

## ارزیابی پهباد سمپاش در مبارزه با علف‌های هرز گندم و مقایسه آن با روش‌های مرسوم

سعید ظریف‌نشاط<sup>۱\*</sup>، محمدحسین سعیدی‌راد<sup>۲</sup>، محمود صفری<sup>۳</sup>،

سیدحنیف‌رضا معتمدالشریعتی<sup>۴</sup> و مجتبی ناصری<sup>۵</sup>

۱، ۲ و ۵- به ترتیب: دانشجویان بخش تحقیقات فنی و مهندسی؛ و کارشناس ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مدرس مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۳- استادیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- دانش‌آموخته دکتری مکانیزاسیون کشاورزی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲۷

### چکیده

در این پژوهش عملکرد پهباد سمپاش با روش‌های معمول مبارزه با علف‌های هرز مزارع گندم مقایسه شد. این پژوهش در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد استفاده شامل: سمپاشی با پهباد سمپاش، سمپاشی با سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری و سمپاشی با سمپاش توربولاینر (توربینی زراعی) بود. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل عرض پاشش مؤثر، ظرفیت مؤثر و بازده زراعی سمپاش‌ها، مقدار پاشش محلول سم در هکتار، قطر میانه عددی و حجمی ذرات محلول سم، ضریب کیفیت پاشش، مقدار بادبردگی، انرژی مصرفی و اثر بخشی (کارایی) سمپاش‌ها بودند. نتایج برای پهباد سمپاش، سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری و سمپاش توربولاینر به ترتیب برابر با ۱۱/۱، ۳۵۱/۶، 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، ۸۳/۱، ۷۸/۷ و ۶۶/۲ درصد بازده زراعی و ۴۱۸، ۲۸۳۷/۸ و ۴۷۹۶/۲ کیلوژول در هکتار انرژی مصرفی به دست آمدند. ضریب کیفیت پاشش پهباد سمپاش و سمپاش توربولاینر به ترتیب برابر با ۱/۸ و ۴/۲ بود. پس از گذشت ۳۰ روز از سمپاشی، از نظر کارایی عملیات سمپاشی (شامل وزن و تعداد علف‌های هرز مهار شده)، بین تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به قابل قبول بودن نتایج ارزیابی، استفاده از پهباد سمپاش در شرایط فنی و محیطی آزمون، قابل توصیه است.

### واژه‌های کلیدی

ضریب کیفیت سمپاشی، علف‌کش، قطر میانه عددی، قطر میانه حجمی، کارایی سمپاشی

این محصول در کشور با سطح زیر کشت حدود ۶

مقدمه

میلیون هکتار و در استان خراسان رضوی با دارا بودن حدود ۲۹۰ هزار هکتار سطح زیر کشت،

گندم به عنوان یک محصول راهبردی در بین تولیدات کشاورزی جایگاه ویژه‌ای دارد، به طوری که

در حال حاضر، سمپاش‌های متداول مورد استفاده در مزارع گندم برای مبارزه با علف‌های هرز، سمپاش‌های بوم‌دار و لانس‌دار هستند. استفاده از این سمپاش‌ها افزون‌بر مصرف نسبتاً زیاد سم (۳۷۰ تا ۸۵۰ لیتر محلول سم در هکتار) و آلودگی آب و خاک و محیط زیست، باعث فشردگی خاک و لهیدگی محصول نیز می‌شود. در سال‌های اخیر، سمپاش‌های توربینی زراعی، در مقایسه با سمپاش‌های پشت تراکتوری بوم‌دار، به دلیل ظرفیت مزرعه‌ای بالا، کاهش تردد در داخل مزرعه و کمتر لهیده کردن محصول به شکلی روزافزون تولید و به کار گرفته شده‌اند، اما این سمپاش‌ها مشکلاتی نیز دارند که یکی از آنها پایین بودن نسبی یکنواختی پاشش و دیگری متغیر بودن عرض کار در اثر عوامل مختلف در آنهاست (Safari et al., 2010).

بر این اساس، استفاده از روش‌ها و فناوری‌هایی که بتواند بدون ایجاد خسارت‌های ذکر شده و با حداقل آلودگی منابع آب و خاک، علف‌های هرز مزارع گندم را ریشه‌کن کند مورد توجه پژوهشگران، فناوران و کشاورزان پیشرو قرار گرفته است. یکی از این فناوری‌ها که تقریباً چند سالی است در کشور ما مورد استفاده قرار گرفته است، فناوری پهپاد<sup>۱</sup> است. استفاده از پهپادهای کشاورزی و به ویژه پهپاد سمپاش‌ها، گشایش جدیدی برای هوشمندسازی و افزایش کارایی سمپاش‌ها در مزارع و باغ‌ها به وجود آورده است. استفاده از این سمپاش‌ها در مبارزه با آفات و بیماری‌ها، مزایایی مانند مقدار مصرف بسیار کم محلول سم، ظرفیت مزرعه‌ای زیاد و بادبردگی<sup>۲</sup> کم را به همراه داشته است (Safari et al., 2018).

از پهپاد سمپاش در بخش کشاورزی به منظور کنترل موفق آفات در مزارع برنج، سویا و گندم استفاده شده است. در پژوهشی، مقایسه نتایج

مهم‌ترین محصول زراعی است (Anon, 2020). تا کنون روش‌های متعددی برای مبارزه با علف‌های هرز استفاده شده است، اما با وجود مضرات و خطرات ناشی از سمپاشی، کاربرد سموم شیمیایی همچنان اصلی‌ترین روش مبارزه با علف‌های هرز محصولات کشاورزی در ایران و بسیاری از کشورهای جهان است. محدود کردن مصرف آفت‌کش‌ها تا حد ممکن و تأثیر آن روی هدف (Matthews, 2000)، پایه و اساس مدیریت مطلوب آفات از طریق سمپاشی است. عمده نقاط ضعف مدیریت علف‌های هرز مزارع گندم مبارزه دیرهنگام، کاربرد ادوات نامناسب سمپاشی و پایین بودن کیفیت آنها، دسترسی نداشتن به دستورالعمل‌های لازم و رعایت نکردن الگوی کشت مناسب است (Minbashi Moeini et al., 2015). برای کاهش مصرف سموم باید روش‌های سمپاشی اصلاح شود که یکی از اقدامات مؤثر و عملی در این زمینه بررسی عوامل مؤثر بر عملکرد و در نتیجه تنظیم دقیق سمپاش‌ها برای ایجاد قطره‌هایی با اندازه مناسب و پاشش یکنواخت است. اگر قطره‌ها کوچکتر از حد مطلوب باشند، دچار بادبردگی شده و اگر بزرگ‌تر از حد مطلوب باشند از روی برگ گیاهان لغزیده و روی زمین می‌افتند. هر دوی این موارد سبب افزایش آلودگی محیط، کاهش تأثیر سم بر آفت، افزایش مصرف سموم، آسیب به گیاهان مفید و در نهایت زیان‌های اقتصادی ناشی از آنها می‌شود. بنابراین پاشش مناسب از طریق تنظیم دقیق سمپاش‌ها، اولین و مهم‌ترین روش برای رفع مشکلات یاد شده است. بیشترین کاربرد سمپاش‌ها در مزارع گندم برای مبارزه با علف‌های هرز (۵۲٪)، آفات (۴۰٪) و بیماری‌ها (۸٪) است (Safari et al., 2010).

کارایی سمپاش‌های هوایی و زمینی (با سمپاش فرقونی لانس‌دار) در کنترل آفات حاکی از یکسان بودن اثر هر دو روش بر کنترل آفات بود (Heidari & Asri, 2016). این روش می‌تواند هم در مزارع بزرگ و هم در مزارع کوچک به نحو مؤثر مورد استفاده قرار گیرد. مانورپذیری و کنترل مسیر حرکت این دستگاه‌ها در مقایسه با روش‌های مرسوم بسیار آسان است (Huang *et al.*, 2009). در هندوستان برای مبارزه با آفات در محصول بادام‌زمینی و برنج از پهپاد استفاده شده است و بر اساس نتایج، ظرفیت زراعی پهپاد سمپاش در ارتفاع پرواز یک متر از محصول و سرعت پیشروی ۳/۶ کیلومتر بر ساعت، ۱/۱۵ و ۱/۰۸ هکتار در ساعت و هزینه‌های عملیاتی به ترتیب ۳۴۵ و ۳۶۷ روپیه در هکتار به ترتیب برای بادام زمینی و برنج به دست آمده است. از سویی دیگر، یکنواختی پاشش با افزایش ارتفاع و فشار 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).

کارایی سمپاش‌ها، از موارد ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (Giles & Billing, 2015). در پژوهشی دیگر روی گندم در استان فارس، سمپاش میکرونر پشتی به عنوان سمپاش متداول منطقه با پهپاد مجهز به افشانک میکرونر 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 گندم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. به عبارت دیگر، کارایی پهپاد سمپاش در کنترل پوره‌های سن گندم شبیه سمپاش میکرونر پشتی و درصد کارایی آن بیش از ۹۵ درصد بود. ظرفیت زراعی ۵/۵ و ۰/۸ هکتار در ساعت و مقدار محلول مصرفی در هکتار ۱۴/۶۴ و ۳۰ لیتر در هکتار به ترتیب برای پهپاد سمپاش و سمپاش میکرونر پشتی به دست آمد. همچنین 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).

نتایج استفاده از پهپاد سمپاش در تاکستان‌های ایالت کالیفرنیا آمریکا بیانگر موفقیت‌آمیز بودن این نوع سمپاش برای سمپاشی محصولاتمانند انگور که روی داربست و در ارتفاع بالاتری از سطح زمین قرار دارد، بود. بر اساس این پژوهش مقدار مصرف سم بین ۵۰-۱۰ لیتر در هکتار بود. با توجه به گنجایش محدود پهپاد، ظرفیت کاری آن می‌تواند بین ۲-۵ هکتار در ساعت متغیر باشد. در مدل‌های جدید با کاهش تعداد دفعات بارگیری، مقدار ظرفیت کاری افزایش یافته و مقدار پاشش بین ۴۰-۱۰ لیتر در هکتار قابل دسترسی است. مهارت کارور این

در پژوهش دیگری سه تیمار مختلف سمپاشی برای کنترل زنجبرک خرما مقایسه شدند. تیمارها شامل سمپاشی با پهپاد سمپاش، سمپاشی با سمپاش لانس‌دار تراکتوری و شاهد (بدون سمپاشی) بودند. نتایج نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. در سمپاش لانس‌دار و پهپاد سمپاش به ترتیب مقدار مصرف محلول سم ۴۳۷/۷ و ۱۴/۶۴ لیتر در هکتار، مقدار بادبردگی ۴۲/۶ و ۱۱/۰۲ درصد، ظرفیت مزرعه‌ای ۰/۸ و ۵/۵۵ هکتار در ساعت بود. سه روز پس از سمپاشی از نظر کارایی عملیات، بین

این بیماری با هم اختلاف معنی‌داری نداشته 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).

با توجه به گسترش روز افزون استفاده از پهپادهای سمپاش به عنوان یک فناوری جدید برای مبارزه با علف‌های هرز گندم و همچنین عدم انجام پژوهش در زمینه‌ی ارزیابی و اثبات کارایی این فناوری در مبارزه با علف‌های هرز گندم در کشور این پژوهش اجرا شده است.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش، عملکرد پهپاد سمپاش در مقایسه با روش‌های معمول کنترل شیمیایی علف‌های هرز گندم در اواخر اسفندماه ۱۳۹۹ در بخش رضویه شهرستان مشهد، ارزیابی شد. تیمارهای آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار، شامل سمپاشی با پهپاد سمپاش، سمپاشی با سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری و سمپاشی با سمپاش توربولاینر (توربینی زراعی) بودند. مبارزه با هر دو نوع علف‌های هرز باریک برگ و پهن برگ در مرحله‌ی ۴-۲ برگی و در اواسط زمان پنجه‌زنی گندم به طور همزمان و با مخلوط سموم (علف‌کش برای علف‌های هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ) انجام شد. علف‌کش کلودینافوپ پروپارژیل<sup>۱</sup> با نام تجاری تاپیک به مقدار یک لیتر در هکتار برای کنترل علف‌های هرز نازک‌برگ و علف‌کش تری بنورون متیل<sup>۲</sup> با نام تجاری گرانستار به میزان ۲۵ گرم در هکتار برای کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ استفاده شد.

اندازه هر کرت آزمایشی با توجه به عرض کار سمپاش‌ها ۲۰×۳۵ متر در نظر گرفته شد. مشخصات

تیمار پهپاد سمپاش و سمپاش لانس‌دار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، ولی هفت روز پس از سمپاشی، اختلاف معنی‌دار و به ترتیب ۴۰/۸ و ۴۸/۴ درصد به دست آمد. ضریب کیفیت پاشش در سمپاش پهپاد ۱/۳۵ و انرژی مصرفی سمپاش لانس‌دار ۴۴/۴ برابر پهپاد سمپاش گزارش شد (Safari & Sheikhi Garjan, 2020).

در پژوهشی اندازه و تعداد ذرات محلول سم و همچنین سطح پوشش‌دهی ذرات روی هدف در دو ارتفاع پروازی ۲ و ۳ متر و دو سرعت پرواز ۲ و ۳ متر بر ثانیه پهپاد در کنترل علف هرز با هم مقایسه شدند. نتایج 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 ۲ متر در ثانیه و ارتفاع پرواز ۲ متر بود. قطر میانه حجمی در این تیمار ۴۴۸/۷ میکرومتر به دست آمد (Ahmad et al., 2020). نتایج ارزیابی کاربرد پهپاد سمپاش برای کنترل علف‌های هرز گندم نشان داد که این روش سمپاشی هنگام استفاده از علف‌کش پیش‌رویشی خسارتی برای محصول نداشته است ولی در هنگام کاربرد علف‌کش پس‌رویشی در ۱۰ تا ۲۰ درصد محصول گندم خسارت وارد شده است. با این وجود در تمام تیمارهای پهپاد، در مقایسه با عدم سمپاشی، کنترل و مهار علف‌های هرز مشاهده شد (Chen et al., 2019). در پژوهش دیگری اثر استفاده از پهپاد سمپاش در مقایسه با سمپاش پشتی برقی در کنترل بیماری بلاست برنج ارزیابی شد. پارامترهای مورد ارزیابی شامل مقدار پوشش‌دهی و نفوذ سم در تاج گیاه، تراکم محلول سم روی هدف و همچنین کارایی سمپاش بودند. نتایج نشان داد که کارایی این دو سمپاش در کنترل

سمپاش‌ها در جداول ۱ و ۲ بیان شده است. در XR11001VS آن و در شکل ۲ سمپاش‌های بوم‌دار شکل ۱ پهپاد سمپاش و افشانک نوع تی جت مدل و توربینی زراعی نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات پهپاد سمپاش  
Table 1- UAV sprayer specification

مشخصات	ویژگی
MG-1P	Model مدل
DJI	Company شرکت سازنده
1460 × 1460 × 578 mm	ابعاد (در حالت باز بودن ملخ‌ها) Dimensions (opened aircraft propeller)
780 × 780 × 578 mm	ابعاد (در حالت بسته بودن ملخ‌ها) Dimensions (closed aircraft propeller)
6	تعداد موتورهای دمنده Number of engines
4	تعداد افشانک‌ها Number of nozzles
XR11001VS (Tee Jet)	نوع نازل Nozzle model
6 meter	بیشترین عرض پاشش (اسمی) Maximum Spraying width (nominal)
1.3-5 m upper the product	ارتفاع پاشش Spraying height
0.45 L.min <sup>-1</sup>	بیشترین مقدار پاشش Maximum spraying rate
9.8 kg (no battery)	وزن پرنده (مخزن خالی، بدون باتری) Weight
3 bar	فشار پمپ Pump pressure
Lithium polymer battery, 4920 mAh	منبع تغذیه Power supply
24.8 kg	حداکثر وزن برخاست Maximum takeoff weight
10 L	حجم مخزن Tank volume
0-40 Celsius degree	بازه دمایی کاری Operating temperature range
0-15 m.s <sup>-1</sup>	محدوده سرعت حرکت Speed range
9-20 min	مداومت پروازی Hovering time

جدول ۲- مشخصات سمپاش‌های بوم‌دار پشت تراکتوری و توربولاینر

Table 2- Specifications of boom and field turbine sprayers

مشخصات Specification						نوع سمپاش Type of sprayers
فشار پمپ Pump pressure	دبی پمپ Pump rate	نوع پمپ Pump type	نوع و تعداد نازل Type and number of nozzles	حجم مخزن Tank Volume	عرض کار Width	
0-40 bar	54 L.min <sup>-1</sup>	Diaphragm piston	32 pieces 11003	2000 L	16 m	بوم‌دار پشت تراکتوری boom sprayer
0-50 bar	92 L.min <sup>-1</sup>	Diaphragm piston	11 pieces Ceramic	700 L	30-50 m	توربولاینر turboliner



شکل ۱- پهپاد سمپاش (راست) و افشانک مورد استفاده در آن (چپ)

Fig. 1- Dron sprayer (right) and its' nuzzles (left)



شکل ۲- سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری (بالا) و سمپاش توربولاینر (پایین)

Fig. 2- boom sprayer (up) and field turbine sprayer (down)

آخرین کارت رنگی شده با پراکنش تعداد ۲۰ الی ۳۰ ذره در سانتی متر مربع، اندازه‌گیری شد ( Safari & Bagheri, 2021). برای سمپاش توربولاینر با توجه به عرض کار زیاد (۵۰-۳۰ متر) کارت‌های حساس با فاصله‌های حداکثر ۵ متری از هم قرار داده شد و عرض کار مؤثر مطابق روش بالا اندازه‌گیری شد. در سمپاش بوم‌دار نیز با توجه به ارتفاع حدود ۵۰ سانتی‌متری بوم از سر محصول، عرض کار مؤثر از

پارامترهای ارزیابی شده به شرح زیر است:

#### عرض کار مؤثر

عرض کار پهپاد سمپاش وابسته به نوع افشانک، ارتفاع پرواز، و فاصله بین پاشش دورترین افشانک‌ها از هم است. ارتفاع پرواز پهپاد و نوع افشانک نیز بر عرض کار مؤثر تأثیرگذار است. کارت‌های حساس به آب به فاصله‌ی ۰/۵ متری از یکدیگر عمود بر جهت حرکت پهپاد قرار داده شد و فاصله‌ی بین اولین و

عرض کار مؤثر هر سمپاش و سرعت پیشروی آن، ظرفیت زراعی تئوری و بازده مزرعه‌ای مطابق روابط ۲ و ۳ محاسبه شدند (Safari & Bagheri, 2021).

$$C_t = \frac{v \times w}{10} \quad (2)$$

که در آن،

$C_t$  = ظرفیت زراعی تئوری (هکتار در ساعت).

$$E = \frac{C_o}{C_t} \times 100 \quad (3)$$

که در آن،

$C_o$  = ظرفیت زراعی مؤثر (هکتار در ساعت)؛

و  $E$  = بازده مزرعه‌ای (درصد).

#### انرژی مصرفی (ظرفیت مکانیزاسیون)

اندازه‌گیری توان مصرفی برای سمپاش‌های بوم‌دار و توربولاینر، با استفاده از دستگاه دینامومتر دورانی شش خار مدل Datum ساخت کشور انگلستان در سرعت ۵۴۰ دور بر دقیقه محور سمپاش، انجام شد (شکل ۳). حداکثر مقدار توان الکتریکی مصرفی (وات) پهپاد سمپاش مطابق کاتالوگ دستگاه تعیین شد. در نهایت با توجه به زمان سمپاشی در هر هکتار، از ضرب توان مصرفی در مدت زمان کاربرد پهپاد، انرژی مورد نیاز هر دستگاه بر حسب کیلو ژول بر هکتار محاسبه شد (Safari et al., 2018).

حاصل‌ضرب تعداد افشانک‌ها در فاصله بین آنها به دست آمد.

#### اندازه‌گیری مقدار محلول مصرفی

در هر یک از سمپاش‌ها به منظور کالیبراسیون و آماده کردن آنها پیش از عملیات، در فشار مشخصه پمپ (۳ بار در پهپاد سمپاش، ۵ بار در سمپاش بوم‌دار و ۲۵ بار در سمپاش توربولاینر)، زیر هر یک از افشانک‌ها ظرفی قرار داده شد و مقدار خروجی آب در یک دقیقه اندازه‌گیری شد و مقدار پاشش بر حسب لیتر در دقیقه به دست آمد. مقدار دز سم مصرفی در هکتار برای هر یک از روش‌ها یکسان بود. مقدار پاشش محلول سم در هر هکتار با در نظر گرفتن سرعت پیشروی و عرض پاشش از رابطه ۱ محاسبه شد (Bagheri & Safari, 2020).

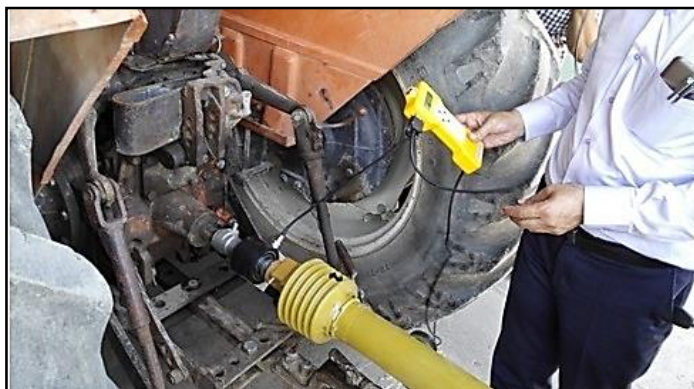
$$L = \frac{600Q}{V \times W} \quad (1)$$

که در آن،

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

#### ظرفیت و بازده مزرعه‌ای

ابتدا زمان لازم برای سمپاشی یک هکتار به وسیله کرونومتر اندازه‌گیری و ظرفیت زراعی مؤثر (هکتار در ساعت) محاسبه شد. سپس با توجه به



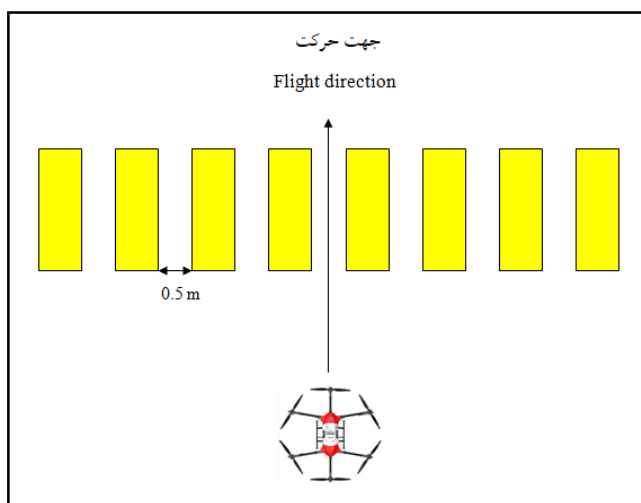
شکل ۳- اندازه‌گیری توان مصرفی با دینامومتر دورانی

Fig. 3- Measuring power consumption with a rotary dynamometer

#### اندازه‌گیری ضریب کیفیت پاشش سم

برای اندازه‌گیری تعداد و قطر قطره‌های ریخته شده روی کاغذهای حساس به آب از روش پردازش تصویر و از نرم‌افزار سنجش ذرات (SIBA) استفاده شد (Daneshjoo, 2006). کاغذهای حساس به آب، آغشته به محلول برموفنل آبی بوده و به محض برخورد قطرات آب با سطح کاغذ، لکه‌هایی به رنگ آبی در نتیجه یونیزه شدن رنگ اصلی، بر سطح کاغذ پدیدار می‌شود. از این کاغذها می‌توان برای سنجش تعداد و اندازه قطره‌های محلول سم در واحد سطح و محاسبه درصد پوشش محلول سم استفاده کرد. در

هر یک از تیمارهای آزمایشی، این کارت‌ها مطابق شکل ۴، روی زمین و در معرض سمپاشی سمپاش‌ها قرار داده شدند. با توجه به شدت جریان باد ایجاد شده به وسیله ملخ‌های پهنپاد و جریان هوای ایجاد شده به وسیله سمپاش توربولاینر و احتمال حرکت کارت‌ها از محل قرارگیری، قطعاتی از شیشه با ابعادی بزرگ‌تر از کارت تهیه و کارت‌ها با استفاده از چسب روی آن ثابت شد. برای تعیین کیفیت سمپاشی، موارد زیر اندازه‌گیری شدند. شکل ۴ آرایش قرارگیری کاغذهای حساس به آب را نشان می‌دهد.



شکل ۴- نحوه قرارگیری کاغذهای حساس به آب

Fig. 4- Deployment of water sensitive papers



## مقدار بادبردگی

که در آن،

$p$ : می‌تواند مقادیر ۱، ۲، ۳ و ۴ باشد؛  $q$  می‌تواند مقادیر ۰، ۱، ۲ و ۳ باشد؛  $D_i$  قطر قطره برای گروه  $i$ ام؛  $N_i$  = تعداد قطره در گروه  $i$ ام؛  $i$  = اعداد اندازه گروه؛ و  $n$  = تعداد گروه اندازه‌ها. برای محاسبه قطر میانگین عددی  $p=1$  و  $q=0$  و قطر میانگین حجمی  $p=3$  و  $q=0$  در نظر گرفته می‌شود.

قطر میانۀ عددی<sup>۱</sup> (NMD)، قطر ذره‌ای است که کل تعداد قطره‌های بزرگ‌تر از آن معادل کل تعداد قطره‌های کوچک‌تر از آن است. یعنی اگر کل ذرات چیده شده به ترتیب قطر را از یک طرف شروع به شمارش نماییم، ذره‌ای که در وسط قرار گیرد، قطر میانۀ عددی است.

یکی از روش‌های تعیین قطر تقریبی، روش بزرگ‌نمایی<sup>۲</sup> است. در این روش، اندازه قطره‌ها گروه‌بندی می‌شوند و سپس میانۀ آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. با تشکیل جدول فراوانی و تعیین قطر قطراتی که در ۵۰ درصد فراوانی قرار دارند مقادیر قطر میانۀ عددی و قطر میانۀ حجمی تعیین می‌شوند. برای سنجش قطرات ثبت شده روی کاغذهای حساس به آب، هر تیمار به طور جداگانه به وسیله اسکنر با قدرت تفکیک ۶۰۰ dpi اسکن شدند. برای افزایش دقت و کاهش خطا در آنالیز نرم‌افزار SIBA به دلیل نایکنواختی رنگ‌آمیزی کاغذها با آب، تمام تصاویر اسکن کاغذها، در محیط نرم‌افزار فتوشاپ نسخه شش، ویرایش شدند. روش کار بدین صورت بود که ابتدا تصویر را در برنامه فتوشاپ باز کرده، سپس با استفاده از ابزار Magic Want Tool از منو دستور Select و

برای تعیین مقدار بادبردگی، پیش از سمپاشی در بیرون هر کرت آزمایشی و به فاصله ۱۰ متر از حاشیه هر کرت، تعداد ۲۰ عدد کارت حساس به آب، در جهت وزش باد به صورت عرضی و به فواصل ۰/۵ متر از هم و عمود بر جهت حرکت سمپاش‌ها قرار داده شد. پس از عملیات، این کارت‌ها جمع‌آوری و درصد کارت‌هایی که در معرض قطرات سم قرار گرفتند تعیین و مقدار بادبردگی محاسبه شد. سرعت باد هنگام آزمایش یک تا ۱/۵ متر در ثانیه، دمای هوا ۱۸-۲۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی هوا ۳۵ درصد و سرعت حرکت پهباد ۱۸-۱۶ کیلومتر در ساعت اندازه‌گیری شد (Safari et al., 2010; Safari & Bagheri, 2021).

## قطر میانۀ حجمی و قطر میانۀ عددی

قطر میانۀ حجمی<sup>۱</sup> (VMD)، قطر ذره‌ای است که در مرز نصف حجمی قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر این قطر، قطرات پاشیده شده را از نظر اندازه حجم به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند، به طوری که نیمی از حجم مزبور شامل قطره‌هایی است که قطر آنها کوچک‌تر از قطرهای است که قطر آن برابر قطر میانۀ حجمی است و نیم دیگر حاوی قطره‌هایی با قطری بزرگ‌تر از آن است. این پارامتر به طور وسیع در ارتباط با اندازه قطرات محلول سم به کار می‌رود و بر حسب میکرون سنجیده می‌شود. این مقدار با استفاده از رابطه ۴ قابل محاسبه است (Naseri, 2007; Safari et al., 2018).

$$D_{p-q}^{p-q} = \left( \frac{\sum N_i \cdot D_i^p}{\sum N_i \cdot D_i^q} \right)^{1/(p-q)} \quad (4)$$

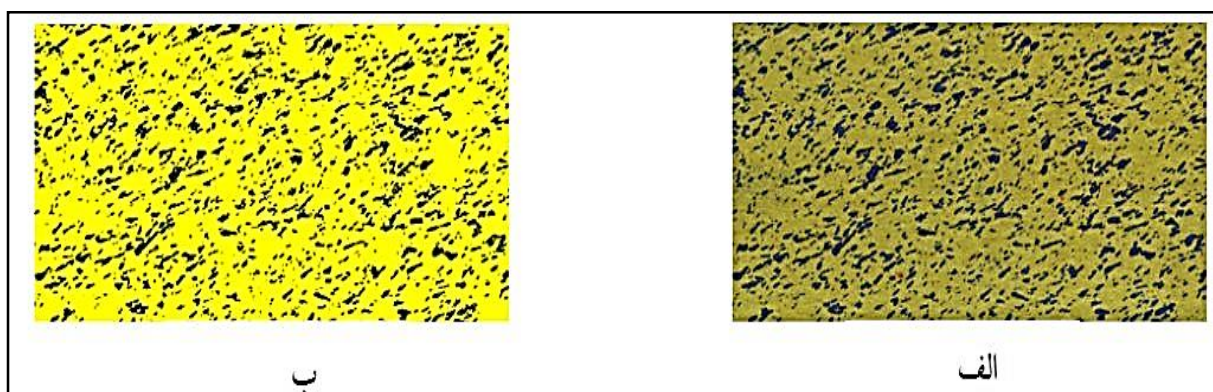
1- Volume Median Diameter  
3- Scale up

2- Number Median Diameter

سپس ابزار قلم مو (brush tool) از منو انتخاب شد (کلید میان‌بر B) رنگ مورد نظر انتخاب شد. برای بهتر کردن کیفیت تصویر، روی لایه جدیدی که ایجاد شده بود با راست کلیک کردن از گزینه blending options حالت‌های ترکیبی مختلف را انتخاب کرده که حالت Color و Hue طبیعی‌ترین نتایج را به ما ارائه می‌دهد.

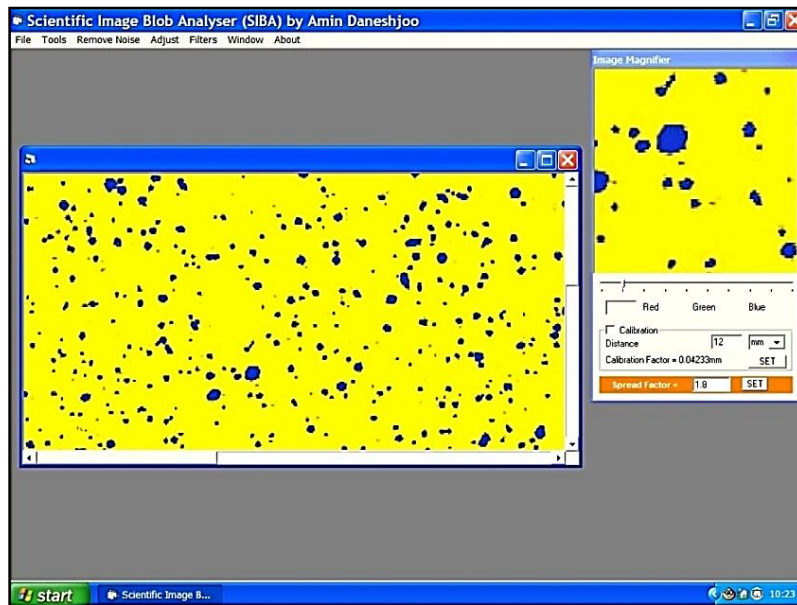
پس از ویرایش تصاویر، رنگ اثر ذرات پاشیده شده از رنگ زمینه کارت کاملاً تمایز پیدا کرد (شکل ۵) و سپس با استفاده از نرم‌افزار SIBA (شکل ۶) قطره‌های میانه حجمی و عددی برای هر نمونه تعیین شد. مراحل انجام کار در این نرم‌افزار با توجه به الگوریتم‌های برنامه‌نویسی شده به ترتیب شامل فراخوانی تصویر پردازش شده، تبدیل تصویر رنگی به یک تصویر باینری (تبدیل قطره‌ها به یک رنگ و پس زمینه به رنگ دیگر)، محاسبه اندازه واقعی سطح قطره با داشتن تعداد پیکسل‌ها، محاسبه قطر واقعی قطره، محاسبه قطر میانه حجمی، انحراف معیار قطرات و درصد پوشش سطح کارت به وسیله قطره‌ها تعیین می‌شود (Daneshjoo, 2006; Naseri, 2007).

سپس Color Range را انتخاب می‌کنیم. یک پنجره شده که در آن یک نسخه سیاه و سفید از تصویر مشاهده می‌شود. با تیک زدن گزینه Localized Color Clusters امکان انتخاب رنگ‌ها وجود دارد. همچنین می‌توان اسلایدرهای Fuzziness و Range را نیز تنظیم کرد. در مرحله بعد پس از یکبار کلیک موس که به شکل قطره‌چکان درآمده است می‌توان قسمتی از تصویر را که می‌خواهیم انتخاب کنیم، در دفعات بعد کلیک shift را نگه داریم تا بتوان قسمت‌های دیگری را نیز به قسمت قبلی اضافه کرد. پس از پایان انتخاب نواحی مختلف تصویر با رنگ مشخص، روی دکمه OK کلیک شد و رنگ‌های انتخاب شده در تصویر دیده شد. پس از این که قسمت‌های مورد نظر خود برای تغییر رنگ را در تصویر انتخاب شد، با استفاده از منو به Layer > New > Layer و یا کلیدهای Shift-Ctrl-N یک لایه جدید ایجاد گردید تا تغییراتی که روی تصویر انجام می‌دهیم غیرمخرب باشد و به صورت مستقیم روی لایه اصلی تصویر اعمال نشود و امکان بازگردانی وجود داشته باشد.



شکل ۵- نمونه کاغذ حساس به آب به ترتیب: الف) قبل و ب) بعد از ویرایش با نرم افزار فتوشاپ

Fig. 5- Sample of water-sensitive paper, before (right) and after (left) editing with Photoshop software



شکل ۶- تعیین قطرهای میانه عددی و حجمی با استفاده از نرم‌افزار SIBA

Fig. 6- Determination of number and volume median diameters, using SIBA software

علف‌های هرز، مهم‌ترین فاکتور تعیین وزن علف‌های هرز مهار شده در هر تیمار و مقایسه با هم است. در این پژوهش علاوه بر تعیین وزن علف‌های هرز، تعداد علف‌های هرز (تراکم) در متر مربع نیز به عنوان یک فاکتور کمکی مدنظر قرار گرفت. برای ارزیابی کارایی سم‌پاش‌ها در کنترل علف‌های هرز، نمونه‌گیری از جمعیت علف‌های هرز در یک مرحله و ۳۰ روز پس از اعمال مبارزه شیمیایی، با کادر اندازی تصادفی (با مساحت ۰/۲۵ متر مربع) در تیمارها صورت گرفت و بر اساس آنها، تراکم و وزن خشک علف‌های هرز در متر مربع اندازه‌گیری شد (Hadizadeh *et al.*, 2019). در این آزمایش تراکم محصول ۴۵۰-۴۰۰ بوته در متر مربع و ارتفاع محصول در هنگام بررسی کارایی سمپاش‌ها ۲۵-۲۰ سانتی‌متر بود.

پس از تعیین پارامترهای مورد مطالعه، نتایج تیمار با نرم‌افزار SPSS در دو قالب طرح کاملاً تصادفی و آزمون *t* مقایسه شدند.

ضریب کیفیت<sup>۱</sup> پاشش

از تقسیم قطر میانه حجمی (VMD) بر قطر میانه عددی (NMD) ضریب کیفیت سمپاشی به دست می‌آید (رابطه ۵). در حالت ایده‌آل این ضریب برابر یک است ولی در عمل با توجه به شرایط کار، نوع افشانک و نوع و مدل سمپاش، دستیابی به این کیفیت سمپاشی غیرممکن است. هرچه این عدد نزدیک به یک باشد کیفیت سمپاشی بیشتر خواهد بود (Naseri, 2007).

$$Q_c = \frac{VMD}{NMD} \quad (5)$$

که در آن،

$VMD$  = قطر میانه حجمی (بر حسب میکرومتر)؛  
 $NMD$  = قطر میانه عددی (بر حسب میکرومتر)؛ و  
 $Q_c$  = ضریب کیفیت سمپاشی.

کارایی سمپاش‌ها

برای بررسی کارایی سمپاش‌ها در مبارزه با

1- Quality Coefficient

## نتایج و بحث

بادبردگی، انرژی مصرفی، وزن خشک و تراکم علف‌های هرز به ترتیب ۱، ۰/۷۵، ۰/۹۲، ۱۲/۵، ۱۳/۸، ۱۹۰۹، ۰/۳۲ و ۰/۹ محاسبه گردید. در سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری به علت بده بیشتر و فاصله نسبتاً کم افشانک‌ها از کارت‌های حساس به آب، سطح کارت‌ها کاملاً مرطوب شده، به طوری که محاسبه قطرهای میانه عددی و حجمی قطرات محلول و به تبع آن ضریب کیفیت سمپاشی، امکان‌پذیر نبود. بنابراین، این صفت فقط برای پهباد سمپاش و سمپاش توربولاینر محاسبه و سپس نتایج با آزمون  $t$  مقایسه شدند.

نتایج نشان داد که مقدار محلول سم مصرفی، ظرفیت مؤثر و بازده مزرعه‌ای، انرژی مصرفی، بادبردگی و ضریب کیفیت پاشش سمپاش‌ها در سطح احتمال یک درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشته است. همچنین، پارامتر کارایی سمپاش‌ها (وزن خشک علف‌های هرز در متر مربع ۳۰ روز پس از سمپاشی) در سطح احتمال پنج درصد هم با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). ضریب تغییرات کل برای زمان سمپاشی، ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای، بازده زراعی، محلول سم مصرفی،

جدول ۴- خلاصه تجزیه واریانس پارامترهای عملکردی سمپاش‌ها (میانگین مربعات)

Table 4- Summary of analysis of variance of performance parameters of sprayers (mean square)

کارایی Efficiency		انرژی مصرفی Energy consumption	بادبردگی Endo-Drift	محلول مصرفی Consumed solution	بازده زراعی Field Efficiency	ظرفیت مؤثر Field Capacity	زمان سمپاشی Time of spraying	درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییر Source of variation
تراکم علف‌های هرز weeds Density	وزن خشک علف هرز Dry Weed weight								
2.4*	0.261 <sup>ns</sup>	14430000**	758.1**	91524.5**	230.42**	2.26**	3.97**	2	تیمار (سمپاش‌ها) Treatments (sprayers)
0.278	0.052	50605.41	3.54	52.93	6.925	0.012	0.02	6	خطا Errors

\* و \*\*: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

لیتر بود که در سطح احتمال یک درصد با هم اختلاف معنی‌دار داشتند. نکته قابل توجه، پاشش بسیار کم محلول سم به وسیله پهبادسمپاش است. علت اصلی این امر این است که در این سمپاش از افشانک نوع XR11001VS استفاده شده است، به طوری که قطرات محلول سم ریزا و بده آن هم کمتر از افشانک دو نوع سمپاش دیگر است. ظرفیت

از نتایج تجزیه و تحلیل واریانس (جدول ۴) و مقایسه میانگین‌های این آزمایش (جدول ۵) موارد زیر استنتاج شد.

## مقدار محلول سم مصرفی

بیشترین مقدار محلول سم مصرفی در هکتار مربوط به سمپاش بوم‌دار، سمپاش توربولاینر و پهباد سمپاش به ترتیب با ۳۵۱/۵۹، ۲۴۹/۱۴ و ۱۱/۱۴

همکاران (Safari et al., 2010)، بازده مزرعه‌ای سمپاش‌های بوم‌دار، لانس‌دار، توربولاینر و میکرونر را به ترتیب ۸۳/۶، ۴۸/۸، ۶۱/۴ و ۸۵/۵ درصد گزارش کردند. در پژوهش دیگری ظرفیت زراعی پهپاد سمپاش در مبارزه با سن‌گندم ۵/۵۵ هکتار در ساعت ارائه شد که نتیجه آن با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد (Safari & Sheikhi Garjan, 2020).

#### بادبردگی

با توجه به جدول ۵، بین سمپاش‌ها از نظر بادبردگی محلول سم، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. بیشترین بادبردگی در سمپاش توربولاینر به مقدار ۳۸/۶ درصد بود و بعد از آن پهپاد سمپاش با ۱۶/۸ درصد و سمپاش بوم‌دار با ۷/۷ درصد در رده‌های بعد قرار گرفتند. بادبردگی متأثر از عوامل فنی (نوع افشانک، فشار پمپ و ارتفاع سمپاشی) و محیطی (درجه حرارت، رطوبت نسبی هوا و سرعت باد) است. جریان هوای رو به پایین تولید شده به وسیله روتورهای پهپاد سمپاش موجب نشست بهتر سم و کاهش بادبردگی نسبت به سمپاش توربولاینر است (Sheikhi Garjan, 2019). سمپاش بوم‌دار به علت فاصله کم افشانک‌ها از محصول و حجم محلول مصرفی زیاد و احتمالاً قطر ذرات بزرگ‌تر، کمترین بادبردگی را داشت اما معایبی مانند شاره‌کردن سم از روی محصول، آلودگی‌های محیطی و لهیدگی محصول را به دنبال داشت.

#### انرژی مصرفی (ظرفیت مکانیزاسیون)

همان‌طور که در جدول ۵ بیان شده است، کمترین مقدار انرژی مصرفی با ۴۱۸ کیلو ژول در هکتار مربوط به پهپاد سمپاش بوده و بعد از آن سمپاش بوم‌دار با ۲۸۳۷/۷ و سمپاش توربولاینر با

مزرعه‌ای بیشتر از دیگر عوامل پاشش کمتر محلول سم در هکتار به وسیله این سمپاش است. این نتایج با یافته‌های سایر محققان نیز هم‌خوانی دارد (Sheikhi Garjan et al., 2019; Safari et al., 2020).

#### ظرفیت و بازده زراعی

مدت زمان سمپاشی در هکتار برای سمپاش‌های توربولاینر، پهپاد سمپاش و سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری به ترتیب ۷/۸، ۸/۹ و ۱۰/۱ دقیقه اندازه‌گیری شد که در سطح احتمال پنج درصد با هم اختلاف معنی‌داری داشتند. علت این امر مربوط به اختلاف در عرض کار مؤثر و سرعت پیشروی حین سمپاشی بود. میانگین عرض کاری مؤثر برای سمپاش‌های مذکور به ترتیب ۳۴/۷، ۴/۷ و ۱۶ متر و میانگین سرعت پیشروی به ترتیب برابر ۳/۳، ۱۷/۳ و ۴/۷ کیلومتر در ساعت به دست آمد.

با توجه به جدول ۵ می‌توان گفت بیشترین ظرفیت زراعی مربوط به سمپاش توربولاینر با ظرفیت ۷/۷ هکتار در ساعت بود و پهپاد سمپاش (با متوسط عرض پاشش مؤثر ۴/۷ متر) با ظرفیت ۶/۷ و سمپاش بوم‌دار با ۵/۹ هکتار در ساعت در رده‌های بعدی قرار گرفتند. بیشترین بازده مزرعه‌ای به مقدار ۸۳/۱ و ۷۸/۷ درصد به ترتیب مربوط به پهپاد سمپاش و سمپاش بوم‌دار بود و با سمپاش توربولاینر با بازده زراعی ۶۶/۲ درصد، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد داشتند. در سمپاشی با پهپاد سمپاش به علت سرعت زیاد سمپاشی، اتلاف زمانی کمتر (به ویژه در دور زدن‌ها و پر کردن مخزن) و مشخص بودن مسیر سمپاشی، به نحو مؤثری از اتلاف زمان جلوگیری شده و در نتیجه بازده مزرعه‌ای بیشتری به دست آمد. صفری و

کیفیت پاشش سمپاش پهپاد به طور معنی‌داری از سمپاش توربولاینر بیشتر است. هرچند که ضریب یکنواختی پاشش ویژگی مهمی در سمپاشی به حساب می‌آید، اما در بررسی یکنواختی پاشش فقط این عدد نباید معیار تصمیم‌گیری قرار گیرد و لازم است که مقدار تک‌تک و مطلق آن‌ها را نیز مدنظر قرار داد. به عنوان مثال، وقتی میانگین قطر حجمی و عددی به ترتیب ۱۰۰۰ و ۵۰۰ میکرومتر باشند، ضریب یکنواختی پاشش، عدد دو می‌شود. همین‌طور وقتی میانگین قطر حجمی و عددی به ترتیب ۱۰۰ و ۵۰ میکرومتر باشند، باز هم ضریب یکنواختی پاشش، عدد دو خواهد شد، در حالی که برای مبارزه با آفت‌ها حالت دوم که قطره‌ها ریزتر هستند، مطلوب‌تر است. بنابراین، هنگام تفسیر نتایج مربوط به یکنواختی پاشش، باید قطر میانه‌ی عددی و قطر میانه‌ی حجمی را با هم در نظر داشت. پژوهشگران دیگر مقدار نسبت یکنواختی پاشش را برای سمپاش توربینی زراعی (توربولاینر) با در نظر گرفتن فشارهای مختلف پمپ، سرعت پیشروی مختلف و قطرهای مختلف روزنه افشانک، ۲/۶، ۳/۶ و ۸/۸ به دست آوردند (Nasari, 2007; Nafari et al, 2010).

۴۷۹۶/۲ کیلوژول در هکتار در رده‌های بعدی قرار گرفتند. در واقع انرژی مصرفی پهپاد سمپاش حدود شش برابر کمتر از سمپاش بوم‌دار و ۱۱ برابر کمتر از سمپاش توربولاینر است. سایر پژوهشگران نیز انرژی مصرفی پهپاد را در مقایسه با سمپاش لانس دار ۱/۷ برابر کمتر برآورد کردند (Safari et al., 2020).

#### کارایی سمپاش‌ها

بر اساس نتایج در سطح احتمال یک درصد کارایی سمپاش‌ها با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. وزن علف‌های هرز خشک در هر متر مربع بین ۲ تا ۲/۶ گرم تعیین شد. نتایج نشان داد که تأثیر سمپاشی با سمپاش‌های مختلف بر مهار علف‌های هرز یکسان بوده و تفاوتی بین تیمارها نبود.

#### کیفیت سمپاشی

میانگین قطر میانه عددی (NMD) سمپاش پهپاد و سمپاش توربولاینر به ترتیب ۲۵۰ و ۱۲۱ میکرومتر و میانگین قطر میانه حجمی (VMD) آنها به ترتیب ۴۶۳ و ۵۰۸ میکرومتر به دست آمد. ضریب کیفیت سمپاشی برای سمپاش پهپاد و سمپاش توربولاینر به ترتیب برابر با ۱/۸ و ۴/۲ به دست آمد. نتیجه مقایسه میانگین‌ها نشان داد که

جدول ۵- مقایسه میانگین پارامترهای عملکردی سمپاش‌ها

Table 5- Comparison of averages of sprayers performance parameters

ضریب کیفیت سمپاشی Spraying quality coefficient	کارایی Efficiency		انرژی مصرفی (کیلوژول) Energy consumption (KJ)	بادبردگی (درصد) Endo-Drift (%)	محلول مصرفی (لیتر در هکتار) Consumed solution (L/ha)	بازده زراعی (درصد) Field Efficiency (%)	ظرفیت مؤثر (هکتار در ساعت) Field Capacity (ha/hr)	زمان سمپاشی (دقیقه) Time of spraying (min)	تیمار (سمپاش‌ها) Treatments (sprayers)
	تراکم علف هرز (تعداد در متر مربع) weeds	وزن خشک علف هرز (گرم در متر مربع) Dry Weed weight							
1.78a	6.46ab	2.36a	418.08a	16.76b	11.14a	83.14a	6.72b	8.93b	پهپاد سمپاش Drone
-	5.8a	2.07a	2837.8b	7.66a	351.59b	78.76a	5.92c	10.13c	سمپاش بوم‌دار Boom sprayers
4.23b	7.59b	2.66a	4796.2c	38.6c	249.14c	66.25b	7.66a	7.83a	سمپاش توربولاینر turboliner

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

## نتیجه‌گیری

سمپاش و سمپاش بوم‌دار به ترتیب با ۱۶/۷ و ۷/۷ درصد بادبردگی در رده‌های بعد قرار گرفتند. از بین سمپاش‌های مورد مقایسه، سمپاش توربولاینر با ۴۷۹۶ کیلوژول در هکتار، بیشترین مصرف انرژی را داشت و بعد از آن به ترتیب سمپاش بوم‌دار و پهپاد سمپاش با ۲۸۳۸ و ۴۱۸ کیلوژول در هکتار، رده‌های بعدی را به خود اختصاص دادند. با توجه به مقادیر وزن خشک و تراکم علف‌های هرز مهار شده، کارایی سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری بیش از پهپاد سمپاش بود ولی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. اما کارایی سمپاش توربولاینر با اختلاف معنی‌دار کمتر از این دو بوده است.

با توجه به نتایج به دست آمده پهپاد سمپاش در چهار پارامتر (بازده مزرعه‌ای، محلول مصرفی سم، انرژی مصرفی و ضریب کیفیت سمپاشی) عملکرد بهتری نسبت به دو نوع سمپاش دیگر داشته و در یک پارامتر (ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای) سمپاش توربولاینر بیشترین عملکرد را داشت.

در پژوهش حاضر سه نوع سمپاش شامل پهپاد سمپاش، سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری و سمپاش توربولاینر از نظر پارامترهای فنی و کارایی برای مبارزه با علف هرز گندم ارزیابی شدند.

سمپاش توربولاینر، پهپاد سمپاش و سمپاش بوم‌دار به ترتیب با ۷/۷، ۶/۷ و ۵/۹ هکتار در ساعت بیشترین ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر را داشتند. پهپاد سمپاش و سمپاش بوم‌دار به ترتیب با ۸۳/۱ و ۷۸/۷ درصد به طور معنی‌داری بازده مزرعه‌ای بالاتری از سمپاش توربولاینر (۶۶/۳ درصد) داشتند. از نظر مقدار محلول مصرفی سم در هکتار نیز پهپاد سمپاش با مقدار ۱۱/۱ لیتر در هکتار کمترین مقدار و سپس سمپاش توربولاینر و سمپاش بوم‌دار به ترتیب با ۲۴۹/۱ و ۳۵۱/۶ لیتر در هکتار در رده‌های بعد قرار گرفتند. مقایسه بادبردگی سمپاش‌ها نشان داد که بیشترین مقدار بادبردگی مربوط به سمپاش توربولاینر (۳۸/۶ درصد) بود و بعد از آن پهپاد

## 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.
- Anon. (2020). *Agricultural statistics report*. Ministry of Agriculture. Jahad Pub. (in Persian)
- Bagheri, N., & Safari, M. (2020). Drone sprayer recognition. *Technical Report*. Agricultural Engineering Research Institute Extension. (in Persian)
- Chen, Y., Qi, H., Li, G., & Lan, Y. (2019). Weed control effect of unmanned aerial vehicle (UAV) application in wheat field. *International Journal of Precision Agriculture Aviation*, 2(2), 25-31.
- Daneshjoo, A. (2006). Introducing and evaluating a suitable software for sprayers calibration and other similar purposes. Msc dissertation, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian)
- Giles, D. K., & Billing, R. C. (2015). Deployment and performance of a UAV for crop spraying. *Chemical Engineering Transactions*, 44, 307-312.
- Hadizadeh, M. H., Sharifi, H., & Torabi, S. (2019). Chemical management efficacy in conventional and conservation agricultural systems at cold region of Khorasan-Razavi. *Iranian Journal of Weed Science*, 15(2), 1-14. (in Persian)
- Heidari, M., & Asari, M. (2016). *Evaluation of aerial spraying efficiency in Dubasbug Ommatissus lybicus control*. *Proceedings of the 22<sup>th</sup> Iranian Plant Protection Congress*, Aug. 27-30, Karaj, Iran. (in Persian)
- Huang, Y., Hoffmann, W. C., Lan, Y., Wu, W., & Fritz, B. K. (2009). Development of a spray system for an unmanned aerial vehicle platform. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(6), 803-809.
- Matthews, G. A. (2000). *Pesticide application methods*. 3<sup>rd</sup> Ed. Blackwell science, London.
- Minbashi-Moeini, M., Esfandiari, H., Pour Azar, R., & Baghestani, M. (2015). Evaluation of weed management in wheat fields of different area of Iran. *Journal of Iranian weed science*, 11(1), 13-26. (in Persian)
- Naseri, M. (2007). Investigating and evaluating effective factors on performance of field air-assisted sprayer. (*M. Sc. Thesis*), Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian)
- Safari, M., & Bagheri, N. (2021). Selection and evaluation criteria for UAV sprayers. *Technical Report*. Agricultural Engineering Research Institute Extension. (in Persian)
- Safari, M., Amirshaghghi, F., Lovaimi, N., & Chaji, H. (2010). Evaluation of conventional sprayers in wheat farms. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 10(4), 1-12. (in Persian)
- Safari, M., Sheikhi Garjan, A. (2020). Comparison between unmanned aerial vehicle and tractor lance sprayer against Dubas bug Ommatissus lybicus (Hemiptera: Tropiduchidae). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 51(1), 13-26. (in Persian)
- Safari, M., Sheikhi Garjan, A., Sharifnasab, H., & Bagheri, N. (2018). Date palm spraying using new technology. *Research Report*. Agricultural Engineering Research Institute. NO.55565. (in Persian)
- Sheikhi Garjan, A. (2019). Evaluation of UAV sprayer in wheat Eurygaster integriceps control. *Resrach Report*. Plant Protection Institute. No. 55872. (in Persian)



- Wang, G., Li, X., Andaloro, J., Chen, p., Song, C., Shan, C., Chen, C and 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.
- Yallappa, D. (2017). *Development and evaluation of drone mounted sprayer forpesticide applications to crops. Proceeding of the IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*. Oct. 19-22, San Jose, CA, USA.



**Research Paper**

## **Technical Evaluation of Agriculture Drone Sprayer (UAV) for Control of Wheat Weeds and Compare with Conventional Methods**

**S. Zarifneshat\*, M. H. Saedi Rad, M. Safari, S. H. R. Motamed Alshariati and M. Naseri**

\*Corresponding Author: Associate professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Mashhad, Iran. E-mail: [zarifneshat@yahoo.com](mailto:zarifneshat@yahoo.com)

Received: 17 September 2022, Accepted: 18 December 2022

[http://doi: 10.22092/AMSR.2022.360045.1427](http://doi:10.22092/AMSR.2022.360045.1427)

### **Abstract**

In this study, the performance of drone (UAV) sprayers in comparison with other common methods of chemical control of wheat weeds in late March 2021 in Razaviyeh county of Mashhad was investigated. This project was conducted in a completely randomized experimental design with three replications. The treatments tested were spraying with UAV sprayer, boom sprayer and turboliner sprayer. The measured parameters included the effective spraying width, effective capacity and field efficiency of sprayers, amount of spraying of poison solution per hectare, numerical and volumetric median diameter of poison solution particles, spraying quality coefficient, drift, energy consumption and effectiveness (efficiency) of sprayers. The results showed that the drone, boom and turboliner sprayer had 11.14, 351.59 and 249.14 liters of solution per hectare; 16.76, 7.66 and 38.6% rate of drift; 6.72, 5.92 and 7.66 hectare per hour field capacity, and energy consumption of 418, 2837.8 and 4796.2 kJ, respectively. Spraying quality coefficient in UAV sprayer and turboliner sprayer were 1.78 and 4.24, respectively. After 30 days of spraying, no significant difference was observed between treatments in terms of spraying efficiency (including the weight and number of weeds controlled). Considering the acceptability of the evaluation results, it is recommended to use the UAV sprayer in the technical and environmental conditions of the test.

**Keywords:** Herbicide, Number Median Diameter, Spraying Quality Coefficient, Spraying Efficiency, Volume Median Diameter



© 2022 Agricultural Mechanization 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)