تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۳/ شماره ۸٤/زمستان ۱٤۰۱/ص ۱٦-۱
سایت مجله: https://www.amsr.areeo.ac.ir

مقاله علمی– پژوهشی

ارزیابی و مقایسهٔ پهپاد سمپاش برای کنترل آفت توتا در محصول گوجه‌فرنگی

محمود صفری[1*]، نیکروز باقری[2]، عزیز شیخی گرجان[3] و سعید ظریف‌نشاط[4]

۱ و ۲- به ترتیب: استادیار؛ و دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- دانشیار موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۴- دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۷

چکیده

توتا یا پروانهٔ مینوز گوجه‌فرنگی از مخرب‌ترین آفات محصول گوجه فرنگی است. یکی از روش‌های مبارزه با این آفت، روش شیمیایی و استفاده از سمپاش است. در سال‌های اخیر از پهپاد سمپاش برای عملیات سمپاشی استفاده شده است؛ عملکرد این سمپاش‌ها در مزارع گوجه‌فرنگی ارزیابی نشده است. در این تحقیق، سه تیمار مختلف سمپاشی به منظور کنترل آفت توتا در مزرعهٔ گوجه‌فرنگی در منطقهٔ صفادشت کرج طی طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار بررسی شد. تیمارهای آزمایشی شامل: ۱- سمپاشی با پهپاد، ۲- سمپاشی با سمپاش لانس‌دار تراکتوری و ۳- سمپاشی با سمپاش اتومایزر پشتی بودند. نتایج به دست آمده با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد نشان داد در سمپاش‌های لانس‌دار، اتومایزر و پهپاد به ترتیب میزان مصرف محلول سم ۳۷۳/۳ ، ۲۰۷/۱ و ۸/٤ لیتر در هکتار، بادبردگی ٤٦/٥، ۳۲/٦ و ۹/۹ درصد، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ۰/٥، ۰/٤ و ٤/۹ هکتار بر ساعت و بازده مزرعه‌ای ٤٤/٦، ۳٥/۷ و ٦۸/۰ درصد است. از نظر کارآیی بر اساس تعداد دالان و لارو در ۳، ۷ و ۱۰ روز پس از سمپاشی، روش لانس‌دار با ۸۲ درصد در ۱۰ روز پس از سمپاشی دارای بیشترین درصد کارایی بود. ضریب کیفیت پاشش در سمپاش‌های اتومایزر و پهپاد به ترتیب ۲/۹۲ و ۱/۲۲ بود. از نظر اقتصادی، نسبت سود به هزینه در سه سمپاش لانس‌دار، اتومایزر و پهپاد به ترتیب ۱/۹۳، ۱/۸۸ و ٤/۸۰ به دست آمده است که نشان می‌دهد روش استفاده از پهپاد نسبت به دیگر روش‌ها برتری دارد. با توجه به نتایج فنی و اقتصادی، استفاده از پهپاد (به رغم اثربخشی پایین‌تر) برای مبارزه با آفت توتا توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی

بادبردگی، سمپاشی، کارایی، محلول مصرفی

مقدمه

آفت *توتا آبسولوتا* شب‌پره‌ای بسیار خطرناک برای محصول گوجه‌فرنگی است. این آفت روی بادمجان، فلفل دلمه‌ای، سیب‌زمینی و انواع دیگر گیاهان و علف‌های هرز خانوادهٔ سولاناسه مشاهده شده است. لاروها از بافت مزوفیل برگ گیاه تغذیه می‌کنند. لاروهای مینوز گوجه‌فرنگی در داخل برگ‌ها، ساقه‌ها و میوه دالان‌هایی ایجاد می‌کنند. لاروها پس از تفریخ، جوانه‌های انتهایی، گل‌ها، میوه‌های جوان و برگ‌ها یا ساقه‌ها را سوراخ

*نگارنده مسئول: Email: email2safari@yahoo.com
http://10.22092/AMSR.2023.361037.1435

می‌کنند. در داخل میوه‌ها سوراخ‌ها و کانال‌های ایجاد شده توسط لاروها به وسیلهٔ عوامل بیماری‌زا مورد حمله قرار می‌گیرند و باعث پوسیدگی آن می‌شوند. با افزایش رشد و تغذیهٔ لاروها، سوراخ‌های لاروی طویل‌تر و عریض‌تر می‌شوند. در حملهٔ شدید، همهٔ بافت برگ خورده می‌شود و تنها شکلی از برگ باقی می‌ماند که حاوی مقدار زیادی فضولات لاروی است. خسارت ایجاد شده توسط این آفت به ویژه در گیاهان جوان بسیار شدید است. آفت در صورتی‌که به شکلی مناسب کنترل نشود می‌تواند بین ۱۰۰-۹۰ درصد محصول گوجه‌فرنگی را از بین ببرد. در اثر تغذیهٔ مستقیم لاروها و عوامل بیماری‌زایی که از راه کانال‌ها وارد میوه می‌شوند و آن را می‌پوسانند، کمیت و کیفیت محصول کاهش می‌یابد (Torres *et al*., 2001; Anon, 2009). به دلیل وجود لاروها درون دالان‌های گیاه، مبارزهٔ شیمیایی با این حشره بسیار دشوار است و موفقیت این روش در گرو کاربرد صحیح حشره‌کش‌های مناسب در بازهٔ زمانی مناسب در فصل کشت است. بر اساس گزارش‌های موجود، آفت‌کش ایندوکساکارب (اوانت) و کلرپیریفوس طلایی (دورسبان) از جمله سموم مؤثر روی این آفت هستند. به دلیل نکاتی که دربارهٔ قدرت بالای این شب‌پره در مقاومت نسبت به سموم گفته شده است، باید به هنگام کاربرد حشره‌کش‌ها حتماً اصول مدیریت مقاومت ناشی از کاربرد آفت‌کش‌ها مدنظر قرار گیرد (Torres *et al*., 2001).

از متداول‌ترین سمپاش‌های زمینی مورد استفاده در مزارع کشور می‌توان به سمپاش‌های لانس‌دار پشت تراکتوری اشاره کرد. در این سمپاش‌ها، قطره‌هایی که قطر آن‌ها کمتر از ۱۰۰ میکرون است به علت سبکی به راحتی با جریان شدید هوا تا فاصلهٔ ۴۰ متری منتقل می‌شوند، در صورتی‌که قطره‌های درشت به علت سنگینی بیشتر به محض خروج از نازل پس از طی مسافت کوتاهی به پایین سقوط می‌کنند، قطره‌های ۴۰۰-۲۰۰ میکرونی تنها ۱۲ متر به جلو پرتاب می‌شوند. استفاده از تراکتور در مزارعی که کشت سنتی دارند ناممکن است، در این مزارع، جوی‌های آبیاری یکی از موانع اصلی در تردد تراکتور هستند. برای کنترل آفت زنجرک خرما از پهپاد سمپاش (مجهز به افشانک میکرونر) و سمپاش لانس‌دار استفاده شد و نتایج نشان داد که در پهپاد سمپاش و سمپاش لانس‌دار به ترتیب مقدار محلول مصرفی ۲۸/۹ و ۱۱۰۰ لیتر در هکتار، بادبردگی ۱۱/۰۲ درصد و ۴۲/۶ درصد و ظرفیت مزرعه‌ای ۲/۷ و ۰/۸هکتار بر ساعت است (Safari & Sheikhigarjan, 2019). در تحقیقی، سه سمپاش لانس‌دار پشتی با ۳ نازل از نوع بادبزنی، سمپاش پشتی کتابی با نازل مخروطی، و لانس‌دار موتوری (زمینی) با نازل مخروطی توخالی برای کنترل آفت توتای گوجه فرنگی ارزیابی شدند. هدف تعیین اثر روش کاربرد بر اثربخشی اولیهٔ سه حشره‌کش، بنزوات، ایندوکساکارب (آوانت) و متافلومیزون بود. نتایج تحقیق طی دو فصل در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ نشان داد که میانگین قطر حجمی در سمپاش پشتی کتابی ۹۴/۴-۶۸/۷ میکرومتر، در سمپاش لانس‌دار پشتی مجهز به نازل‌های بادبزنی ۱۲۵-۵۱/۳۵ میکرومتر و در سمپاش لانس‌دار موتوری ۹۵۰-۴۸۰ میکرومتر است. بیشترین کارآیی با سمپاش‌های کتابی نازل مخروطی و کمترین آن مربوط به سمپاش لانس‌دار موتوری بود. متوسط کارآیی روش ها با سم آوانت (ایندوسکارب) به ترتیب ۸۶/۲۲، ۸۷/۷۳ و ۶۹/۲ درصد بود (Salloum, 2019). در تحقیقی، اثربخشی پهپاد به منظور کنترل آفت‌های مختلف بررسی شد.

نتایج بررسی‌ها نشان داد کاربرد مواد گرانول و آفت‌کش مؤثر است و ضریب اطمینان در استفاده از پهپاد سمپاش بالاست. برای کنترل بندپایان، خصوصاً مزوکوئیت‌ها، سمپاشی هوایی روشی مهم و مؤثر محسوب می‌شود. با استفاده از پمپ ۱۰ ولت، فشار محلول‌پاشی ۳۳۸ کیلو پاسکال و قطر قطره‌ها ۶۶/۲ میکرون بود، به دلیل دمش هوا به سمت پایین توسط شش دمنده، از بادبردگی محلول سم جلوگیری شد و محلول به خوبی به داخل محصول نفوذ کرد (Miller, 2005).

در پهپادها به دلیل استفاده از سامانهٔ حجم محلول مصرفی پایین[1]، قطر قطره‌های سم در محدودهٔ ۵۰ میکرون قرار دارد و استفاده از این روش هم در مزارع بزرگ و هم در مزارع کوچک توصیه شده است (Huang *et al.*, 2009). در تحقیقی سه سمپاش پهپاد، بوم‌دار پشت تراکتوری و توربولاینر به منظور مبارزه با علف‌های هرز گندم مقایسه شدند. نتایج تحقیق نشان داد محلول مصرفی این سه نوع سمپاش به ترتیب ۱۱/۱، ۳۵۱/۶ و ۲۴۹/۱ لیتر در هکتار و میزان بادبردگی به ترتیب ۱۶/۷۶، ۷/۶۶ و ۳۸/۶ درصد است. از نظر کارایی بین روش‌ها برای کنترل علف‌های هرز، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. میزان ظرفیت نظری ۶/۷، ۵/۹ و ۷/۷ هکتار بر ساعت و بازده مزرعه‌ای ۸۳/۱، ۷۸/۷ و ۶۶/۲ درصد بود. از نظر انرژی مصرفی در هکتار میزان انرژی مصرفی به ترتیب ۴۱۸، ۲۸۳۷/۸ و ۴۷۹۶/۲ کیلو ژول در هکتار بود (Zarifneshat *et al.*, 2022). در هندوستان به منظور مبارزه با آفات در محصول بادام‌زمینی و برنج از پهپاد استفاده شده است. ظرفیت مزرعه‌ای در این مزارع در ارتفاع یک متر از محصول و سرعت پیشروی ۳/۶ کیلومتر بر ساعت به ترتیب ۱/۱۵ و ۱/۰۸ هکتار بر ساعت بوده است. در این محصولات، هزینه‌های عملیاتی به ترتیب ۳۴۵ و ۳۶۷ روپیه (هندوستان) در هکتار محاسبه شد. قطر متوسط حجمی و عددی قطره‌ها در شرایط آزمایشگاهی به ترتیب ۳۴۵ و ۲۷۰ میکرومتر بود (Yallappa, 2017). در تحقیقی، عملکرد چهار نوع پهپاد سمپاش به منظور کنترل آفت در مزرعهٔ گندم ارزیابی و نشان داده شد که دقت سمپاشی پایین و توزیع قطره‌ها غیریکنواخت است و پهپاد نیاز به اصلاح بیشتری دارد. مشخص شد دمش ملخ‌های پهپاد به سمت پایین باعث نفوذ بیشتر قطره‌ها در قسمت‌های تحتانی گیاه شده است. از کل زمان عملیات، پنج درصد به نقص دستگاه تعلق داشت و بیشتر اوقات برای سرویس و آماده کردن دستگاه صرف شد و زمان عملیات مفید برای سمپاشی کمتر از ۳۰ درصد بود (Wang *et al.*, 2017).

اثربخشی استفاده از پهپاد سمپاش برای کنترل آفت محصول برنج و در مراحل مختلف رشد در سرعت‌های پروازی متفاوت و برای دو نوع افشانک ارزیابی شد. نتایج نشان داد بازده سمپاشی با پهپاد در همهٔ مراحل رشد بیشتر از بازده سمپاشی با سمپاش‌های رایج است (Zhou *et al.*, 2020). در تحقیقی به منظور کنترل آفات در باغ‌های انگور از پهپاد سمپاش استفاده شد و نتایج نشان داد این سامانه‌ها به طور موفقیت‌آمیزی در سمپاشی محصولاتی با شرایط خاص کارایی دارند، خطای کاری و مکانیکی ندارند، میزان مصرف محلول سم در هکتار پایین و بین ۵۰-۱۰ لیتر بر هکتار و ظرفیت کاری ۵-۲ هکتار بر ساعت متغیر است. استفاده از سامانه‌های خودکار (اتوپایلوت)، بارکاری کاربر را کاهش می‌دهد (Giles & Billing, 2015). در سال‌های اخیر، سمپاشی هوایی به لحاظ آلودگی محیط‌زیست متوقف و سمپاشی زمینی به دلیل

معایبی همچون، لهیدگی محصول، مصرف بالای محلول سم، بادبردگی زیاد و ظرفیت کاری پایین با مشکل مواجه شده است؛ آفت توتا خسارت خود را در مدت‌زمان کوتاهی به جا می‌گذارد. در تحقیق حاضر، به منظور کنترل این آفت، از پهپاد سمپاش، سمپاش لانس‌دار پشت تراکتوری و سمپاش اتومایزر پشتی استفاده و نتایج از نظر فنی و اقتصادی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به منظور مبارزه با آفت توتا در گوجه‌فرنگی (رقم ۸۳۲۰)، روش‌های مختلف سمپاشی از نظر فنی و اقتصادی ارزیابی شده است. در زمان سمپاشی، دما ۲۹ درجهٔ سلسیوس، رطوبت نسبی هوا ۵۵ درصد، سرعت باد ۰/۳ متر بر ثانیه و ارتفاع سمپاشی در بالای محصول یک متر بوده است. روش‌های سمپاشی (تیمارهای آزمایش) شامل استفاده از پهپاد سمپاش، استفاده از سمپاش لانس‌دار تراکتوری و استفاده از سمپاش اتومایزر است (شکل ۱). آزمون‌های مزرعه‌ای روی محصول گوجه‌فرنگی برای مبارزه با آفت در استان البرز و منطقه صفادشت در زمان آلودگی حداقل ۲۰ درصد بوته‌ها اجرا شد. علت انتخاب این محصول، تراکم زیاد بوته در واحد سطح، پوشش درهم، سختی نفوذ سم به داخل پوشش و مشکل تردد سمپاش‌های تراکتوری در سطح مزرعه بود. علت انتخاب آفت نیز شدت خسارت‌های ناشی از آن به محصول بود. قبل از آغاز سمپاشی، سمپاش‌ها از نظر محلول مصرفی در دقیقه کالیبره شدند (Seidin, 2018). سم مورد استفاده اندوسکاکارب[1] و به میزان ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار بود که با نسبت‌های مناسب با آب مخلوط و به کار گرفته شد. در پهپاد سمپاش از دو نازل میکرونر استفاده شد، حجم مخزن آن ۶ لیتر و دستگاه دارای ۶ دمنده بود که باعث جابه‌جایی پهپاد می‌شد (جدول ۱). علاوه بر آن، این دمنده‌ها باعث هدایت قطره‌های محلول سم به سمت پایین می‌شد. منبع تأمین توان دمنده‌ها و نازل‌های میکرونر، باتری ۲۵/۲ ولت لیتیم پلیمر با ظرفیت ۱۷ آمپر-ساعت بود.

خصوصیات فنی پهپاد مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. برای رعایت دُز مورد نظر در پهپاد سمپاش، باید ۲۵۰ میلی‌لیتر سم در هکتار توزیع می‌شد. سطح پلات‌های آزمایشی ۴۰۰ مترمربع بود. برای محلول‌پاشی ۱۲۰۰ مترمربع (۳ پلات ۴۰۰ مترمربعی) یک لیتر محلول نیاز بود که با ۳۷/۵ میلی‌لیتر سم ایندو سکاکارب به حجم مورد نظر رسید و پلات‌ها توسط پهپاد سمپاشی شد. سرعت پیشروی پهپاد روی پنج متر بر ثانیه تنظیم گردید. پمپ الکتریکی که در زیر مخزن قرار داشت محلول سم را بین دو نازل توزیع می‌کرد. سامانهٔ کنترلی که در اختیار کاربر بود وضعیت عملکردی دستگاه، مانند سرعت پیشروی و ارتفاع پاشش را کنترل می‌کرد. در سمپاش لانس‌دار پشت تراکتوری از پمپ پیستونی به منظور ارسال محلول سم به نازل استفاده شد. نازل مورداستفاده از نوع مخروطی توخالی و حجم مخزن ۴۰۰ لیتر بود که محلول سم توسط پمپ به سمت نازل‌ها هدایت می‌شد. سمپاش قبل از سمپاشی کالیبره شد. برای این منظور، میزان خروجی نازل در مدت زمان معین در درون ظرف مدرجی جمع‌آوری و میزان لیتر بر دقیقه در سه تکرار محاسبه گردید. به منظور رعایت دُز مورد نظر و به منظور سمپاشی ۱۲۰۰ مترمربع از مزرعه، ۳۷/۵ میلی‌لیتر سم با ۴۴/۸ لیتر آب در مخزن سمپاش مخلوط شد. در سمپاش اتومایزر پشتی، نازل مورد استفاده از نوع قطره‌چکانی به قطر دو میلی‌متر و

1- SIVANTO

حجم مخزن ۱۰ لیتر بود که جریان هوا از یک مسیر و جریان محلول سم از لولهٔ جداگانه جریان دارد. با به کار انداختن سمپاش، میزان خروجی نازل طی یک دقیقه و به کمک ظرف مدرج در سه تکرار اندازه‌گیری شد. برای سمپاشی ۱۲۰۰ مترمربع، ۳۷/۵ میلی‌لیتر سم به ۲۴/۸ لیتر آب اضافه و مخلوط شد. در این سمپاش‌ها، محلول تحت فشار نیست و از مخزن توسط نیروی ثقل و خلأ ناشی از جریان هوا، به سمت ونتوری موجود در دهانهٔ لولهٔ پخش جریان هوا هدایت و در اثر سرعت بالای هوا، محلول سم به قطره‌های ریز تبدیل می‌شود.

جدول ۱- مشخصات پهپاد سمپاش

Table 1- Specifications of sprayer drone

مشخصات Speceification	عامل Item	
6	Number of blower motors	تعداد موتورهای دمنده
2	Number of micronair nozzles	تعداد نازل‌های میکرونر
Micronair میکرونر	Nozzle type	نوع نازل
300-1500 $ml.min^{-1}$	Pump rate	دبی پمپ
11kg	Weight	وزن پرنده (خالی)
25.2V battry- 17Am	Power supply	منبع تغذیه
18kg	Maximum weight	حداکثر وزن برخاست
6Lit	Tank volume	حجم مخزن
RTK	Control system	سامانه کنترل
15-45Ċ	Operating temperature range	بازه دمایی عملکرد
0-10 $m.sec^{-1}$	Speed limitation	محدوده سرعت
10-15 min^{-1}	Flight duribility	مداومت پروازی
600 m	Flight range	برد پرواز
4-5 $ha.h^{-1}$	Effective capacity	ظرفیت مؤثر
50 cm	Spray height of the crop	ارتفاع پاشش از محصول

آزمون در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. سطح پلات‌های آزمایشی برای سمپاشی، ۴۰۰ مترمربع به طول ۴۰ متر و عرض ۱۰ متر (با در نظر گرفتن حاشیهٔ ۲۰ متری) بود. برای ارزیابی مزرعه‌ای روش‌های سمپاشی، پارامترهای بادبردگی، یکنواختی قطره‌ها (ازنظر اندازه و تعداد)، کارآیی سم، ظرفیت‌های نظری و مؤثر، انرژی مصرفی و بازده مزرعه‌ای به صورت زیر اندازه‌گیری شد (Safari & Bagheri, 2021).

بادبردگی

در این آزمون پس از نصب کارت‌های حساس به آب در خارج از مزرعه، مقدار بادبردگی محلول سم اندازه‌گیری شد. کارت‌های حساس در فاصله‌های منظم و در جهت عمود بر مسیر حرکت و خارج از مزرعه به فاصله‌های یک متر (۱۰ عدد کارت حساس) قرار داده شدند و پس از سمپاشی، کارت‌ها جمع‌آوری و درصد خیس‌شدگی کارت‌هایی که در معرض قطره‌های محلول سم قرار گرفته بودند، با توجه به مساحت کارت‌های حساس و مساحت کل کارت‌های قرار داده شده، تعیین گردید. عدد به دست آمده تخمینی از درصد بادبردگی را نشان داد (Kharim *et al*., 2019).

بازده مزرعه‌ای

برای اندازه‌گیری بازده مزرعه‌ای، پس از تعیین ظرفیت نظری (رابطهٔ ۱)، زمان لازم برای سمپاشی هر پلات آزمایشی تعیین و ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای محاسبه شد. بازده مزرعه‌ای از نسبت ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای به ظرفیت نظری از رابطهٔ ۲ تعیین شد (Safari & Sheikhigarjan, 2019):

$$Ct = \frac{V*W}{10} \quad (۱)$$

که در آن،

V= سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)؛ W= عرض کار (متر)؛ و C_t= ظرفیت نظری (هکتار بر ساعت).

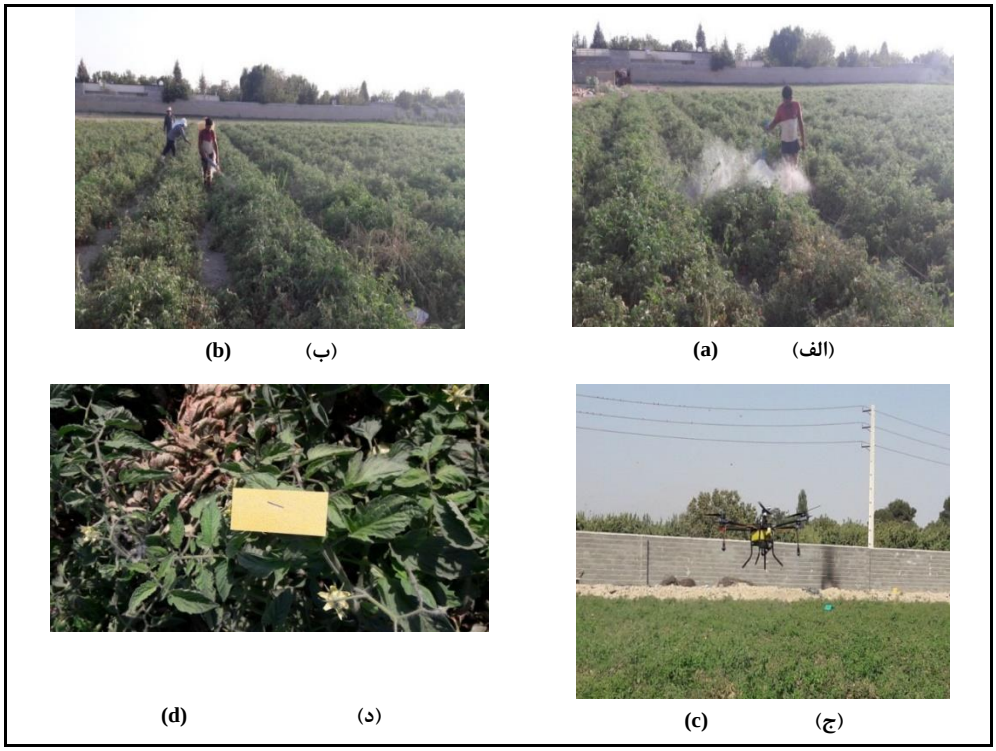
$$E=\frac{C_o}{C_t} * 100 \quad (۲)$$

که در آن،

E= بازده مزرعه‌ای (درصد)؛ و C_o= ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای (هکتار بر ساعت).

انرژی مصرفی

انرژی الکتریکی مصرفی بر حسب کیلووات ساعت بر هکتار اندازه‌گیری شد؛ مقدار انرژی الکتریکی پهپاد بر حسب وات‌ساعت شامل مجموع توان مصرفی باتری‌ها و رادیو کنترل بود. از حاصل‌ضرب ولتاژ در شدت جریان، توان مصرفی تعیین شد و در نهایت با داشتن ساعات کاری، مقدار انرژی الکتریکی در ساعت و در ماه محاسبه گردید (Safari & Sheikhigarjan, 2019). در سمپاش لانس‌دار، با توجه به توان مصرفی مورد نیاز برای راه‌اندازی پمپ و در سمپاش اتومایزر با توجه به توان اسمی موتور دو زمانه، میزان انرژی مصرفی ماهیانه محاسبه شد.



شکل ۱- روش‌های مختلف سمپاشی: الف) سمپاش لانس‌دار، ب) سمپاش اتومایزر، ج) پهپاد سمپاش و د) تعیین یکنواختی پاشش به کمک کارت حساس

Fig. 1- Different methods of spraying: a) lance sprayer, b) atomizer sprayer, c) drone sprayer and d) Determination of spraying uniformity with the help of a sensitive card

یکنواختی پاشش

برای تعیین یکنواختی پاشش، ۵ عدد کارت حساس به آب در مسیر پاشش و روی محصول قرار داده شد (شکل ۱-د). پس از سمپاشی، کارت‌ها جمع‌آوری و یکنواختی پاشش تعیین گردید (Safari & Bagheri, 2021). به منظور تعیین یکنواختی پاشش روی کارت‌های حساس، قطر قطره‌هایی که در ۵۰ درصد حجمی قرار داشتند به عنوان قطر متوسط حجمی (VMD[1]) در نظر گرفته شد (Zhua *et al.*, 2011). با تشکیل جدول فراوانی، قطر متوسط حجمی و عددی تعیین و سرانجام ضریب کیفیت سمپاشی از نسبت قطر متوسط حجمی به عددی به دست آمد.

کارآیی سمپاشی

به منظور اندازه‌گیری کارآیی سمپاشی با پهپاد برای مبارزه با کرم توتا، یک روز پیش از سمپاشی و ۳، ۷ و ۱۰ روز بعد از سمپاشی تعداد کانال‌های کوچک و بزرگ فعال (لارو زنده) و تعداد میوه‌های آلوده در هر کرت شمارش شد (Henderson & Tilton, 1955). برای نمونه‌برداری، تعداد لاروهای زنده و دالان‌های ایجاد شده روی برگ‌ها شمارش شد. کارآیی سمپاشی با استفاده از رابطه‌های ۳ و ۴ تعیین شد (Chen *et al.*, 2020):

$$R(\%) = \frac{PT0 - PT1}{PT0} \times 100 \qquad (۳)$$

که در آن،

R= آفت‌های تلف شده (درصد)؛ P_{TO}= تعداد آفت‌های زنده پیش از سمپاشی؛ و P_{T1}= تعداد آفت‌های زنده پس از سمپاشی.

برای گرفتن نتایج بهتر باید اثر شاهد را از رابطهٔ ۴ محاسبه کرد:

$$E(\%) = \frac{R_{PT} - R_{CK}}{1 - R_{CK}} \times 100 \qquad (۴)$$

که در آن،

E= اثر شاهد (درصد)؛ R_{PT}= تعداد آفت‌های تلف شده در منطقه سمپاشی‌شده؛ و R_{CK}= تعداد آفت‌های تلف‌شده در منطقه شاهد (Safari & Bagheri, 2021).

ارزیابی اقتصادی

روش‌های سمپاشی با استفاده از روش گردش نقدی سالانه، از لحاظ اقتصادی ارزیابی شدند. در این روش، هزینهٔ یکنواخت سالانه در هر روش سمپاشی محاسبه شد. هزینهٔ اولیهٔ ماشین با در نظر گرفتن ضریب بازگشت سرمایه به معادل هزینهٔ یکنواخت سالیانه و ارزش اسقاط ماشین در پایان ۱۰ سال با در نظر گرفتن ضریب اقساط منظم سالیانه و نرخ سود بانکی به معادل هزینه یکنواخت سالیانه تبدیل گردید. سرانجام هزینهٔ یکنواخت سالیانه خرید ماشین، ارزش اسقاط و هزینه‌های تعمیر و نگهداری با یکدیگر تجمیع و میزان هزینهٔ یکنواخت سالیانه محاسبه شد. روشی که هزینهٔ یکنواخت سالیانه کمتری داشت به عنوان روش مناسب از نظر اقتصادی انتخاب شد (Soltani, 2008). در این تحقیق، هزینهٔ یکنواخت سالیانه هر سه روش سمپاشی با پهپاد، سمپاش لانس‌دار و اتومایزر تعیین و در صورت استفاده از دستگاه به صورت اجاره‌ای، میزان درآمد محاسبه و در انتها نسبت سود به هزینه با هم مقایسه شد.

پس از تعیین میزان بادبردگی، محلول مصرفی، ظرفیت‌های نظری و مؤثر، بازده مزرعه‌ای، کیفیت پاشش، انرژی مصرفی و ارزیابی اقتصادی، نتایج با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد و به کمک نرم‌افزار SPSS 18 تجزیه و تحلیل شد.

1- Volume Median Diameter

نتایج و بحث

محلول مصرفی در هکتار

بین تیمارهای آزمایشی ازنظر میزان محلول مصرفی در هکتار در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). بر اساس جدول میانگین‌ها، بیشترین میزان مصرف محلول سم (۳۷۳/۳ لیتر در هکتار) مربوط به سمپاش لانس‌دار و کمترین آن (۸/۴ لیتر در هکتار) مربوط به پهپاد سمپاش است. میزان مصرف محلول سم سمپاش اتومایزر ۲۰۷/۳ لیتر در هکتار است (جدول ۳). این نتایج با نتایج تحقیقات صفری و همکاران (Safari & Sheikhigarjan, 2019). در خصوص بررسی سمپاش‌های رایج همخوانی دارد. سمپاش‌های لانس‌دار و اتومایزر در گروه پرمصرف (H.V) و پهپاد سمپاش در گروه کم‌مصرف (L.V) قرار دارد. در پهپاد سمپاش به دلیل اینکه از دو نازل میکرونر استفاده شده است، از نظر محلول مصرفی در هکتار شرایط مشابه سمپاش‌های میکرونر زمینی است. سمپاش‌های لانس‌دار که بیشترین میزان محلول مصرفی در هکتار را دارند حدود ۴۰ درصد از سمپاش‌های مورد استفاده در کشور را تشکیل می‌دهند.

در تحقیق ظریف‌نشاط و همکاران (Zarifneshat *et al.*, 2022) برای مبارزه با علف های هرز گندم از سه سمپاش پهپاد، بوم‌دار پشت تراکتوری و توربولاینر استفاده و مشخص شد که میزان مصرف محلول سم توسط آنها به ترتیب ۱۱/۱۴، ۳۵۱/۵۹ و ۲۴۹/۱۴ لیتر بر هکتار است که با میزان مصرف محلول سم توسط پهپاد در این تحقیق همخوانی دارد.

یکی از دلایل استفاده از این سمپاش‌ها، کاربری راحت‌تر و هزینهٔ پایین‌تر این روش است. با توجه به شرایط خشکسالی کشور و لزوم بهره‌وری در مصرف آب (در بسیاری از موارد دسترسی به آب سالم مشکل است)، استفاده از پهپاد در مزارع می‌تواند راهکاری مؤثر در کاهش مصرف محلول سم باشد. در سمپاش‌های لانس‌دار به دلیل حجم بالای مصرف محلول سم، محلول پاشیده شده روی محصول شره می‌کند که باعث هدررفت محلول سم و آلودگی محیط‌زیست (خاک) می‌شود. از طرفی، یکی از مشکلات اساسی نازل‌های میکرونر، بادبردگی در سمپاش‌های مجهز به این نازل‌هاست که در پهپاد سمپاش با ۶ دمنده که باعث جابه‌جایی دستگاه می‌شود برطرف شده است و قطره‌های سم به سمت پایین و محل مورد نظر هدایت می‌شوند. این سمپاش‌ها می‌توانند جایگزین مناسبی برای سمپاش‌های لانس‌دار باشند.

بادبردگی

با توجه به کارت‌های حساس قرار داده شده در اطراف مزرعه در هر سه تیمار آزمایشی، بین روش‌های سمپاشی از نظر بادبردگی در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. با توجه به مقایسهٔ میانگین‌ها، ازنظر بالا بودن درصد بادبردگی، سمپاش لانس‌دار با ۴۶/۵ درصد و پهپاد سمپاش با ۹/۹ درصد به ترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد بادبردگی (اندو دریفت) بوده‌اند. میزان بادبردگی سمپاش اتومایزر ۳۲/۶ درصد است (جدول ۳).

نتایج نشان می‌دهند که پهپاد سمپاش علاوه بر دارا بودن کیفیت سمپاشی بالا، بادبردگی کمتری نسبت به روش‌های لانس‌دار و اتومایزر دارد. یکی از دلایل آن می‌تواند وجود دمنده‌های نصب شده روی پهپاد باشد که قطره‌های سم را به سمت هدف هدایت می‌کنند. از طرفی، با توجه به مصرف بسیار

پایین محلول سم، قطره‌های کنترل شده به هدف می‌رسند و با توجه به حجم کم محلول سم، مجالی برای بادبردگی باقی نمی‌ماند. در سمپاش‌های لانس‌دار و اتومایزر، نسبت به پهپاد، به دلیل درشت‌تر بودن قطره‌های سم و هدایت کنترل شدهٔ قطره‌ها به سمت هدف، محلول سم به هدف برخورد می‌کنند و بسیاری از قطره‌ها به سمت پایین بخش‌های گیاه سقوط می‌کنند که باعث آلودگی خاک، کاربر و محیط‌زیست می‌شود. در این روش ها، قطره‌هایی که به صورت کنترل شده هدایت می‌شوند مزیت محسوب می‌شوند ولی در اثر اصابت به هدف، پخش و باعث بادبردگی می‌شود. در هر دو سمپاش لانس‌دار و اتومایزر به علت اینکه کاربر هرچند یک‌بار سر نازل را به سمت بالا می‌گیرد یا اینکه به صورت زیگزاگ و غیرمنظم سمپاشی می‌کند، باعث اتلاف محلول سم و بادبردگی می‌شود. در این سمپاش‌ها قطر قطره‌ها متفاوت است، قطره‌ها از ریز تا درشت وجود دارند که پراکندگی قطر قطره‌ها نسبت به سایر روش‌ها بیشتر است. قطره‌های ریز دچار بادبردگی می‌شوند و قطره‌های درشت پس از اصابت به هدف، دچار ریزش (شره کردن) می‌شوند.

ظرفیت و بازده مزرعه‌ای

بین تیمارهای آزمایشی از نظر ظرفیت مزرعه‌ای در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول‌های ۲ و ۳). در سمپاش‌های لانس‌دار، اتومایزر و پهپاد به ترتیب ظرفیت مزرعه‌ای نظری ۱/۱۲، ۱/۱۰ و ۷/۲ هکتار بر ساعت، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ۰/۵، ۰/۴ و ۴/۹ هکتار بر ساعت و بازده مزرعه‌ای ۴۴/۶، ۳۵/۷ و ۶۸/۰۵ درصد محاسبه شده است. بیشترین و کمترین ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر مربوط به سمپاش‌های پهپاد و اتومایزر است. وقت‌های تلف شده در پهپاد شامل تعویض باتری و پر کردن مجدد مخزن سم بوده است که باعث شده بازده مزرعه‌ای در محدودهٔ ۶۸ درصد باشد. از دلایل عمده پایین بودن ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در سمپاش‌های اتومایزر و لانس‌دار، می‌توان به حرکت‌های زیگزاگ کاربر و هم‌پوشانی‌های غیرضروری و جابه‌جایی شیلنگ (لانس) یا خرطومی در سمپاش و سمپاشی موضعی و پایین بودن سرعت پیشروی کاربر اشاره کرد که هر یک از این عوامل به نوبهٔ خود باعث اتلاف وقت شده است. در پهپاد سمپاش به علت سرعت بالای سمپاشی و مشخص بودن مسیر سمپاشی به نحو مؤثری از اتلاف وقت جلوگیری شده است. بازده مزرعه‌ای پهپاد نسبت به دو روش دیگر بیشتر است که از دلایل عمدهٔ آن می‌توان به کاهش وقت‌های تلف شده مانند دور زدن‌های متوالی و پر کردن مخزن سمپاش اشاره کرد. بازده مزرعه‌ای پهپاد در صورت استفاده از باتری‌های بادوام بیشتر، افزایش خواهد یافت.

در تحقیقی روی سه سمپاش پهپاد، بوم‌دار پشت تراکتوری و توربولاینر به منظور مبارزه با علف‌های هرز گندم، میزان ظرفیت نظری به ترتیب ۶/۷، ۵/۹ و۷/۷ هکتار بر ساعت و بازده مزرعه‌ای ۸۳/۱، ۷۸/۷ و ۶۶/۲ درصد بوده است (Zarifneshat *et al.*, 2022)؛ ظرفیت نظری پهپاد با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. بازده مزرعه‌ای در این تحقیق ۶۸ درصد شده است که از میزان بازده مزرعه‌ای در مزرعه گندم (۸۳/۱ درصد) پایین‌تر است، یکی از دلایل آن می‌تواند راحت‌تر بودن سمپاشی مزرعهٔ گندم، نسبت به مزرعهٔ گوجه‌فرنگی، از نظر سرعت عملیات و میزان دور زدن‌ها باشد.

جدول ۲- تجزیهٔ واریانس تیمارهای آزمایشی ازنظر صفات مورد بررسی

Table 2- Variance analysis of experimental treatments in terms of investigated traits

میانگین مربعات MS	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source	
19.81**	2	Field capacity	ظرفیت مزرعه‌ای
835.44**	2	Field efficiency	بازده مزرعه‌ای
100151.52**	2	Soloution consumption	محلول مصرفی
1025.29**	2	Drift	بادبردگی
9.17**	2	Benefit-cost ratio	نسبت سود به هزینه

** تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ns: نبود تفاوت معنی‌دار ** Significant difference at 1% level and ns: No significant difference

جدول ۳ - مقایسهٔ میانگین تیمارها (در سطح ۱ درصد)

Table 3 - Comparison of average treatments* (at the 1% level)

نسبت سود به هزینه* Benefit-cost ratio	بادبردگی* Drift (%)	محلول مصرفی* Soloution consumption (Lit.ha^{-1})	بازده مزرعه‌ای* Field efficiency (%)	ظرفیت مزرعه‌ای* Field capacity (ha.h^{-1})	تیمار Treatment	
4.94 a	9.9 c	8.4 c	68 a	4.9 a	Sprayer drone	پهپاد
1.93 bc	46.5 b	373.3 a	44.66 bc	0.5 b	Lance sprayer	لانس‌دار
1.88 bc	32.6 a	207.3 b	35.66 bc	0.4 b	Mist blower	اتومایزر

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در یک گروه آماری قرار دارند و اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد دانکن ندارند.

* Means with similar letters are in a statistical group and there is no significant difference in Dunkan 1% level.

کارآیی

کارآیی سمپاشی به کمک نرم‌افزار SAS، با شمردن تعداد لاروها و دالان‌های ایجاد شده روی برگ‌ها و میوه‌ها طی ۳، ۷ و ۱۰ روز بعد از سمپاشی بررسی شد. مطابق جدول ۴، درصد کنترل آفت بر اساس دالان‌های ایجاد شده روی برگ‌ها توسط سمپاش‌های لانس‌دار، اتومایزر و پهپاد نشان داد که روش سمپاشی لانس‌دار طی ۳، ۷ و ۱۰ روز پس از سمپاشی در گروه الف و دو روش دیگر در گروه ب قرار دارند به عبارت دیگر، درصد کنترل آفت در این سمپاش نسبت به دو روش دیگر بیشتر و اختلاف معنی‌داری را در سطح ۱ درصد نشان می‌دهد (در سه روز پس از سمپاشی، میزان کارآیی روش‌های سمپاشی از نظر کنترل لاروها اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهد). مطابق جدول ۵، کنترل آفت بر اساس تعداد لاروها ۳، ۷ و ۱۰ روز پس از سمپاشی در سمپاش‌های لانس‌دار، اتومایزر و پهپاد اختلاف معنی‌داری را در سطح ۱ درصد نشان می‌دهد و روش استفاده از لانس‌دار با بیشترین درصد کنترل آفت همراه بوده است. این نتایج نشان می‌دهد به رغم مزایای روش استفاده از پهپاد، استفاده از روش لانس‌دار با کارآیی بیشتری همراه است. از دلایل بالاتر بودن کارایی این سمپاش در کنترل آفت می‌توان به حجم بالای مصرف محلول سم اشاره کرد که تمامی قسمت‌های گیاه را دربرمی گیرد. همچنین به دلیل ردیفی بودن کشت و عرض پشته‌ها (۲ متر)، کاربر به طور کامل محصول را تحت پوشش سمپاشی قرار می‌دهد و پشت و روی محصول سمپاشی می‌شود (شکل ۱- الف).

در پهپاد سمپاش پاشش محلول سم از ارتفاع یک متر بالای محصول صورت می‌گیرد و به نظر می‌رسد قطره‌های ریز محلول سم فقط قسمت بالایی محصول را تحت پوشش قرار می‌دهند و در بخش‌های زیرین به رغم دمش جریان هوا، تعداد

قطره‌های ریزی که باید این بخش‌ها را پوشش دهد کافی نبوده است. از طرفی، به دلیل ریز بودن قطره‌ها و بالا بودن دمای محیط (۲۹ درجهٔ سلسیوس)، تعدادی از قطره‌ها پیش از رسیدن به هدف تبخیر شده‌اند. میزان مصرف محلول سم در هکتار برای پهپاد سمپاش ۸/۴ لیتر در هکتار و ازنظر مصرف محلول سم نزدیک به روش ULV است (مصرف این سمپاش‌ها در کمتر از ۵ لیتر در هکتار) است. در سمپاش‌های ULV محلول سم باید دارای خصوصیت ویژه‌ای از جمله کاهش تبخیر باشد که در سمپاش‌های پهپاد مورد استفاده در کشور رعایت نمی‌شود. مناسب‌ترین حشره‌کش برای سمپاشی به طریقه ULV سم‌هایی هستند که خاصیت تبخیر آنها کمتر و وزن مخصوص‌شان زیادتر باشند. برخی از سمومی که برای این نوع سمپاشی استفاده می‌شوند شامل: نالد، فنتیون، کلرپیریفوس و مالاتیون است. فرمولاسیون ULV باید خاصیت حداقل تبخیر شدن را داشته باشد که روغن‌های گیاهی به خصوص روغن سویا در این زمینه کاربرد فراوانی دارد.

جدول ٤- درصد کارایی بر اساس تعداد دالان

Table 4- Effectivness percentage based on the number of corridors

روزهای قبل و بعد از سمپاشی Days before and after spraying			تیمارها Treatment	
+10	+7	+3		
40.5±3.4 bc	36.2±3.7 bc	26.7±6.2 b	Sprayer drone	سمپاش پهپاد
38.5±1.8 bc	33.2±2.3 bc	30.5±3.4ab	Mist blower	سمپاش اتومایزر
56.8±1.6 a	55.2±2 a	42.8±2.6 a	Lance sprayer	سمپاش لانس‌دار
0.001	0.001	0.04	Pr	احتمال معنی دار بودن

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در یک گروه آماری قرار دارند و اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد دانکن ندارند.

* Means with similar letters are in a statistical group and there is no significant difference in Dunkan 1% level.

جدول ٥- درصد کارایی بر اساس تعداد لارو زنده

Table 5- Effectivness percentage based on the number of live larvae

روزهای قبل و بعد از سمپاشی Days before and after spraying			تیمارها Treatment	
+10	+7	+3		
58.8±2.8 c	64.3±3.8 bc	62.3±3.7 a	Sprayer drone	سمپاش پهپاد
71±2.9 b	64.8±3.8 bc	66.12±3 a	Mist blower	سمپاش اتومایزر
82.8±2.3 a	81.1±2.5 a	65.8±4.7 a	Lance sprayer	سمپاش لانس‌دار
0.001	0.001	0.7	Pr	احتمال معنی دار بودن

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در یک گروه آماری قرار دارند و اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد دانکن ندارند.

* Means with similar letters are in a statistical group and there is no significant difference in Dunkan 1% level.

از دلایل دیگر می‌توان به مخفی شدن لارو در داخل دالان‌های ایجاد شده در برگ اشاره کرد که از تماس با محلول سم در امان مانده است. مبارزهٔ شیمیایی با این حشره به سبب وجود لاروها درون دالان‌های داخل گیاه بسیار دشوار و موفقیت کنترل شیمیایی در گرو کاربرد صحیح حشره‌کش‌های مناسب در بازه زمانی یک فصل کشت است (Torres *et al*., 2001).

تحقیقات در کشور نشان می‌دهد به منظور کنترل آفت توتا از سمپاش پشتی کتابی (نازل

مخروطی)، پشتی مجهز به نازل‌های بادبزنی و سمپاش لانس‌دار موتوری استفاده می‌شود. نتایج تحقیق طی دو سال زراعی نشان داده است میزان کارآیی در سه سمپاش به ترتیب ۸۶/۲۲، ۸۷/۷۳ و ۶۹/۲ درصد است (Salloum, 2019). همچنین متوسط درصد کارآیی سمپاش لانس‌دار موتوری ۶۹/۲ درصد است که کمتر از نتایج این تحقیق است.

این نتایج مربوط به یک مزرعه و در یک سال زراعی است و به نظر می‌رسد به منظور گرفتن نتایج موثق‌تر، مشابه تحقیقات صورت گرفته در مصر، تحقیق در دو سال زراعی ادامه یابد تا بتوان در خصوص کارآیی روش‌ها منصفانه قضاوت کرد.

یکنواختی پاشش

با توجه به کارت‌های حساس نصب شده روی گیاه و محاسبات، قطر میانهٔ حجمی و قطر میانهٔ عددی در پهپاد سمپاش (شکل۱-د) به ترتیب ۳۳۵ و ۲۷۳ میکرون است. در سمپاش اتومایزر قطر میانهٔ حجمی و قطر میانهٔ عددی به ترتیب ۸۸۵ و ۳۰۳ میکرون محاسبه گردید. در پهپاد، اندازهٔ قطره‌ها و میزان تراکم آنها نسبتاً یکنواخت بوده است. در سمپاش لانس‌دار به علت اینکه سطح روی کاغذهای حساس کاملاً تیره شده بود یا اینکه کاغذها به طور یکنواخت توزیع نشده بودند (بعضی از کارت‌ها در معرض سمپاشی قرار نگرفته بودند)، این عامل قابل محاسبه نبود. این نتایج نشان می‌دهد که در سمپاش‌های لانس‌دار، هم روی کاغذهای حساس و هم در طول مسیر حرکت، یکنواختی پاشش مشاهده نمی‌شود. ضریب کیفیت پاشش، با توجه به ارقام فوق برای پهپاد سمپاش و سمپاش اتومایزر به ترتیب ۱/۲۲ و ۲/۹۲ محاسبه گردید که نشان‌دهندهٔ کیفیت بالای سمپاشی در پهپاد سمپاش است (هر چه ضریب کیفیت سمپاشی به رقم یک نزدیک‌تر باشد، کیفیت پاشش بهتر است).

انرژی مصرفی

در تیمارهای آزمایشی، انرژی مصرفی هریک از روش‌ها برحسب کیلووات ساعت محاسبه گردید. در روش پهپاد سمپاش، منابع مصرفی توان شامل فن‌های بالابرندهٔ دستگاه و آرمیچرهای دو نازل میکرونر است. توان مصرفی کل دستگاه از یک باتری ۲۵/۲ ولت ۱۷ آمپرساعت تأمین می‌شود. میزان جریان مصرفی ۱۷ آمپر است. بنابراین میزان توان مصرفی دستگاه ۴۲۸/۴ وات است که در یک روز ۳/۴۲۷ کیلووات ساعت و در یک ماه ۱۰۲/۸۱۶ کیلووات ساعت خواهد بود. منبع مصرف‌کنندهٔ توان در تیمار سمپاش لانس‌دار تراکتوری، پمپ دستگاه است که از طریق محور خرمنکوب تراکتور تأمین می‌شود؛ توان اسمی پمپ ۱۰-۸ اسب بخار (۷/۵-۶ کیلووات) است با در نظر گرفتن ۸ ساعت کاری، انرژی مصرفی روزانه ۶۰ کیلووات ساعت و در یک ماه ۱۸۰۰ کیلووات ساعت است. این نتایج نشان می‌دهد که انرژی مصرفی در روش پهپاد سمپاش نسبت به سمپاش لانس‌دار تراکتوری به‌طور قابل توجهی کمتر است. به عبارت دیگر، مقدار انرژی مصرفی ماهانه سمپاش لانس‌دار تراکتوری ۱۷/۵ برابر مقدار انرژی مصرفی پهپاد سمپاش است. منبع تامین توان در سمپاش اتومایزر، موتور دوزمانه با توان ۱/۲ اسب بخار (۰/۹ کیلووات) است با احتساب ۸ ساعت کاری، میزان انرژی مصرفی روزانه ۷/۲ کیلووات ساعت و برای یک ماه کاری ۲۱۶ کیلووات ساعت است. مقدار انرژی مصرفی ماهیانه سمپاش اتومایزر ۲/۱ برابرمقدار انرژی مصرفی پهپاد سمپاش است.

ارزیابی اقتصادی

قیمت یک دستگاه پهپاد هگزا کوپتر با مخزن ۶ لیتر، در سال ۱۴۰۱ برابر ۳۵۰ میلیون تومان است (جدول ۶). در این سمپاش، ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای ۴/۹ هکتار در ساعت برآورد شده است (این ظرفیت با احتساب وقت‌های تلف شده شامل پر کردن مخزن و تعویض باتری است). با ۸ ساعت کار روزانه، سطح سمپاشی شده ۳۹/۲ هکتار در روز خواهد بود. با در نظر گرفتن اجرت سمپاشی برای هر هکتار ۴۰۰ هزار تومان، میزان درآمد روزانه ۱۵۶۸۰ هزار تومان و میزان درآمد ماهانه ۴۷۰۴۰۰ هزار تومان خواهد شد. در روش‌های استفاده از سمپاش لانس‌دار و اتومایزر میزان درآمد ماهانه (با احتساب هکتاری ۴۰۰ هزار تومان) به ترتیب ۳۰۰۰۰ و ۲۴۰۰۰ هزار تومان خواهد بود. از روش معادل گردش یکنواخت سالانه، هزینه هر یک از روش‌ها محاسبه شد (جدول ۶).

جدول ٦- مقایسه اقتصادی روش‌های سمپاشی

Table 6- Economic comparison of spraying methods

اتومایزر Mist blower	لانس‌دار Lance sprayer	پهپاد Sprayer drone		مورد Item
3500	15000	350000	Capital cost	هزینه خرید (هزار تومان)
1	1	1	Labor per day	کارگر در روز
400	400	400	Labor cost	هزینه کارگری (هزار تومان در روز)
12000	12000	12000	Labor cost per month	هزینه کارگری در ماه (هزار تومان در روز)
8	8	8	Hour per day	ساعات کار روزانه
30	30	30	Spraying days per year	تعداد روزهای سمپاشی در سال
350	1500	35000	Salvage value	ارزش اسقاط (هزار تومان)
175	750	17500	Maintance cost	هزینه نگهداری (هزار تومان)
854.3	3661.5	85435	Machine cost	هزینه ماشین (هزار تومان)
12854.4	15661.5	97435	Total cost	هزینه کل شامل هزینه کارگری (هزار تومان)*
24000	30000	470400	Income	درآمد** (هزار تومان در سال)
1.88	1.93	4.8	Benefit – cost ratio	نسبت سود به هزینه

* به روش معادل گردش یکنواخت سالانه محاسبه شده است. * It is calculated using the method equivalent to annual uniform circulation

** عملیات سمپاشی یک ماه در سال است بنابر این درآمد ماهیانه و سالیانه یکسان در نظر گرفته شده است.

**The spraying operation is one month per year, therefore the monthly and annual income was considered the same.

ارزش اسقاط سمپاش‌ها ۱۰ درصد قیمت اولیه و هزینه‌های تعمیر و نگهداری ۵ درصد قیمت اولیه (Soltani, 2008) و نرخ سود بانکی ۱۵ درصد منظور شد. نتایج محاسبات نشان می‌دهد نسبت سود به هزینه در روش‌های پهپاد، لانس‌دار و اتومایزر به ترتیب ۴/۸، ۱/۹ و ۱/۸ است که از نظر اقتصادی برتری نسبی روش پهپاد نسبت به روش‌های رایج مشهود است.

با توجه به نتایج به دست آمده، هرچند هزینهٔ اولیه و کل پهپاد سمپاش نسبت به سمپاش‌های لانس‌دار و اتومایزر بیشتر است و اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد ولی به دلیل ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای بالای این سمپاش، هزینه‌ها مستهلک و در همان سال اول بازگشت سرمایه حاصل می‌شود. هزینه خرید اولیه یک دستگاه پهپاد هگزا کوپتر ۳۵۰ میلیون تومان است و درآمد حاصل از کارکرد دستگاه در سال اول حدود ۴۷۰ میلیون تومان شده است (هزینه سالیانه ۹۷ میلیون تومان است). این در شرایطی است که طی یک سال روزهای کاری ۱۰۰

درصد باشد ولی در عمل چنین نیست و با در نظر گرفتن احتمال روزهای کاری در بدبینانه‌ترین شرایط، در سال دوم بازگشت سرمایه حاصل می‌شود.

نتیجه‌گیری

- میزان بادبردگی در سمپاش‌های لانس‌دار، اتومایزر و پهپاد به ترتیب ۴۶/۵، ۳۲/۶ و ۹/۹ درصد برآورد شده است که روش پهپاد نسبت به سایر روش‌ها رقم پایین‌تری را نشان می‌دهد. ضریب کیفیت پاشش در سمپاش‌های اتومایزر و پهپاد به ترتیب ۲/۹۲ و ۱/۲۲ محاسبه شده است که روش پهپاد نسبت به روش اتومایزر برتری دارد. در سمپاش لانس‌دار، یکنواختی پاشش دیده نشده است.

- در سمپاش‌های لانس‌دار، اتومایزر و پهپاد میزان مصرف محلول سم به ترتیب ۳۷۳/۳، ۲۰۷/۱ و ۸/۴۱ لیتر در هکتار تعیین شد که سمپاشی با پهپاد به طور معنی‌داری مصرف محلول سم را کاهش می‌دهد.

- بازده مزرعه‌ای در سمپاش‌های لانس‌دار، اتومایزر و پهپاد ۴۴/۶، ۳۵/۷ و ۶۸/۰۵ درصد است که نشان‌دهندهٔ پایین بودن وقت‌های تلف شده در روش پهپاد سمپاش است.

- انرژی مصرفی سمپاش لانس‌دار و اتومایزر به ترتیب ۲۹/۴ و ۳/۵ برابر انرژی مصرفی در سمپاش پهپاد سمپاش برآورد شده است.

- از نظر میزان کارآیی روش‌های سمپاشی بر اساس تعداد دالان و لارو در ۳، ۷ و ۱۰ روز پس از سمپاشی، کارایی روش‌های سمپاشی بالای ۵۰ درصد برآورد شده است. روش سمپاشی با سمپاش‌های لانس‌دار با ۸۲ درصد (بر اساس تعداد لارو) در ۱۰ روز پس از سمپاشی، دارای بیشترین کارایی بود. درصد کارآیی پهپاد و سمپاش اتومایزر در ۱۰ روز پس از سمپاشی به ترتیب ۵۸/۸ و ۷۱ درصد محاسبه شد.

- از نظر اقتصادی، نسبت سود به هزینه در روش‌های پهپاد سمپاش، سمپاش لانس‌دار و سمپاش اتومایزر به ترتیب ۴/۸ و ۱/۹ و ۱/۸ تعیین شد که در روش پهپاد به رغم قیمت بالای دستگاه نسبت سود به هزینه نسبت به سایر روش‌ها بیشتر بوده است.

با توجه به نتایج به دست آمده و در نظر گرفتن عوامل فنی و اقتصادی، لازم است روش مناسب سمپاشی انتخاب گردد؛ هرچند میزان کارایی روش استفاده از سمپاش لانس‌دار بیشتر از روش سمپاشی با پهپاد بوده است. با استفاده از محلول‌های ULV می‌توان میزان کارایی پهپادهای سمپاش را افزایش داد. در مقایسهٔ دیگر عوامل فنی، روش پهپاد سمپاش نسبت به دیگر روش‌ها از برتری نسبی برخوردار است و در ارزیابی اقتصادی نیز این روش برتری دارد.

مراجع

Anon. (2009). First record of tutaabsoluta in Italy. Reporting Services 2(023). European Plant Protection Organization (EPPO). Available at: http://www.eppo.org.

Chen, P., Lan, Y., Huang, X., Qi, H., Wang, G., Wang, J., Wang, L., & Xiao, H. (2020). Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle. *Agronomy, 10* (303), 1-14.

Giles, D. K., & Billing, R. C. (2015). Deployment and performance of a UAV for crop spraying. *Chemical Engineering Transactions, 44*, 307-312.

Henderson, C. F., & Tilton, E. W. (1955). Test with Acaricides against the Brown Wheat Mite. *Journal of Economic Entomology, 48*, 157-161.

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.

Kharim, M. N. A., Wayayok, A., Shariff, A. R. M., Abdullah, A. F., & Husin, E. M. (2019). Droplet deposition density of organic liquid fertilizer at low altitude UAV aerial spraying in rice cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture, 167*(17),105045.

Miller, J. W. (2005). Report on the development and operation of a UAV for an experiment on the unmanned application of pesticides. *Youngstown*, Ohio: AFRL, USAF.

Safari, M., & Bagheri, N. (2021). Technical criteria for the evaluation of sprayer drones. *Technical Instruction*. Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)

Safari, M., & Sheikhigarjan, 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)

Salloum, W. M. (2019). Effect of sprayer, nozzle types and spraying volume on efficacy of chemical compounds against tomato leafminer Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) infesting tomato. *Egyptian Journal of Plant Protection Research Institute, 2*(2), 247-255.

Seidin, P. (2018). Guidelines for the Use of spraying drones to control pests. Plant Protection Organization, Pest Control Deputy, Pesticide Office. (in Persian)

Soltani, G. (2008). *Engineering economics*. Shiraz University Press, Second Ed. (in Persian)

Torres, J. B., Faria, C. A., Evangelista, W. S., & Pratissoli, D. (2001). Within-plant distribution of leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) immatures in processing tomatoes, with notes on plant phenology. *International Journal of Pest Management, 47*(3),173-178.

Wang, S., Song, J., He, X., Song, Le., 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*(4), 22-31.

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

Zarifneshat, S., Saeedirad, M. H., Safari, M., Moatamedoshariati, H. R., & Naseri, M. (2022). Evaluation of the sprayer drone in the fight against wheat weeds and its comparison with conventional methods. *Agricultural Mechanization and Systems Research. 23*(82), 53-70. (in Persian)

Zhou, Q., Xue, X., Qin, W., Chen, Ch., & Cai, Ch. (2020). Analysis of pesticide use efficiency of a UAV sprayer at different growth stages of rice. *International Journal of Precision Agricultural Aviation, 3*(1), 38-42.

Zhua, H., Salyanib, M., & Fox, R. (2011). A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. *Computers and Electronics in Agriculture, 76*, 38-43.

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.23/No.84/Winter 2022/P:1-16
Journal Home Page: https://amsr.areeo.ac.ir

Research Paper

Evaluation and Comparison of Sprayer Drone to Control Tuta Pest in Tomato Crop

M. Safari*, N. Bagheri, A. Sheikh Garjan and S. Zarifneshat

*Corresponding Author: Assistant Professor, Agriculture Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: email2safari@yahoo.com
Received: 31 December 2022, Accepted: 23 February 2023
http://doi:10.22092/AMSR.2023.361037.1435

Abstract

Tomato moth is one of the most destructive pests in tomato farms. One of the methods to control this pest is the chemical spraying using different sprayers. In recent years, spraying drones have also been used for chemical control of pests, but the performance of these sprayers in tomato farms has not been evaluated yet. In this research, three different spraying methods were evaluated in controling the Tota pest in a tomato farm in Safadasht Karaj region in a completely randomized design (RCD) and in three replications. Experimental treatments included: 1- spraying with the tractor lancer sprayer, 2- spraying with a back knapsack sprayer (atomizer), and 3- spraying with Sprayer drone. The results obtained with Duncan's multi-range test at the level of significant of 1% showed that the consumption of solution of pesticide was 373.3, 207.1 and 8.4 liters per hectare, the rate of drift was 46.5%, 32.6% and 9.9%, the effective capacity of farm was 0.5, 0.4 and 4.9 hectares per hour, and the farm efficiency was 44.6%, 35.7% and 68.0% in tractor lancer sprayer, knapsck sprayer and sprayer drone, respectively. In terms of effectiveness, based on the number of tunnels made by larvae on fruits and the number of live larvae found after 3, 7 and 10 days of spraying, it has been found that the tractor lancer sprayer had the highest effectiveness with 82% in 10 days after spraying. The spraying quality coefficient in knapsack sprayer and drone sprayer was 2.92 and 1.22, respectively. From the economical point of view, the benefit - cost ratio was 1.93, 1.88 and 4.80, in tractor lancer sprayer, knapsck sprayer and sprayer drone respectively. which shows that the sprayer drone works better than the other two sprayers. Based on technical and economical results, our recommendation is to use sprayer drone to control the Tota pest, despite its lower effectiveness.

Keywords: Consumption Solution, Drift, Farm Efficiency, Spraying

© 2022 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)