



Effect of flight speed and microneer nozzle rotation speed of drone EFT-G620 on the efficiency and drift of nicosulfuron in forage maize

Ali Hassan Talaie¹, Akbar Aliverdi², Goudarz Ahmadvand³

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. Email:

talaei54hassan@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: a.aliverdi@basu.ac.ir

3. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. Email: gahmadvand.gahmadvand@basu.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Aug. 20, 2025

Revised: Sep. 28, 2025

Accepted: Oct. 8, 2025

Published online: Autumn 2025

Keywords:

Herbicide efficiency,

Spray volume,

Drone spray technology.

ABSTRACT

To investigate the effect of the flight speed and the rotation speed of dick nozzle of drone EFT-G620 on the spray deposition containing nicosulfuron in the target area and spray drift to the non-target area, weed control efficiency, and the forage yield of maize, a factorial experiment was conducted in a completely randomized basic design (blocks) with three replications in 2024 in a farm located in Asadabad, Hamadan. The first factor consisted of three levels of flight speed (5, 7.5, and 10 m/s), and the second factor consisted of three levels of nozzle rotation speed (3000, 4500, and 6000 rpm). Three pieces of moisture-sensitive card (76×26 mm) were installed horizontally in the plot's center and at a distance of 2.5, 5, and 10 m from the edge of that plot at a height of 25 cm to assess spray deposition. No drift of droplets occurred up to a distance of 10 m from the plot. The highest coverage (16.8%) and droplet density (1.34 no./cm²) were observed in the treatment of flight speed of 5 m/s + nozzle rotation speed of 6000 rpm, resulting in the highest chemical control efficiency against total weed density and dry weight (78 and 94%, respectively), which resulted in the highest maize forage yield (25.8 t/ha).

Cite this article: Talaie, A. H., Aliverdi, A., Ahmadvand, G., (2025) Effect of flight speed and microneer nozzle rotation speed of drone EFT-G620 on the efficiency and drift of nicosulfuron in forage maize, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 56 (3), 48-59. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.401025.665609>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.401025.665609>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The application of herbicides by drones is rapidly developing in the world due to the lack of physical damage to crops, its suitability for small and wet fields, low labor costs, and the absence of user poisoning. In optimizing drones, attention should be paid to the parameters affecting their performance. In the present study, the effect of the flight speed and the rotation speed of dick nozzle of drone EFT-G620 (a hexa-copter equipped with a dick spray system) on the spray deposition in the target area and spray drift to the non-target area, the efficiency of chemical weed control, and the forage yield of maize was investigated.

Methods

The experiment was conducted as a factorial experiment in a randomized complete (block) design with two factors and three replications, including two plots, weed-free and weed-infected, in 2024 in a forage maize (cv. SC704) field located in Asadabad, Hamadan. The first factor consisted of three levels of flight speed (5, 7.5, and 10 m/s), and the second factor consisted of three levels of nozzle rotation speed (3000, 4500, and 6000 rpm). In each plot, 80 g/ha nicosulfuron (Cruise®) + surfactant of trend® 90 (0.1% v/v) was applied at the maize's 3-4 leaf stage. Three pieces of moisture-sensitive card (76 × 26 mm) were installed horizontally in the plot's center and at a distance of 2.5, 5, and 10 m from the edge of that plot at a height of 25 cm to assess spray deposition.

Results

The results indicated an interaction effect between the above two factors on the measured traits. In the center of the plot, the lowest coverage (4.3%) and droplet density (11.2 no./cm²) were observed in the treatment of flight speed of 10 m/s + nozzle rotation speed of 6000 rpm. The highest coverage (16.8%) and droplet density (1.34 no./cm²) were observed in the treatment of flight speed of 5 m/s + nozzle rotation speed of 6000 rpm. In this experiment, the principle of "more deposition and less drift" was visible because in the treatment of flight speed of 10 m/s + nozzle rotation speed of 6000 rpm, although the highest spray volume (46.6 L/ha) was used, no drift of droplets occurred up to a distance of 10 m from the plot. Therefore, the highest chemical control efficiency against total weed density and dry weight (78 and 94%, respectively) was achieved, which resulted in the highest maize forage yield (25.8 t/ha).

Conclusions

Therefore, while recommending the use of the treatment of flight speed of 5 m/s + nozzle rotation speed of 6000 rpm, it is recommended that any method that increases spray volume can be beneficial in improving the efficiency of nicosulfuron against weeds.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the financial support from Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

تأثیر سرعت پرواز و دور چرخش نازل میکرونر پهباد EFT-G620 بر کارایی و بادبردگی علفکش نیکوسولفورون در ذرت علوفه‌ای

علی حسن طلایی^۱، اکبر علی وردی^۲، گودرز احمدوند^۳

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: talaei54hassan@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه:

a.aliverdi@basu.ac.ir

۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه:

gahmadvand.gahmadvand@basu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

با هدف بررسی تأثیر سرعت حرکت و سرعت چرخش نازل میکرونر پهباد مدل EFT-G620 بر نشست پاشش حاوی نیکوسولفورون در منطقه هدف و فرار آن به منطقه غیرهدف، کارایی کنترل علف‌های هرز و عملکرد ذرت علوفه‌ای، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه (بلوک‌های) کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۳ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان اسدآباد، همدان، اجرا شد. فاکتور اول شامل سه سطح از سرعت حرکت (۵، ۷/۵ و ۱۰ متر بر ثانیه) و فاکتور دوم شامل سه سطح از سرعت چرخش نازل میکرونر (۳۰۰۰، ۴۵۰۰ و ۶۰۰۰ دور در دقیقه) پهباد فوق بود. سه قطعه کارت حساس به رطوبت (۷۶ × ۲۶ میلی‌متر) به صورت افقی در مرکز کرت و نیز در فاصله ۲/۵، ۵ و ۱۰ متری از حاشیه هر کرت در ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری برای ارزیابی پوشش پاشش نصب شد. هیچ فراری از قطرات تا فاصله ۱۰ متری از کرت اتفاق نیفتاد. در مرکز کرت، کمترین پوشش (۴/۳ درصد) و تراکم قطرات پاشش (۱۱/۲ قطره در سانتی‌مترمربع) با سرعت حرکت ۱۰ متر بر ثانیه + سرعت چرخش نازل میکرونر ۶۰۰۰ دور در دقیقه مشاهده شد. بیشترین پوشش (۱۶/۸ درصد) و تراکم قطرات پاشش (۳۴/۱ قطره در سانتی‌مترمربع) با سرعت حرکت ۵ متر بر ثانیه + سرعت چرخش نازل میکرونر ۶۰۰۰ دور در دقیقه مشاهده شد که منجر به مشاهده بالاترین کارایی کنترل شیمیایی علیه تراکم و وزن خشک کل علف‌های هرز (به ترتیب با ۷۸ و ۹۴ درصد) و برداشت بیشترین عملکرد علوفه ای ذرت (۲۵/۸ تن در هکتار) شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۵/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۷/۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۱۶

تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:

کارایی علف‌کش،

حجم پاشش،

فناوری سم‌پاشی با پهباد.

استناد: طلایی؛ علی حسن، علی وردی؛ اکبر، احمدوند؛ گودرز، (۱۴۰۴) تأثیر سرعت پرواز و دور چرخش نازل میکرونر پهباد EFT-G620 بر کارایی و بادبردگی علفکش

نیکوسولفورون در ذرت علوفه‌ای، مجله مهندسی بیوسیستم ایران/ ایران، ۵۶ (۳)، ۴۳-۵۹. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.401025.665609>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.401025.665609>

مقدمه

در سال‌های اخیر، توسعه سریع پهپادهای سمپاش برای کاربرد مواد شیمیایی کشاورزی توجه زیادی را به خود جلب کرده و به طور روزافزون ترویج و به کار گرفته می‌شوند. به طوری که در چین در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ به ترتیب مساحتی برابر ۶۴، ۱۵۲ و ۱۷۵ میلیون هکتار توسط انواع پهپادهای سمپاش سمپاشی شده است (Ozkan, 2024). در ایران نیز توسعه پهپادهای سمپاش در دستور وزارت جهاد کشاورزی نیز قرار دارد (کشتکار و همکاران، ۱۴۰۲). در مقایسه با سمپاش‌های پشته و بوم‌دار، کاربرد علف‌کش‌ها توسط پهپادهای سمپاش دارای مزایایی می‌باشد که قبلاً به اثبات رسیده است و عبارتند از کاهش مصرف آفت‌کش‌ها به میزان ۲۵ درصد (Castaldi et al., 2017) و ۳۹ درصد (Deng et al., 2024)، صرفه‌جویی در مصرف آب تا ۹۴ درصد (Gaadhe et al., 2025) که پژوهش پیرامون آن نیز از جمله نیازهای تحقیقاتی کشورمان نیز محسوب می‌شود، کاهش هزینه کارگری و کاهش خطرات ناشی از کار با مواد شیمیایی (Umeda et al., 2022)، عدم فشردگی خاک (D'Alessandro et al., 2024) و کاهش بادبردگی پاشش؛ به طوری که ۹۰ درصد پاشش در فاصله ۸/۷ متری سمپاش باغی معمولی نشست کرد در حالی که ۹۰ درصد پاشش در فاصله ۳/۴ متری از پهپاد سمپاش نشست کرد (Sánchez-Fernández et al., 2023). علاوه بر این، پهپادهای سمپاش هیچ آسیب فیزیکی به گیاهان زراعی وارد نمی‌سازند و امکان پاشش آفت‌کش‌ها را در زمین‌های خیس و صعب‌العبور فراهم می‌سازند (Aliverdi & Aliverdi, 2024).

پهپادهای سمپاش در مدل‌های بسیار متنوع طراحی و ساخته شده‌اند. برای مثال، بیش از ۱۷۰ نوع مختلف پهپاد سمپاش فقط در چین تولید می‌شود (Xiongkui et al., 2017). در کل، انواع پهپادهای سمپاش شامل پهپادهای بال ثابت، هلیکوپتر، کوادکوپتر، هگزاکوپتر و اکتاکوپتر می‌شوند که سیستم پاشش آنها می‌تواند مجهز به نازل الکترواستاتیک، هیدرولیکی و میکرونر باشد که هر یک از این سیستم‌های پاشش می‌تواند مجهز به انواع و اندازه‌های مختلف نازل باشد. بنابراین، محققان همواره در استفاده بهینه از پهپادهای سمپاش باید به پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد آنها توجه کردند. این پارامترها شامل مدل پهپاد سمپاش، حجم پاشش (مقدار آب مصرفی در هکتار)، سرعت حرکت، سرعت باد و اندازه قطرات پاشش می‌شوند. این پارامترها ضمن اینکه بر میزان پوشش محل هدف و محل غیر هدف با محلول پاشش تأثیرگذار هستند، کارایی علف‌کش‌ها و آلودگی محیط زیست ناشی از آنها را نیز به طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهند (Hunter et al., 2019). Ranabhat & Price (2025) عملکرد پاشش دو نوع پهپاد سمپاش که مجهز به نازل‌های میکرونر و هیدرولیکی بودند را در سویا، پنبه و نیشکر مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که با افزایش ارتفاع پرواز هر دو نوع پهپاد از ۱/۲ به ۶ متر میزان نشست پاشش از ۱۰/۱ به ۴/۴ لیتر در هکتار کاهش یافت زیرا قطرات آزاد شده به طور طبیعی در ارتفاعات بیشتر برای رسیدن به تاج‌پوشش محصول زمان بیشتری را سپری می‌کند و احتمال بادبردگی را افزایش می‌دهد. Chen et al. (2020) تأثیر ارتفاع تاج‌پوشش (۰/۵، ۰/۷ و ۱/۱ متر) و حجم پاشش (۱۸، ۲۲/۵ و ۳۰ لیتر در هکتار) بر توزیع قطرات پاشش توسط پهپاد سمپاش مدل XAG P30 در بالا و پایین تاج‌پوشش پنبه را بررسی و گزارش کردند که قطرات پاشش در قسمت بالایی تاج‌پوشش در مقایسه با قسمت پایینی آن بهتر توزیع شده‌اند. پوشش، نشست و تراکم قطرات با افزایش حجم پاشش به تدریج افزایش یافت. توزیع قطرات وقتی ارتفاع تاج‌پوشش بالا بود بسیار ضعیف بود، اما می‌توان با افزایش حجم پاشش آن را بهبود بخشید. Zhang et al. (2020) تحقیقی برای بررسی سه عامل (حجم پاشش، ارتفاع پرواز و سرعت حرکت) در سه مدل پهپاد چهار ملخه مختلف انجام دادند و گزارش کردند که با حجم پاشش ۱۵ لیتر در هکتار، ارتفاع پرواز ۳ متر و سرعت حرکت ۴ متر بر ثانیه بهترین تراکم قطرات پاشش نشست کرده را تشخیص دادند. Wang et al. (2019) گزارش کردند که تأثیر حجم‌های مختلف پاشش ۹، ۱۸ و ۲۸ لیتر در هکتار به طور معناداری بر نشست و کارایی حشره‌کش ایمیداکلوپرید و قارچ‌کش تبوکونازول به وسیله یک پهپاد هلیکوپتر مدل 3WQF120-12 متفاوت است. با افزایش حجم پاشش، میزان نشست پاشش افزایش و در نتیجه کارایی آفت‌کش‌ها افزایش یافت. Liao et al. (2019) تحقیقی در مزرعه پنبه انجام دادند که در آن، چهار عامل شامل حجم پاشش، کاربرد مواد افزودنی، ارتفاع پرواز، سرعت حرکت را برای بهینه‌سازی کاربرد مواد برگ ریز با استفاده از سه مدل مختلف از پهپادهای سمپاش دارای چهار، شش و هشت ملخ چرخان مورد بررسی قرار گرفت. برای هر سه نوع پهپاد، تیمار حجم پاشش ۴۸ لیتر بر هکتار مناسب بود. در این رابطه، با افزایش حجم پاشش کارایی مواد برگ ریز کاهش یافت. برای هر سه مدل پهپاد، ارتفاع پرواز ۱/۵ متر بالاتر از تاج‌پوشش پنبه در مقایسه با ارتفاعات بیشتر (تا ۳ متر) مناسب تشخیص داده شد. با این وجود، سرعت حرکت مناسب را برای پهپادهای سمپاش دارای چهار، شش و هشت ملخ چرخان به ترتیب برابر ۲/۱، ۲/۵ و ۳/۷ متر بر ثانیه تشخیص دادند. در تحقیق مشابه دیگری، Cavalaris et al. (2022) تأثیر دو ارتفاع پاشش (۲ و ۳ متر بالاتر از تاج‌پوشش)، دو حجم پاشش (۱۰ و ۱۶ لیتر در هکتار) را بر کارایی مواد برگ ریز پنبه

بکار رفته با پهپاد سمپاش چهار ملخه و سمپاش بومدار هوا کمک را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که سمپاشی با پهپاد نسبت به سمپاشی‌های زمینی (چه با کمک هوا و چه بدون آن) کارآمدتر بود. کارایی بالاتر با بهبود عملکرد پنبه همراه بود. بهترین نتایج از کاربرد پهپاد با ارتفاع کم به دست آمد. ولی، هیچ تفاوت مشخصی بین کاربرد مواد برگ ریز توسط پهپاد با حجم پاشش بالا و پایین وجود نداشت، که نشان می‌دهد حجم پاشش ۱۰ لیتر در هکتار می‌تواند به‌طور مؤثر استفاده شود و عملکرد مزرعه‌ای بهتری را نیز ارائه دهد. در کاربرد پیرازوسولفورون متیل در سه حجم پاشش ۱۵، ۲۰ و ۲۵ لیتر در هکتار و پربتیکلر در سه حجم پاشش ۴۰، ۵۰ و ۶۰ لیتر در هکتار با استفاده از پهپاد شش ملخه مدل مجهز به نازل هیدرولیکی بادبزی در برنج گزارش کردند که با کاهش حجم پاشش کارایی پیرازوسولفورون متیل و پربتیکلر در کنترل علف‌های هرز به ترتیب کاهش و افزایش یافت (Jeevan et al., 2023; Jebalin et al., 2024).

نتایج تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که با بهینه‌سازی عملکرد پهپادهای سمپاش، ضمن بهینه‌سازی مصرف علف‌کش، می‌توان به مصرف بهینه آب سمپاشی نیز دست یافت. با توجه به شرایط موجود، پژوهش پیرامون مصرف بهینه آب نیز از جمله نیازهای تحقیقاتی کشور محسوب می‌شود. از طرفی دیگر، تاکنون واکنش علف‌کش نیکوسولفورون به حجم پاشش در تحقیقات قبلی مشخص نشده است. پژوهش حاضر قصد داشت تأثیر حجم پاشش که از طریق سرعت حرکت پهپاد و سرعت چرخش نازل میکرونر پهپاد سمپاش مدل EFT-G620 تنظیم شد را بر کارایی و بادبردگی کاربرد نیکوسولفورون^۱ در مزرعه ذرت علوفه‌ای^۲ بررسی کند. مدل پهپاد فوق یکی از انواع پهپادهای سمپاش رایج مورد استفاده در کشور است که دارای قابلیت انتخاب نازل هیدرولیکی و میکرونر را دارد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۳ در مزرعه شخصی واقع در شهرستان اسدآباد اجرا گردید. موقعیت جغرافیایی محل اجرای آزمایش دارای ارتفاع ۱۶۰۷ متر از سطح دریا با مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۷ دقیقه شرقی است. منطقه از لحاظ اقلیمی، دارای آب و هوای نیمه‌خشک سرد و کوهستانی با میانگین بارندگی سالانه در این منطقه ۴۰۳ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۱ درجه سلسیوس است. براساس نتایج آزمون خاک، خاک محل آزمایش لومی رسی با ۳۴ درصد رس، ۴۶ درصد سیلت، ۲۰ درصد شن، ۰/۶ دسی زیمنس بر متر هدایت الکتریکی، پی‌اچ ۷/۷، ۱/۱ درصد مواد آلی، ۹ پی‌پی‌ام فسفر، ۲۱۰ پی‌پی‌ام پتاسیم و ۰/۱ درصد نیتروژن کل بود. برای آماده‌سازی زمین، شخم عمیقی با گاواهن برگردان قبل از کاشت زده شد و پس از دو مرحله دیسک‌زنی عمود برهم، زمین با ماله مسطح و با شیارساز به صورت جوی و پشته درآورده شد. کودهای ازته و فسفات نیز طبق نتایج آزمون خاک و توصیه کودی بکار برده شدند. بر این اساس، ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره طی سه مرحله در زمان کاشت، هشت برگی ذرت و ظهور کاکل و ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هنگام کاشت به صورت نواری مصرف شد. بذر ذرت رقم ۷۰۴ مغان به وسیله ردیف‌کار پنوماتیک ۶ ردیفه در تاریخ ۱۴۰۳/۳/۱ کشت شد. بذر ذرت رقم ۷۰۴ مغان رقمی دو منظوره، میان‌رس با طول دوره رشد بین ۱۲۵ تا ۱۳۵ روز است که نسبت به بیماری‌های سیاهک و فوزاریوم مقاومت نسبی دارد. ابعاد هر کرت شامل ۵ متر عرض (که برابر عرض پاشش موثر پهپاد در نظر گرفته شد) در ۱۰ متر طول بود. فاصله بین ردیف‌ها ۰/۵ متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف برابر ۱۵ سانتی‌متر بود. کرت‌ها به منظور جلوگیری از اثرات بادبردگی و در نظر گرفتن فضا برای ارزیابی آن با فاصله ۱۰ متر از یکدیگر ایجاد شدند. روش آبیاری بارانی کلاسیک بود.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور، نه تیمار و سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل سه سطح از سرعت حرکت (۵، ۷/۵ و ۱۰ متر بر ثانیه که به ترتیب به صورت F₅، F_{7.5} و F₁₀ مخفف شدند) و فاکتور دوم شامل سه سطح از سرعت چرخش نازل میکرونر (۳۰۰، ۴۵۰ و ۶۰۰ دور در دقیقه که به ترتیب به صورت R₃₀₀₀، R₄₅₀₀ و R₆₀₀₀ مخفف شدند) پهپاد شش ملخه مدل EFT-G620 (شرکت افور-تک، چین) بود. سطوح فاکتورها برحسب حداقل و حداکثر ظرفیت پهپاد مذکور انتخاب شد. حجم‌های پاشش در تیمارهای F₅R₃₀₀₀، F₅R₄₅₀₀، F₅R₆₀₀₀، F_{7.5}R₃₀₀₀، F_{7.5}R₄₅₀₀، F_{7.5}R₆₀₀₀، F₁₀R₃₀₀₀، F₁₀R₄₅₀₀ و F₁₀R₆₀₀₀ به ترتیب برابر ۳۶/۶، ۴۰، ۴۶/۶، ۲۰، ۲۶/۶، ۴۰، ۱۷/۳، ۲۳/۹ و ۳۰ لیتر در هکتار بود که از طریق عملیات کالیبراسیون سمپاش محاسبه گردید. عملیات پاشش در ارتفاع پرواز ۳ متر (Zhang et al., 2020) با عرض پاشش موثر ۵ متر تحت نوسان وزش بادی برابر ۲/۱ تا ۲/۸ متر بر ثانیه انجام گرفت. در هر کرت، ۸۰ گرم نیکوسولفورون در هکتار (فرمولاسیون روغن قابل انتشار ۴ درصد، کروژ، شرکت آریا شیمی) در زمان ۳ تا ۴ برگی ذرت اعمال شد. براساس توصیه روی برچسب علف‌کش برای افزودن مویان غیریونی به محلول پاشش، تمامی

محلول‌های پاشش حاوی مویان غیریونی ترند ۹۰ (شرکت دوپونت، آمریکا) با غلظت ۰/۱ درصد حجمی بودند. قبل از تیمار هر کرت، سایر کرت‌ها با یک لایه پارچه توری سبک پوشانده شد تا از بادبردگی احتمالی محافظت شوند؛ به گونه‌ای که با قرار دادن چوب‌هایی به صورت عمودی زیر پارچه از خوابیدن آن بر روی زمین جلوگیری شد تا به بوته‌های ذرت آسیبی وارد نشود. علاوه بر این، مساحتی برابر با یک مترمربع از هر کرت در زمان تیمار کردن آن پوشانده شد تا به عنوان شاهد "با علف‌هرز" در نظر گرفته شود. درون هر کرت نیز مساحتی برابر با یک مترمربع در طول دوره رشد ذرت از طریق وجین دستی عاری از علف‌های هرز نگهداشته شد تا به عنوان شاهد "بدون علف‌هرز" در نظر گرفته شود.

در زمان سمپاشی، سه قطعه کارت حساس به رطوبت (شرکت به‌کشت، ایران) با ابعاد 26×76 میلی‌متر به صورت افقی در مرکز کرت و نیز در فاصله ۲/۵، ۵ و ۱۰ متری از حاشیه آن کرت در ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری نصب شد تا میزان پوشش پاشش ارزیابی شود. این کاغذها دارای یک سطح زرد رنگ است که پس از برخورد قطرات پاشش به آن به رنگ پایدار آبی (مساحت خیس شده) در می‌آیند. بلافاصله پس از اعمال تیمارها، کارت‌های حساس به رطوبت جمع‌آوری و داخل زیپ کیف پلاستیکی قرار گرفتند. پس از اسکن، تصویر آنها در محیط نرم‌افزار ImageJ پردازش و تراکم و پوشش قطرات پاشش محاسبه شد (Aliverdi & Aliverdi, 2024). چهار هفته پس از اعمال تیمارها، تراکم گونه‌های علف‌هرز به تفکیک گونه ثبت و سپس کف‌بر شدند. توزین زیست‌توده خشک کل علف‌های هرز پس از خشکاندن آنها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت صورت گرفت. کارایی کنترل علف‌های هرز (WCE) که نشان‌دهنده درصد کاهش تراکم یا زیست‌توده خشک علف‌های هرز در اثر تیمار علف‌کش است، از طریق رابطه (۱) تعیین شد.

$$WCE (\%) = \frac{(A-B)}{A} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، A و B به ترتیب تراکم (بوته در مترمربع) یا زیست‌توده خشک (گرم در مترمربع) علف‌های هرز در بخش سمپاشی نشده و سمپاشی شده کرت هستند (Mamnoie et al., 2022). در تاریخ ۱۴۰۳/۶/۱۶، بوته‌های درون مساحت ۵ متر مربعی با رعایت اثر حاشیه برداشت و به مدت یک هفته در هوای آزاد نگهداری شدند. سپس، برای خشک شدن نهایی در آون با دمای ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت نگهداری و سپس توزین شد (X). سپس، عملکرد ماده خشک در واحد هکتار (Y) محاسبه گردید.

$$Y(t/ha) = \frac{10000 (m^2) \times X(t)}{5 (m^2)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها براساس آزمون نرمالیت شاپیرو ویلک (جدول‌های ۱ و ۲)، آنها در محیط نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شدند. صفات پوشش و تراکم قطرات پاشش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و سایر صفات به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی تجزیه و تحلیل شدند. با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. برای رسم منحنی‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نشست پاشش در منطقه هدف و بادبردگی آن به منطقه غیر هدف

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی عوامل مورد بررسی پهپاد (سرعت حرکت و سرعت چرخش نازل میکرونر) و نیز اثر متقابل بین آنها به طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان پوشش و تراکم قطرات پاشش روی کاغذهایی که در وسط کرت و یا در فواصل ۲/۵، ۵ و ۱۰ متری از آن نصب شده بودند تاثیرگذار بود (جدول ۱).

در مرکز کرت، بهترین پوشش پاشش (۱۶/۸ درصد) در تیمار F5R6000 مشاهده شد (شکل ۱). بدترین پوشش پاشش (۴/۳ درصد) نیز متعلق به تیمار سرعت F10R6000 بود. نتایج مشابهی در رابطه با تراکم قطرات پاشش مشاهده شد؛ به طوری که در مرکز کرت، بالاترین تراکم قطرات پاشش (۳۴/۱ قطره در سانتی‌مترمربع) در تیمار F5R6000 و پایین‌ترین تراکم قطرات پاشش (۱۱/۲ قطره در سانتی‌مترمربع) در تیمار F10R6000 مشاهده شد (شکل ۱). به طور مشابه، محققان (Dengeru et al., 2022) در کاربرد حشره‌کش ایمیداکلوپرید در مزرعه نخود کبوتری با پهپاد سمپاش مدل E610P که دارای شش ملخ چرخان و مجهز به چهار نازل بادبزی 2020A-132 بود میزان تراکم قطرات (۴۷ قطره بر سانتی‌متر مربع) و پوشش سطح (۱۵/۷ درصد) را در مرکز کرت اندازه‌گیری کردند. در پژوهش حاضر، در سرعت‌های حرکت ۵ و ۷/۵ متر بر ثانیه، افزایش سرعت چرخش نازل میکرونر به طور پیوسته موجب افزایش پوشش و تراکم قطرات در مرکز کرت پاشش شد؛ این در حالی بود که در سرعت حرکت ۱۰ متر بر ثانیه، افزایش سرعت چرخش نازل میکرونر به طور پیوسته موجب کاهش

پوشش و تراکم قطرات پاشش شد (شکل ۱). این نتایج نشان می‌دهد که افزایش سرعت حرکت تاثیر منفی بر پوشش و تراکم قطرات پاشش در منطقه هدف از طریق افزایش پتانسیل بادبردگی قطرات پاشش داشت. با استفاده از پهپاد مدل XAG P20، Wang et al. (2020) نشان داد که بین سرعت چرخش نازل میکرونر و اندازه قطرات پاشش رابطه منفی وجود دارد. آزمایش‌های مزرعه‌ای آنها نشان داد که بادبردگی قطرات در ۱۲ متر در جهت باد به طور پیوسته کاهش یافت و با افزایش اندازه قطرات پاشش میزان بادبردگی نیز کاهش یافت. صرف نظر از تیمارها، حجم بادبردگی در مسافت ۵۰ متری از محل پرواز پهپاد برابر 0.0002 میکرولیتر است. براساس پوشش پاشش، محققان برای مدل‌های دیگری از پهپادهای سمپاش سرعت بهینه حرکت متفاوتی گزارش کردند. برای مثال، محققان سرعت حرکت مناسب برای پهپادهای سمپاش دارای چهار، شش و هشت ملخه به ترتیب برابر $2/1$ ، $2/5$ و $3/7$ متر بر ثانیه تشخیص دادند (Liao et al., 2019). در تحقیقی دیگر، محققان سرعت حرکت مناسب را برای پهپاد مدل هشت ملخه برابر $2/5$ متر بر ثانیه تشخیص دادند (Nordin et al., 2021). در تحقیقی دیگر، محققان سرعت حرکت ۳ متر بر ثانیه را برای پهپاد سمپاش مدل چهار ملخه دارای بال ثابت تشخیص دادند (Ahmad et al., 2020). در تحقیقی دیگر، محققان در سه مدل پهپاد چهار ملخه مختلف ۴ متر بر ثانیه را سرعت حرکت بهینه گزارش کردند (Wang et al., 2020). در تحقیقی دیگر، محققان سرعت حرکت ۴ متر بر ثانیه را برای یک پهپاد شش ملخه مناسب تشخیص دادند (Wongsuk et al., 2024). در تحقیقات قبلی، بر سرعت حرکت کمتر برای ایجاد پوشش پاشش بهتر تاکید شده است. براساس نتایج تحقیق حاضر، بین پوشش پاشش و تراکم قطرات پاشش رابطه خطی مثبتی وجود دارد؛ به طوری که با افزایش تراکم قطرات پاشش بیشتر باشد، پوشش پاشش نیز افزایش می‌یابد (شکل ۲). در تحقیقات قبلی نیز به چنین روندی اشاره شده است. برای مثال، محققان تاثیر حجم پاشش (۱۸، $22/5$ و 30 لیتر در هکتار) را بر توزیع قطرات پاشش با پهپاد سمپاش مدل چهار ملخه روی تاج پوشش پنبه بررسی و گزارش کردند که پوشش و تراکم قطرات پاشش با افزایش حجم پاشش به تدریج افزایش یافت (Chen et al., 2020). علاوه بر این، در تحقیق حاضر مشاهده شد که حجم پاشش (که در تیمارهای مختلف متفاوت بود) با هر یک از ویژگی پاشش فوق (پوشش و تراکم قطرات پاشش) دارای رابطه‌ای مثبت است که با تابع چندجمله‌ای قابل توضیح بود (شکل ۳)؛ به طوری که با افزایش حجم پاشش، پوشش و تراکم قطرات پاشش نیز افزایش یافت.

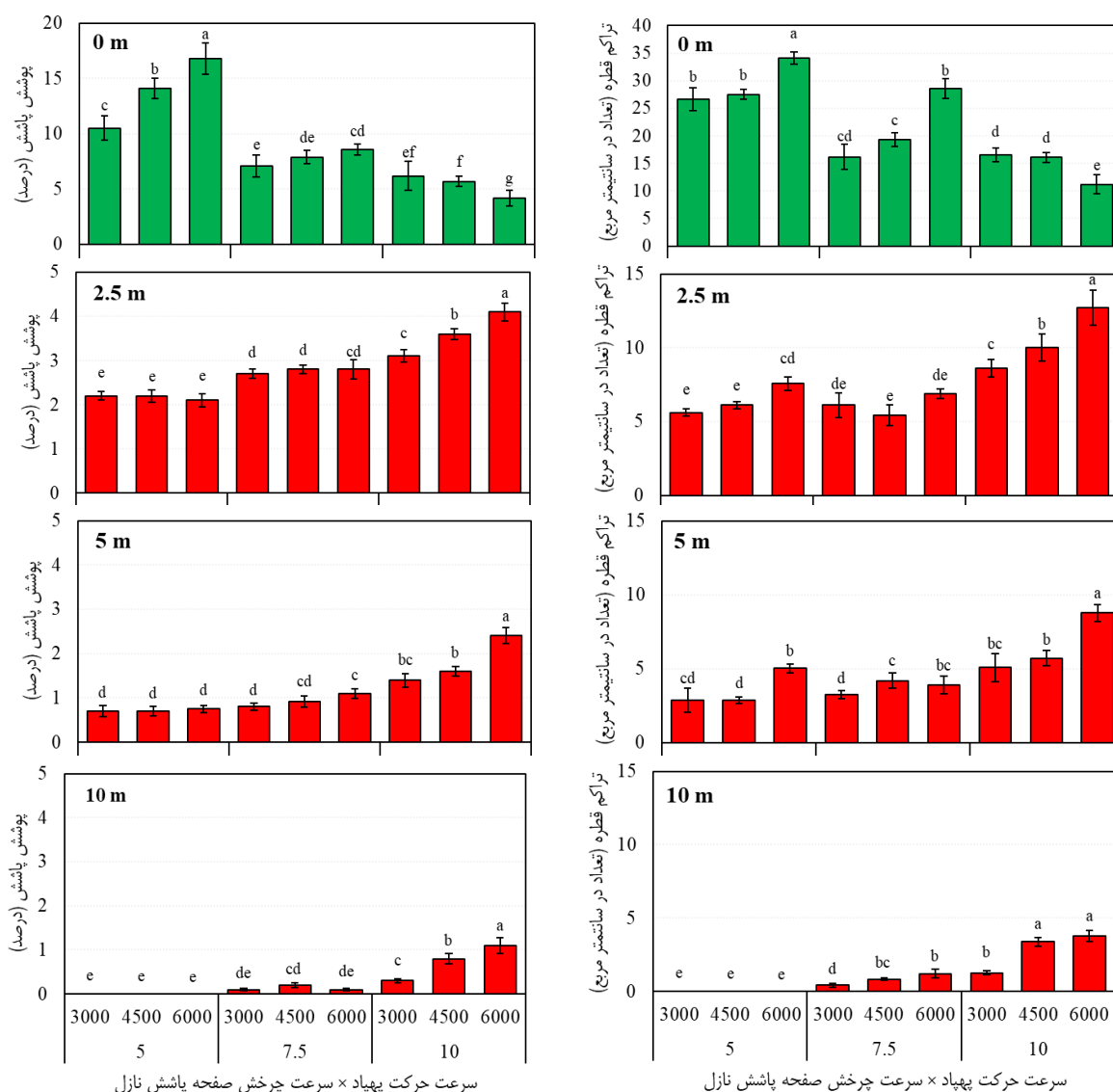
جدول ۱. نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثر سرعت حرکت و سرعت چرخش میکرونر پهپاد مدل EFT-G620 بر پوشش و تراکم قطرات پاشش روی کاغذهای حساس به رطوبتی که در وسط کرت (۰ متر) و یا در فواصل مختلف از آن نصب شده بودند.

تراکم قطرات پاشش	پوشش پاشش					درجه آزادی			
	۱۰ متر	۵ متر	۲/۵ متر	۰ متر	۱۰ متر	۵ متر	۲/۵ متر	۰ متر	منابع تغییر
سرعت حرکت	۱۸/۸**	۲۳/۳**	۵۲/۱**	۴۹۲/۵**	۱/۳**	۲/۹**	۴/۶**	۱۹۲/۰**	۲
سرعت چرخش میکرونر	۲/۹**	۱۱/۲**	۱۳/۳**	۵۷/۶**	۰/۱**	۰/۴**	۰/۲**	۵/۸**	۲
اثر متقابل	۱/۴**	۲/۷**	۲/۱**	۷۱/۹**	۰/۱**	۰/۲**	۰/۲**	۱۶/۲**	۴
خطا	۰/۰	۰/۳	۰/۴	۰/۸	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۵	۱۸
ضریب تغییرات (درصد)	۱۲/۲	۱۱/۰	۸/۴	۸/۲	۳/۸	۳/۴	۷/۳	۸/۶	
آزمون نرمالیت شاپیرو ویلک	۰/۹۰۰۸	۰/۸۹۳۰	۰/۸۹۳۶	۰/۹۲۴۱	۰/۹۵۱۵	۰/۹۰۵۲	۰/۹۴۹۱	۰/۹۳۶۳	
مقدار P	۰/۰۵۰۲	۰/۰۹۳۱	۰/۰۹۶۰	۰/۰۵۹۸	۰/۱۴۶۳	۰/۱۰۰۱	۰/۲۰۴۴	۰/۰۹۸۹	

** نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

در فاصله ۲/۵ متری از حاشیه کرت، بالاترین پوشش پاشش ($4/1$ درصد) و تراکم قطرات پاشش ($12/7$ قطره در سانتی‌متر مربع) در تیمار $F_{10}R_{6000}$ مشاهده شد (شکل ۱). نتایج مشابهی در فواصل ۵ و ۱۰ متری از حاشیه کرت نیز مشاهده شد (شکل ۱). پایین‌ترین پوشش پاشش در تیمارهای $F_{10}R_{3000}$ ، $F_{10}R_{4500}$ و $F_{10}R_{6000}$ مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین تراکم قطرات پاشش در تیمارهای $F_{5}R_{3000}$ و $F_{5}R_{4500}$ و نیز $F_{7.5}R_{3000}$ ، $F_{7.5}R_{4500}$ و $F_{7.5}R_{6000}$ مشاهده شد. در سرعت حرکت پهپاد ۱۰ متر بر ثانیه، اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف سرعت چرخش صفحه نازل مشاهده شد. وقتی سرعت حرکت پهپاد ۵ متر بر ثانیه بود، در هر شرایطی از سرعت چرخش صفحه نازل، هیچ قطره‌ای روی کاغذهای حساس به رطوبت قرار گرفته در فاصله ۱۰ متری از حاشیه کرت مشاهده نشد. این در حالی بود که در سرعت حرکت‌های بیشتر پهپاد، همچنان قطراتی قادر به حرکت تا فاصله ۱۰ متری بودند. این نتایج می‌تواند علت پوشش و تراکم قطرات

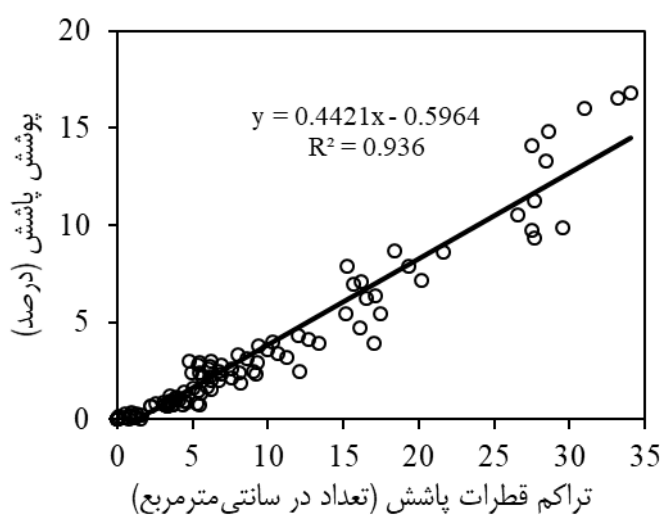
پاشش کم در مرکز کرت به وسیله تیمارها با سرعت حرکت بیشتر پهپاد را توجیه کند. پژوهشگران قبلی نیز اصل "نشست بیشتر و بادبردگی کمتر" را در رابطه با سمپاشی با پهپاد مشاهده و گزارش کردند. به نظر می‌رسد که با افزایش سرعت حرکت پهپاد همراه با افزایش سرعت چرخش صفحه نازل جریان هوای گردبادی زیر پهپاد به گونه‌ای تحت تاثیر قرار می‌گیرد که قطرات پاشش بیشتر مستعد بادبردگی می‌شوند که این توجیه باید در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد (Wang et al., 2021). محققان (Chen et al., 2020) طبق اصل نشست بیشتر و بادبردگی کمتر، عملکرد پاشش با سه مدل پهپاد را می‌توان به صورت هگزاکوپتر < هلیکوپتر < اکتاکوپتر رتبه‌بندی کرد و دو دلیل اصلی که باعث تفاوت در عملکرد پاشش می‌شوند، جریان هوای گردبادی زیر پهپاد و چیدمان نازل روی بوم سمپاش بودند. به طور مشابه، محققان گزارش کردند که اگرچه سرعت حرکت بالاتر (۵/۵ متر بر ثانیه) یکنواختی پاشش قطرات را بهبود می‌بخشد، ولی منجر به بادبردگی بیشتر تا فاصله ۲۸/۸ متری از محل پاشش می‌شود (Liu et al., 2025). محققان دیگری نیز گزارش کردند که پوشش و تراکم قطرات پاشش در ناحیه هدف در مقایسه با ناحیه غیر هدف بالاتر است که ممکن است به دلیل جریان هوای رو به پایین تولید شده توسط ملخ چرخان پهپاد سمپاش باشد؛ به طوری که در فاصله ۵ متری از مرکز مسیر حرکت پهپاد، هیچ قطره‌ای بر روی کاغذهای حساس به رطوبت نشست نکرد ولی در فاصله ۴ متری از مرکز مسیر حرکت پهپاد ۲/۱ درصد از سطح کاغذ با قطرات پاشش خیس شد (Dengeru et al., 2022).



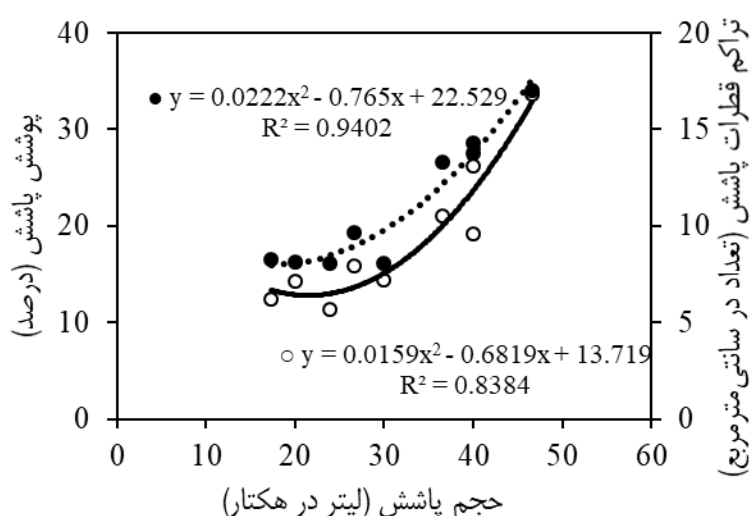
شکل ۱. اثر سرعت حرکت (۵، ۷/۵ و ۱۰ متر بر ثانیه) و سرعت چرخش نازل میکرونیتر (۳۰۰۰، ۴۵۰۰ و ۶۰۰۰ دور در دقیقه) پهپاد بر پوشش و تراکم قطرات پاشش در مرکز کرت (۰ متر) که مد نظر و مطلوب است و یا در فواصل ۲/۵، ۵ و ۱۰ متر دورتر از آن که بادبردگی و نامطلوب محسوب می‌شوند. میانگین‌ها با حرف مشترک براساس آزمون چند دانمنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوتی ندارند.

سانچز-فرناندز و همکاران (۲۰۲۳) میزان بادبردگی ایجاد شده توسط یک سمپاش بومدار با میزان بادبردگی ایجاد شده توسط یک پهپاد سمپاش (مدل ۶ ملخ چرخان) در یک باغ زیتون را مقایسه کردند. هر دو سمپاش مجهز به نازل مخروطی تو خالی ۸۰۰۶ بودند. آنها گزارش کردند که ۹۰ درصد پاشش در فاصله ۸/۷ متری سمپاش بومدار نشست کرد در حالی که ۹۰ درصد پاشش در فاصله ۳/۴ متری از پهپاد سمپاش نشست کرد. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از پهپاد سمپاش می‌تواند باعث کاهش بادبردگی قطرات پاشش شود. در حالی که ظریف‌نشاط و همکاران (۱۴۰۱) بیشترین مقدار بادبردگی را به فاصله ۱۰ متری از محل پاشش مربوط به سمپاش توربولاینر (۳۸ درصد) و سپس به سمپاش پهپاد (۱۶ درصد) و در آخر به سمپاش بومدار (۷ درصد) نسبت داد.

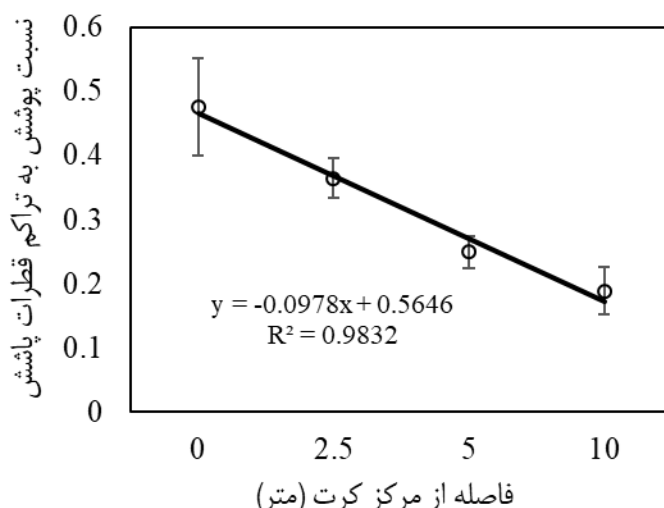
در تحقیق حاضر، نسبت پوشش به تراکم قطرات پاشش که نشان دهنده سهم هر قطره در خیساندن کاغذ حساس به رطوبت است محاسبه شد و رابطه‌اش با فاصله از مرکز کورت که به طور خطی و منفی بود رسم و نمایش داده شد (شکل ۴). این رابطه نشان می‌دهد که قطرات با فاصله گرفتن از محل پاشش آب از دست داده و کوچکتر شدند. برای مثال، به طور میانگین، هر قطره در مرکز کورت قادر به خیساندن ۰/۴۷ درصد کاغذ حساس به رطوبت بود؛ در حالی که هر قطره در فاصله ۱۰ متری از حاشیه کورت قادر به خیساندن ۰/۱۸ درصد کاغذ حساس به رطوبت بود.



شکل ۲. رابطه بین پوشش و تراکم قطرات پاشش.



شکل ۳. رابطه بین حجم پاشش و پوشش یا تراکم قطرات پاشش.



شکل ۴. تاثیر فاصله از محل پاشش بر نسبت پوشش به تراکم قطرات پاشش که نشان دهنده کوچکتر شدن قطره در حین بادبردگی می باشد.

کارایی کنترل شیمیایی علف های هرز

علف های هرز غالب در کرت های بدون کاربرد علف کش شامل تاج خروس ریشه قرمز، خرفه، تاتوره^۳ و قیاق^۴ بودند. میانگین تراکم آنها به ترتیب ۳۱، ۲۴، ۱۸ و ۱۱ بوته در متر مربع بود. نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر اصلی عامل سرعت حرکت پهباد برای تراکم کل و هر یک علف های هرز و وزن خشک کل آنها در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. اثر اصلی عامل سرعت چرخش صفحه نازل فقط در مورد تراکم خرفه و تاتوره در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. همچنین، اثر متقابل بین عوامل فوق به طور معنی داری بر تراکم کل و تک گونه علف های هرز و وزن خشک کل آنها تاثیرگذار بودند (جدول ۲). در رابطه با تراکم تاج خروس ریشه قرمز (شکل ۵)، بهترین کارایی کنترل با تیمارهای F_{5R6000} و $F_{7.5R6000}$ مشاهده شد (۸۹-۹۱ درصد کنترل). در رابطه با تراکم خرفه، بهترین کارایی کنترل با تیمارهای F_{5R4500} و F_{5R6000} مشاهده شد (۸۸-۸۳ درصد کنترل). در رابطه با تراکم تاتوره، بهترین کارایی کنترل با تیمارهای F_{5R6000} و نیز $F_{7.5R3000}$ مشاهده شد (۵۴-۵۵ درصد کنترل). در رابطه با تراکم قیاق، بهترین کارایی کنترل با تیمار F_{5R6000} مشاهده شد (۷۸ درصد کنترل). اگرچه با برخی از تیمارها تفاوت معنی داری نداشت. این در حالی بود که بدترین کارایی کنترل تراکم از علف های هرز فوق در تیمار $F_{10R6000}$ مشاهده شد (شکل ۵). نتایج مشابهی در رابطه با تراکم و وزن خشک کل علف های هرز بدست آمد. به طوری که بهترین کارایی کنترل تراکم و وزن خشک کل علف های هرز به ترتیب با ۷۸ و ۹۴ درصد در تیمار F_{5R6000} مشاهده شد (شکل ۵). بدترین کارایی کنترل تراکم و وزن خشک کل علف های هرز در تیمارهای $F_{10R4500}$ و $F_{10R6000}$ مشاهده شد (بین ۵۱ تا ۶۱ درصد). در سرعت حرکت پهباد ۵ متر بر ثانیه، با افزایش سرعت چرخش صفحه نازل به طور پیوسته کارایی کنترل تراکم و وزن خشک کل علف های هرز افزایش یافت؛ این در حالی بود که در سرعت حرکت پهباد ۱۰ متر بر ثانیه، با افزایش سرعت چرخش صفحه نازل به طور پیوسته کارایی کنترل تراکم و وزن خشک کل علف های هرز کاهش یافت. این یافته نشان دهنده وجود اثر متقابل بین دو عامل مورد بررسی است.

در شکل ۶، رابطه بین حجم پاشش تیمارهای مختلف با تراکم/وزن خشک کل علف های هرز مزرعه نمایش داده شده است؛ به طوری که با افزایش حجم پاشش کارایی علف کش نیکوسولفورون در کنترل علف های هرز افزایش نشان می دهد که با تابع چندجمله ای قابل توضیح است. از آنجایی که با افزایش سرعت حرکت پهباد از حجم پاشش کاسته می شود، به همین دلیل یکی از دلایل کاهش کارایی علف کش در تیمارهای با سرعت حرکت بالا، حجم پاشش کاهش یافته است. دلیل دیگر می تواند افزایش بادبردگی قطرات پاشش با افزایش سرعت حرکت پهباد باشد (شکل ۱) که منجر به کاهش کارایی علف کش در کنترل علف های هرز در منطقه هدف شده است. اثر حجم پاشش بر کارایی علف کش ها در کاربردهای هوایی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. برای مثال، در کاربرد علف کش پیرازوسولفورون متیل در سه حجم پاشش ۱۵، ۲۰ و ۲۵ لیتر در هکتار و پرتیلاکلر در سه حجم پاشش ۴۰، ۵۰ و ۶۰ لیتر در هکتار با استفاده از پهباد مدل شش ملخه مجهز به نازل هیدرولیکی در برنج گزارش کردند که با کاهش حجم پاشش کارایی پیرازوسولفورون متیل و پرتیلاکلر در کنترل

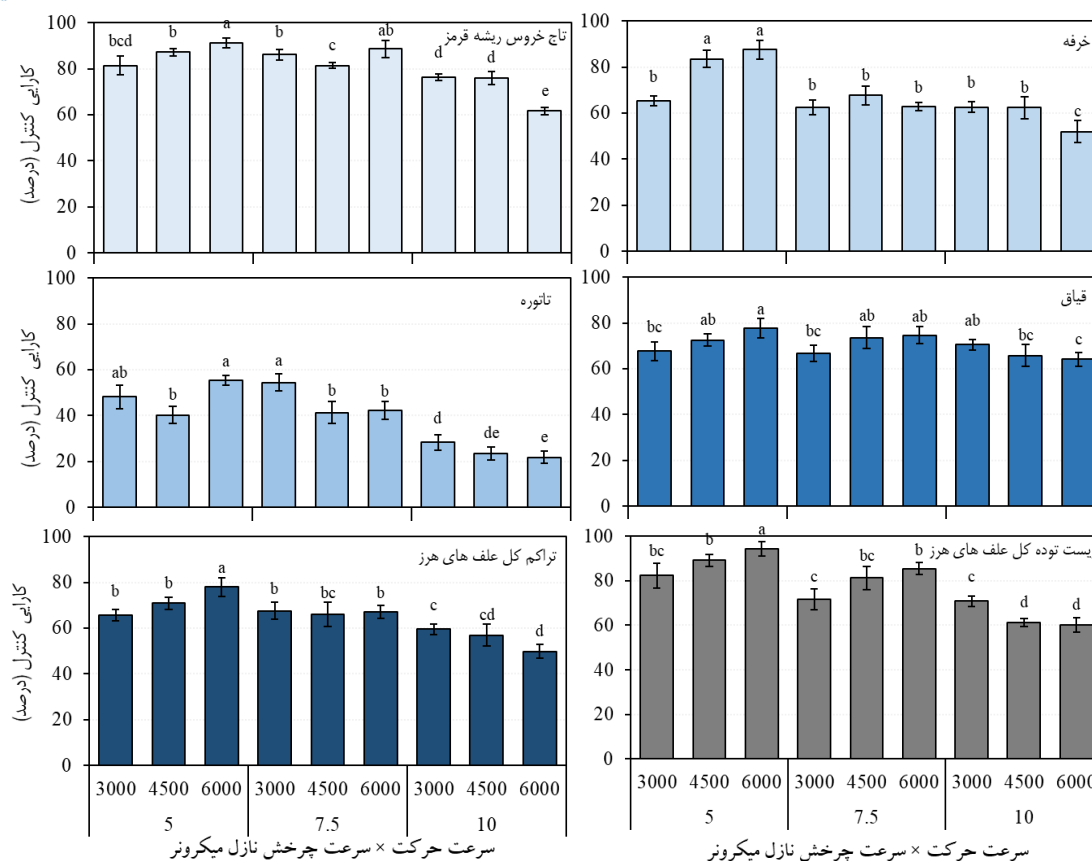
1. *Amaranthus retroflexus* L.
2. *Portulaca oleracea* L.
3. *Datura stramonium* L.
4. *Sorghum halepense* (L.) Pers.

علف‌های هرز به ترتیب کاهش و افزایش یافت (Jeevan et al., 2023; Jebalin et al., 2024). این نمونه‌ای از واکنش متفاوت علف‌کش‌ها به حجم پاشش است. با این حال، محققان دیگری تفاوتی بین دو حجم پاشش ۱۰ و ۱۶ لیتر بر هکتار، بر کارایی مواد برگ ریز پنبه بکار رفته با پهباد سمپاش چهار ملخه مشاهده نکردند. لذا، آنها به منظور صرفه‌جویی در مصرف آب حجم پاشش پایین را توصیه کردند (Cavalaris et al., 2022). با این وجود، تاثیر حجم پاشش بر کارایی علف‌کش‌ها در کاربردهای زمینی همواره و پُر شمار مورد توجه قرار گرفته است. در بررسی منابع انجام گرفته روی ۱۹۶ علف‌کش مختلف، کارایی ۱۳۳ علف‌کش تحت تاثیر حجم پاشش قرار گرفته است. از این ۱۳۳ علف‌کش، کارایی ۶۳ علف‌کش با کاهش حجم پاشش و کارایی ۷۰ علف‌کش با افزایش حجم پاشش افزایش یافته است (Knoche, 1994). از این تاریخ به بعد، همچنان بررسی حجم پاشش بر کارایی علف‌کش‌ها در کاربردهای زمینی یکی از موضوعات پژوهشی بوده و نتایج حاکی از رفتار متفاوت علف‌کش‌های شاخ و برگ مصرف در برابر حجم‌های پاشش مختلف است. به طوری که در برخی مطالعات، کاهش حجم پاشش باعث افزایش کارایی علف‌کش شده است. برای مثال، با کاهش حجم پاشش، کارایی علف‌کش‌های گلایفوسیت (Meyer et al., 2016)، آسی فلورفن (Shaw et al., 2000)، فورام سولفورون + بنتازون + توفوردی (Lesnik et al., 2012)، سیتوکسیدیم (McMullan, 1995)، ایمازاپیک، ایمازتاپیر (Grichar & Dotray, 2015) و کلودی‌نافوپ پروپارژیل (ناصر و علی‌وردی، ۱۳۹۹) در کنترل علف‌های هرز افزایش یافت. در برخی مطالعات، تغییر در حجم پاشش تاثیری بر کارایی علف‌کش نداشته است. برای مثال، با تغییر در حجم پاشش، تغییری در کارایی علف‌کش‌های لاکتوفن (Creech et al., 2015a)، آیوکسینیل + دیکلوپروپ + ام‌سی‌پی (Skuterud et al., 1998)، بنتازون، کلرانسولام-متیل (Sikkema et al., 2008)، گلو فوسینات آمونیوم (Nelson et al., 2002) فنوکساپروپ-پی-اتیل (Gauvrit, & Lamrani, 2008)، ریم سولفورون (Green, 1996)، فلوآزیفوپ-پی-بوتیل (Creech et al., 2015b) رخ نداد. در برخی مطالعات، افزایش حجم پاشش باعث افزایش کارایی علف‌کش شده است. برای مثال، با افزایش حجم پاشش، کارایی علف‌کش‌های بروماکسینیل، نیکوسولفورون (Brown et al., 2007)، اکسی فلورفن (Schumacher, & Hatterman-Valenti, 2007)، کوپز الوفوپ-پی-اتیل، فومسافن (Sikkema et al., 2008)، کارفن ترازون (Ramsdale et al., 2003)، ایمازپیر (Patten, 2002)، دایکامبا (Butts et al., 2018)، توفوردی (Gauvrit & Lamrani, 2008)، سیکلوکسیدیم (علی‌وردی و کرمی، ۱۳۹۸) و پاراکوات (علی‌وردی و شریفی، ۱۳۹۹) در کنترل علف‌های هرز افزایش یافت. به طور کلی، عملکرد سمپاش پهباد بیشتر از سمپاش بوم‌دار است. برای مثال، ظرفیت نشاط و همکاران (۱۴۰۱) عملکرد سمپاش‌های پهباد و بوم‌دار را به نفع پهباد سمپاش گزارش کردند. به طوری که مصرف انرژی (۲۸۳۷ در برابر ۴۱۸ کیلوژول)، آب مصرفی (۳۵۱ در برابر ۱۱ لیتر در هکتار) و زمان سمپاشی (۱۰ در برابر ۸ دقیقه) با سمپاش بوم‌دار بیشتر از سمپاش پهباد بود. این در حالی بود که از نظر کنترل تراکم علف‌های هرز تفاوت معنی‌داری بین روش‌های کاربرد مشاهده نکردند.

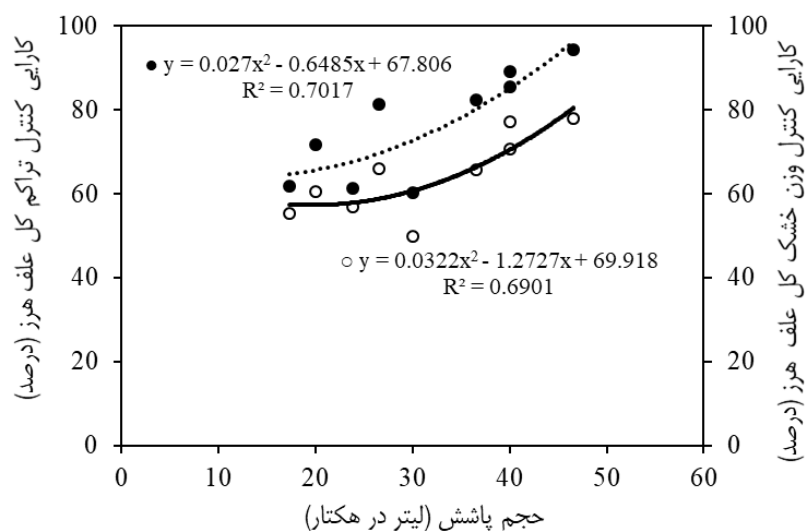
جدول ۲. نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثر سرعت حرکت و سرعت چرخش میکروتر پهباد مدل EFT-G620 بر تراکم و زیست توده علف‌های هرز و ماده خشک ذرت.

ماده خشک ذرت	وزن علف هرز کل	تراکم علف هرز کل	تراکم قیاق	تراکم تاتوره	تراکم خرفه	تراکم تاج خروس	درجه آزادی	منابع تغییر
۲۵/۶ ^{NS}	۱۱۸/۹*	۱۳/۸*	۱۰۹/۱*	۱۰۸/۰*	۷۵/۶**	۳۸/۳**	۲	بلوک
۱۱۹/۱**	۱۳۸۳/۹**	۶۱۶/۰**	۸۶/۵**	۱۵۱۵/۶**	۹۴۶/۲**	۶۵۰/۲**	۲	سرعت حرکت
۲۸/۸ ^{NS}	۵۶/۸ ^{NS}	۱/۴ ^{NS}	۳۲/۵ ^{NS}	۱۶۷/۲**	۱۳۱/۲**	۲/۴ ^{NS}	۲	سرعت چرخش میکروتر
۳۹/۲*	۱۵۰/۵**	۹۵/۲**	۶۵/۸*	۹۹/۸**	۲۱۲/۷**	۱۶۲/۴**	۴	اثر متقابل
۱۱/۰	۱۹/۲	۲/۴	۱۹/۲	۱۹/۰	۱۳/۳	۶/۷	۱۷	خطا
۱۷/۵	۶/۶	۱۴/۴	۶/۲	۱۱/۰	۵/۴	۴/۲	-	ضریب تغییرات (درصد)
۰/۹۷۹۵	۰/۹۶۸۵	۰/۹۷۰۱	۰/۹۸۸۵	۰/۹۶۲۶	۰/۹۱۷۶	۰/۹۲۳۲		آزمون نرمالیت شاپیرو ویلک
۰/۸۵۲۱	۰/۵۶۴۲	۰/۶۰۴۸	۰/۹۸۷۶	۰/۴۲۴	۰/۰۵۸۷	۰/۰۵۷۳		مقدار P

** نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.



شکل ۵. اثر سرعت حرکت و سرعت چرخش نازل میکروتر پهباد مدل EFT-G620 بر تراکم و وزن علف‌های هرز. میانگین‌ها با حرف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوتی ندارند.

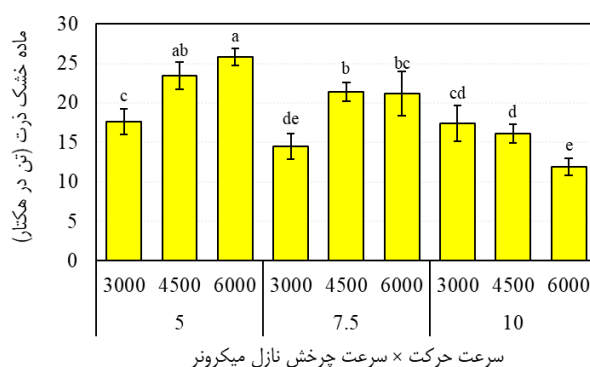


شکل ۶. رابطه بین حجم پاشش و کارایی کنترل علف‌های هرز برحسب تراکم سا وزن خشک کل.

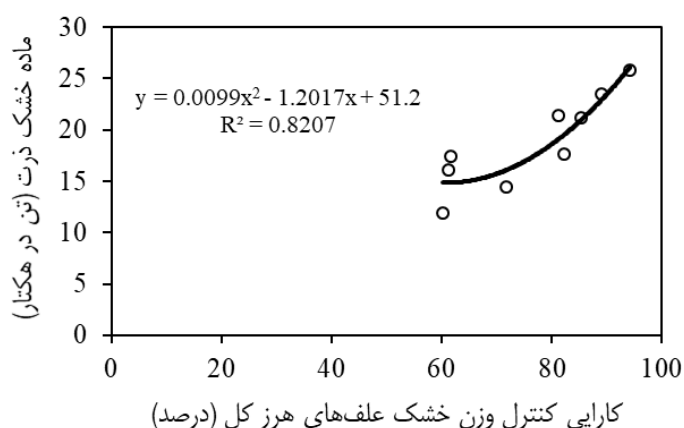
عملکرد علوفه‌ای ذرت

نتایج تجزیه واریانس داده‌های نشان داد که اثر اصلی عامل سرعت حرکت پهباد بر ماده خشک ذرت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود ولی اثر اصلی عامل سرعت چرخش صفحه نازل فاقد چنین اثری بود. با این حال، اثر متقابل بین عوامل فوق به طور معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر ماده خشک ذرت تاثیرگذار بود (جدول ۲). عملکرد ماده خشک ذرت در کرت بدون کاربرد علف‌کش و بدون حضور علف‌های هرز برابر ۲۶/۱ تن بر هکتار برآورد شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار علوفه ذرت از تیمارهای F_5R_{4500} و F_5R_{6000} (به ترتیب ۲۴/۴ و ۲۵/۸ تن در هکتار) بدست آمد. کمترین مقدار علوفه ذرت نیز از تیمار $F_{10}R_{6000}$ (۱۱/۹ تن در هکتار)

بدست آمد (شکل ۷). در سرعت‌های حرکت پهناد ۵ و ۷/۵ متر بر ثانیه، با افزایش سرعت چرخش صفحه نازل به طور پیوسته عملکرد علوفه ذرت افزایش یافت. برعکس، در سرعت حرکت پهناد ۱۰ متر بر ثانیه، با افزایش سرعت چرخش صفحه نازل به طور پیوسته عملکرد علوفه ذرت کاهش یافت. رابطه بین کارایی کنترل وزن خشک علف‌های هرز کل و عملکرد ماده خشک ذرت (شکل ۸) نشان می‌دهد که هرچه قدر علف‌های هرز بهتر کنترل شوند، عملکرد علوفه‌ای ذرت نیز بهبود یافته است که نشان دهنده رقابت علف‌های هرز با ذرت است.



شکل ۷. اثر سرعت حرکت و سرعت چرخش نازل میکرون پهناد EFT-G620 به منظور پاشش نیکوسولفورون بر ماده خشک ذرت. میانگین‌ها با حرف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوتی ندارند.



شکل ۸. همبستگی بین کارایی کنترل وزن خشک علف‌های هرز و ماده خشک ذرت.

جمع‌بندی کلی

به طور کلی، بهترین پوشش پاشش در تیمار سرعت حرکت پهناد ۵ متر بر ثانیه + سرعت چرخش صفحه پاشش نازل ۶۰۰۰ دور در دقیقه مشاهده شد. اگرچه در این تیمار بیشترین حجم پاشش (۴۶/۶ لیتر در هکتار) بکار رفت، اما هیچ بادیردگی از قطرات پاشش با تیمار فوق تا فاصله ۱۰ متری از حاشیه کرت بر روی کاغذهای حساس به رطوبت اتفاق نیفتاد. به همین دلیل، بالاترین کارایی کنترل شیمیایی علف‌های هرز با علف‌کش نیکوسولفورون به وسیله تیمار فوق حاصل شد؛ که منجر به برداشت بیشترین عملکرد علوفه‌ای ذرت شد. از اینرو، تیمار فوق جهت پاشش علف‌کش نیکوسولفورون در مزرعه ذرت قابل توصیه می‌باشد و با توجه به واکنش علف‌کش نیکوسولفورون به حجم پاشش، به نظر می‌رسد که هر اقدامی که باعث افزایش حجم پاشش شود می‌تواند در بهبود کارایی این علف‌کش در کنترل علف‌های هرز سودمند باشد. از آنجایی که از طریق کاهش ارتفاع پرواز پهناد، بدلیل کاهش عرض پاشش، امکان افزایش حجم پاشش فراهم می‌شود؛ لذا، پیشنهاد می‌شود تاثیر ارتفاع پرواز در تحقیقات آتی بررسی گردد.

منابع

جمالی، علی؛ احمدوند، گودرز؛ سپهری، علی و جاهدی، آژنگ. (۱۳۸۹). دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز در ذرت (*Zea mays*). پژوهش های حفاظت گیاهان ایران ۲۴(۴): ۴۵۷-۴۶۴.

سازمان حفظ نباتات کشور (۱۴۰۴). علف‌کش‌های ثبت شده در ایران. www.ppo.ir

ظریف نشاط، سعید، باقرانی، ناصر، سعیدی راد، محمد حسین، ناصری، مجتبی، صفری، محمود، صادقی، احمد. (۱۴۰۳). مقایسه عملکرد پهباد سمپاش با سمپاش توربولاینر برای مبارزه با علف‌های هرز گندم در شهرستان قوچان. پژوهش‌های کاربردی زراعی ۳۶(۴): ۱۵-۳۰.

علی‌وردی، اکبر و کرمی، سمیرا. (۱۳۹۸). تأثیر نوع و شماره نازل‌های یک، دو و سه بادبزنه بر عملکرد سیکلوکسیدیم علیه جودره (*Hordeum spontaneum* Koch). پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران ۳۳(۴): ۴۶۵-۴۷۴.

علی‌وردی، اکبر و شریفی، محمد. (۱۳۹۹). اثر متقابل بین نوع نازل و ساعت کاربرد در روز بر کارایی پاراکوات در مهار گاوپنبه (*Abutilon theophrasti* Medicus). پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران ۳۴(۱): ۱۱۳-۱۲۳.

کشتکار، اسحاق؛ ساسان‌فر، حمیدرضا؛ علی‌وردی، اکبر و زند، اسکندر. (۱۴۰۲). کاربرد سراسری علف‌کش‌ها از طریق پهبادها: بله یا خیر؟ دهمین همایش علوم علف‌های هرز ایران، همدان.

ناصر، نرگس و علی‌وردی، اکبر. (۱۳۹۹). تأثیر نوع نازل و حجم پاشش بر کارایی کلودینافوپ پروپارژیل در کنترل یولاف وحشی زمستانه (*Avena sterilis* subsp. *ludoviciana* Durieu). دانش علف‌های هرز ایران ۱۶(۱): ۳۷-۴۸.

REFERENCES

- Ahmad, F., Qiu, B., Dong, X., Ma, J., Huang, X., Ahmed, S., & Chandio, F.A. (2020). Effect of operational parameters of UAV sprayer on spray deposition pattern in target and off-target zones during outer field weed control application. *Computers and Electronics in Agriculture*, 172, 105350. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105350>.
- Aliverdi, A., & Aliverdi, A. (2024). Increased outlet design of flat-fan nozzle improves octocopter unmanned aerial vehicle sprayer's efficiency. *Crop Protection*, 182, 106736. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106736>.
- Aliverdi, A., & Karami, S. (2020). The Effect of type and size of single, twin, and triplet flat fan nozzles on the activity of cycloxydim against wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.). *Iranian Plan Protection Research*, 33(4), 465-474. <https://doi.org/10.22067/jpp.v33i4.81208>. (in Persian)
- Aliverdi, A., & Sharifi, M. (2020). Interaction effect between nozzle type and application time of day on the efficacy of paraquat to control velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medicus.). *Iranian Plan Protection Research*, 34(1), 113-123. <https://doi.org/10.22067/jpp.v34i1.84218>. (in Persian)
- Brown, L., Soltani, N., Shropshire, C., Spieser, H., & Sikkema, P.H. (2007). Efficacy of four corn (*Zea mays* L.) herbicides when applied with flat fan and air induction nozzles. *Weed Biology and Management*, 7, 55-61. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2006.00231.x>.
- Butts, T.R., Samples, C.A., Franca, L.X., Dodds, D.M., Reynolds, D.B., Adams, J.W., Zollinger, R.K., Howatt, K.A., Fritz, B.K., Clint, H.W., G.R. (2018). Spray droplet size and carrier volume effect on dicamba and glufosinate efficacy. *Pest Management Science*, 74, 2020-2029. <https://doi.org/10.1002/ps.4913>.
- Castaldi, F., Pelosi, F., Pascucci, S., & Casa, R. (2017). Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles to support herbicide patch spraying in maize. *Precision Agriculture*, 18, 76-94. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9468-3>.
- Cavalaris, C., Karamoutis, C., & Markinos, A. (2022). Efficacy of cotton harvest aids applications with unmanned aerial vehicles (UAV) and ground-based field sprayers – A case study comparison. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100047. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100047>.
- Chen, P., Lan, Y., Douzals, J.-P., Ouyang, F., Wang, J., & Xu, W. (2020). Droplet distribution of unmanned aerial vehicle under several spray volumes and canopy heights in the cotton canopy. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, 3, 74-79. <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20200304.136>.
- Creech, C.F., Henry, R.S., Fritz, B.K., & Kruger, G.R. (2015a). Influence of herbicide active ingredient, nozzle type, orifice size, spray pressure, and carrier volume rate on spray droplet size characteristics. *Weed technology*, 29, 298-310. <https://doi.org/10.1614/WT-D-14-00049.1>.
- Creech, C.F., Henry, R.S., Werle, R., Sandell, L.D., Hewitt, A.J., & Kruger, G.R. (2015b). Performance of post-emergent herbicides applied at different carrier volume rates. *Weed Technology*, 29, 611-624. <https://doi.org/10.1614/WT-D-14-00101.1>.

- D'Alessandro, A., Coletta, M., Torresi, A., Dell'Ambrogio, G., Renaud, M., Ferrari, B.J.D., & La Terza, A. (2024). Evaluation of the impact of plant protection products (PPPs) on non-target soil organisms in the olive orchard: Drone (aerial) spraying vs. tractor (ground) spraying. *Sustainability*, 16, 11302. <https://doi.org/10.3390/su162411302>.
- Deng, Q., Zhang, Y., Lin, Z., Gao, X., & Weng, Z. (2024). The impact of digital technology application on agricultural low-carbon transformation—A case study of the pesticide reduction effect of plant protection unmanned aerial vehicles (UAVs). *Sustainability*, 16, 10920. <https://doi.org/10.3390/su162410920>.
- Dengeru, Y., Ramasamy, K., Allimuthu, S., Balakrishnan, S., Kumar, A.P.M., Kannan, B., & Karuppasami, K.M. (2022). Study on spray deposition and drift characteristics of UAV agricultural sprayer for application of insecticide in redgram crop (*Cajanus cajan* L. Millsp.). *Agronomy*, 12, 3196. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123196>.
- Sánchez-Fernández, L., Barrera, M., Martínez-Guanter, J., & Pérez-Ruiz, M. (2023). Drift reduction in orchards through the use of an autonomous UAV system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 211, 107981. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107981>.
- Gaadhe, S.K., Chavda, D.B., Mehta, T.D., Chavda, S.K., Gojiya, K.M., & Bandhiya, R.D. (2025). A comparative study of drone spraying and conventional spraying for precision agriculture. *Plant Archives*, 25, 771-778. <https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2025.SP.ICTPAIRS-111>.
- Gauvrit, C., & Lamrani, T. (2008). Influence of application volume on the efficacy of clodinafop-propargyl and fenoxaprop-P-ethyl on oats. *Weed Research*, 48, 78-84. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00599.x>.
- Green, J.M. (1996). Interaction of surfactant dose and spray volume on rimsulfuron activity. *Weed Technology*, 10, 508-511. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00040343>.
- Grichar, W.J., & Dotray, P.A. (2015). Influence of spray tip and spray volume on the efficacy of imazapic and imazethapyr on selected weed species. *American Journal Experimental Agriculture*, 8, 75-86. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2015/17209>.
- He, X. (2018). Rapid development of unmanned aerial vehicles for plant protection and application technology in China. *Outlooks on Pest Management*, 29, 162-167. https://doi.org/10.1564/v29_aug_04.
- Hunter, J.E., Gannon, T.W., Richardson, R.J., Yelverton, F.H., & Leon, R.G. (2019). Coverage and drift potential associated with nozzle and speed selection for herbicide applications using an unmanned aerial sprayer. *Weed Technology*, 34, 235-240. <https://doi.org/10.1017/wet.2019.101>.
- IPPO (2025). Registered Herbicides in Iran. Iran Plant Protection Organization. www.ppo.ir
- Jamali, A., Ahmadvand, G., Sepehri, A., & Jahedi, A. (2010). Critical period of weed control in corn (*Zea mays* L.). *Iranian Plant Protection Research*, 24(4), 457-464. <https://doi.org/10.22067/jpp.v24i4.8140>. (in Persian)
- Jebalin, V.V., Rathika, S., & Ragavan, T. (2024). Optimization of herbicide dose and spray fluid for drone-based weed management in irrigated barnyard millet. *Applied Ecology and Environmental Research*, 22, 6173-6186. https://doi.org/10.15666/aeer/2206_61736186.
- Jeevan, N., Pazhanivelan, S., & Kumaraperumal, R. (2023). Effect of different herbicide spray volumes on weed control efficacy of a battery-operated unmanned aerial vehicle sprayer in transplanted rice (*Oryza sativa*). *Journal of Natural and Applied Sciences*, 15, 972-977. <https://doi.org/10.31018/jans.v15i3.4753>.
- Keshtkar, E., Sasanfar, H.R., Alivardi, A., & Zand, E. (2013). National application of herbicides via drones: yes or no?. 10th Iranian Weed Science Conference. Hamedan. (in Persian)
- Knoche, M. (1994). Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage-applied herbicides. *Crop Protection*, 13, 163-178. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(94\)90075-2](https://doi.org/10.1016/0261-2194(94)90075-2).
- Lesnik, M., Kramberger, B., & Vajs, S. (2012). The effects of drift-reducing nozzles on herbicide efficacy and maize (*Zea mays* L.) yield. *Zemdirbyste*, 99, 371-378.
- Liao, J., Zang, Y., Luo, X., Zhou, Z., Lan, Y., Zang, Y., Gu, X., Xu, W., & Hewitt, A.J. (2019). Optimization of variables for maximizing efficacy and efficiency in aerial spray application to cotton using unmanned aerial systems. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12, 10-17. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191202.4288>.
- Liu, Q., Ma, D., Zhang, H., Wu, L., Zhang, L., Bao, H., & Lan, Y. (2025). Optimization of flight mode and coupling analysis of operational parameters on droplet deposition and drift of unmanned aerial spraying systems (UASS). *Agronomy*, 15, 367. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020367>.
- Mamnoie, E., Karaminejad, M.R., Aliverdi, A., & Moeini, M.M. (2022). Application efficacy of newly released pre-mixed herbicide in winter wheat: Joystick®. *Agraarteadus*, XXXIII, 118-123. <https://doi.org/10.15159/jas.22.13>.



- McMullan, P.M. (1995). Effect of spray volume, spray pressure and adjuvant volume on efficacy of sethoxydim and fenoxaprop-p-ethyl. *Crop Protection*, 14, 549-554. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(95\)00061-5](https://doi.org/10.1016/0261-2194(95)00061-5).
- Meyer, C.J., Norsworthy, J.K., Kruger, G.R., & Barber, T.L. (2016). Effect of nozzle selection and spray volume on droplet size and efficacy of Engenia tank-mix combinations. *Weed Technology*, 30, 377-390. <https://doi.org/10.1614/WT-D-15-00141.1>.
- Naser, N., & Aliverdi, A. 2020. Effect of nozzle type and spray volume on clodinafop-propargyl efficacy in winter wild oat (*Avena sterilis* subsp. *ludoviciana* Durieu.) control. *Iranian Journal of Weed Science*, 16(1), 37-48. <https://doi.org/10.22092/IJWS.2020.1601.1283>. (in Persian)
- Nelson, K.A., Renner, K.A., & Penner, D. (2002). Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) control and tuber yield with glyphosate and glufosinate. *Weed Technology*, 16, 360-365. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2002\)016\[0360:YNCECA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2002)016[0360:YNCECA]2.0.CO;2).
- Nordin, M.N., Jusoh, M.S.M., Bakar, B.H.A., Basri, M.S.H., Kamal, F., Ahmad, M.T., Mail, M.F., Masarudin, M.F., Misman, S.N., & Teoh, C.C. (2021). Preliminary study on pesticide application in paddy field using drone sprayer. *Advances in Agricultural and Food Research Journal*, 2, <https://doi.org/10.36877/aafjr.a0000147>.
- Ozkan, E. (2024). Drones for Spraying Pesticides—Opportunities and Challenges. *Agriculture and Natural Resources*. FABE-540
- Patten, K. (2002). Smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) control with imazapyr. *Weed Technology*, 16, 826-832. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2002\)016\[0826:SCSACW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2002)016[0826:SCSACW]2.0.CO;2).
- Ramsdale, B.K., Messersmith, C.G., & Nalewaja, J.D. (2003). Spray volume, formulation, ammonium sulfate, and nozzle effects on glyphosate efficacy. *Weed Technology*, 17, 589-598. <https://doi.org/10.1614/WT02-157>.
- Ranabhat, S., & Price, R. (2025). Effects of flight heights and nozzle types on spray characteristics of unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer in common field crops. *AgriEngineering*, 7, 22. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7020022>.
- Sánchez-Fernández, L., Barrera, M., Martínez-Guanter, J., & Pérez-Ruiz, M. (2023). Drift reduction in orchards through the use of an autonomous UAV system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 211, 107981. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107981>.
- Schumacher, C.E., & Hatterman-Valenti, H.M. (2007). Effect of dose and spray volume on early-season broadleaved weed control in Allium using herbicides. *Crop Protection*, 26, 1178-1185. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.10.014>.
- Shaw, D.R., Morris, W.H., Webster, E.P., & Smith, D.B. (2000). Effects of spray volume and droplet size on herbicide deposition and common cocklebur (*Xanthium strumarium*) control. *Weed Technology*, 14, 321-326. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2000\)014\[0321:EOSVAD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2000)014[0321:EOSVAD]2.0.CO;2).
- Sikkema, P.H., Brown, L., Shropshire, C., Spieser, H., & Soltani, N. (2008). Flat fan and air induction nozzles affect soybean herbicide efficacy. *Weed Biology and Management*, 8, 31-38. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2007.00271.x>.
- Skuterud, R., Bjugstad, N., Tyldum, A., & Terresen, K.S. (1998). Effect of herbicides applied at different times of the day. *Crop Protection*, 17, 41-46. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(98\)80020-3](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(98)80020-3).
- Umeda, S., Yoshikawa, N., & Seo, Y. (2022). Cost and workload assessment of agricultural drone sprayer: A case study of rice production in Japan. *Sustainability*, 14, 10850. <https://doi.org/10.3390/su141710850>.
- Wang, G., Lan, Y., & Qi, H. (2019). Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. *Pest Management Science*, 75, 1546-1555. <https://doi.org/10.1002/ps.5321>.
- Wang, C., Herbst, A., Zeng, A., Wongsuk, S., Qiao, B., Qi, P., Bonds, J., Overbeck, V., Yang, Y., & Gao, W. (2021). Assessment of spray deposition, drift and mass balance from unmanned aerial vehicle sprayer using an artificial vineyard. *Science of the Total Environment*, 777, 146181. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146181>.
- Wang, G., Han, Y., & Li, X. (2020). Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. *Science of the Total Environment*, 737, 139793. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139793>.
- Wongsuk, S., Qi, P., Wang, C., Zeng, A., Sun, F., Yu, F., Zhao, X., & Xiongkui, H. (2024). Spray performance and control efficacy against pests in paddy rice by UAV-based pesticide application: effects of atomization, UAV configuration and flight velocity. *Pest Management Science*, 80, 2072-2084. <https://doi.org/10.1002/ps.7942>.

- Xiongkui, H., Bonds, J., Herbst, A., & Langenakens, J. (2017). Recent development of unmanned aerial vehicles for plant protection in East Asia. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10, 18-30. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171003.3248>.
- Zarifneshat, S., Saeidirad, M.H., Safari, M., Motame AlShariati, H.R., & Naseri, M. (2022). Technical evaluation of agriculture drone sprayer for control of wheat weeds and compare with conventional methods. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 23(82), 53-70. doi: <https://doi.org/10.22092/amsr.2022.360045.1427>. (in Persian)
- Zhang X, Song X, Liang Y, Qin Z, Zhang B, Wei J, Li Y, & Wu J (2020). Effects of spray parameters of drone on the droplet deposition in sugarcane canopy. *Sugar Tech*, 22, 583-588. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00792-z>.