تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲٤/ شماره ۸۸/زمستان ۱٤۰۲/ص ۱٦-۱
سایت مجله: https://www.amsr.areeo.ac.ir

مقاله پژوهشی

ارزیابی عملکرد پهپاد در کوددهی مزارع زعفران در مقایسه با روش‌های مرسوم

محمدحسین سعیدی‌راد[1*]، سعید ظریف‌نشاط[2] و مجید فروهر[3]

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشیاران پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ و استادیار پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۲۸

چکیده

در این پژوهش، عملکرد پهپاد در کوددهی مزارع زعفران با روش‌های معمول محلول‌پاشی مزارع زعفران مقایسه شد. این پروژه در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در سه تکرار به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل: محلول‌پاشی با پهپاد، سمپاش پشتی اتومایزر و سمپاش لانس‌دار پشتی و بدون محلول‌پاشی (شاهد) بود. عوامل مطالعه شده شامل: عرض پاشش مؤثر، ظرفیت زراعی و بازده مزرعه‌ای، مقدار پاشش محلول در هکتار، قطر میانه عددی و حجمی ذرات محلول، ضریب کیفیت پاشش، بادبردگی و اثربخشی بود. نتایج تجزیهٔ واریانس بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی در سطح ۱ درصد بود. نتایج تحقیق نشان داد مصرف کود محلول در پهپاد، محلول‌پاش اتومایزر و محلول‌پاش لانس‌دار به ترتیب ۱۹/۳، ۱۹۹/۳ و ۲۱۲/۲ لیتر هکتار، بادبردگی ۱۷/۵، ۲۵/٤ و ۲٤/۷ درصد و ظرفیت مزرعه‌ای ۵/۹، ۰/٤٦ و ۰/۷٤ هکتار در ساعت است. قطر میانهٔ حجمی، قطر میانه عددی و ضریب کیفیت پاشش پهپاد به ترتیب برابر با ٤۷۳ میکرون، ۲۳۵ میکرون و ۱/۱ به دست آمد؛ که این روش در مقایسه با سمپاش‌های لانس‌دار و اتومایزر یکنواختی پاشش بیشتری داشت. ارزیابی کارایی محلول‌پاش‌هانشان داد که تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های زراعی و عملکردی مزرعه معنی‌دار است. استفاده از محلول‌پاش‌های لانس‌دار و اتومایزر، نسبت به محلول‌پاشی با پهپاد، باعث عملکرد بیشتر مزرعه زعفران شد؛ عملکردهای ۲/٤ و ۲/۳ کیلوگرم زعفران خشک در هکتار، به ترتیب متعلق به محلول-پاشی با سمپاش‌های لانس‌دار و اتومایزر بود و کمترین عملکرد برابر با ۲/۱ کیلوگرم در هکتار، در روش محلول-پاشی با پهپاد به دست آمد. به طور کلی محلول‌پاشی در مقایسه با تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) موجب افزایش ۲۰ درصدی عملکرد زعفران شد.

واژه‌های کلیدی

پهپاد سمپاش، پیاز زعفران، سمپاش لانس‌دار، محلول‌پاشی

مقدمه

زعفران، گران‌ترین محصول کشاورزی و دارویی، جایگاه ویژه‌ای بین محصولات صادراتی ایران دارد. سطح زیر کشت زعفران در سه دهه اخیر از حدود ۱۰ هزار هکتار در سال ۱۳۶۵ به بیش از ۱۲۵ هزار هکتار در سال ۱۴۰۱ افزایش یافته است. مقدار تولید زعفران کل کشور در سال ۱۴۰۱، برابر ۴۵۵ تن با عملکرد متوسط ۳/۶۴ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. از مجموع ۱۲۵ هزار هکتار سطح زیر کشت زعفران در کشور، استان‌های خراسان رضوی و

*نگارنده مسئول: Email: saiedirad@yahoo.com
https://doi.org/10.22092/amsr.2024.366525.1493

جنوبی با سطح زیر کشت به ترتیب ۹۰۰۰۰ و ۱۶۰۰۰ هکتار مقام اول و دوم را در کشور دارند (Anon, 2022).

فراهم کردن متعادل عناصر غذایی نقش بسیار مهمی در گل‌انگیزی و بهبود رشد بنه‌های مادری زعفران دارد. با توجه به اثرهای منفی مصرف نهاده‌های شیمیایی بر شاخص‌های کیفی خاک و نیز جایگاه ویژهٔ زعفران در نظام‌های کشاورزی کم‌نهاده و پایدار، کاربرد کود آلی در تولید این گیاه اهمیت دارد. با توجه به مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و بروز مشکلات زیست محیطی، نبود سیستم ریشه‌ای گسترده، جذب برگی مواد غذایی در بنه‌های جوان و افزایش غلظت عناصر غذایی در برگ‌ها و بنه‌های دختری زعفران در اواخر بهمن، به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی راهکاری مطلوب در بهبود عملکرد زعفران است (Saeidirad *et al*., 2014).

مصرف کودهای محلول در زراعت زعفران به خصوص در اسفندماه بسیار سودمند است؛ زیرا جذب این مواد توسط برگ‌ها و تجمع آن‌ها در پارانشیم ذخیره‌ای بنه‌ها باعث می‌شود تا این مواد در مراحل تشدید میتوز تابستانه به همراه دیگر عوامل فیزیکی و شیمیایی در تشکیل و تقویت بیشتر اندام-های گل در مریستم انتهایی جوانه بنه‌ها تاثیر بگذارد و موجب افزایش گل‌آوری در مزرعه شود (Amirghasemi, 2004).

در بررسی اثر تغذیهٔ برگی بر رشد و عملکرد زعفران گزارش شده است که مصرف یک بار کود مایع مخلوط دلفارد در اسفندماه موجب افزایش ۳۳ درصد در محصول این گیاه ارزشمند می‌شود (Hosseini *et al*., 2004). پژوهشگران گزارش کرده‌اند که محلول‌پاشی با عناصر پتاسیم، روی و آهن، طول برگ و عملکرد گل زعفران را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش می‌دهد (Akbarian *et al*., 2012).

نیتروژن عنصری اساسی در فرایند رشد و نمو زعفران و بنه‌های دختری محسوب می‌شود. حساس‌ترین مراحل رشد زعفران نسبت به کمبود نیتروژن مرحلهٔ گلدهی و مرحلهٔ تشکیل و نمو بنه‌هاست. این عنصر در سراسر دورهٔ رشد گیاه و به ویژه در انتهای دوره رشد، از اندام‌های رویشی به بخش زیرزمینی گیاه منتقل می‌شود. اعمال نیتروژن به شکل آمونیاکی اثر منفی و اعمال آن به شکل نیتراتی اثر مثبت بر عملکرد گل زعفران دارد. فسفر، نقش ویژه‌ای در بهبود عملکرد زعفران و رشد بنه‌های دختری دارد. با کاهش اندازهٔ بنهٔ مادری در زعفران، غلظت و مقدار جذب فسفر در بنه‌های دختری کاهش می‌یابد. در حالی‌که نیتروژن موجب افزایش تعداد بنه‌های دختری می‌شود، فسفر در تکمیل ذخایر بنه‌های زعفران و افزایش وزن آن دخالت دارد. تأمین پتاسیم نیز برای رشد مطلوب زعفران ضروری است (Keshavarz *et al*., 2020).

در حال حاضر متداول‌ترین دستگاه‌های محلول‌پاشی مورد استفاده در مزارع زعفران، سم‌پاش‌های لانس‌دار هستند. کاربرد این سمپاش‌ها، افزون بر ایجاد مشکلاتی مانند بادبردگی و آلودگی آب و خاک و محیط زیست، باعث فشردگی و لهیدگی خاک و از بین رفتن درصدی از محصول نیز می‌شود. استفاده از این سمپاش‌ها نیازمند تردد کارگر و تراکتور در سطح مزرعه نیز هست. با توجه به اینکه محلول‌پاشی در زمان تکثیر و رشد پیازچه‌های دختری است، هرگونه تردد در سطح مزرعه موجب بروز خسارت خواهد شد (Saeidirad *et al*., 2014). در چنین شرایطی،

کاربرد محلول‌پاشی هوایی مزارع یکی از راه‌حل‌های رفع مشکلات گفته شده است.

امروزه کاربرد پهپادها در محلول‌پاشی و سمپاشی مزارع و باغ‌ها گسترش یافته است و با توجه به شرایط کاربردی، این دستگاه‌ها محدودیت‌های استفاده از سمپاش‌های متداول را ندارند (Safari *et al.*, 2018). از طرفی، مانورپذیری و کنترل مسیر حرکت این دستگاه‌ها در مقایسه با روش‌های مرسوم بسیار آسان است (Huang *et al.*, 2009). با توجه به جدید بودن فناوری و کاهش میزان محلول مصرفی، کارایی آن‌ها اغلب با تردید همراه است. بنابراین، ضروری است تا کارایی این فناوری در محلول‌پاشی مزارع زعفران ارزیابی و با روش‌های متداول از نظر فنی و اقتصادی مقایسه شود.

استفاده از پهپاد سمپاش‌ها، گشایش جدیدی برای افزایش کارایی سمپاشی در مزارع و باغ‌ها به وجود آورده است. استفاده از این سمپاش‌ها در مبارزه با آفات و بیماری‌ها، مزایایی مانند پایین آمدن مصرف محلول سم، بالا رفتن ظرفیت مزرعه‌ای و کمتر شدن بادبردگی[1] را به همراه داشته است (Safari *et al.*, 2018).

نتایج استفاده از پهپاد سمپاش در تاکستان‌های ایالت کالیفرنیا در آمریکا بیانگر موفقیت‌آمیز بودن این نوع سمپاش برای سمپاشی محصولاتی مانند انگور است که روی داربست و در ارتفاع بالاتری از سطح زمین قرار دارد. بر اساس این پژوهش مقدار مصرف سم ۵۰-۱۰ لیتر در هکتار و ظرفیت کاری آن ۵-۲ هکتار در ساعت به دست آمد. در مدل‌های جدید با افزایش حجم مخزن، تعداد دفعات بارگیری کاهش و در نتیجه ظرفیت کاری افزایش یافته است و مقدار پاشش ۴۰-۱۰ لیتر در هکتار قابل دسترسی است. مهارت کارور این سمپاش‌ها از موارد ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (Giles & Billing, 2015).

در پژوهشی، مقایسهٔ نتایج کارایی سمپاشی هوایی و زمینی (با سم‌پاش فرقونی لانس‌دار) در کنترل آفات حاکی از یکسان بودن اثر هر دو روش در کنترل آفات بود (Heidari & Asari, 2016). این روش می‌تواند هم در مزارع بزرگ و هم در مزارع کوچک به نحو مؤثر استفاده شود. در هندوستان برای مبارزه با آفات بادام زمینی و برنج از پهپاد استفاده شده است. بر اساس نتایج، برای بادام زمینی و برنج ظرفیت مزرعه‌ای پهپاد سمپاش در ارتفاع پرواز یک متر از بالای سر محصول در سرعت پیشروی ۳/۶ کیلومتر در ساعت به ترتیب ۱/۱۵ و ۱/۰۸ هکتار بر ساعت و هزینه‌های عملیاتی ۳۴۵ و ۳۶۷ روپیه در هکتار به دست آمده است. از سویی دیگر، با افزایش ارتفاع و فشار پاشش، یکنواختی پاشش افزایش یافته است و قطر متوسط حجمی و عددی قطره‌ها در شرایط آزمایشگاهی، به ترتیب ۳۴۵ و ۲۷۰ میکرومتر گزارش شده است (Yallappa, 2017). در پژوهشی دیگر روی گندم در استان فارس، سمپاش میکرونر پشتی به عنوان سمپاش متداول منطقه با پهپاد مجهز به افشانک میکرونر برای کنترل سن گندم مقایسه شد. بررسی میانگین درصد کارایی پهپاد سمپاش با سمپاش میکرونر پشتی نشان داد که هر دو تیمار در هر سه نوبت نمونه‌برداری بعد از سمپاشی، از نظر کنترل سن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. به عبارت دیگر، کارایی پهپاد سمپاش در کنترل پوره‌های سن گندم شبیه کارایی سمپاش میکرونرپشتی و میزان کارایی آن بیش از ۹۵ درصد بود. ظرفیت زراعی ۵/۵ و ۰/۸ هکتار درساعت و مقدار محلول مصرفی در هکتار ۱۴/۶۴ و ۳۰ لیتر در هکتار به ترتیب برای

1- Endo-Drift

پهپاد سمپاش و سمپاش میکرونر پشتی به دست آمد. پهپاد سمپاش از نظر ظرفیت مزرعه‌ای، مقدار حشره‌کش مصرفی، مقدار محلول مصرفی، بادبردگی و احتمال آلودگی کارور، برتری‌هایی نسبت به سمپاش میکرونر پشتی نشان داد (Sheikhi Garjan, 2019). در تحقیقی، پهپاد سمپاش برای پخش کود مایع آلی با سرعت‌های مختلف پرواز (۲، ۴ و ۶ متر بر ثانیه)، و میزان پاشش (۰/۷۵، ۱/۵، ۲/۲۵ و ۳ لیتر بر دقیقه) برای مزرعهٔ برنج استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که یکنواختی قطره‌ها در سرعت کم (۲ متر بر ثانیه) در مقایسه با سرعت پرواز زیاد (۴ و ۶ متر بر ثانیه) بیشتر است. یکنواختی قطره‌ها و بالاترین چگالی رسوب قطره‌ها همراه با الگوی قطره‌های بهتر در میزان پاشش ۳ لیتر بر دقیقه، در مقایسه با دیگر مقادیر سمپاش به دست آمد. نتایج این مطالعه نشان داد که امکان استفاده از پهپاد برای محلول‌پاشی مطلوب مزارع برنج وجود دارد (Muhammad Nurfaiz, *et al*., 2019).

در پژوهش دیگر سه تیمار مختلف سمپاشی برای کنترل زنجرک خرما مقایسه شدند. تیمارها شامل سمپاشی با پهپاد سمپاش، سمپاشی با سمپاش لانس‌دار تراکتوری و شاهد (بدون سمپاشی) بودند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال یا سطح اطمینان پنج درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در سمپاش لانس‌دار و پهپاد سمپاش به ترتیب مقدار مصرف محلول سم ۴۳۷/۷ و ۱۴/۶۴ لیتر بر هکتار، مقدار بادبردگی ۴۲/۶ و ۱۱/۰۲ درصد، ظرفیت مزرعه‌ای ۰/۸ و ۵/۵۵ هکتار در ساعت به دست آمد. سه روز پس از سمپاشی از نظر کارایی عملیات، بین تیمار پهپاد سمپاش و سمپاش لانس‌دار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد؛ ولی هفت روز پس از سمپاشی، اختلاف معنی‌دار به ترتیب ۴۰/۸ و ۴۸/۴ درصد به دست آمد. ضریب کیفیت پاشش در پهپاد سمپاش ۱/۳۵ و انرژی مصرفی سمپاش لانس‌دار ۴۴/۴ برابر انرژی مصرفی پهپاد سمپاش گزارش شد (Safari & Sheikhi Garjan, 2020).

در پژوهشی، اندازه و تعداد ذرات محلول سم و سطح پوشش‌دهی ذرات روی هدف در دو ارتفاع پروازی ۲ و ۳ متر و دو سرعت پرواز ۲ و ۳ متر در ثانیه پهپاد در کنترل علف هرز با هم مقایسه شدند. نتایج به دست آمده نشان داد بیشترین مقدار پوشش‌دهی هدف (۳۶/۲ درصد) و بیشترین مقدار نشست محلول سم روی هدف (۲/۳ میکرولیتر بر سانتی‌متر مربع) مربوط به سرعت حرکت دو متر در ثانیه و ارتفاع پرواز دو متر است. قطر میانه حجمی در این تیمار ۴۴۸/۷ میکرومتر به دست آمد (Ahmad *et al*., 2020). در پژوهشی دیگر، اثر استفاده از پهپاد سمپاش در مقایسه با سمپاش پشتی برقی در کنترل بیماری بلاست برنج ارزیابی شد. نتایج تحقیق نشان داد که کارایی این دو سمپاش در کنترل این بیماری با هم اختلاف معنی‌داری ندارند و استفاده از پهپاد سمپاش با حجم پاشش محلول سم به مقدار ۱۸ لیتر در هکتار می‌تواند کنترل مؤثری روی این بیماری داشته باشد (Wang *et al*., 2020).

عملکرد پهپاد سمپاش با روش‌های مرسوم سمپاشی برای مبارزه با علف‌های هرز گندم از نظر فنی و اقتصادی ارزیابی شد. نتایج ارزیابی نشان داد از نظر اقتصادی، هزینهٔ سمپاشی با پهپاد دو برابر هزینهٔ سمپاشی با سمپاش‌های مرسوم است. نتایج برای پهپاد سمپاش، سمپاش بومدار پشت تراکتور، سمپاش توربولاینر به ترتیب برابر ۱۱/۱، ۳۵۱/۶ و

۲۴۹/۱ لیتر مصرف محلول سم در هکتار، ۱۶/۸، ۷/۷ و ۳۸/۶ درصد بادبردگی، ۶/۷، ۵/۹ و ۷/۷ هکتار در ساعت ظرفیت مزرعه‌ای به دست آمد. همچنین مشخص شد که کارایی هر سه سمپاش از نظر مبارزه با علف هرز با هم برابر است. در کل، با توجه به قابل قبول بودن نتایج ارزیابی فنی و اقتصادی روش پهپاد سمپاش، استفاده از این روش توصیه شده است (Zarifneshat *et al*., 2022).

در مبارزه با آفت هلیوتیس گوجه‌فرنگی، روش سمپاشی با پهپاد سمپاش با روش‌های رایج سمپاشی (لانس‌دار تراکتوری و سمپاش اتومایزر پشتی) مقایسه شد. نتایج مقایسه نشان داد در سمپاش‌های لانس‌دار، اتومایزر و پهپاد مقدار محلول مصرفی به ترتیب ۱۲۰۰ و ۲۱۱ و ۳۲ لیتر در هکتار، بادبردگی ۴۵/۶، ۱۳/۱ و ۲۰/۷ درصد و ظرفیت مزرعه‌ای نظری ۱/۱۳، ۱/۰۳ و ۴/۰۳ هکتار در ساعت است. پهپاد در ۱۴ روز پس از سمپاشی با ۵۹/۷ درصد کارایی نسبت به روش‌های اتومایزر و لانس‌دار به ترتیب ۴۰/۱ و ۴۱/۷ درصد، کارایی بهتری داشته است. همچنین در روزهای چهارم و هشتم نیز روش استفاده از پهپاد از نظر درصد کارایی نسبت به روش‌های اتومایزر و لانس دار برتری داشته است (Safari *et al*., 2023).

در تحقیقی، کارایی پهپاد سمپاش در مقایسه با سمپاش توربولاینر برای کنترل جمعیت آفت شتهٔ کلزا ارزیابی شد. نتایج ارزیابی نشان داد در سه و هفت روز پس از سمپاشی، سمپاش توربولاینر کارایی بیشتری نسبت به پهپاد سمپاش داشته اما در ۱۴ روز بعد از سمپاشی، کارایی پهپاد سمپاش و سمپاش توربولاینر به ترتیب ۹۲/۷ و ۸۵/۲ درصد گزارش شده است. استفاده از پهپاد سمپاش با توجه به کاهش مقدار محلول مصرفی و کاهش انرژی مصرفی و افزایش بازدهٔ مزرعه‌ای، کیفیت پاشش و کارایی سمپاشی برای کنترل جمعیت شتهٔ کلزا توصیه شده است (Bagheri *et al*., 2024).

با توجه به قابلیت‌های پهپاد سمپاش بر اساس بررسی منابع و مشکلات استفاده از سمپاش‌های رایج در محلول‌پاشی مزارع زعفران، هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد پهپاد سمپاش به عنوان یک روش نوین برای محلول‌پاشی مزارع زعفران و مقایسهٔ آن با روش استفاده از سمپاش‌های لانس‌دار و اتومایزراست.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، عملکرد پهپاد سمپاش در مقایسه با روش‌های معمول محلول‌پاشی مزارع زعفران در مزرعه هشت ساله در شهرستان فاروج در اسفندماه سال ۱۴۰۱ ارزیابی شد. تیمارهای آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار، شامل محلول‌پاشی با پهپاد سمپاش، محلول‌پاشی با سمپاش لانس‌دار پشتی، محلول‌پاشی با سمپاش اتومایزر پشتی و بدون محلول‌پاشی (شاهد) بودند. ابعاد هر کرت آزمایشی ۱۰×۳۰ متر بود که با در نظر گرفتن حاشیه برای هر کرت مساحت کل قطعه حدوداً ۴۰۰۰ مترمربع بود. محلول‌پاشی بر اساس دستورالمعل کودی زعفران اجرا شد. از ترکیب کود کامل (فسفر، نیتروژن و پتاسیم) حامل ریزمغذی‌ها (آهن، روی، مس، منگنز، بر، مولیبدن، سدیم و کلر) به مقدار ۱/۵ لیتر در هکتار، همراه با اسید آمینه (۲ لیتر در هکتار) استفاده شد (Keshavarz *et al*., 2020). در این آزمایش مقدار کود مورد استفاده در همهٔ محلول‌پاش‌ها با هم برابر در نظر گرفته شد ولی مقدار محلول پاشیده شدهٔ کود در هکتار در هر محلول‌پاش متفاوت است.

محلـول‌پاشـی در یـک نوبـت و در تـاریخ ۱۴۰۳/۱۲/۱۲ صورت گرفت.

در ایـن پـژوهش بـرای محلـول‌پاشـی از سـه نـوع سمپاش با مشخصات جدول‌های ۱ و ۲ استفاده شد:

جدول ۱- مشخصات پهپاد سمپاش

Table 1- UAV sprayer specification

مقدار Amount		پارامتر (واحد) Parameter (Unit)
DJI T-16	Model and Company	مدل و شرکت سازنده
6	Number of engines	تعداد موتور های دمنده
4	Number of nuzzles	تعداد افشانک‌ها
XR11001VS	Nuzzle model	نوع افشانک
3.6	Maximum spraying rate	بیشترین مقدار پاشش ($L\ min^{-1}$)
6	Maximum Spraying width (nominal)	بیشترین عرض پاشش (اسمی) (m)
1.5	on top of the crop Spraying height	ارتفاع پاشش (از بالای سر محصول) (m)
16	Tank volume	حجم مخزن (L)
0-40	Operating temperature range	بازه دمایی کاری (Celsius degree)
0-15	Speed range	محدوده سرعت حرکت ($m\ s^{-1}$)
9-20	Hovering time	مداومت پروازی (min)
24	Ambient temperature at the time of testing	دمای محیط در زمان آزمایش (Celsius degree)
56	The relative humidity of the environment	رطوبت نسبی محیط (%)
6.5	Wind speed at the time of testing	سرعت باد در زمان آزمایش($Km\ hr^{-1}$)
South to north جنوب به شمال	Wind direction at the time of testing	جهت باد در زمان آزمایش

جدول ۲- مشخصات سمپاش‌های لانس‌دار و اتومایزر

Table 2- Specifications of lance and atomizer sprayers

دبی سمپاشی (لیتر بر دقیقه) Spraying Rate (l/min)	نوع نازل Type of nuzzles	حجم مخزن (متر) Tank Volume (m)	عرض کار (متر) Width (m)	نوع سمپاش Type of sprayer
0.1-3	مخروطی توخالی Hollow cone	25 L	10-12	لانس‌دارپشتی knapsack lance sprayer
4	قطره‌چکانی Drip	20 L	6-8	اتومایزر پشتی knapsack atomizer sprayer

پارامترهـای انـدازه‌گیـری و ارزیـابی شـده بـه شـرح زیر است:

عرض کار مؤثر

عـرض کـار پهپـاد سـمپاش وابسـته اسـت بـه نـوع افشـانک، ارتفـاع پـرواز و فاصـلۀ بـین افشـانک‌ها از هـم. بـرای انـدازه‌گیری عـرض کـار مـؤثر، کاغـذهای حسـاس به آب بـه فاصـلۀ ۰/۵ متـری از یکـدیگر عمـود بـر جهـت حرکـت پهپـاد قـرار داده شـد و فاصـلۀ بـین اولـین و آخرین کـارت رنگـی شـده بـا پـراکنش تعـداد ۲۰ تـا ۳۰ ذره در سـانتی‌مترمربـع بـه عنـوان عـرض کـار مـؤثر در نظر گرفته شد (Safari & Bagheri, 2021).

مقدار محلول مصرفی

پـیش از محلول‌پاشـی، سـمپاش‌ها بـا آب واسـنجی (کالیبره) شـدند. در فشـار مشخصـۀ پمـپ، زیـر هـر یـک

از افشانک‌ها ظرفی قرار داده شد و مقدار خروجی آب در یک دقیقه اندازه‌گیری شد و مقدار پاشش بر حسب لیتر بر دقیقه به دست آمد. مقدار آب مصرفی در هر هکتار با در نظر گرفتن سرعت پیشروی و عرض پاشش از رابطهٔ ۱ محاسبه شد (Bagheri & Safari, 2020):

$$L = \frac{600Q}{V \times W} \qquad (۱)$$

که در آن،

L= محلول مصرفی (لیتر در هکتار)؛ Q= بده پاشش (لیتر در دقیقه)؛ W= عرض کار مؤثر (متر)؛ و V= سرعت پیشروی (کیلومتر در ساعت).

ظرفیت زراعی و بازده مزرعه‌ای

ابتدا زمان لازم برای محلول‌پاشی یک هکتار با کرونومتر اندازه‌گیری و ظرفیت زراعی مؤثر (هکتار در ساعت) محاسبه شد. پس از آن با توجه به عرض کار مؤثر هر دستگاه و سرعت پیشروی آن، ظرفیت زراعی تئوری و بازدهٔ مزرعه‌ای مطابق رابطه‌های ۲ و ۳ محاسبه شدند (Safari & Bagheri, 2021).

$$C_t = \frac{v \times w}{10} \qquad (۲)$$

که در آن،

V= سرعت پیشروی (کیلومتر در ساعت)؛ W= عرض کار مؤثر (متر)؛ و Ct= ظرفیت تئوری (هکتار در ساعت).

$$E = \frac{C_o}{C_t} \times 100 \qquad (۳)$$

که در آن،

Co= ظرفیت زراعی مؤثر (هکتار در ساعت)؛ Ct= ظرفیت زراعی تئوری (هکتار در ساعت)؛ و E= بازده مزرعه‌ای (درصد).

مقدار بادبردگی

برای تعیین مقدار بادبردگی، پیش از سم‌پاشی در بیرون از هر کرت آزمایشی، ۲۰ عدد کاغذ حساس به آب در جهت غالب وزش باد به صورت عرضی و به فاصله‌های ۰/۵ متر عمود بر حرکت دستگاه قرار داده شد. پس از محلول‌پاشی، کاغذها جمع‌آوری و درصد کارت‌هایی که در معرض پاشش قرار گرفته‌اند نسبت به تعداد کل کاغذها محاسبه شد (Safari *et al.*, 2010; Safari & Bagheri, 2021).

ضریب کیفیت پاشش محلول کودی یا کود محلول

ضریب کیفیت پاشش از تقسیم قطر میانهٔ حجمی (VMD[1]) بر قطر میانهٔ عددی (NMD[2]) به دست می‌آید (رابطهٔ ۴). در حالت ایده‌آل این ضریب برابر یک است. هرچه این عدد نزدیک‌تر به یک باشد کیفیت پاشش بالاتر خواهد بود (Naseri, 2007).

$$Q_c = \frac{\mathrm{VMD}}{\mathrm{NMD}} \qquad (۴)$$

که در آن،

VMD= قطر میانه حجمی (میکرومتر)؛ NMD= قطر میانه‌ی عددی (میکرومتر)؛ و Qc= ضریب کیفیت سمپاشی.

VMD، قطر ذره‌ای است که در میانه حجمی قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر این قطر، قطره‌های پاشیده شده را از نظر اندازهٔ حجم به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند، به طوری‌که نیمی از حجم مزبور شامل قطره‌هایی است که قطر آن‌ها کوچک‌تر از قطره‌ای است که قطر آن برابر قطر میانه حجمی است و نیم دیگر حاوی قطره‌هایی با قطری بزرگ‌تر از آن است. این مقدار با استفاده از رابطهٔ ۵ قابل محاسبه است (Safari *et al*, 2018; Naseri, 2007).

1- Volume Median Diameter 2- Number Median Diamete

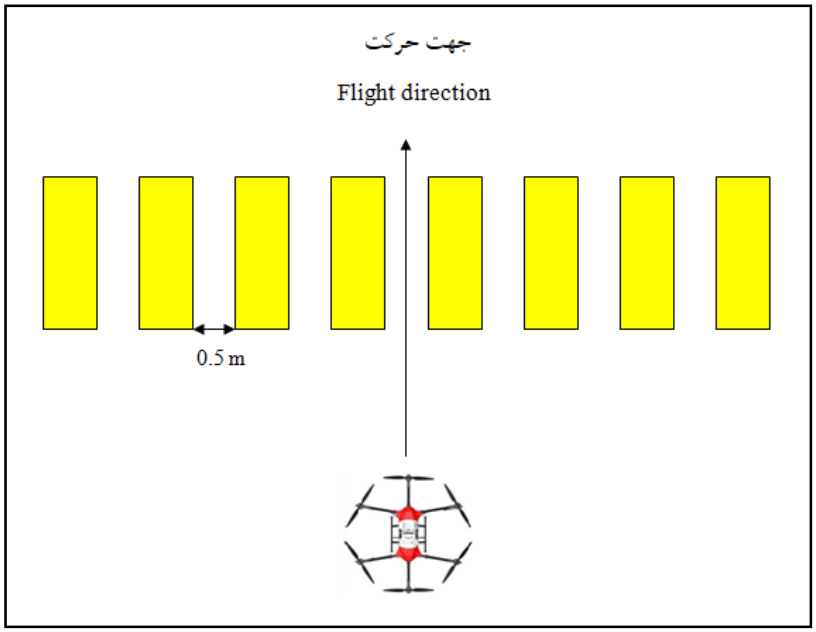
$$D^{p-q}{}_{pq} = \left(\frac{\sum_{n} N_i . D_i^{\,p}}{\sum_{n} N_i . D_i^{\,q}}\right)^{1/(p-q)} \qquad (۵)$$

که در آن،

p می‌تواند مقادیر ۱، ۲، ۳ و ۴ باشد؛ q می‌تواند مقادیر ۰، ۱، ۲ و۳ باشد؛ Di= قطر قطره برای گروه iام، Ni= تعداد قطره در گروه iام؛ i= اعداد اندازهٔ گروه؛ و n= تعداد گروه اندازه‌ها. برای محاسبهٔ قطر میانگین عددی p=1 و q=0 و قطر میانگین حجمی p=3 و q=0 در نظر گرفته می‌شود.

NMD، قطر ذره میانه است. یعنی اگر کل ذرات چیده شده به ترتیب قطر را از یک طرف شروع به شمارش کنیم، ذره‌ای که در وسط قرار گیرد، قطر میانهٔ عددی است.

برای اندازه‌گیری تعداد و قطر قطره‌های ریخته شده روی کاغذهای حساس به آب، از روش پردازش تصویر و از نرم‌افزار سنجش قطرات (سیبا[1]) استفاده شد (Daneshjoo, 2006). کاغذهای حساس به آب، آغشته به محلول برموفنل آبی هستند و به محض برخورد قطره‌های آب با سطح کاغذ، در نتیجهٔ یونیزه شدن رنگ اصلی، لکه‌هایی به رنگ آبی بر سطح کاغذ پدیدار می‌شود. از این کاغذها می‌توان برای سنجش تعداد و اندازه قطره‌های محلول کودی در واحد سطح و محاسبهٔ درصد پوشش محلول کود استفاده کرد. در هر یک از تیمارهای آزمایشی، این کارت‌ها مطابق شکل ۱ روی زمین و در معرض محلول‌پاشی قرار داده شدند. شکل ۱ آرایش قرارگیری کاغذهای حساس به آب را نشان می‌دهد. به منظور تعیین کیفیت سمپاشی، موارد زیر اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- آرایش قرارگیری کاغذهای حساس به آب

Fig. 1- Deployment of water sensitive papers

یکی از روش‌های تعیین قطر تقریبی، روش بزرگنمایی[1] است. در این روش، قطره‌ها از لحاظ اندازه گروه‌بندی می‌شوند و سپس میانهٔ اندازه‌ها در نظر گرفته می‌شود. با تشکیل جدول

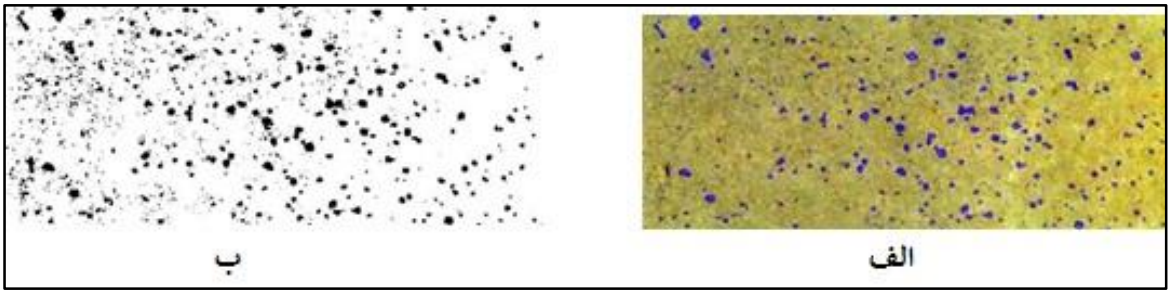
1- Scientific Image Bolb Analyser

فراوانی و تعیین قطر قطره‌هایی که در ۵۰ درصد فراوانی قرار دارند مقادیر قطر میانهٔ عددی و قطر میانهٔ حجمی تعیین می‌شوند. برای سنجش قطره‌های ثبت شده روی کاغذهای حساس به آب، هر تیمار به طور جداگانه با اسکنر دارای قدرت تفکیک ۶۰۰dpi اسکن شد. به دلیل نایکنواختی رنگ‌آمیزی کاغذها با آب و به منظور افزایش دقت و کاهش خطا در آنالیز، ابتدا تمام تصاویر اسکن شدند، در محیط نرم‌افزار Image J ویرایش شدند، و رنگ اثر ذرات پاشیده شده از رنگ زمینهٔ کارت کاملاً تمایز پیدا کرد (شکل ۲). با استفاده از نرم‌افزار سیبا (شکل ۳) قطرهای میانهٔ حجمی و عددی برای هر نمونه تعیین شد (Daneshjoo, 2006; Naseri, 2007).

با توجه به مرطوب شدن کامل کارت‌های حساس به رطوبت در تیمارهای محلول‌پاشی با محلول‌پاش لانس‌دار و اتومایزر، برای این دو تیمار محاسبه قطرهای میانه عددی و حجمی امکان‌پذیر نبود و این پارامترها تنها برای پهپاد سمپاش اندازه‌گیری شد.

صفات عملکردی محصول زعفران

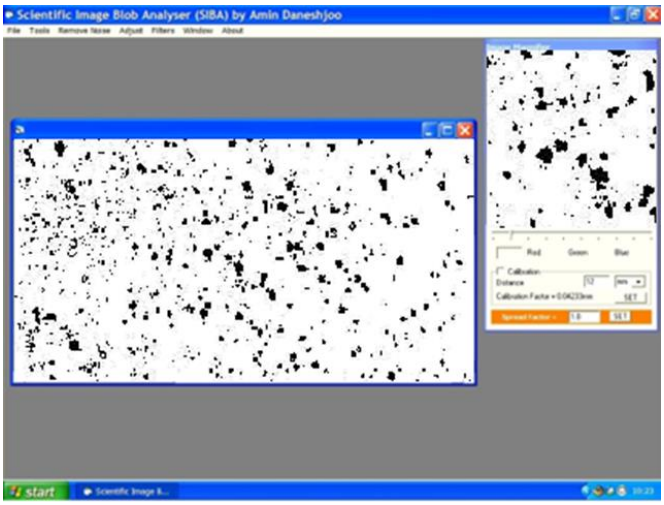
برای ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه، در اواخر دورهٔ رشد و سه ماه پس از محلول‌پاشی (در یک مرحله)، وزن اندام‌های بالایی (رشد رویشی برگ‌ها) و وزن پیازچه‌ها اندازه‌گیری شد. عملکرد مزرعهٔ زعفران با محاسبهٔ وزن کلالهٔ خشک شده در واحد سطح اندازه‌گیری شد. پس از تعیین پارامترهای مورد مطالعه، نتایج تیمار با نرم‌افزار SPSS در دو قالب طرح کاملاً تصادفی و آزمون t مقایسه شدند.



شکل ۲- نمونه‌ی کاغذ حساس به آب، الف) قبل و ب) بعد از ویرایش با نرم‌افزار Image J

Fig. 2- Sample of water-sensitive paper, before (right) and after (left) editing with Image J software

1- Scale up



شکل ۳- تعیین قطرهای میانه عددی و حجمی با استفاده از نرم‌افزار SIBA

Fig. 3- Determination of number and volume median diameters, using SIBA software

نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس پارامترهای عملکردی تیمارها در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار محلول کود مصرفی، ظرفیت مؤثر و راندمان مزرعه‌ای، بادبردگی و ضریب کیفیت پاشش محلول‌پاش‌ها در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند. بررسی اثر محلول‌پاشی بر ویژگی‌های زراعی و عملکردی زعفران نشان می‌دهد تأثیر نوع محلول‌پاش بر تعداد پیازچه‌ها معنی‌دار نیست ولی تأثیر آن بر سه ویژگی دیگر (وزن خشک برگ‌ها، وزن پیازچه‌ها و عملکرد مزرعه) در سطح احتمال ۱ است معنی‌دار است (جدول ۲).

جدول ۲- خلاصهٔ تجزیهٔ واریانس پارامترهای عملکردی سه روش محلول‌پاشی (میانگین مربعات)

Table 2- Summary of analysis of variance of performance parameters of sprayers (mean square)

خطا Errors	میانگین مربعات Mean square	پارمترهای عملکردی Performance parameters	
۰/۰۷	27.9**	Field Capacity	ظرفیت مؤثر مزرعه ای
4.4	310.2**	Field Efficiency	بازده مزرعه ای
44.1	5132.6**	Consumed solution	محلول مصرفی
1.4	41.7*	Endo-Drift	بادبردگی
80.8	2112.4*	Dried leaves weight	وزن خشک برگ‌ها
0.16	0.02^{ns}	Corms proliferation (Amount)	تعداد پیازچه‌ها
3.5	88.7**	Corms proliferation (Weight)	وزن پیازچه‌ها
0.01	0.17**	Stigma yield	عملکرد

** اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و *ns* عدم اختلاف معنی‌دار

** Significant difference at 1% level and ns: No significant difference

مقایسهٔ میانگین پارامترهای عملکردی تیمارهای حاصل از آزمون t در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس این جدول، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر محلول‌پاش‌های پهپاد، لانس‌دار و اتومایزر به ترتیب ۵/۹، ۰/۷۴ و ۰/۴۶ هکتار در ساعت است که از این لحاظ در سطح احتمال یک درصد با هم اختلاف

معنی‌دار دارند. دلیل این امر مربوط به اختلاف در عرض کاری مؤثر و سرعت پیشروی حین محلول‌پاشی است. برای محلول‌پاش‌های پهپاد، لانس‌دار و اتومایزر میانگین عرض کار مؤثر به ترتیب ۴/۶۰، ۱۰ و ۷ متر و میانگین سرعت پیشروی به ترتیب برابر ۱۵، ۱ و ۱ کیلومتر در ساعت به دست آمد. در تحقیقی مشابه، ظرفیت مزرعه‌ای پهپاد سمپاش و سمپاش لانس‌دار به ترتیب ۵/۵ و ۰/۸ هکتار در ساعت به دست آمد که از این لحاظ با یافته‌های پژوهشگران دیگر نیز همخوانی دارد (Sheikhi Garjan *et al.*, 2019; Safari *et al.*, 2020).

بیشترین بازده مزرعه‌ای به مقدار ۸۶/۰۸ درصد مربوط به پهپاد سمپاش است. در پهپاد سمپاش به دلیل سرعت زیاد محلول‌پاشی، اتلاف زمانی کمتر (به خصوص در دور زدن و پر کردن مخزن) و مشخص بودن مسیر محلول‌پاشی به نحو مؤثری از اتلاف وقت جلوگیری شده است و در نتیجه بازده زراعی بیشتری دارد. در پژوهش ظریف‌نشاط و همکاران (Zarifneshat *et al.*, 2022)، نتایج مقایسهٔ پهپاد سمپاش با روش‌های سمپاشی معمولی نشان داد که بازده مزرعه‌ای برای پهپاد سمپاش، سمپاش بوم‌دار و توربولاینر برای مبارزه با علف‌های هرز مزرعه گندم به ترتیب ۸۳/۱، ۷۸/۷ و ۶۶/۲ درصد است.

بنا بر نتایج به دست آمده، مقدار محلول کود مصرفی برای محلول‌پاش لانس‌دار، پشتی موتوری و پهپاد به ترتیب برابر با ۲۱۲/۲، ۱۹۹/۳ و ۱۹/۳ لیتر در هکتار است. بنابراین، پهپاد با دو محلول‌پاش دیگر در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار دارد. در تحقیق صفری و همکاران (Safari *et al.*, 2023) برای کنترل کرم هلیوتیس گوجه‌فرنگی از سه سمپاش اتومایزر، لانس‌دار و پهپاد استفاده و مشخص شد که میزان مصرف محلول توسط آن‌ها به ترتیب ۲۱۱، ۱۲۰۰ و ۳۲ لیتر بر هکتار است که با میزان محلول مصرفی توسط پهپاد در این تحقیق همخوانی دارد. در سمپاش‌های لانس‌دار، به دلیل حجم بالای مصرف محلول، محلول پاشیده شده روی محصول شره می‌کند که باعث هدر رفتن محلول سم یا کود می‌شود و مشکلات آلودگی خاک را به دنبال دارد.

نتایج مقایسهٔ محلول‌پاش‌ها از نظر بادبردگی محلول کود بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد است. بیشترین مقدار بادبردگی در محلول‌پاش اتومایزر ۲۵/۴ درصد تعیین شد و بعد از آن سمپاش لانس‌دار با ۲۴/۷ درصد و پهپاد سمپاش با ۱۷/۵ درصد در رده‌های بعد قرار گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد که پهپاد سمپاش دارای بادبردگی کمتری نسبت به دو محلول‌پاش لانس‌دار و اتومایزر است. از عوامل موثر در بادبردگی، ارتفاع پاشش است. هرچند ارتفاع پاشش در پهپاد سمپاش ۳ متر و بیشتر از دو سمپاش اتومایزر و لانس‌دار (۱/۵ متر) است ولی میزان بادبردگی در استفاده از پهپاد سمپاش کمتر از دو سمپاش دیگر است. یکی از دلایل آن می‌تواند ملخ‌های نصب شده روی پهپاد باشد که با ایجاد نیروی رانش[1] قطره‌های سم را به سمت هدف هدایت می‌کند. در هر دو سمپاش لانس‌دار و پشتی موتوری به دلیل این‌که سر نازل در دست کارور است و کنترلی روی مقدار پاشش و ارتفاع پاشش آن نیست، پاشش به صورت زیگزاگ و غیرمنظم است و باعث اتلاف محلول و بادبردگی می‌شود (Safari *et al.*, 2022).

1- Thrust

جدول ۳- مقایسه میانگین پارامترهای عملکردی سمپاش‌ها

Table 3- Comparison of averages of sprayers performance parameters

تیمار (محلول‌پاش‌ها) Treatments (sprayers)					
شاهد Control treatment	اتومایزر Atomizer sprayer	لانس‌دار Lance sprayer	پهپاد UAV		
-	0.46 a	0.7 b	5.9 c	Field Capacity (ha/hr)	ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر
-	66.1 a	72.6 b	86.1 c	Field Efficiency (%)	بازده مزرعه ای
-	199.3 b	212.2 b	19.3 a	Consumed solution (Litter/ha)	محلول مصرفی
-	25.4 b	24.7 b	17.5 a	Endo-Drift	بادبردگی
-	-	-	2.1	Quality Coefficient	ضریب کیفیت پاشش
145.0 a	200. 0 c	206.3c	172.5 b	Dried leaves weight (kg/ha)	وزن خشک برگ‌ها
3. 0 a	3. 0 a	3.1 a	3.0 a	Corms proliferation (Amount)	تعداد پیازچه‌ها
14.7 a	24.1 c	23.2 c	17.3 b	Corms proliferation (gr)	وزن پیازچه‌ها
1.9 a	2.3 c	2.4 c	2.1 b	Stigma yield (kg/ha)	عملکرد

اعداد با حروف مشابه برای هر تیمار در هر ستون حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است.

* Means with similar letters are in a statistical group and there is no significant difference in Dunkan 5% level.

میانگین NMD و VMD پهپاد سمپاش به ترتیب ۲۳۵ و ۴۷۳ میکرون و ضریب کیفیت پاشش پهپاد سمپاش ۲/۱ به دست آمد. صفری و همکاران (Safari *et al.*, 2022) میانگین مقادیر NMD، VMD و ضریب کیفیت پاشش برای پهپاد سمپاش را به ترتیب ۳۳۵، ۲۷۳ و ۱/۲ گزارش داده‌اند که نشان‌دهندهٔ کیفیت پالای پاشش در پهپاد سمپاش است.

نتایج به دست آمده از ارزیابی کارایی محلول‌پاشی نشان داد که وزن خشک برگ‌های زعفران متأثر از نوع محلول‌پاشی است و بیشترین مقدار آن ۲۰۶/۳ کیلوگرم در هکتار، متعلق به محلول‌پاشی با نوع سمپاش لانس‌دار است. کمترین مقدار وزن خشک برگ‌ها، ۱۷۲ کیلوگرم در هکتار، متعلق به محلول‌پاشی با پهپاد به دست آمد. همانگونه که در جدول ۵ مشاهد می‌شود، بین دو محلول‌پاش لانس‌دار و اتومایزر تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. تفاوت اثر استفاده از پهپاد سمپاش برای محلول‌پاشی مزرعهٔ زعفران با سمپاش لانس‌دار معنی‌دار است و با سمپاش اتومایزر معنی‌دار نیست.

وزن پیازچه‌ها نیز متأثر از نوع محلول‌پاش است، بیشترین وزن، ۲۴/۱ و ۲۳/۸ گرم به ازای هر پیاز مادری، به ترتیب برای محلول‌پاشی با نوع سمپاش‌های اتومایزر و لانس‌دار و کمترین مقدار برابر با ۱۷/۳ گرم، محلول‌پاشی با پهپاد به دست آمده است. تأثیر نوع محلول‌پاش روی تعداد پیازچه‌ها به ازای هر پیاز مادری، معنی‌دار نیست.

بر اساس نتایج به دست آمده، کاربرد محلول‌پاش‌های لانس‌دار و اتومایزر باعث عملکرد بیشتر مزرعه زعفران نسبت به محلول‌پاشی با پهپاد شده است؛ به طوری‌که عملکردهای ۲/۴ و ۲/۳ کیلوگرم زعفران خشک در هکتار، به ترتیب متعلق به محلول‌پاشی با نوع لانس‌دار و اتومایزر است و ۲/۱ کیلوگرم در هکتار در روش محلول‌پاشی با پهپاد به دست آمده است.

بررسی نتایج کارایی محلول‌پاشی بر ویژگی‌های زراعی و عملکردی زعفران نشان می‌دهد که استفاده

از محلول‌پاش‌های لانس‌دار و اتومایزر نسبت به استفاده از پهپاد برتری دارد و باعث افزایش معنی‌دار عملکرد می‌شود. دلیل این موضوع را می‌توان در تفاوت حجم محلول مصرفی توجیه کرد. در دو محلول‌پاش لانس‌دار و اتومایزر در حدود ۲۰۰ لیتر محلول کودی استفاده شده است. با توجه به اینکه محلول کودی از طریق برگ‌ها جذب می‌شود، استفاده مقدار آب بیشتر در محلول‌پاشی باعث افزایش عملکرد محصول می‌شود.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر سه نوع سمپاش شامل پهپاد سمپاش، لانس‌دار پشتی و اتومایزر پشتی ازنظر پارامترهای فنی و کارایی برای محلول‌پاشی مزارع زعفران ارزیابی شدند.

مقایسهٔ فنی سه نوع سمپاش نشان داد مقدار محلول کود مصرفی در روش سمپاشی با پهپاد سمپاش، در مقایسه با دو سمپاش لانس‌دار و اتومایزر پشتی، ۹۰ درصد کمتر است و مقدار بادبردگی نیز ۳۰ درصد، در مقایسه با دو سمپاش لانس‌دار و اتومایزر، پایین‌تر است. ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر پهپاد سمپاش تقریباً ۸ و ۱۳ برابر ظرفیت مزرعه‌ای سمپاش‌های لانس‌دار و اتومایزر به دست آمد. بازده مزرعه‌ای پهپاد نیز به مقدار ۱۶ و ۲۳ درصد بیشتر از دو سمپاش لانس‌دار و اتومایزر به دست آمد. نتایج، برتری پهپاد سمپاش را از نظر مشخصات فنّی نسبت به دو سمپاش دیگر نشان می‌دهد.

مقایسهٔ تأثیر استفاده از پهپاد سمپاش در مقایسه با دو سمپاش لانس‌دار و اتومایزر بر ویژگی‌های زراعی و عملکردی مزرعه زعفران نشان داد که استفاده از محلول‌پاش لانس‌دار و اتومایزر باعث عملکرد بیشتر محصول زعفران نسبت به استفاده از پهپاد شده است؛ در هر سه ویژگی زراعی وزن خشک برگ‌ها، تعداد پیازچه و وزن پیازچه‌ها، استفاده از دو سمپاش لانس‌دار و اتومایزر، در مقایسه با پهپاد سمپاش، نتایج بهتری را رقم زدند؛ بدر این زمینه، عملکردهای ۲/۴۱ و ۲/۳۴ کیلوگرم زعفران خشک در هکتار به ترتیب متعلق به محلول‌پاشی با نوع لانس‌دار و اتومایزر و کمترین عملکرد، ۲/۱۴ کیلوگرم در هکتار، در روش محلول‌پاشی با پهپاد به دست آمد.

هرچند نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های زراعی و عملکردی نشان از برتری روش‌های محلول‌پاشی با حجم بالا (استفاده از سمپاش لانس‌دار و اتومایزر) نسبت به پهپاد سمپاش دارد، ولی ظرفیت مزرعه‌ای بیشتر پهپاد و لهیده نشدن محصول از مزایای استفاده از پهپاد سمپاش است. این دو ویژگی باعث می‌شود تا کشاورزان در شرایطی که امکان محلول‌پاشی با روش‌های مرسوم به دلیل محدودیت زمانی و عدم امکان تردد در سطح مزرعه وجود نداشته باشد، از پهپاد سمپاش استفاده کنند. بنابراین، به منظور افزایش اثربخشی توصیه می‌شود پیش از محلول‌پاشی با پهپاد مزرعه آبیاری شود تا سطح مزرعه کاملاً مرطوب باشد. استفاده از پهپادهایی با ظرفیت مخزن بیشتر و افزایش حجم محلول مصرفی برای محلول پاشی مزارع زعفران افزایش اثربخشی را درپی خواهد داشت. سرعت پرواز ۸ کیلومتر در ساعت، ارتفاع پرواز ۱/۵ متر و حجم محلول مصرفی برابر با ۴۰ لیتر در هکتار برای کودپاشی زعفران توصیه می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Ahmad, F., Qui, B., Dong, X., Ma, J., Huang, X., Ahmed, Sh., & Chandio, F. (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*(10350), 1-10. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105350.

Akbarian, M. M., Heidari Sharifabad, H., Noormohammadi, G., & Darvish Kojouri, F. (2012). The effect of potassium, zinc and iron foliar application on the production of saffron (*Crocus sativus*). *Annals of Biological Research, 3*(12), 5651-5658.

Amirghasemi, T. (2004). *Saffron (Iranian red gold)*. Ayandegan Pub. (in Persian)

Anon. (2022). Agricultural statistics report. Ministry of Agriculture- Jahad Pub. (in Persian)

Bagheri, N., & Safari, M. (2020). Drone sparayer recognition. *Technical Report*. Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)

Bagheri, N., Safari, M., & Sheikhi Garjan, A. (2024). Performance evaluation of the UAV sprayer in controlling *Brevicoryne Brassicae* L. pest in Canola. *Journal of Agricultural Machinery*, *14*(2), 135-146. https://doi.org/10.22067/jam.2022.79329.1129.

Daneshjoo, A. (2006). Introducing and evaluating a suitable software for sprayers calibration and other similar purposes (M. Sc. Thesis), Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian)

Giles, D. K., & Billing, R. C. (2015). Deploymentand performance of a UAV for crop spraying. *Chemical Engineering Transactions, 44*, 307-312. https://doi.org/10.3303/CET1544052.

Heidari, M., & Asari, M. (2016). *Evaluation of aerial spraying efficiency in Dubasbug Ommatissus lybicus control. 22th Iranian Palnt Protection Congress*, Aug. 27-30. Karaj, Iran.

Hosseini, M., Sadeghi, B., & Aghamiri, S. A. (2004). Influence of foliar fertilization on yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Acta Horticulturae (ISHS*), *650*, 207-209. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.650.22.

Huang, Y., Hoffmann, W. C., Lan, Y., Wu, W., & Fritz, B. K. (2009). Development ofa spray system for an unmanned aerial vehicle platform. *Applied Engineeringin Agriculture*, *25*(6), 803-809.

Keshavarz, P., Zabihi, H., & Esmi, R. (2020). Manual of saffron fertilization. Agricultural Education Pub. (in Persian)

Muhammad Nurfaiz, A., Aimrun, W., Abdul Rashid, M., Ahmad Fikri, A., & Ezrin Mohd, H. (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.

Naseri, M. (2007). Investigating and evaluating effective factors on performance of field air-assisted sprayer (M. Sc. Thesis), Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian)

Saeidirad, M. H., Zarifneshat, S., Mahdinia, A., Nazarzadeh, S., Mazhari, M., Mostafavand, H., & Mehrabi, E. (2014). Investigation on mechanization development possibility and providing the most optimum method to saffron harvesting mechanization. *Research Report.* No. 44678. Agricultural Engineering

Research Institute. (in Persian)

Safari, M., Sheikhi Garjan, A., Sharifnasab, H., & Bagheri, N. (2018). Date palm spraying using new technology. *Research Report.* NO.55565. Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)

Safari, M., & Sheikhi Garjan, A. (2020). Comparison between unmanned aerial vehicle and tractor lance sprayer against Dubas bugOmmatissus lybicus (Hemiptera: Tropiduchidae). *Iranian Journal of Plant ProtectionScience*, *51*(1), 13-26. https://doi.org/10.22059/ijpps.2020.281898.1006894. (in Persian)

Safari, M., & Bagheri, N. (2021). Selection and evaluation criteria for UAV sprayers. *Technical Report.* Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)

Safari, M., & Bagheri, N., & Sheikhi Garjan, A. (2023). Technical and economical evaluation of UAV eprayer in eomparisonb with eonventional methods to control tomato Helicoverpa Amigera. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 24(85), 91-110. https://doi.org/10.22092/amsr.2024.364474.1474. (In Persian)

Safari, M., Amirshaghaghi, F., Lovaimi, N., & Chaji, H. (2010). Evaluation of conventional sprayers in wheat farms. *Journal of Agricultural Engineering Research*, *10*(4), 1-12. (in Persian)

Sheikhi Garjan, A. (2019). Evaluation of UAV sprayer in wheat Eurygaster integriceps control. *Resrach Report*. No. 55872. Plant Protection Institute. (in Persian)

Wang, G., Li, X., Aloro, J., Chen, P., Song, C., Shan, C., Chen, C., & Lan, Y. (2020). Deposition and biological efficacy of UAV-based low-volume application in rice fields. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, *3*(2), 65-72. https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20200302.86.

Yallappa, D. (2017). *Development and evaluation of drone mounted sprayer forpesticide applications to crops. IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*. Oct. 19-22. San Jose, CA, USA.

Zarifneshat, S., Saeidirad, M. H., Safari, M., Motam*et al*shariati, H., & Naseri, M. (2022). Technical evaluation of agriculture drone sprayer (UAV) for control of wheat weeds and compare with conventional methods. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 23(82):53-70. https://doi.org/10.22092/amsr.2022.360045.1427. (in Persian)

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.24/No.88/Winter 2023/P:1-16
Journal Home Page: https://amsr.areeo.ac.ir

Research Paper

Evaluation o f UAV Spraying Performance in Fertilizing Saffron Compared to Conventional Liquid Fertilization Spraying Methods

M. H. Saeidirad*, S. Zarifneshat and M. Forouhar

*Corresponding Author: Associate Professor Department of Agricultural Engineering Institute, Khorasan Razavi Agricultural and Natural ResourcesResearch and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.. Email: Saiedirad@yahoo.com
Received: 27 July 2024, Accepted: 14 October 2024
https://doi.org/ 10.22092/amsr.2024.366525.1493

Abstract

In this research, the performance of the drone sprayer and conventional sprayers was evaluated for saffron liquid fertilization. This project was conducted in a completely randomized experimental design with three replications. The treatments used included: drone, atomizer, lance sprayer and without fertilizing (control treatment). The studied parameters included: effective spraying width, spraying time of one-hectare, effective field capacity and efficiency, numerical median diameter (NMD) and volumetric median diameter (VMD) of dissolved particles, drift and efficiency. The results of analysis of variance showed a significant difference between the experimental treatments at the 1% level. Drone sprayer, atomizer and lance sprayer had 19.3, 199.3 and 212.2 liters of fertilizer solution consumption per hectare, 17.5%, 25.4% and 24.7% rate of drift and 5.9, 0.46 and 0.74 hectar per hour field capacity respectively. Also, in the drone sprayer, the VMD was 473 microns, the NMD was 235 microns, and the spraying quality coefficient was 1. 1, which had better spray uniformity than the lance and atomizer device. The evaluation of the effectiveness of all sprayers showed that their effects on agricultural characteristics of the field were significant and the use of lance sprayers and atomizers resulted in higher performance of the saffron field than spraying with a drone sprayer. The yields of 2.4 and 2.3 kg of dry saffron per hectare belong to fertilization spraying with lance and atomizer type, respectively, and also the lowest yield, 2.1 kg/ha, belongs to drone sprayer. In general, liquid fertilization spraying increased the yield of saffron by 20% compared to the control treatment (without spraying).

Keywords: Lance Sprayer, Liquid Fertilization Spraying, Saffron Corm, UAV Sprayer

© 2023 Agricultural Mehanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)