آفت مزیت دارد. هم‌چنین، در مزارعی که به دلیل روش کشت مسطح لوبیا (با شرایط بارندگی و پس از آبیاری) امکان ورود تراکتور در مزرعه وجود ندارد، بهترین روش سم‌پاشی استفاده از پهیاد است. از طرفی با توجه به مصرف اب کم‌تر در روش سم‌پاشی با پهیاد سم‌پاش و ضرورت افزایش بهره‌وری آب، پهیاد سم‌پاش می‌تواند جزء گزینه‌های مناسب برای سم‌پاشی مزارع لوبیا قرار گیرد. به طور کلی در سم‌پاشی با پهیاد سم‌پاش برای مبارزه با کنه تارتن لوبیا ارتفاع پرواز $1/5$ متر، سرعت

پاش و پهیاد سم‌پاش و هزینه کارگری لازم در هر دو روش براساس قیمت‌های سال 1402 به دست آمد. سایر هزینه‌ها از جمله هزینه آماده‌سازی زمین، کوددهی، کاشت، وجین و برداشت با توجه به این که تفاوتی در دو روش ندارند، در محاسبات در نظر گرفته نشده است. مقدار درآمد نیز براساس قیمت هر کیلوگرم لوبیا 55 هزار تومان و مقدار عملکرد در هکتار به دست آورده شده است.

نسبت سود به هزینه برای روش پهیاد سم‌پاش با نرخ پاشش $1/2$ و $2/4$ لیتر در دقیقه به ترتیب $126/24$ و 161 به دست آمد. این در حالی است که این شاخص در روش سم‌پاشی با لانس $79/55$ بود. بیش‌ترین هزینه مربوط به روش سم‌پاشی با سم‌پاش لانس‌دار بوده است و در نتیجه کم‌ترین مقدار نسبت سود به هزینه حاصل شده است. برخی دلایل افزایش هزینه‌ها در روش سم‌پاشی با سم‌پاش لانس‌دار، بیش‌تر بودن سم مصرفی و نیاز به حداقل دو کارگر در زمان سم‌پاشی است (که حتی در برخی موارد برای کاهش صدمه به گیاه به تعداد سه یا بیش‌تر نیز نیاز است).

هم‌چنین یافته‌ها نشان می‌دهد که روش سم‌پاشی با پهیاد سم‌پاش نسبت سود به هزینه بیش‌تری نسبت به روش سم‌پاشی با سم‌پاش لانس‌دار دارد. اگرچه در روش سم‌پاشی با پهیاد در نرخ پاشش کم‌تر ($1/2$ لیتر در دقیقه) به دلیل مصرف سم بیش‌تر، هزینه بالاتر و در نتیجه سود پایین‌تر به دست آمده است. در نهایت نتایج نشان داد که در روش سم‌پاشی با پهیاد علاوه بر هزینه کم‌تر، محلول سم کنه‌کش کم‌تر مصرف شده و در نتیجه تلفات کنه‌کش و آلودگی زیست محیطی نیز کاهش یافته است. صفائی نژاد و همکاران نیز شاخص منافع به هزینه را برای پهیاد سم‌پاش و سم‌پاش بوم‌دار به ترتیب $1/215$ و $1/03$ گزارش کردند (Safaeinezhad et al., 2025). هم‌چنین در پژوهشی دیگر نیز شاخص منافع به هزینه برای پهیاد سم‌پاش، سم‌پاش لانس‌دار و سم‌پاش اتومایزر به ترتیب $4/8$ ، $1/93$ و $1/88$ گزارش شد (Safari et al., 2022). نتایج آن‌ها نشان داد که پهیادها با وجود هزینه‌های بیش‌تر، به دلیل کارایی و درآمدزایی بیش‌تر، گزینه‌های اقتصادی‌تری نسبت به سم‌پاش‌های بوم‌دار برای سم‌پاشی هستند.

نتیجه‌گیری

- مقدار محلول مصرفی پهیاد سم‌پاش در مقدار پاشش $2/4$ و $1/2$ لیتر در دقیقه به ترتیب برابر با $26/4$ و $12/9$ لیتر در هکتار

- Ashtari, S., Yosefi, M., & Douri, H. (2020). Evaluation of bean genotypes resistance to Two spotted spider mite, tssm, *Tetranychus urticae* Koch under field and greenhouse conditions. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 9(2), 15-30. (in Persian)
- Bagheri, N., Safari, M., & Sheikhigharjan, A. (2024). Performance evaluation of the UAV sprayer in the control of *Brevicoryne Brassicae* L. pest in Canola. *Journal of Agricultural Machinery*. 14(2), 135-146. (in Persian)
<https://doi.org/10.22067/jam.2022.79329.1129>
- Behrouzi Lar, M. (1999). Engineering Principles of Agricultural Machines (Translated). *Azad Islamic University Press*. 1st Edition, 355-357. (in Persian)
- Behzadi Pour, F., Ghasemi-Nejad Raeni, M., Asoodar, M. A., Marzban, A. and Abdanan Mehdizadeh, S. (2017). Study of the operational parameters of crops turbine sprayer (turbo liner) on spray quality and diameter of droplets, using image processing. *Journal of Agricultural Machinery*, 7(1), 61-72. [doi: 10.22067/jam.v7i1.48194](https://doi.org/10.22067/jam.v7i1.48194)
- Chen, P., Lan, Y., Huang, X., Qi, H., Wang, G., Wang, J., Wang, L., & Xiao, H. (2020). Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle. *Agronomy*, 10(303), 1-14. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020303>.
- Eskouinejad, M. M. (2020). Engineering Economics (Economic Evaluation of Industrial Projects).
- Gil, E., Llorens, J., Llop, J., Fàbregas, X., and Gallart, M. 2013. Use of a terrestrial LIDAR sensor for drift detection in vineyard spraying. *Sensors*, 13(1), 516-534.
- Giles, D. K., & Billing, R. C. (2015). Deployment and performance of a UAV for crop spraying. *Chemical Engineering Transactions*, 44, 307-312. <https://doi.org/10.3303/CET1544052>.
- Khanjani, M. (2004). Crop pests (insects and mites). Buali Sina University, Hamadan.
- Kharim, M. N. A., Wayayok, A., Shariff, Sharif, A. R. M., Abdullah, A. F., & Husin, E. M. (2019). Droplet deposition density of organic liquid fertilizer at low altitude UAV aerial spraying in rice cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture* 167, 105045. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105045>.
- Lege, K. E., Smith, C. W., and Cothren, J. T. (1992). Genotypic and cultural effects on condensed tannin concentration of cotton leaves. *Crop Science*, 32(4), 1024-1028. <https://doi.org/10.2135/cropsci1992.0011183X003200040038x>
- Noorbakhsh, S. (2021). List of major agricultural pests, diseases, and weeds; Recommended pesticides and control methods. Plant Protection Organization, Deputy of Pest Control. [In Persian]
- Nowrouzieh, S., Rezaei Asl, A., Jokar, M. & Shafipour, A.M. (2022). Evaluation of UAV sprayer quality in compared to common sprayers in cotton field. *Iranian*

پرواز حداکثر ۶ متر بر ثانیه و نرخ پاشش ۲/۴ لیتر در دقیقه توصیه می‌شود.

مشارکت نویسندگان

نحوه و میزان مشارکت نویسندگان در انجام این پژوهش به صورت زیر است:

- نویسنده اول: مفهوم‌سازی، داده‌برداری و تحلیل داده‌ها، تأمین بودجه، نرم‌افزار، تحقیق، روش‌شناسی، نگارش (پیش‌نویس اولیه، بازبینی و ویرایش).
- نویسنده دوم: روش‌شناسی، رویه‌های تجربی، نگارش (بازبینی و ویرایش).
- نویسنده سوم: جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل داده‌ها، نرم‌افزار، تحقیق.
- نویسنده چهارم: مشاوره، تحلیل داده‌ها و نگارش (بخش کارایی سمپاشی).

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تایید همه آنها است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ گونه منافع مالی رقابتی یا روابط شخصی شناخته‌شده‌ای که ممکن است بر کار گزارش‌شده در این مقاله تأثیر گذاشته باشد، ندارند.

حمایت مالی

نویسنده(ها) هیچ حمایت مالی خاصی برای انجام این پژوهش دریافت نکرده‌اند.

منابع

- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Abdshah, H., and Kazemian, A. (2023). Agricultural Statistics for the Crop Year 2022-2023. Ministry of Agricultural Jihad, Deputy of Planning and Economy.
- Amirshaghghi, F., & Safari, M. (2016). Comparison and technical evaluation of electrostatic, micronair and tractor-mounted lance sprayers in order to control (*Carpocasa pomonella* L) in apple orchards. *Journal of Agricultural Machinery*, 6(2), 376-383. <https://doi.org/10.22067/jam.v6i2.36084>

- and evaluation of boom automizer sprayer to control sunn pests in wheat production. Research Institute of Agricultural Engineering. Iran. (in Persian)
- Safari, M., Sheikhhigarjan, A., Sharifnasab, H., Bagheri, N. (2018) Final report of the project on Date palm spraying using new technology of sprayer drone. Research Institute of Agricultural Engineering. Iran. (in Persian)
- Seidin, P. (2018). Guidelines for the Use of spraying drones to control pests. Plant Protection Organization, Pest Control Deputy, Pesticide Office. (in Persian)
- Sheikhhigarjan, A., Safari, M., Ghazi, M. M., Zarnegar, A., Shahrokhi, S., Bagheri, N., & Seyedin, P. 2024. Chemical control of wheat sunn pest, *Eurygaster integriceps*, by UAV sprayer and very low volume knapsack sprayer. *Phytoparasitica*, 52(3), 49. <https://doi.org/10.1007/s12600-024-01166-2>
- Vassiliou, V. A., and Kitsis, P. 2013. Acaricide resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) populations from Cyprus. *Journal of economic entomology*, 106(4), 1848-1854. <https://doi.org/10.1603/EC12369>
- Wang, S., Song, J., He, X., Song, L., Wang, X., Wang, C., Wang, Z and Ling, Y. 2017. Performance's evaluation of four typical unmanned aerial vehicles used for pesticide application in China. *Internatinal Journal Agriculture & Biology Engineering*, 10 (4): 22-31.
- Wolf, T. M., Grover, R., Wallace, K., Shewchuk, S. R., and Maybank, J. 1993. Effect of protective shields on drift and deposition characteristics of field sprayers. *Canadian journal of plant science*, 73(4), 1261-1273. <https://doi.org/10.4141/cjps93-165>
- Yallappa, D. (2017). Development and evaluation of drone mounted sprayer for pesticide applications to crops. Proceedings of the IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC). Oct. 19-22. San Jose, CA, USA.
- Yousefi, M. and Dori, H.R. (2012). Final report of the project on the evaluation of resistance mechanisms to two-spotted spider mite in a number of pinto bean genotypes under greenhouse conditions, Markazi Agricultural and Natural Resources Research Center. Arak.
- Zarifneshat, S., Saecidirad, M. H., Safari, M., Moatamedoshariati, H. R., & Naseri, M. (2022). Evaluation of the sprayer drone in the fight against wheat weeds and its comparison with conventional methods. *Agricultural Mechanization and Systems Research*. 23(82), 53-70. (in Persian) <https://doi.org/10.22092/amsr.2022.360045.1427>
- Zhou, Q., Xue, X., Qin, W., Chen, C., and Cai, C. 2020. Analysis of pesticide use efficiency of a UAV sprayer at different growth stages of rice. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, 3(1), 38-42.
- Journal of Cotton Researches*, 10(1), 109-132. (in Persian)
- Qin, W., Xue, X., Zhang, S., Gu, W., and Wang, B. 2018. Droplet deposition and efficiency of fungicides sprayed with small UAV against wheat powdery mildew. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(2), 27-32. [10.25165/j.ijabe.20181102.3157](https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181102.3157)
- Saeidirad, M. H., Zarifneshat, S., & Forouhar, M. (2023). Evaluation of UAV spraying performance in fertilizing saffron compared to conventional liquid fertilization spraying methods. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 24(88), 1-16. (in Persian) <https://doi.org/10.22092/amsr.2024.366525.1493>
- Safaeinejad, M. , Ghasemi-Nejad Raeni, M. and Taki, M. (2025). Field and Economic Evaluation of Spraying Drones Versus Boom Sprayers for Weed and Yellow Rust control in Wheat fields. *Journal of Agricultural Machinery*, 15(4), 587-603. (in Persian) [doi: 10.22067/jam.2025.91236.1322](https://doi.org/10.22067/jam.2025.91236.1322)
- Safari, M., & Bagheri, N. (2021). Technical criteria for the evaluation of sprayer drones. *Technical Instruction*. Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)
- Safari, M., & Sheikhhigarjan, A. (2020). Comparison between unmanned aerial vehicle and tractor lance sprayer against Dubas. bug *Ommatissus lybicus* (Hemiptera: Tropicuchidae). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 51(1), 13-26. (in Persian) [10.22059/ijpps.2020.281898.1006894](https://doi.org/10.22059/ijpps.2020.281898.1006894)
- Safari, M., Bagheri, N., & Sheikhhigarjan, A. (2023a). Technical and Economical Evaluation of UAV sprayer in Comparison with Conventional methods to Control Tomato helicoverpa amigera. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 24(85), 91-110. <https://doi.org/10.22092/amsr.2024.364474.1474>
- Safari, M., Bagheri, N., Sheikhhigarjan, A., & Zarifneshat, S. (2023b). Evaluation and comparison of sprayer drone to control tuta pest in tomato crop. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 23(84), 1-16. (in Persian) <https://doi.org/10.22092/amsr.2023.361037.1435>
- Safari, M., Bagheri, N., Sheikhhigarjan, A., & Zarifneshat, S. (2022). Evaluation and comparison of sprayer drone to control tuta pest in tomato crop. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 23(84), 1-16. <https://doi.org/10.22092/amsr.2023.361037.1435>
- Safari, M., & Sheikhhigarjan, A. (2020). Comparison between unmanned aerial vehicle and tractor lance sprayer against Dubas bug *Ommatissus lybicus* (Hemiptera: Tropicuchidae). *Iranian journal of plant protection science*, 51(1), 13-26. (in Persian) [10.22059/ijpps.2020.281898.1006894](https://doi.org/10.22059/ijpps.2020.281898.1006894)
- Safari, M., Hedayatipoor, M., Gerami, K., Haghshenas, M. (2009). Final report of the project on Development

