

مقاله پژوهشی

ارزیابی فنی - اقتصادی پهباد سمپاش با سمپاش‌های رایج در کنترل آفات پنبه (مطالعه موردی دشت مغان)

جبرائیل تقی‌نژاد^{۱*} و وحید مهدوی^۲

۱ و ۲- به ترتیب: دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ و استادیار بخش تحقیقات گیاهپزشکی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۱۹

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی کارایی پهباد سمپاش با دو نوع سمپاش پشت تراکتوری رایج (توربولاینر زراعی و بوم‌دار) برای کنترل آفات پنبه، در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار به اجرا در آمد. پارامترهای مورد اندازه‌گیری شامل قطر میانه عددی و حجمی قطره‌های سم، ضریب کیفیت سم‌پاشی، میزان بادبردگی، ظرفیت مزرعه‌ای، میزان مصرف محلول سم‌پاشی و درصد تأثیر حشره‌کش بر جمعیت آفات پنبه بود. نتایج به دست آمده نشان داد کمترین شاخص کیفیت پاشش برای سمپاش توربولاینر برابر با ۱/۸۸ و سمپاش پشت تراکتوری بوم‌دار و پهباد سمپاش به ترتیب برابر با ۲/۲۶ و ۲/۶۰ است. سمپاش پشت تراکتوری بوم‌دار به دلیل دسترسی آسان، مناسب بودن شرایط مزرعه و گیاه، دارا بودن شاخص کیفیت پاشش نسبی مطلوب، بهترین روش کنترل آفت تریپس در مراحل اولیه رشد پنبه مناسب بود. اما در مراحل پایانی رشد فنولوژیکی بسته به دسترسی سمپاش‌ها و شرایط مزرعه (آبیاری و مساحت مزرعه) ارتفاع زیاد محصول، و مشکلات تردد در مزرعه کاربرد پهباد سمپاش و توربولاینر مناسب‌تر بود. بیشترین ظرفیت مزرعه‌ای با ۴/۷۵ هکتار در ساعت مربوط به پهباد سمپاش و کمترین بادبردگی با ۱۰/۰۱ درصد مربوط به سمپاش بوم‌دار بود. نتایج تحلیل اقتصادی با روش بودجه‌بندی جزئی نشان داد که میزان بازده نهایی جایگزینی کاربرد پهباد سمپاش با دیگر تیمارها در شرایط نامناسب مزرعه و ارتفاع بوته، بیشتر از ۷۶/۹۲ درصد است و بنابراین در صورت وسیع بودن مزرعه و طغیان آفت کرم غوزه پنبه، پهباد سمپاش بهترین سودآوری را دارد و قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی

پهباد سمپاش، پنبه، کاغذ حساس، کرم غوزه، کیفیت پاشش

مقدمه

علاوه بر این سمپاش‌ها از سمپاش‌های زراعی توربولاینر نیز در منطقه استفاده می‌شود. بر اساس منابع و آمار، تعداد سمپاش‌های توربولاینر در کشور به بیش از ۲۳۰۰ دستگاه می‌رسد

عمده عملیات سم‌پاشی در منطقه مغان روی محصولات مختلف به ویژه پنبه با سم‌پاش پشت تراکتوری بوم‌دار است. ولی در سال‌های اخیر

ترکیبات شیمیایی است که با کاربرد سمپاش‌های مختلف در مزارع صورت می‌گیرد (Razmjou *et al.*, 2014) که در صورت کاربرد غیراصولی می‌تواند با آلوده سازی محیط زیست و تأثیر روی موجودات غیرهدف تبعاتی داشته باشد که سرانجام به تهدید امنیت غذایی می‌انجامد (Liu *et al.*, 2015).

بر این اساس، روش‌های نوین مبتنی بر کشاورزی دقیق از جمله کاربرد پهپاد سمپاش به منظور کاهش مقدار آفت‌کش‌های مصرفی، آسیب رساندن به خاک و محصولات، می‌تواند در حفاظت از گیاهان موثر باشد (Meng *et al.*, 2019). استفاده از پهپاد سمپاش‌ها در کشور در حال توسعه است و نقاط قوت و ضعف آن روی عوامل خسارت‌زای محصولات مختلف هنوز مشخص نیست. با این حال گشایش جدیدی برای هوشمندسازی و افزایش کارایی سمپاش‌ها در مزارع و باغ‌ها به وجود آورده است. استفاده از این سمپاش‌ها، در مقایسه با سمپاش‌های مرسوم برای مبارزه با آفات و علف‌های هرز، سبب مصرف بسیار کم محلول سم، بالا رفتن ظرفیت مزرعه‌ای و کمتر شدن بادبردگی را به همراه داشته است (Safari *et al.*, 2018; Zarifneshat *et al.*, 2022).

به منظور کنترل کنه تارتن دو لکه‌ای در مزارع لوبیا، پژوهشگران با مقایسه عملکرد فنی-اقتصادی پهپاد سمپاش با عملکرد سمپاش پشت تراکتوری لانس‌دار اثر میزان پاشش، سرعت پیشروی آزمایش و ارتفاع پاشش را بر شاخص‌های فنی بررسی کردند. نتایج نشان داد که در سمپاشی با پهپاد سمپاش علاوه بر کاهش مصرف محلول سم کنه‌کش، میزان بادبردگی پایین‌تر بوده است. بیشترین میزان بادبردگی مربوط به سمپاش لانس‌دار به مقدار ۳۴/۱۷ درصد بوده است در حالی که کمترین میزان

(Behzadipour *et al.*, 2017). در سال‌های اخیر کاربرد این سمپاش‌ها در مزارع پنبه مغان که سطح زیر کشت آنها بیش از ۱۲۰۰۰ هکتار است گسترش یافته است. از مزیت‌های مکانیزاسیون و کاربرد ماشین با توجه به جمعیت سالخورده جهان و کمبود نیروی کار در فرآیند تولید محصول، بهره‌وری بالا، وابستگی کمتر به نیروی کار انسانی و شدت کار کمتر است، با این همه کاربرد ماشین از جمله سمپاش‌های مرسوم زمینی در مزرعه، مشکلاتی مانند فشردگی خاک در اثر فشار ناشی از چرخ‌های ماشین‌های کشاورزی و سختی تردد ماشین در زمین‌های ناهموار و غیرهندسی را به وجود می‌آورد (Meng *et al.*, 2019). مصرف زیاد آب در سمپاش‌های رایج (بوم‌دار و توربولایزر پشت تراکتوری) با توجه به بحران آب که یکی از چالش‌های عمده و محدودیت اصلی برای تولید کشاورزی پایدار در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک است از نقاط ضعف این‌گونه سمپاش‌ها است (Chuanjie *et al.*, 2015; Xie *et al.*, 2018). از سوی دیگر کاهش کارایی مصرف آفت‌کش‌ها روی محصول پنبه که با افشاندن غیریکنواخت با حجم زیاد آفت‌کش صورت می‌گیرد، مشکل دیگر این سمپاش‌ها است (Deguine *et al.*, 2008).

در میان آفاتی که مزارع پنبه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، کرم غوزه پنبه یکی از مهم‌ترین آفات در مزارع پنبه‌کاری کشور از جمله گرگان و مغان است. لاروهای این آفت در محصول پنبه پس از ظاهر شدن، ابتدا از پارانشیم برگ‌ها و پس از آن از غنچه و گل تغذیه می‌کنند. وقتی لاروها وارد غوزه‌ها می‌شوند، با تغذیه از الیاف غوزه‌ها باعث کوتاهی، کثیفی و کاهش ارزش اقتصادی الیاف می‌گردند. کنترل این آفت به‌طور متداول از طریق کاربرد

می‌شود. این موضوع در پنبه‌هایی که با تراکم بالا و در الگوهای ردیف نزدیک کاشته می‌شوند و برگ‌های آن‌ها در ردیف‌های مجاور کاملاً باهم هم‌پوشانی دارند، سبب می‌شود که اثربخشی مواد سمی کاهش یابد (Xin et al., 2018). مشکل اصلی دیگر در استفاده از سمپاش‌های پشت تراکتوری بوم‌دار، کاربرد آن‌ها در مزارع پنبه در انتهای فصل رشد برای کنترل عوامل خسارت‌زای کرم غوزه پنبه، آسیب‌دیدگی بوته‌ها، آسیب‌دیدگی غوزه‌ها، کاهش کیفیت سمپاشی و نیاز به نیروی کارگری برای سمپاش لانس‌دار و خطرهای انسانی و شرایط بسیار سخت حرکتی این سمپاش است. از این رو به منظور تعدیل مشکلات گفته‌شده معرفی و تعمیم فناوری نوین پهیاد سمپاش می‌تواند بر کنترل عوامل خسارت‌زای پنبه مؤثر باشد. با توجه به اینکه در پژوهش‌های پیشین در خصوص آفات آخر فصل پنبه و مقایسه اقتصادی پهیاد سمپاش با دیگر سمپاش‌ها مطالعه‌ای صورت نگرفته است، مقایسه سمپاش‌های دارای فناوری‌های مختلف از جهات گوناگون و معرفی مناسب‌ترین نوع آن در کنترل آفات کرم غوزه پنبه و جلوگیری از آلودگی محیط زیست، کاهش بازدهی سیستم، بروز هزینه‌های اضافی ناشی از مصرف بیش‌ازحد سموم و افزایش کیفیت و عملکرد محصول تولیدی ضروری است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۳، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان واقع در شمال استان اردبیل (شهرستان پارس‌آباد) با عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۳۹ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۸۸ دقیقه در ارتفاع ۷۸ متری سطح دریا اجرا گردید. هدف از این

بادبردگی در تیمارهای پهیاد سمپاش با مقدار ۵/۸۳ درصد مشاهده شده است. بازده مزرعه‌ای و ظرفیت مزرعه‌ای موثر پهیاد سمپاش نسبت به سمپاش لانس‌دار بیشتر بود. مقدار انرژی مصرفی سمپاش لانس‌دار و پهیاد سمپاش به ترتیب ۳۹/۳۸ و ۴/۲۵۶ کیلووات ساعت بود. از نظر اقتصادی، نسبت سود به هزینه در روش پهیاد سمپاش بیشتر بود تا سمپاش لانس‌دار (Tahmasebi et al., 2025).

در پژوهشی دیگر برای ارزیابی پهیاد سمپاش در مبارزه با علف‌های هرز گندم و مقایسه آن با روش‌های مرسوم گزارش شده است پس از گذشت ۳۰ روز از سمپاشی از نظر کارایی عملیات سمپاشی بین پهیاد سمپاش و سمپاش‌های رایج برای کنترل علف‌های هرز گندم اختلاف معنی‌داری نداشت. ظریف‌نشاط و همکاران (Zarifneshat et al., 2022) میزان بادبردگی را برای سمپاش توربولاینر ۳۸/۶ درصد و برای پهیاد و سمپاش بودار به ترتیب ۱۶/۸ و ۷/۷ درصد اعلام کردند. در سمپاش‌های مرسوم پشت تراکتوری، تکان‌ها و حرکت‌های بوم بیشترین تأثیر را بر توزیع مناسب ریزش سم روی هدف دارد (Lebeau et al., 2004). نوسان‌های عمودی یا حرکت تلاطمی بوم به ایجاد تفاوت در ارتفاع نازل از بالای هدف یا گیاه مورد نظر می‌انجامد. این موضوع موجب توزیع غیریکنواخت سمپاشی و ایجاد مناطق و نواحی با کسری ریزش سم در طول بوم می‌گردد. علاوه بر این، حرکت این دسته از سمپاش‌ها در مزرعه در مراحل پایانی رشد به دلیل حجم زیاد بوته‌های پنبه با مشکلات زیادی روبه‌رو است. استفاده از این سمپاش‌ها به دلیل فاصله کم شاسی آن با زمین موجب خم‌شدن بوته‌های پنبه، کشیده شدن شاخه‌های پنبه، آسیب‌دیدگی غوزه‌های باز، کاهش کیفیت پنبه و افزایش غیریکنواختی پاشش

تمام عملیات کاشت و داشت تا مرحله گلدهی و غنچه‌دهی با دستورالعمل‌های رایج در منطقه مطابقت داشت. برای بررسی و تحلیل اقتصادی از روش بودجه‌بندی جزئی (هزینه به فایده) استفاده شد. داده‌ها با استفاده نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شدند و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD استفاده شد. برخی مشخصات فنی سمپاش‌های استفاده شده در این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است.

پژوهش ارزیابی مقایسه کیفیت پاشش و کارایی پهپاد سمپاش با دو نوع سمپاش پشت تراکتوری رایج توربولاینر زراعی و بوم‌دار (تیمار شاهد) در زراعت پنبه بود. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. ماتریس ابعاد واحدهای آزمایشی به منظور داده‌برداری، بر اساس الگوی کاشت پنبه در منطقه با فاصله ردیف ۷۵ و بین بوته ۲۰ سانتی‌متر بود. طول و عرض هر تیمار آزمایشی به ترتیب ۵۰ و ۶ متر انتخاب گردید.

جدول ۱ - مشخصات فنی سمپاش‌های مورد استفاده
Table 1- Technical specification of the sprayers used

نوع سمپاش Type of sprayer	مدل Model	نوع و تعداد نازل Type and number of nozzles	ظرفیت مخزن (لیتر) Tank Volume (L)	دبی پمپ Spraying Rate
توربولاینر Turboliner	توربینی	11 pieces Ceramic	800	110 (l.min ⁻¹)
پشت تراکتوری بوم‌دار boom sprayer	- بوم‌دار boom	32 pieces 11003	400	50 (l.min ⁻¹)
پهپاد drone	HS0615	XR11001VS (4-Tee Jet)	20	1150-300- (ml.min ⁻¹)

لیتر در هکتار و برای آفت کرم غوزه پنبه از سم اوانت غیرسیستمیک با اثر تماسی به میزان ۲۵۰-۳۰۰ سی‌سی در هکتار در زمان غوزه‌دهی استفاده گردید.

این تحقیق مطابق با تقویم زراعی سمپاشی محصول پنبه، در شرایط مزرعه و در هوای آرام با ثبت سرعت باد، رطوبت نسبی و دمای هوا به اجرا درآمد. سرعت باد حدود ۳-۱ کیلومتر بر ساعت و دمای هوا بین ۱۷/۵ تا ۲۱ درجهٔ سیلسیوس بود که با بادسنج و دماسنج ثبت گردید. در شکل‌های ۱ و ۲ نمایی از ارزیابی سمپاش‌های مورد استفاده در این پژوهش آورده شده است.

سم‌پاشی بر اساس اعلام کمیته پیش‌آگاهی سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل روی محصول پنبه صورت گرفت. در هر یک از تیمارها، پارامترهای ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (واقعی) و زمان اجرای عملیات در هر روش سمپاشی، قطر میانهٔ عددی^۱، قطر میانهٔ حجمی^۲، ضریب کیفیت محلول‌پاشی، میزان بادبردگی و درصد تأثیر حشره‌کش بر جمعیت آفات پنبه (تریپس، برگ‌خوار و کرم غوزه) اندازه‌گیری شد. برای آفت تریپس از سم تماسی کنفیدر به میزان ۲۵۰ سی‌سی در هکتار تا زمان ۳-۵ برگی گیاه پنبه و برای آفت برگ‌خوار در زمان گلدهی از سم دیازینون تماسی به میزان یک

1- Number Median Diameter (NMD)

2- Volume Median Diameter (VMD)



شکل ۱- سمپاش توربولاینر مورد استفاده در این پژوهش و نصب کارت های حساس روی بوته
Fig. 1- The turboliner sprayer used in this study and installing sensitive cards on the plant



شکل ۲- سمپاش پشت تراکتوری بومدار و پهنپاش سم پاش مورد استفاده در این پژوهش
Fig. 2- Tractor-mounted boom and drone sprayer used in this study

روش محلول پاشی با سمپاش بومدار و پهنپاش به ترتیب ۱۲ و ۶ عدد کارت حساس به فاصله ۲ متر از هم در بخش بالایی، وسط و پایین برگها قرار داده شد. پس از اتمام هر بار سمپاشی، از این کارتها با دوربین مدل (SX- 60Canon) تصویربرداری شد. از روش بزرگنمایی برای تعیین تعداد و قطر قطرهها در هر سانتی متر مربع استفاده شد. به منظور تعیین قطر و تعداد قطرههای سم نشسته شده روی کاغذهای حساس، یک سانتی متر مربع از سطح کاغذ به صورت تصادفی انتخاب شد. پس از شمارش تعداد و اندازه گیری قطر قطرهها نشست قطرهها برحسب مقدار پاشش در واحد سطح گزارش شد. به منظور تجزیه و تحلیل وضعیت قطر و تعداد قطرههای سم، گروه بندی قطرهها بر اساس اندازه آنها صورت گرفت و میانه آنها در نظر گرفته شد. با تشکیل

اندازه گیری شاخص های کارایی سامانه های محلول پاشی

برای اندازه گیری قطر قطره های محلول، میزان پوشش، بادبردگی و توزیع قطره ها در سامانه های مختلف محلول پاشی از کاغذهای حساس به آب استفاده شد. این کارتها شبیه کاغذ تورنسل هستند و با برخورد قطره های سم تغییر رنگ می دهند. اندازه ابعاد کارتها ۷×۳ سانتی متر است و نحوه قرارگیری آنها روی برگها به فاصله ۲ متر از هم) کارتها در هر تکرار تا شعاع پاشش دستگاه حدود ۲۵ متر در سمپاش توربولاینر) و به تعداد ۱۲ عدد به ازای هر تیمار در بالا، وسط و پایین برگها بوده است. مطابق با استانداردها، تراکتور در فاصله ۲/۵ متری از اولین کارت جای گذاری شده به صورت عمود بر جهت حرکت تراکتور و پاشش در جهت باد، حرکت کرد. در

را ضریب کیفیت سمپاشی گویند. در حالت ایده‌آل، این نسبت (ضریب یکنواختی پاشش) برابر یک است. ولی با توجه به شرایط کاری عملیات سمپاشی، رسیدن به این نسبت ناممکن است. هرچه میزان این نسبت نزدیک‌تر به عدد یک باشد، کیفیت پاشش بهتر خواهد بود. شاخص کیفیت پاشش با استفاده از رابطه ۲ قابل محاسبه است (Xiao et al., 2019; Safari, & Sheikhi Garjan, 2020).

$$Q_c = \frac{VMD}{NMD} \quad (2)$$

که در آن،

VMD = قطر میانه حجمی؛ و NMD = قطر میانه عددی؛ و Q_c = ضریب یکنواختی پاشش.

آزمون میزان بادبردگی و میزان نشست سم روی زمین

آزمون میزان بادبردگی و نشست سم روی زمین در سمپاش‌های مورد مطالعه بر اساس استاندارد ۱۰۴۹۳ سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی اجرا گردید (Rostami, & Taheri Khorasani, 2018). بر اساس پیشنهاد این استاندارد، محل آزمون باید در سطحی با حداقل موانع به جز خود محصول انتخاب شود که می‌توانند جریان باد را در منطقه اندازه‌گیری تغییر دهند. ناحیه پاشش مستقیم در مسیر باد و منطقه پایین‌دست باید دارای پوشش گیاهی خیلی کوتاه حداکثر ۷/۵ سانتی‌متر باشد. آزمایش‌ها در محلی خارج از محل سمپاشی با قرارگیری کارت‌های حساس به تعداد متوسط ۲۵ عدد به فاصله ۲ متری از همدیگر و طول حداقل ۵۰ متر اجرا شد. بعد از اتمام سمپاشی، تمامی کارت‌های حساس جمع‌آوری و اسکن شدند و شاخص تعداد قطره، قطر و مساحت قطره با استفاده از روش بزرگمایی در یک سانتی‌متر مربع تعیین و محاسبه شد (Safari, & Sheikhi

جدول فراوانی و تعیین قطر قطره‌هایی که در ۵۰ درصد فراوانی قرار دارند مقادیر قطر میانه حجمی و قطر میانه عددی محاسبه شد (Xin et al., 2018; Jafari Malekabadi et al., 2016; Xin et al., 2018). قطر ذره‌ای است که در نصف حجمی قرار می‌گیرد یعنی اگر ذرات حاصل از یک لیتر محلول سمی را به ترتیب از بزرگ به کوچک قرار دهیم و از یک طرف آن‌ها را در ظرف بریزیم، به قطر ذره‌ای که در مرز نیم لیتری ظرف قرار می‌گیرد، قطر میانه حجمی گویند که با استفاده از رابطه ۱ قابل محاسبه است (Esehaghbeygi et al., 2010).

$$\bar{D}_{pq}^{p-q} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n NiD_i^p}{\sum_{i=1}^n NiD_i^q} \right]^{1/(p-q)} \quad (1)$$

که در آن،

P می‌تواند مقادیر ۱، ۲، ۳ و ۴ باشد ($P > q$)؛ و q هم می‌تواند مقادیر ۱، ۲، ۳ و ۴ باشد؛ $D =$ قطر قطره برای گروه N ؛ $n =$ تعداد قطره برای گروه i ؛ $i = 1, 2, \dots, N$ ؛ $D_{30} =$ اندازه‌های قطر میانه حجمی ($P=3$ و $q=0$)؛ و $D_{10} =$ قطر میانه عددی ($P=3$ و $q=0$).

قطر میانه عددی قطر ذره‌ای است که جمع کل تعداد قطره‌های بزرگ‌تر از آن معادل جمع کل تعداد قطره‌های کوچک‌تر از آن است. یعنی اگر ذرات چیده شده را از یک‌طرف شروع به شمارش کنیم ذره‌ای را که از نظر تعداد کل ذرات در وسط قرار می‌گیرد، قطر میانه عددی گویند که با ثبت آن‌ها در نرم‌افزار اکسل و تشکیل جدول فراوانی و فرمول‌بندی مربوطه آنالیز و مقادیر قطر متوسط حجمی و عددی محاسبه شد (Xin et al., 2018; Safari, & Sheikhi Garjan, 2020). نسبت قطر میانه حجمی به قطر میانه عددی

E = درصد تأثیر تیمار بر کنترل آفت؛ Ta = تعداد لارو در نمونه تیمار بعد از سمپاشی؛ Tb = تعداد لارو در نمونه تیمار پیش از سمپاشی؛ Ca = تعداد لارو در نمونه شاهد بعد از سمپاشی؛ و Cb = تعداد لارو در نمونه شاهد پیش از سمپاشی.

ارزیابی اقتصادی روش‌های مختلف سمپاشی

برای تعیین اقتصادی‌ترین روش سمپاشی، برای هریک از تیمارهای مورد مطالعه همه هزینه‌های سمپاشی و میزان منافع هریک از آن‌ها (پارامترهایی که قابل کردن و ارزش‌گذاری هستند شامل مصرف حشره‌کش، تعداد کارگر موردنیاز و میزان سم مصرفی در هکتار) جمع‌آوری و پس از آن با استفاده از روش بودجه‌بندی بخشی به ارزیابی و مقایسه اقتصادی تیمارها پرداخته شد. به منظور انتخاب تیمار مطلوب از لحاظ اقتصادی از روش تحلیل نهایی^۱، استفاده شد. در این زمینه، ابتدا باید درآمد ناخالص و هزینه‌های هر تیمار در سال اجرای پروژه برآورد شود. هزینه‌ها شامل هزینه‌های غیرمشترک در تیمارهای مورد آزمایش است. این هزینه‌ها با توجه به قیمت‌های رایج در منطقه محاسبه گردید. درآمد ناخالص با حاصل ضرب میزان عملکرد در قیمت واحد محصول برای هر تیمار به دست می‌آید. منافع خالص از تفاضل کل ارزش عملکرد و هزینه‌هایی به دست می‌آید که تیمارها در آن با هم اختلاف دارند. در مرحله بعد با استفاده از رابطه ۵ منافع ناخالص نهایی برای تیمار مورد نظر نسبت به تیمار شاهد محاسبه می‌شود:

$$MGB_{ba} = \frac{GB_b - GB_a}{C_b - C_a} \quad (5)$$

که در آن،

a = تیمار شاهد و b = تیماری که با آن مقایسه

Garjan, 2020; Rostami, & Taheri Khorasani, 2021)

برای تعیین ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر سمپاش‌ها، هم‌زمان با شروع کار تراکتور و پهباد در هر کرت آزمایشی زمان لازم برای سمپاشی یک هکتار به صورت میدانی اندازه‌گیری و از رابطه ۳ محاسبه شد (Safari, & Sheikhi Garjan, 2020; Zarifneshat et al., 2022)

$$FCe = \frac{A}{Tt} \quad (3)$$

که در آن،

A = سطح کار سمپاشی شده (هکتار)؛ Tt = زمان کل صرف شده (ساعت)؛ و FCe = ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (هکتار در ساعت).

برآورد درصد کنترل آفات خسارت‌زای پنبه

برای تعیین درصد تأثیر هریک از سمپاش‌ها در هر نوبت سمپاشی، تعداد حشرات آفت در هر کرت مورد آزمایش قبل و ۳، ۷ و ۱۴ روز بعد از سمپاشی یادداشت شد. تأثیر آفت‌کش‌ها با استفاده از سمپاش‌های مختلف در سه مرحله رشدی مختلف پنبه به ترتیب در مرحله ۳-۵ برگی روی افت بالغ تریپس، در مرحله گل‌دهی روی لاروهای کرم برگ‌خوار و در مرحله غوزه‌دهی پنبه روی کرم غوزه پنبه بررسی شد. بعد از ثبت تعداد حشرات پیش از سمپاشی و پس از آن، درصد تأثیر آفت‌کش روی آفات مورد بررسی در تیمارهای مختلف، با استفاده از فرمول هندرسون-تیلتون (رابطه ۴) محاسبه شد (Razmjou et al., 2019).

$$E = \left[1 - \frac{Ta}{Ca} * \frac{Cb}{Tb} \right] * 100 \quad (4)$$

که در آن،

ناشی از اجرای تیمار b نسبت به تیمار شاهد است. نرخ بازده نهایی (MRR_b) هر تیمار که بیانگر درصد منافع خالص تیمار در قبال مازاد هزینه اجرای آن نسبت به تیمار شاهد است، با استفاده از رابطه ۷ قابل محاسبه است (Soltani, & Najafi, 1983; Asadi & Mostofi-Sarkari, 2018; Safari et al., 2019).

$$MRR_b = \frac{MNB_{ba}}{C_b - C_a} \quad (۷)$$

بر اساس نرخ بازده نهایی تیمارها رتبه‌بندی شدند و تیماری که بیشترین نرخ بازده نهایی را داشت به عنوان تیمار با سود مناسب انتخاب شد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی سه نوع سمپاش بر مشخصات قطره‌های سم نشان می‌دهد از لحاظ قطر میانه عددی، قطر متوسط حجمی ۵۰ درصد، شاخص کیفیت پاشش و میزان بادبردگی قطره‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲).

می‌شود؛ GB = منافع ناخالص تیمار که از حاصل ضرب تولید در هکتار و قیمت محصول محاسبه می‌شود؛ C = هزینه هر تیمار؛ MGB_{ba} = منافع ناخالص نهایی تیمار b نسبت به تیمار a (شاهد) و بیانگر افزایش درآمد کل به ازای هر واحد افزایش در هزینه است. بنابراین اگر میزان منفعت نهایی کمتر از یک شود، تیمار b رد می‌شود. پس از مقایسه تیمار جدید با تیمار شاهد با استفاده از معیار نرخ بازده نهایی، تیمار مناسب انتخاب خواهد شد. با توجه به اینکه در ارزیابی اقتصادی افزایش درآمد به ازای هزینه‌ها مدنظر است، از این رو هزینه‌هایی که در تیمارها مشترک هستند، حذف می‌شوند. برای محاسبه نرخ بازده نهایی ابتدا منافع خالص نهایی با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$MNB_{ba} = NB_b - NB_a \quad (۶)$$

که در آن،

MNB_{ba} = منافع خالص نهایی تیمار b نسبت به تیمار a (شاهد) و نشان‌دهنده افزایش منافع خالص

جدول ۲- خلاصه تجزیه واریانس شاخص‌های مورد بررسی در سامانه‌های مختلف سمپاشی

Table 2- Summary of variance analysis of the indicators studied in different spraying systems

میانگین مربعات Mean square						درجه آزادی (df)	منابع تغییرات Source of variation
ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای Field capacity	محلول مصرفی Solution consumption	بادبردگی Endo-drift	ضریب کیفیت پاشش Spraying quality coefficient	قطر میانه حجمی ۵۰٪ Volume median diameters (50%)	قطر میانه عددی Number median diameters		
0.18*	12.97 ^{ns}	6.55 ^{ns}	0.005 ^{ns}	1400.77 ^{ns}	552.77 ^{ns}	3	تکرار Repeat
0.31**	5577.08**	126.75**	0.51**	37425.33**	1758.33**	2	سمپاش Sprayer
0.005	27.97	5.30	0.022	1291.66	169.44	6	خطا Error
1.67	7.60	14.86	6.64	11.59	9.58	-	ضریب تغییرات (C.V)

** و n.s به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱٪ و غیر معنی‌دار

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

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد بیشترین قطر میانه عددی و قطر متوسط حجمی ۵۰ درصد ۴۱۷/۵ میکرون است. همین پارامترها (قطر میانه

به حساب می‌آید، اما در هنگام تفسیر نتایج مربوط به یکنواختی پاشش لازم است همزمان دو پارامتر اولیه قطر میانه عددی و قطر میانه حجمی را در نظر داشت (Nowrouzieh *et al.*, 2022; Zarifneshat *et al.*, 2022). اگر طغیان آفت در زمانی باشد که به دلیل بارندگی یا پس از آبیاری یا به دلیل ارتفاع زیاد محصول، امکان تردد در مزرعه نباشد بهترین و سریع‌ترین روش به کارگیری می‌تواند پهباد سمپاش است. در صورت نبود پهباد سمپاش در این شرایط بهترین گزینه، سم‌پاش توربولاینر است. اگر ارتفاع بوته کم باشد (در مراحل اولیه رشد گیاه یا ارتفاع بوته سبب خسارت زیاد به غوزه و محصول نشود) و طغیان آفات نباشد و زمان برای سمپاشی باشد، سمپاش پشت تراکتوری بوم‌دار با دلیل اینکه دسترسی مناسب کشاورزان راحت‌تر است ممکن است نسبت به دو سمپاش دیگر برتری داشته باشد. سمپاش پشت تراکتوری بوم‌دار در این شرایط با دارا بودن شاخص کیفیت پاشش مطلوب نسبی، بهترین وسیله کنترل عوامل خسارت‌زای پنبه خواهد بود.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد پارامتر بادبردگی یک پارامتر مهم ارزیابی توانایی سمپاش برای سمپاشی ایده‌آل، تحت تأثیر نوع سم‌پاش اختلاف معنی‌دار دارند (جدول ۲). این موضوع نشان می‌دهد با انتخاب سم‌پاش مناسب می‌توان از هدر دادن سم جلوگیری کرد که باعث افزایش هزینه سم‌پاشی، آلودگی محیط‌زیست، آلودگی منابع خاک و ایجاد بیماری در انسان می‌شود. بادبردگی در سمپاش توربینی بسیار بیشتر است تا در دو نوع سمپاش دیگر، دلیل این موضوع را می‌توان پرتاب سم از فاصله دور و نزدیک‌تر به سطح مزرعه و ریزتر شدن قطره‌های سم (به دلیل حجم هوای زیاد دمیده شده در قطره‌های سم) دانست. سمپاش بوم‌دار دار تنها به

عددی و قطر متوسط حجمی ۵۰ درصد) برای سم‌پاش توربولاینر زراعی به ترتیب برابر با ۱۲۲ و ۲۳۰ میکرون و برای سمپاش پشت تراکتوری بوم‌دار به ترتیب برابر با ۱۲۵ و ۲۸۲/۵ میکرون است که در یک سطح آماری قرار دارند (جدول ۳). از لحاظ شاخص کیفیت سمپاشی سمپاش توربولاینر زراعی با ۱/۸۸ بهتر از دو نوع سمپاش بود و سم‌پاش‌های پشت تراکتوری بوم‌دار و پهباد سمپاش به ترتیب برابر با ۲/۲۶ و ۲/۶۱ در رتبه‌های بعدی هستند. به نظر می‌رسد که بر اساس نوع نازل و پاشش در این سم‌پاش‌ها که ناشی از شرایط متفاوت سمپاشی است سبب شده شاخص کیفیت پاشش در سمپاش توربولاینر زراعی کمتر از دیگر سم‌پاش‌ها باشد. بیشترین شاخص کیفیت پاشش نیز متعلق به پهباد سمپاش است هرچند از نظر شاخص کیفیت پاشش با سم‌پاش پشت تراکتوری بوم‌دار در یک گروه قرار ندارند. هراندازه این نسبت به عدد یک نزدیک‌تر باشد کیفیت پاشش بهتر است (Azizpanah *et al.*, 2015; Naseri, 2007). بنابراین، بهترین یکنواختی پاشش می‌تواند مربوط به سم‌پاش توربولاینر زراعی باشد. با این اوصاف سمپاش‌های توربینی زراعی از لحاظ کیفیت سم‌پاشی بهتر از سمپاش‌های بوم‌دار و پهباد سمپاش هستند زیرا کیفیت پاشش سمپاشی در نوع توربینی با ضریب ۱/۸۸ بهتر از دو نوع سمپاش دیگر است. در سمپاش توربینی به دلیل وجود فن با ظرفیت هوادهی ۱۸۵۰۰ مترمکعب در ساعت قطره‌های سم کوچک‌تری تولید می‌شود و بنابراین نسبت به دو نوع سمپاش دیگر کیفیت سمپاشی مناسب‌تری دارد زیرا آن‌ها فن ندارند و مزیت جریان هوا برای را برای خرد کردن قطره‌های سم و انتقال آن‌ها به فاصله دورتر ندارند. هرچند نسبت یکنواختی پاشش ویژگی مهمی در سمپاشی

مشابهی را گزارش کردند. آنها میزان بادبردگی را برای سمپاش توربولاینر ۳۸/۶ درصد و برای پهباد و سمپاش بوم‌دار به ترتیب ۱۶/۸ و ۷/۷ درصد اعلام کردند.

مطابق جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس مربوط به بررسی اثر نوع سمپاش بر میزان محلول مصرفی نشان می‌دهد که از لحاظ آماری این پارامتر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. بر اساس جدول ۳، نتایج بیانگر آن است که بین سمپاش‌های توربینی و بوم‌دار از لحاظ میزان محصول مصرفی اختلاف ناچیز است و در هنگام سمپاشی با این سمپاش‌ها در مقایسه با پهباد سمپاش میزان محصول بیشتری مصرف می‌شود. در منطقه مغان بین کشاورزان رایج است که آن‌قدر سم استفاده گردد که برگ گیاه کاملاً خیس و شسته شود تا اثربخشی سم بهتر و سریع‌تر باشد. بنابراین، در مقایسه با پهباد سمپاش بیش از سه برابر مایع سم استفاده می‌کنند تا جایی که شرایط رایج منطقه را دارند از این دو سمپاش استفاده بیشتری می‌کنند در حالی که نتایج اثربخشی سمپاش‌ها بسته به زمان و نوع آفات پنبه به خصوص کرم غوزه می‌تواند با انتخاب نوع سمپاش مؤثر و مفید باشد. نتایج یا گزارش‌های محققان روی سن گندم و مبارزه با علف‌های هرز گندم مطابقت دارد (Sheikhi Garjan, 2019; Zarifneshat et al., 2022; Tahmasebi et al., 2025).

نتایج آنالیز واریانس مربوط به بررسی اثر نوع سمپاش بر ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای نشان می‌دهد که از لحاظ آماری این فاکتور در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). محاسبات ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای در این سه نوع سمپاش نشان داد که بیشترین ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای برای پهباد سمپاش

کمک فشار پمپ، محلول سم را از طریق نازل به بیرون پرتاب می‌کند اما در سمپاش‌های توربینی علاوه بر فشار پمپ، عامل هوای دمیده شده توسط فن نیز باعث افزایش مسافت حرکت قطره‌های سم و ریزتر شدن قطره‌های سم می‌شود که این موضوع به بهبود کیفیت سمپاشی و کاهش تلفات سم می‌انجامد.

در جدول ۳، مقایسه میزان بادبردگی سمپاش‌ها نشان می‌دهد بیشترین مقدار بادبردگی برابر با ۲۱/۲۵ و ۱۵/۲۵ درصد به ترتیب مربوط به توربولاینر و پهباد سمپاش و کمترین آن با ۱۰/۰۱ درصد مربوط به سمپاش پشت تراکتوری بوم‌دار است. این موضوع نشان می‌دهد با انتخاب سمپاش مناسب می‌توان از هدررفت سم جلوگیری کرد که باعث افزایش هزینه سمپاشی، آلودگی محیط‌زیست، آلودگی منابع آب و خاک و ایجاد بیماری در انسان می‌شود. به دلیل تعدد بیش از حد سمپاشی در فصل زراعی پنبه (متوسط ۵-۶ بار) نشست سم روی زمین و محصول کناری ممکن است خسارت جبران‌ناپذیری را سبب گردد. بنابراین، تأثیر میزان بادبردگی سم در سمپاشی علیه آفات پنبه در مغان می‌تواند مهم‌ترین مسئله باشد. به دلیل بادخیز بودن منطقه، به خصوص در بعدازظهرها، جریان شدید هوای دمیده شده از فن سمپاش توربینی تولید قطره‌های ریز می‌کند و گرم بودن هوا نیز میزان قطره‌هایی که به اطراف مجاور پرتاب می‌شوند یا تبخیر می‌شوند افزایش می‌یابد و باعث می‌شود بادبردگی این سمپاش بیش از مقداری شود که در انواع بوم‌دار دیده می‌شود. این وضعیت ممکن است باعث گردد با این نوع سمپاشی قطره‌های سم بهتر روی هدف نشینند (Sheikhi Garjan, 2019). ظرفیت نشاط و همکاران (Zarifneshat et al., 2022) در پژوهشی نتایج

با ۴/۷۵ هکتار در ساعت و سم‌پاش‌های پشت تراکتوری بوم‌دار و توربینی زراعی به ترتیب برابر با ۴/۴ و ۴/۲ هکتار در ساعت است که نتایج این پژوهش با تحقیقات و گزارش‌های محققان همخوانی دارد (Wang *et al.*, 2017; Nowrouzieh *et al.*, 2022; Zarifneshat *et al.*, 2022).

جدول ۳- مقایسه میانگین پارامترهای ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای، محلول مصرفی و مشخصات فیزیکی قطره‌ها
Table 3 - Average comparison the parameters of effective field capacity, used solution and physical characteristics of droplets

ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای (هکتار در ساعت) Field capacity (ha.hr ⁻¹)	محلول مصرفی (لیتر در هکتار) Solution consumption (l.ha ⁻¹)	بادبردگی (%) Endo-drift (%)	ضریب کیفیت پاشش Spraying quality coefficient	قطر میانه حجمی ۵۰٪ (میکرون) Volume median diameters 50% (micron)	قطر میانه عددی (میکرون) Number median diameters (micron)	نوع سمپاش Sprayer type
4.40 b	98.50 a	10.01 c	2.26 b	282/5 b	125 b	پشت تراکتوری بوم‌دار boom sprayer
4.20 c	82.50 b	21.25 a	1.88 c	230 b	122 b	توربولاینر Turboliner
4.75 a	27.50 c	15.25 b	2.61 a	417.5 a	160 a	پهباد Drone

میانگین‌هایی که با حروف لاتین مشترک مشخص شده‌اند، در یک گروه قرار دارند و اختلاف معنی‌دار ندارند

Means with similar letters are in a statistical group and there is no significant difference

سمپاش توربولاینر بیشترین تأثیر را در کنترل این آفت داشته است. مطابق جدول ۵، در مورد افت کرم غوزه پنبه، کارایی سمپاش توربولاینر زراعی و پهباد سمپاش با بیشترین تأثیر در زمان‌های مختلف ۳، ۷ و ۱۴ روز پس از سم‌پاشی در یک سطح آماری قرار دارند. بنابراین، با توجه دسترسی و شرایط مناسب می‌تواند هر کدام که اقتصادی و در دسترس باشد مؤثرتر است و سمپاش پشت تراکتوری بوم‌دار در این مرحله کمترین تأثیر را داشته است. با این اوصاف اگر طغیان آفت در زمانی باشد که به دلیل بارندگی یا پس از آبیاری یا به دلیل ارتفاع زیاد محصول امکان تردد در مزرعه نباشد بهترین و سریع‌ترین روش به کارگیری پهباد سمپاش است. در صورت نبود پهباد سمپاش در این شرایط بهترین گزینه، سمپاش توربولاینر است.

بر اساس جدول ۴ نتایج کارایی سمپاش‌ها بر عوامل خسارت‌زای پنبه در مغان نشان می‌دهد اثر نوع سمپاش‌ها بر افت تریپس، برگ‌خوار و کرم غوزه پنبه در زمان‌های مختلف ۳، ۷ و ۱۴ روز پس از سمپاشی اختلاف معنی‌داری دارند. نتایج مقایسه میانگین اثر نوع سم‌پاش بر کنترل آفت پنبه در مغان نشان می‌دهد که در مورد افت تریپس که در مراحل اولیه رشدی گیاه پنبه خسارت می‌زند سم‌پاش پشت تراکتوری بوم‌دار با میانگین ۸۳/۷۱، ۶۸/۵۸ و ۶۱/۷۰ درصد به ترتیب در زمان‌های ۳، ۷ و ۱۴ روز بالاترین تأثیر را در کنترل این آفت داشته است و پس از آن سمپاش توربولاینر و پهباد سمپاش در یک سطح و رتبه بعدی قرار گرفتند (جدول ۵). مطابق این جدول، برای آفات برگ‌خوار پنبه، پهباد سمپاش در رتبه اول و در مرتبه بعدی

جدول ۴- تجزیه واریانس درصد کارایی سمپاش‌ها بر افات پنبه بر اساس تعداد روز بعد از سمپاشی

Table 4- Variance analysis the percentage of effectiveness of sprayers on cotton pests based on the number of days after spraying

Mean square									درجه آزادی (df)	منابع تغییرات Source of variation
افت کرم غوزه			افت برگ خوار			افت تریپس				
۱۴ روز پس از سم پاشی 14 day after spraying	۷ روز پس از سم پاشی 7 day after spraying	۳ روز پس از سم پاشی 3 day after spraying	۱۴ روز پس از سم پاشی 14 day after spraying	۷ روز پس از سم پاشی 7 day after spraying	۳ روز پس از سم پاشی 3 day after spraying	۱۴ روز پس از سم پاشی 14 day after spraying	۷ روز پس از سم پاشی 7 day after spraying	۳ روز پس از سم پاشی 3 day after spraying		
48.96 ^{ns}	122.01 ^{ns}	91.57 ^{ns}	16.58*	64.91 ^{ns}	7.21 ^{ns}	5.39 ^{ns}	33.41 ^{ns}	27.67 ^{ns}	3	تکرار Repeat
247.76**	291.46*	149.56 ^{ns}	318.68**	149.88*	145.38*	97.01 ^{ns}	296.84**	187.67**	2	سمپاش Sprayer
62.59	29.72	60.42	8.13	7.84	28.33	28.22	36.11	19.57	6	خطا Error
1.77	6.75	11.79	3.89	3.53	7.92	9.42	10.21	5.83	-	ضریب تغییرات (C.V)

*, ** N.S به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار

*, ** Significant difference at 1% and 5% level and ns: No significant difference

جدول ۵- مقایسه میانگین درصد کارایی سمپاش‌ها بر اساس تعداد روز بعد از سمپاشی

Table 5- Average comparison the percentage of sprayer efficiency based on the number of days after spraying

تعداد روز بعد از سمپاشی علیه آفات پنبه									نوع سمپاش Sprayer type
افت کرم غوزه			افت برگ خوار			افت تریپس			
۱۴ روز پس از سمپاشی 14 day after spraying (%)	۷ روز پس از سمپاشی 7 day after spraying (%)	۳ روز پس از سمپاشی 3 day after spraying (%)	۱۴ روز پس از سمپاشی 14 day after spraying (%)	۷ روز پس از سمپاشی 7 day after spraying (%)	۳ روز پس از سمپاشی 3 day after spraying (%)	۱۴ روز پس از سمپاشی 14 day after spraying (%)	۷ روز پس از سمپاشی 7 day after spraying (%)	۳ روز پس از سمپاشی 3 day after spraying (%)	
64.35 b	71.18 b	53.50 a	63.35 c	73.14 c	61.80 b	61.70 a	68.58 a	83.71 a	پشت تراکتوری بوم‌دار boom sprayer
77.33 ab	48.83 a	65.29 a	75.22 b	79.09 b	66.96 ab	51.98 b	52.13 b	72.61 b	توربولاینر Turboliner
78.56 a	87.58 a	70.84 a	80.83 a	85.73 a	73.81 a	55.46 ab	55.91 b	71.21 b	پهپاد Drone

میانگین‌هایی که با حروف لاتین مشترک مشخص شده‌اند، در یک گروه قرار دارند و اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with similar letters are in a statistical group and there is no significant difference

تحلیل اقتصادی

ارائه شده است. هزینه‌های سمپاشی یک هکتار پنبه،

شامل تراکتور به همراه سمپاش پشت تراکتوری

توربولاینر و بوم‌دار و پهپاد سمپاش و تهیه سم

هزینه تهیه زمین، کاشت، داشت و برداشت یک

هکتار پنبه در سال ۱۴۰۳ در جدول ۶ به تفکیک

طبق نتایج به دست آمده، پهپاد سمپاش بهترین سودآوری را داشت و در صورت وسیع بودن مزرعه و طغیان آفت کرم غوزه پنبه، سریع‌ترین روش سمپاشی است. سمپاشی با پهپاد سمپاش در این شرایط نسبت به دو روش دیگر باصرفه‌تر است. به عبارتی، اگر طغیان آفت در زمانی باشد که به دلیل بارندگی یا پس از آبیاری یا به دلیل ارتفاع زیاد محصول امکان تردد در مزرعه نباشد بهترین و سریع‌ترین روش به کارگیری پهپاد سمپاش است. در صورت نبود پهپاد سمپاش در این شرایط بهترین گزینه، سمپاش توربولاینر است (جدول ۷). اما برای کنترل عوامل خسارت‌زای پنبه در اوایل فصل رشد گیاه و در صورتی که ارتفاع بوته کم باشد (که سبب بروز خسارت زیاد به غوزه و محصول نشود) و طغیان آفات در میان نباشد و زمان برای سمپاشی باشد، سمپاش پشت تراکتوری بوم‌دار با توجه به دسترسی آسان نسبت به دو سمپاش دیگر مناسب‌تر است.

مورد نیاز به همراه هزینه‌های کارگری می‌شود. طبق بررسی ها، مزرعه پنبه در مغان در مرحله داشت برای مبارزه با آفات پنبه ۵-۶ بار سمپاشی گردید. به تفکیک متوسط هزینه اجاره سمپاش بر اساس عرف منطقه از قرار هر هکتار ۶۵۰۰، ۸۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ هزار ریال به ترتیب برای سمپاشی با سمپاش پشت تراکتوری بوم‌دار، توربولاینر زراعی و پهپاد سمپاش بود. میزان سم مصرفی برای هریک نیز متفاوت بود (جدول ۶). سایر هزینه‌ها در بین سه روش مبارزه مشترک‌اند. در سال مورد بررسی (۱۴۰۳) عملکرد متوسط منطقه‌ای برای هر هکتار پنبه به طور متوسط ۴۴۰۰ کیلوگرم و قیمت هر کیلوگرم ۳۵۰ هزار ریال با احتساب ۱/۵ درصد تلفات و ضایعات برداشت در استفاده از سمپاش‌های مرسوم (بوم‌دار و توربولاینر) لحاظ شد. هزینه و منافع کاشت تا برداشت و روش‌های مختلف مبارزه با آفات پنبه در مغان برای یک هکتار در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶- هزینه و درآمد کاشت تا برداشت پنبه در یک هکتار (هزار ریال)

Table 6- costs and income cotton planting to harvest per Hectare (Thousand rails)

پشت تراکتوری بوم‌دار boom sprayer	توربولاینر Turboliner	پهپاد Drone	شرح هزینه عملیات
700000	700000	700000	اجاره‌بهای زمین
65000	65000	65000	هزینه‌های تهیه زمین
100000	100000	100000	هزینه بذر و کاشت
39000	48000	72000	اجاره سمپاش (۶ بار)
110000	110000	90000	سم مصرفی
160000	160000	160000	سایر هزینه‌های داشت (تنگ و سله شکنی و...)
120000	120000	120000	برداشت و حمل
1540000	1540000	1540000	درآمد ناخالص
0	0	23000	درآمد ناشی از تلفات و ضایعات
1294000	1303000	1307000	کل هزینه ناخالص
163000	163000	163000	هزینه فرصت
83000	74000	93000	سود خالص (منفعت)

برآورد شاخص‌های سودآوری و توجیه جایگزینی تیمارها

از نظر تکنیک بودجه‌بندی جزئی و تحلیل فرضیه اقتصادی و غیراقتصادی بودن جایگزینی تیمارها، روش یا تیماری از لحاظ سرمایه‌گذاری ارجح است که جایگزینی آن با دیگر تیمارها غیراقتصادی باشد. مطابق جدول ۷، کاربرد سمپاش‌ها به جای پهپاد سمپاش غیراقتصادی است. چون در صورت جایگزینی تیمار پهپاد سمپاش به جای سمپاش توربولاینر زراعی افزایش در هزینه بیشتر از افزایش در درآمد است. در صورت

جایگزینی تیمار پهپاد سمپاش به جای کاربرد سمپاش بوم‌دار، هزینه افزایش و درآمد کاهش خواهد یافت. نرخ بازده نهایی جایگزینی کاربرد پهپاد سمپاش با سایر تیمارها ۷۶/۹۲ درصد برآورد شده است (جدول ۸). بنابراین با لحاظ کردن کلیه شرایط در این مطالعه علاوه بر مسائل اقتصادی شرایط محصول (امکان تردد در بین گیاهان بدون ایجاد خسارت به بوته)، میزان رطوبت خاک در مزرعه، دسترسی کشاورزان به سمپاش و طغیان عوامل خسارت‌زا نقش به سزایی در انتخاب نوع سمپاش دارد.

جدول ۷- آزمون فرضیه اقتصادی و غیراقتصادی بودن جایگزینی پهپاد سمپاش با دیگر سمپاش‌ها

Table 7- Economical and non-economical test for replacement of Drone with other sprayers

تیمارها Treatments	تغییرات هزینه ناشی از جایگزینی (هزار ریال در هکتار) Cost changes due to replacement (Thousand rail. ha ⁻¹)	تغییرات درآمد ناشی از جایگزینی (هزار ریال در هکتار) Income changes due to replacement (Thousand rail. ha ⁻¹)	توجیه جایگزینی Replacement of judgment
توربولاینر Turboliner	+40000	+19000	غیراقتصادی (Non-economic)
پشت تراکتوری بوم‌دار boom sprayer	--13000	+10000	غیراقتصادی (Non-economic)

جدول ۸- تجزیه و تحلیل نرخ بازده نهایی پهپاد سمپاش نسبت به دیگر تیمارها

Table 8- Final rate of return analysis of Drone with other treatments

تیمارها Treatments	سود خالص (هزار ریال) Net Income (Thousand rail)	هزینه‌ها (هزار ریال) Costs (Thousand rail)	سود خالص نهایی (هزار ریال) Final Net Income (Thousand rail)	هزینه نهایی (هزار ریال) Final cost (Thousand rail)	نرخ بازده نهایی (درصد) Marginal rate of return (%)
پهپاد Drone	93000	1470000	-	-	-
توربولاینر Turboliner	83000	1466000	+19000	+40000	475
پشت تراکتوری بوم‌دار boom sprayer	74000	1457000	+10000	--13000	76.92

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، انتخاب بهترین سم‌پاش برای کنترل عوامل خسارت‌زا (تریپس، برگ‌خوار و کرم غوزه پنبه) در مغان به وسعت مزرعه، مقدار طغیان آفات، ارتفاع بوته و در دسترس بودن سم‌پاش و هزینه سم‌پاشی وابسته است.

کمترین شاخص کیفیت پاشش برای سم‌پاش توربولاینر برابر با ۱/۸۸ و سم‌پاش پشت تراکتوری بوم‌دار و پهیاد سم‌پاش به ترتیب برابر با ۲/۲۶ و ۲/۶۰ بودند. نتایج کلی نشان می‌دهد که سم‌پاش پشت تراکتوری بوم‌دار با لحاظ شدن شرایط مزرعه و گیاه، دارا بودن شاخص کیفیت پاشش نسبی مطلوب، بهترین روش کنترل آفات پنبه در مراحل اولیه رشدی پنبه مناسب است. اما در مراحل پایانی رشد فنولوژیکی گیاهی بسته به دسترسی سم‌پاش‌ها و شرایط مزرعه (آبیاری و مساحت مزرعه) و به دلیل ارتفاع زیاد محصول، مشکلات تردد در مزرعه کاربرد پهیاد سم‌پاش و توربولاینر مناسب‌تر بود.

از لحاظ ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای بیشترین مقدار آن برای پهیاد سم‌پاش با ۴/۷۵ هکتار در ساعت و برای سم‌پاش پشت تراکتوری بوم‌دار و توربولاینر

زراعی به ترتیب برابر با ۴/۴ و ۴/۲ هکتار در ساعت بود. مقایسه میزان بادبردگی سمپاش‌ها نشان داد که بیشترین مقدار بادبردگی به ترتیب برابر با ۲۱/۲۵ و ۱۵/۲۵ درصد مربوط به توربولاینر و پهیاد سمپاش بود و کمترین آن با ۱۰/۰۱ درصد مربوط به سم‌پاش بوم‌دار بود.

برآورد اقتصادی نشان داد که نرخ بازده نهایی جایگزینی کاربرد پهیاد سم‌پاش با سایر سم‌پاش‌ها در شرایط نامناسب مزرعه و ارتفاع بوته، بیشتر از ۷۶/۹۲ درصد است. بنابراین با توجه به نتایج، مشخص شد در حالت کلی پهیاد سمپاش بهترین سودآوری را دارد و در صورت وسیع بودن مزرعه و طغیان آفت کرم غوزه پنبه، سریع‌ترین روش سمپاشی است و سمپاشی با پهیاد در این شرایط نسبت به دو روش دیگر با صرفه‌تر است. به عبارتی، اگر طغیان آفت در زمانی باشد که به دلیل بارندگی یا پس از آبیاری یا به دلیل ارتفاع زیاد محصول امکان تردد در مزرعه نباشد بهترین و سریع‌ترین روش به‌کارگیری پهیاد سم‌پاش است. در صورت نبود پهیاد سمپاش در این شرایط بهترین گزینه، سمپاش توربولاینر زراعی است.

سپاسگزاری

از مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان پارس‌آباد به دلیل حمایت‌ها و مساعدت‌ها برای تهیه و تأمین امکانات و پشتیبانی علمی و فنی لازم برای اجرای این پژوهش صمیمانه قدردانی می‌شود.

مراجع

- Asadi H., & Mostofi-Sarkari, M. R. (2018). Economical assessment of different wheat harvesters in Tehran province. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 19(71), 55-64. (in Persian)
- Azizpanah, A., Rajabipour, A., Alimardani, R., Kheiralipour, K., Ghamari, B., & Mohammadi, V. (2015). Design, construction and evaluation of a sprayer drift measurement system. *International Agricultural Engineering Journal*, 17(3), 138-146.

- Behzadipour, F., Ghasemi Nejad Raeeni, M., Asoodar, A., Marzban, A., & Abdanan Mehdizadeh, S. (2017). The regression analysis of technical factors on the drift and droplets size at the spraying by using from Laboratory and software. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 48(1), 109-101. (in Persian)
- Chuanjie, Y. A. N. G., Yi, L. U. O., Lin, S. U. N., & Na, W. U. (2015). Effect of deficit irrigation on the growth, water use characteristics and yield of cotton in arid Northwest China. *Pedosphere*, 25(6), 910-924. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30071-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30071-0).
- Deguine, J. P., Ferron, P. & Russell, D. Sustainable pest management for cotton production. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 113-137. <https://doi.org/10.1051/agro:2007042>.
- Esehaghbeygi, A., Tadayyon, A., & Besharati, S. (2010). Comparison of electrostatic and spinning discs spray nozzles on wheat weeds control. *Journal of American Science*, 6(12), 529-533.
- Jafari Malekabadi, A., Sadeghi, M., & Zaki Dizaji, H. (2016). Comparing quality of a telescopic boom sprayer with conventional orchard sprayers in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18, 585-599. <https://doi.org/20.1001.1.16807073.2016.18.3.1.3>.
- Lebeau, F., L. E., Bahir., M. F., Destain., M., Kinnaert., & R. Hanus. (2004). Improvement of spray deposit homogeneity using a PWM spray controller to compensate horizontal boom speed variations. *Computers and Electronics in Agriculture*, 43, 149-161. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.01.001>.
- Liu, Y., Pan, X. & Li, J. (2015). A 1961-2010 record of fertilizer use, pesticide application and cereal yields: a review. *Agronomy for sustainable development*, 35(1), 83-93. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0259-9>.
- Meng, Y., Song, J., Lan, Y., Mei, G., Liang, Z., & Han, Y. (2019). Harvest aids efficacy applied by unmanned aerial vehicles on cotton crop. *Industrial Crops and Products*, 140, 111645. 14. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111645>.
- Naseri, M. (2007). Investigating and evaluating effective factors on performance of field air-assisted sprayer. (M. Sc. Thesis), Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian)
- Nowrouzieh, Sh., Rezaei Asl, A., Jokar, M., & Shafipour, A. M. (2022). Evaluation of UAV sprayer quality in compared to common sprayers in cotton fieldaranian. *Journal of Cotton Researches*, 10(1), 109-132. <https://doi.org/10.22092/ijcr.2023.360187.1187>. (in Persian)
- Razmjou, J., Naseri, B., & Hemati, S. A. (2014). Comparative performance of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on various host plants. *Journal of Pest Science*, 87, 29-37. <https://doi.org/10.1007/s10340-013-0515-9>.
- Rostami, M. A., & Taheri Khorasani, N. (2018). Optimization and evaluation of a garden turbine sprayer for spraying the palm trees. *Research Report*. Ministry of Jihad-e-Agriculture. AREEO, Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)
- Rostami, M. A., & Taheri Khorasani, N. (2021). Optimization and evaluation of a turbine sprayer for spraying the date palm trees and comparison of its performance with two types of lance sprayer. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 22(77), 19-34. <https://doi.org/10.22092/erams.2019.126165.1308>. (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. <https://doi.org/10.22059/ijpps.2020.281898.1006894>. (in Persian)

- Safari, M., & Sheikhigharjan, A. (2019). Investigating different methods of spraying trees to fight the palm weevil. *Research Report*. Extention magazine, Agricultural Education and Extension Institute, Agricultural Research, Education and Extention Organization. (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)
- Soltani, G. R. & Najafi, B. (1983). *Agricultural economic*. University Center Pub. University of Shiraz. (in Persian)
- Tahmasebi, M., Hedayatypour, A., Bagheri, N., Ashtari, S., & Ghadami, Gh. (2025). Evaluation of unmanned aerial vehicles (UAV) sprayer to control two spotted spider (tetranychus urticae) in bean fields. *Research Report*. No. 66932. Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)
- Wang, S., Song, J., He, X., Song, L., Wang, X., Wang, C., Wang, Z., & Ling, Y. (2017). Performances evaluation of four typical unmanned aerial vehicles used for pesticide application in China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10, 22-31. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20171004.3219>.
- Xiao, Q., Xin, F., Lou, Z., Zhou, T., Wang, G., Han, X., Lan, Y., & Fu, W. (2019). Effect of aviation spray adjuvants on defoliant droplet deposition and cotton defoliation efficacy sprayed by unmanned aerial vehicles. *Agronomy*. 9(217), 1-15.
- Xie, J., Yu, J., Chen, B. Feng, Z., Lyu, J., Hu, L., Gan, Y., & Siddique, K. H. M. (2018). Gobi agriculture: an innovative farming system that increases energy and water use efficiencies. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38, 62. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0540-4>.
- Xin, F, Zhao, J., Wang, Y. Z. G., Han, X., Fu, W., Deng, J., & Lan, Y. (2018). Effects of dosage and spraying volume on cotton defoliants efficacy: A case study based on application of unmanned aerial vehicles. *Agronomy*, 8(85): 1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy8060085>.
- Zarifneshat, S., Saeedi Rad, M. H., Safari, M., Motamed Alshariati, S. H. R., & 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>.

Research Paper

Technical-Economic Evaluation of Drone Sprayer with Conventional Sprayers in Controlling Cotton Pest Control

Case Study: Moghan Plain

J. Taghinezhad* and V. Mahdavi

*Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Ardabil Agricultural and Resource Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran. E-mail: taghinazhad55@gmail.com

Received: 12 May 2025, Accepted: 11 October 2025

<https://doi.org/10.22092/amsr.2025.369437.1517>

Abstract

In this study, it was done to investigate the efficiency to improve the quality of spraying on the control of cotton pests in Moghan. This project was conducted in a completely random blocks experimental design with four replications. The treatments tested were spraying with UAV sprayer, boom and turboliner sprayer. The measured parameters included the effective capacity, amount of spraying of poison solution per hectare, numerical and volumetric median diameter of poison, spraying quality, drift, and effectiveness of sprayers. The results showed that the lowest spraying quality index for the turboliner sprayer was 1.88, and for the boom sprayer and the drone sprayer were 2.26 and 2.60, respectively. The boom sprayer was the best method for controlling the thrips pests in the early stages of cotton growth due to its easy access, suitability of field and plant conditions, and favorable relative spraying quality. However, in the final stages of plant growth, depending on the availability of sprayers and field conditions (irrigation and field area), and due to the high height of the crop and traffic problems in the field, the use of the drone sprayer and the turbo liner was more suitable. The highest field capacity with 4.75 ha.hr^{-1} related to the drone and the lowest drift with %10.01 were related to boom. The results of the economic analysis showed that the marginal efficiency rate of replacing the use of drone with other treatments in inappropriate field conditions and plant height is more than 76.92%. Therefore, drone sprayer is recommended.

Keywords: Bollworm, Cotton, Sensitive Paper, Spraying Drone, Spraying Quality



© 2024 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)