تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۴/ شماره ۸۵/بهار ۱۴۰۲/ص ۱۱۰-۹۱
سایت مجله: https://www.amsr.areeo.ac.ir

مقاله علمی– پژوهشی

ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از پهپاد سمپاش، در مقایسه با سمپاش‌های رایج، برای کنترل کرم هلیوتیس‌گوجه‌فرنگی

محمود صفری [۱*]، نیکروز باقری [۲] و عزیز شیخی گرجان [۳]

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 کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۲

چکیده

کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی (هلیوتیس) یکی از مخرب‌ترین آفت‌های گیاهان خانوادهٔ سولاناسه در بسیاری از مناطق کشور است. در صورت وجود شرایط محیطی مساعد، این آفت به سرعت گسترش می‌یابد. در سال‌های اخیر از پهپاد سمپاش به منظور کنترل دیگر آفت‌ها استفاده شده ولی عملکرد این سمپاش‌ها برای مبارزه با این آفت در مزارع گوجه‌فرنگی ارزیابی نشده است. در این تحقیق در مزرعه آلوده به آفت هلیوتیس، روش استفاده از پهپاد سمپاش با روش‌های رایج سمپاش لانس‌دار تراکتوری و سمپاش اتومایزر پشتی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار مقایسه شد. نتایج نشان داد در سمپاش‌های لانس‌دار، اتومایزر و پهپاد مصرف محلول سم به ترتیب ۱۲۰۰ و ۲۱۱ و ۳۲ لیتر در هکتار، بادبردگی ۴۵/۶، ۱۳/۰۶ و ۲۰/۶۸ درصد و بازده مزرعه‌ای ۶۰/۶۶، ۶۹ و ۹۰/۲ درصد است. روش استفاده از پهپاد در ۱۴ روز پس از سمپاشی با ۵۹/۷۵ درصد کارایی، نسبت به روش‌های اتومایزر و لانس به ترتیب با ۴۰/۰۶ و ۴۱/۷۵ درصد، از کارایی بهتری برخوردار بوده است. در روزهای چهارم و هشتم نیز روش استفاده از پهپاد ازنظر درصد کارایی نسبت به روش‌های اتومایزر و لانس‌دار برتری داشته است. ضریب کیفیت پاشش در سمپاش‌های اتومایزر و پهپاد به ترتیب ۲/۸۸ و ۱/۲۳ بود. از نظر اقتصادی، نسبت سود به هزینه در سمپاش‌های لانس‌دار، اتومایزر و پهپاد به ترتیب ۴/۱۵، ۴/۸۸ و ۲/۳۳ بود. در نهایت استفاده از پهپاد به منظور کنترل آفات گوجه‌فرنگی از نظر فنی قابل توصیه است ولی از نظر اقتصادی باید بررسی بیشتری شود.

واژه‌های کلیدی

آفت، سمپاشی، کنترل شیمیائی

مقدمه

کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی (هلیوتیس[۱]) از مهم‌ترین آفت‌های گوجه‌فرنگی در جهان و ایران است. این آفت بسیار همه‌جاگستر است و در همهٔ نقاط جهان از جمله اروپا و استرالیا و نیز در آفریقای جنوبی، شمالی و مرکزی یافت می‌شود. دامنهٔ میزبانی این آفت وسیع است و می‌تواند به بیش از ۲۰۰ گونهٔ گیاهی خسارت زند و روی میزبان‌های مختلف خسارت‌های متفاوتی ایجاد کند. قسمت عمدهٔ خسارت این آفت در اثر حملهٔ لاروها به

*نگارنده مسئول: Email: email2safari@yahoo.com
http://doi: 10.22092/AMSR.2024.364474.1474
1- *Helicoverpa Amigera*

بخش‌های بارور گیاه شامل گل، غنچه، کپسول و میوه است. گاهی خسارت آفت با فساد میوه‌ها تشدید می‌شود که این امر موجب کاهش بازارپسندی محصول خواهد شد. خسارت ناشی از این آفت در حالت طغیانی ۹۳-۸۵ درصد گزارش شده است. با توجه به تولیدمثل بالا، همه‌جاگستر بودن و مقاومت سریع این آفت در برابر حشره‌کش‌ها، کنترل آن دشوار است (Karimi, 2019).

از متداول‌ترین دستگاه‌های سمپاش زمینی مورد استفاده در مزارع می‌توان به سمپاش‌های لانس‌دار پشت تراکتوری اشاره کرد. در این سمپاش‌ها، قطره‌هایی که قطر آنها کمتر از ۱۰۰ میکرون است به علت سبکی به‌راحتی بر اثر جریان شدید هوا تا فاصلهٔ ۴۰ متری منتقل می‌شود؛ در صورتی‌که قطره‌های درشت به دلیل سنگینی بیشتر به محض خروج از نازل پس از طی مسافت کوتاهی به پایین سقوط می‌کنند، برای مثال، 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 است.

برای کنترل آفت زنجرک خرما از پهپاد سمپاش (مجهز به افشانک میکرونر) و سمپاش لانس‌دار استفاده شده و نتایج نشان داده است که در پهپاد و سمپاش لانس‌دار به ترتیب مقدار محلول مصرفی ۲۸/۹ و ۱۱۰۰ لیتر در هکتار، باد بردگی ۱۱/۰۲ درصد و ۴۲/۶ درصد و ظرفیت مزرعه‌ای ۲/۷ و ۰/۸ هکتار بر ساعت است (Safari & Sheikhi Garjan, 2020). در تحقیقی به منظور کنترل شتهٔ مومی کلزا، عملکرد پهپاد سمپاش با سمپاش توربولاینر ارزیابی شد و نتایج نشان داد برای پهپاد سمپاش و سمپاش توربولاینر، به ترتیب میانگین مقدار محلول سم مصرفی برابر با ۱۱/۱ و ۱۸۷/۶ لیتر در هکتار، ضریب کیفیت پاشش ۱/۱۵ و ۱/۲۱، بازدهٔ مزرعه‌ای ۵۱/۴ و ۳۲/۳ درصد و انرژی مصرفی ۳/۴ و ۱۰۰/۵ کیلووات- ساعت است. در ۳، ۷ و ۱۴ روز پس از سمپاشی، بین تیمار شاهد و تیمارهای پهپاد سمپاش و سمپاش توربولاینر از نظر تعداد شته تلف شده اختلاف معنی‌دار بود. در سه و هفت روز پس از سمپاشی، سمپاش توربولاینر کارایی بیشتری نسبت به پهپاد سمپاش داشت اما در ۱۴ روز بعد از سمپاشی، کارایی پهپاد سمپاش و سمپاش توربولاینر به ترتیب ۹۲/۷و ۸۵/۲ درصد بود.

در این تحقیق استفاده از پهپاد سمپاش با توجه به کاهش مقدار محلول مصرفی و انرژی مصرفی و افزایش بازدهٔ مزرعه‌ای، کیفیت پاشش و کارایی سمپاشی برای کنترل جمعیت شتهٔ کلزا توصیه شده است (Bagheri *et al.*, 2022). در تحقیقی، اثربخشی پهپاد به منظور کنترل آفت‌های مختلف بررسی شد؛ نتایج نشان داد کاربرد مواد گرانول و آفت‌کش مؤثر است و ضریب اطمینان استفاده از پهپاد سمپاش بالاست. برای کنترل بندپایان، خصوصاً مزوکوئیت‌ها، سمپاشی هوایی روشی مهم و مؤثر محسوب می‌شود. با استفاده از یک پمپ ۱۰ ولت، فشار محلول‌پاشی ۳۳۸ کیلو پاسکال و قطر قطره‌ها ۶۶/۲ میکرون بود، به دلیل دمش هوا به سمت پایین توسط شش عدد 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

1- Ultra Low Valume (ULV)

روش، هم در مزارع بزرگ و هم در مزارع کوچک توصیه شده است (Huang *et al.*, 2018). به منظور تعیین بادبردگی در پهپاد سمپاش، از روش‌های مستقیم و غیرمستقیم استفاده شده است. در روش مستقیم، به منظور کنترل شرایط، از تونل باد استفاده شده است، یکی از واحدهای پاشش شامل ملخ، موتور و افشانک روی یک شاسی قابل تنظیم ازنظر ارتفاع نصب گردید، از دمنده‌های کناری (برای ایجاد بادبردگی به صورت افقی) و عمود بر مسیر حرکت ملخ استفاده شد و اثر نوع افشانک، اندازهٔ افشانک و سرعت پرواز در دو شرایط بادی متفاوت (به سمت پایین و افقی) اندازه‌گیری شد. در روش غیرمستقیم، از جمع‌کننده‌های تک رشته‌ای نصب شده روی دو ستون عمودی (برای نشست محلول سم) استفاده شد. این جمع‌کننده‌ها تا فاصلهٔ ۵۰ متری از مرز مزرعه نصب شدند و سمپاشی در جهت عمود بر مسیر وزش باد اجرا شد. مواد رنگی جمع شده روی کارت‌های فیبری، خشک و به آزمایشگاه منتقل شدند. مواد در آزمایشگاه با آب مقطر شست‌وشو داده شد و درصد ماده‌رنگی آن با دستگاه فلوریمتر تعیین گردید (Xinyu *et al.*, 2014).

در هندوستان به منظور مبارزه با آفات در محصول بادام‌زمینی و برنج از پهپاد سمپاش 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 در هکتار محاسبه گردید. یکنواختی پاشش با افزایش ارتفاع و فشار پاشش، افزایش یافت. 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. دمش ملخ‌های پهپاد به سمت پایین باعث نفوذ بیشتر قطره‌ها در قسمت‌های تحتانی گیاه می‌شود. از کل زمان عملیات، پنج درصد به نقص دستگاه تعلق داشت و بیشتر اوقات عملیات برای سرویس و آماده‌کردن دستگاه صرف شد و زمان عملیات مفید برای سمپاشی کمتر از ۳۰ درصد بود (Wang *et al.*, 2017). ارتفاع و سرعت پرواز بر الگوی پاشش و اندازهٔ قطره‌های پاشیده شده روی محصول‌پنبه توسط پهپاد سمپاش باعث تغییر عرض مؤثر پاشش شد. در یک مدل از پهپاد، صرف‌نظر از سرعت پیشروی، ارتفاع‌های ۲ و ۳ متر دارای بیشترین عرض نوار پاشش بودند. در مدلی دیگر، سرعت پیشروی و ارتفاع پاشش بر عرض پاشش تأثیری نداشت (Martin *et al.*, 2019). پارامترهای عملکردی پهپاد روی توزیع ذرات در دو نوع مختلف تاج درخت هلو بررسی شد. عوامل مورد بررسی شامل مسیر پرواز، سرعت پرواز، دفعات سمپاشی و بده افشانک‌ها بودند، نتایج نشان داد که یکنواختی پاشش در دو نوع تاج مورد مطالعه با هم متفاوت است، در هر دو نوع تاج، افزایش سرعت پرواز یکنواختی پاشش را کاهش داد (Meng *et al.*, 2020). کارایی استفاده از پهپاد سمپاش برای کنترل آفت برنج و در مراحل مختلف رشد ارزیابی شد. پهپاد سمپاش 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 دیگر، یکنواختی پاشش با استفاده از پهپاد سمپاش در

کنترل آفت برنج ارزیابی شد. نتایج مقایسه دو نوع افشانک و روش پاشش در پهپاد و سمپاش مرسوم نشان داد که با استفاده از پهپاد و به کارگیری افشانک مناسب، می‌توان آفت را به طور مؤثرتری کنترل کرد (Chen *et al.*, 2020).

در تحقیقی به منظور کنترل آفات در باغ‌های انگور از پهپاد سمپاش استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد این سامانه‌ها به طور موفقیت‌آمیزی در سمپاشی محصولاتی با شرایط خاصپ کارایی دارند، خطای کاری و مکانیکی ندارند، میزان مصرف محلول سم در هکتار در آنها پایین و ۵۰-۱۰ لیتر بر هکتار است، ظرفیت کاری ۵-۲ هکتار بر ساعت متغیر است و میزان پاشش را می‌توان به طور وسیعی تغییر داد. مهارت کاربر در این سمپاش‌ها از موارد ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. استفاده از سامانه‌های خودکار (اتو پایلوت) بار کاری کاربر را کاهش می‌دهد (Giles & Billing, 2015). در تحقیقی با عنوان مقایسهٔ اندازه قطره‌ها، پوشش‌دهی و بادبردگی پهپاد سمپاش (با بوم و بدون بوم)، در مقایسه با سمپاش‌های زمینی برای محصولات ردیفی، قطر متوسط حجمی در پهپاد بوم‌دار و بدون بوم به ترتیب ۱۷۹ و ۱۱۲ میکرون به دست آمده است. این مقادیر در سمپاش‌های بوم‌دار و لانس‌دار زمینی به ترتیب ۳۰۳ و ۴۲۳ میکرون بوده است. میزان پوشش‌دهی در پهپاد بوم‌دار و بدون بوم به ترتیب ۳۰-۱۰ قطره در سانتی‌مترمربع و ۶۰ قطره در سانتی‌مترمربع است. پهپادها اگرچه قطره‌های ریزتر تولید کرده‌اند ولی میزان نفوذ آنها در داخل محصول بیشتر بوده است تا سمپاش‌های رایج (Gibbs *et al.*, 2021).

در سال‌های اخیر، سمپاشی هوایی به لحاظ آلودگی محیط‌زیست متوقف شده و سمپاشی زمینی به دلیل معایبی همچون بادبردگی زیاد و رعایت - نشدن فاصله کاشت با مشکل مواجه شده است. از طرفی، آفت هلیوتیس، خسارت خود را در مدت‌زمانی کوتاه به جا می‌گذارد، از این‌رو استفاده از فناوری پهپاد می‌تواند به نحو مؤثری در جهت مبارزه با آفات در برنامه‌ها مد نظر قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به منظور مبارزه با آفت هلیوتیس گوجه‌فرنگی، روش‌های مختلف سمپاشی از نظر فنی و اقتصادی ارزیابی شد.

آزمون‌های مزرعه‌ای روی محصول گوجه‌فرنگی برای مبارزه با آفت در استان البرز و در مزرعه موسسه تحقیقات اصلاح و نهال و بذر واقع در کرج (شکل ۱) به منظور کنترل آفت هلیوتیس در زمان آلودگی حداقل ۲۰ درصد بوته‌ها اجرا شد. در زمان اجرای آزمون دمای هوا ۲۹ درجهٔ سلسیوس، رطوبت نسبی هوا ۲۲ درصد، سرعت باد ۴ متر بر ثانیه بود. ساعات کاری روزانه ۸ ساعت در نظر گرفته شد که طی یک سال به طور مفید یک ماه، ساعت کاری وجود داشت. روش‌های سمپاشی شامل استفاده از پهپاد سمپاش، استفاده از سمپاش لانس‌دار پشت تراکتوری و استفاده از سمپاش اتومایزر پشتی بود (شکل ۱).

شکل ۱- روش‌های مختلف سمپاشی

الف) سمپاش لانس‌دار تراکتوری، ب)سمپاش اتومایزر پشتی، پ) کواد کوپتر مجهز به ٤ نازل تی جت و ت) کواد کوپتر در حین سمپاشی در مزرعه

Fig. 1- Different methods of spraying

a) Tractor lance sprayer, b) Knapsack mist blower sprayer, c) Quadcopter equipped with 4 T-jet nozzles and d) quadcopter during spraying

مشخصات پهپاد کوادکوپتر و سمپاش‌های لانس‌دار و اتومایزر مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. پیش از سمپاشی، سمپاش‌ها از نظر محلول مصرفی در دقیقه کالیبره شدند. سم مورد استفاده ایندوسکاکارب (سیوانتو)[1] و مطابق برچسب سم به میزان ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار بود که با نسبت‌های مناسب با آب، مخلوط و به کار گرفته شد. حجم مخزن پهپاد کوادکوپتر ۱۶ لیتر بود و دستگاه دارای ۴ دمنده برای جابه‌جایی پهپاد بود.

1- Sivanto

جدول ۱- مشخصات سمپاش‌ها

Table 1- Specifications of sprayers

پهپاد Drone sprayer		لانس‌دار Lance sprayer		اتومایزر Knapsack mist blower	
عامل Item	مشخصات Speceification	عامل Item	مشخصات Speceification	عامل Item	مشخصات Speceification
تعداد دمنده Number of blowers	6	تعداد پمپ Number of pump	1	تعداد پمپ Number of pump	-------
تعداد نازل‌ها Number of nozzles	4	تعداد نازل‌ها Number of nozzles	1	تعداد نازل‌ها Number of nozzles	1
نوع نازل Nozzle type	تی جت T.Jet110-02VP	نوع نازل Nozzle type	مخروطی توخالی Cone nozzle	نوع نازل Nozzle type	Dropper type
دبی پمپ Pump rate	1000-5000ml.min^{-1}	دبی پمپ Pump rate	80-120Lit.min^{-1}	دبی پمپ Pump rate	-----
وزن پرنده (خالی) Weight	27kg	منبع تغذیه Power supply	تراکتور Tractor 8-10hp	منبع تغذیه Power supply	Two stroke engine
منبع تغذیه Power supply	25.5v battry-20Am	توان مورد نیاز Power requirment		توان مورد نیاز Power requirment	1.2hp
حداکثر وزن برخاست Maximum weight	42kg	ظرفیت مؤثر Effective capacity	0.5ha.h^{-1}	بده دمنده Blower rate	9m^3.min^{-1}
حجم مخزن Tank volume	16Lit	حجم مخزن Tank volume	400lit	حجم مخزن Tank volume	10 Lit
سامانهٔ کنترل Control system	RTK				
بازه دمایی عملکرد temperature range	15-30Ċ				
محدودهٔ سرعت Speed limitation	0-10m.sec^{-1}				
مداومت پروازی Flight duribility	10-15min^{-1}				
برد پرواز Flight range	600m-1000m				
ظرفیت مؤثر Effective capacity	9-10ha.h^{-1}				
ارتفاع پاشش از محصول Height of spraying on the crop	50-200cm				

منبع تأمین توان دمنده‌ها و پمپ الکتریکی، باتری ۲۵/۵ ولت لیتیم پلیمر با ظرفیت ۲۰ آمپر - ساعت بود. سطح پلات‌های آزمایشی برای سمپاشی ۱۰۰۰ مترمربع (۵ ردیف ۲ متری) به طول ۱۰۰ متر و عرض ۱۰ متر بود. برای محلول‌پاشی ۳۰۰۰ مترمربع (۳ پلات ۱۰۰۰ مترمربعی) ۲/۵ لیتر محلول نیاز بود که با ۹۳/۷ میلی‌لیتر سم ایندوسکاکارب به حجم رسید و مساحت مورد نظر توسط پهپاد سمپاشی شد. سرعت پیشروی پهپاد در حین عملیات اندازه‌گیری شد. در سمپاش لانس‌دار

پشت‌تراکتوری از پمپ پیستونی به منظور ارسال محلول سم به نازل استفاده‌شده بود. نازل مورد استفاده از نوع مخروطی توخالی و حجم مخزن ۴۰۰ لیتر بود که محلول سم با پمپ به سمت نازل‌ها هدایت می‌شد. پیش از سمپاشی، این سمپاش نیز کالیبره شد. برای این منظور، میزان خروجی نازل در مدت‌زمان معین در درون ظرف مدرجی جمع‌آوری و میزان لیتر بر دقیقه در سه تکرار محاسبه گردید. در مزرعهٔ آلوده به آفت هلیوتیس، مقدار ۹۳/۷ میلی‌لیتر سم با ۱۱۲ لیتر آب در مخزن‌سمپاش به منظور سمپاشی ۳۰۰۰ مترمربع (سه پلات ۱۰۰۰ مترمربعی)، مخلوط شد.

در سمپاش اتومایزرپشتی، نازل مورد استفاده از نوع قطره‌چکانی به قطر خروجی دو میلی‌متر و حجم مخزن ۱۰ لیتر بود که محلول سم توسط نیروی ثقل و خلأ ناشی از جریان هوا به سمت نازل هدایت می‌شد. با به کار انداختن سمپاش، میزان خروجی نازل در مدت‌زمان یک دقیقه و به کمک ظرف مدرج در سه تکرار تعیین گردید. در مزرعهٔ آلوده به آفت هلیوتیس، ۹۳/۷ میلی‌لیتر سم به ۶۲ لیتر آب اضافه و مخلوط شد. در این سمپاش‌ها، محلول تحت فشار نیست و از مخزن بر اثر نیروی ثقل و خلأ ناشی از جریان هوا به سمت ونتوری موجود در دهانهٔ لولهٔ پخش جریان هوا هدایت و محلول سم در اثر سرعت بالای هوا به قطره‌های ریز تبدیل می‌شود. ارزیابی شامل نحوهٔ پوشش قطره‌ها، ظرفیت، بادبردگی و کارایی آنها در کنترل آفت بود. برای بررسی کیفیت سمپاشی از کارت‌های حساس به آب استفاده شدهٔ این کارت‌ها پیش از سمپاشی در قسمت فوقانی گیاه و به تعداد ۵ عدد و به فاصله یک متر از یکدیگر در جهت عمود بر مسیر حرکت قرار داده شدند و پس از سمپاشی جمع‌آوری و ارزیابی شدند.

تیمارهای آزمایش به شرح زیر بود:

۱- سمپاشی با پهپاد سمپاش

۲- سمپاشی با سمپاش لانس‌دار پشت تراکتوری

۳- سمپاشی با سمپاش اتومایزر

آزمون در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل‌تصادفی در سه تکرار اجرا شد. برای ارزیابی مزرعه‌ای روش‌های سمپاشی، پارامترهای بادبردگی، مقدار نشست محلول سم روی محصول، یکنواختی قطره‌ها (از نظر اندازه و تعداد)، پوشش‌دهی در قسمت‌های فوقانی، میانی و تحتانی گیاه، کارآیی[1] پاشش، ظرفیت‌های نظری و مؤثر و بازده مزرعه‌ای به صورت زیر اندازه‌گیری شد:

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 کارت‌ها پس از سمپاشی جمع‌آوری و درصد خیس‌شدگی آنهایی که در معرض قطره‌های محلول سم قرارگرفته 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 ظرفیت‌نظری از رابطهٔ ۲ تعیین شد (Safari & Sheikhi Garjan, 2020):

1- Effectiveness

$$C_t = \frac{V*W}{10} \quad (۱)$$

که در آن،

V= سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)؛ W= عرض‌کار (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 Co= ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای (هکتار بر ساعت).

تعداد روزهای کاری

به دلیل نداشتن تقویم زراعی و ماشینی صحیح برای سمپاشی در مزارع کشور؛ کشاورزان متحمل هزینه‌های قابل توجهی می‌شوند که دلیل آن نبودن اطلاعات مورد نیاز در خصوص عوامل محدودکنندهٔ عملیاتی، محدودهٔ مجاز عوامل محدودکننده و نداشتن دسترسی به محدوده زمانی مناسب به منظور مبارزه با آفات, بیماری‌ها و علف‌های هرز است. برای سمپاشی هوایی و زمینی عواملی مانند بارندگی, باد, دما و رطوبت نسبی و محدودهٔ مجاز آنها از عوامل محدودکننده محسوب می‌شوند. در منابع برای سمپاشی هوایی حداکثر سرعت مجاز باد ۴/۱-۲/۵ متر بر ثانیه و دمای مناسب کمتر از ۲۵ درجهٔ سلسیوس توصیه شده است. در سمپاش‌های لانس‌دار و اتومایزر، سرعت باد مناسب ۲/۸-۲/۰۶ متر بر ثانیه و دما ۳۲-۳۰ درجهٔ سلسیوس و رطوبت نسبی بالای ۴۰ درصد توصیه شده است (Ahmadichenari *et al.*, 2005; Yousefi, 2015).

با توجه به شرایط اقلیمی و آمار هواشناسی در منطقهٔ کرج، عوامل محدودکننده شامل بارش، سرعت و جهت باد، رطوبت نسبی هوا، دما و وضعیت رطوبتی خاک است که برای بارندگی ساعات کاری مناسب ۳۵۶ ساعت، برای سرعت باد ۲۴۲/۴ ساعت، دما ۳۶۵/۶ ساعت و رطوبت ۳۳۶/۸ ساعت محاسبه شد که سرعت باد دارای کمترین ساعات کاری (۲۴۲/۴ ساعت) در فاصلهٔ زمانی عملیات سمپاشی (اول شهریورماه تا مهرماه به مدت ۳۶۰ ساعت) است و مبنای محاسبات قرار گرفت (عملاً ۲۴۰ ساعت ملاک محاسبات قرار گرفت). در خصوص رطوبت خاک با توجه به نوع کشت و نبود بارندگی موثر، محدودیت عملیاتی وجود نداشت.

یکنواختی پاشش

پنج کارت حساس به آب در مسیر پاشش و روی محصول قرار داده شد (شکل ۲- الف). 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 ؛ با تشکیل جدول فراوانی، قطر متوسط حجمی و عددی تعیین و ضریب کیفیت سمپاشی از نسبت قطر متوسط حجمی به عددی به دست آمد. برای تعیین درصد نفوذ قطره‌ها به قسمت فوقانی، میانی و تحتانی گیاه، کارت‌های حساس در این موقعیت‌ها نصب و در سه تکرار درصد پوشش‌دهی تعیین گردید (شکل ۲- ب).

1- Volume Median Diameter

شکل ۲- الف) کارت حساس به منظور تعیین یکنواختی پاشش و ب) تعیین درصد پوشش‌دهی قطرات در قسمت فوقانی، میانی و تحتانی گیاه

Fig. 2- a) Sensitive card to determine the uniformity of spraying and b) to determine the percentage of drops covering the upper, middle and lower parts of the plant

کارآیی

برای بررسی کارایی هر یک از روش‌های سمپاشی در کنترل آفت، از جمعیت غالب لارو سن ۲ و ۳ در فاصله‌های زمانی یک روز پیش از سمپاشی و چهار، هشت و ۱۴ روز پس از سمپاشی نمونه‌برداری شد. میوه‌های آلوده به آفت، شمارش و از رابطه‌های ۳ و ۴ درصد کارایی تعیین گردید (شکل ۳).

شکل ۳- میوه آلوده به آفت هلیوتیس

Fig. 3- Fruit infected with *helicoverpa amigera*

کارآیی سمپاشی با استفاده از رابطه‌های ۳ و۴ تعیین شد (Chen *et al.*, 2020):

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

که در آن،

R= تعداد آفت‌های تلف‌شده (درصد)؛ PTO= تعداد آفت‌های زنده پیش از سمپاشی؛ و $PT1$= تعداد آفت‌های زنده پس از سمپاشی.

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

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

که در آن،

E= اثر تیمار شاهد (درصد)؛ R_{PT}= تعداد آفت‌های تلف‌شده در منطقه سمپاشی شده؛ و R_{CK}= تعداد آفت‌های تلف‌شده در منطقه شاهد.

ارزیابی اقتصادی روش‌های سمپاشی

برای ارزیابی اقتصادی روش‌های سمپاشی از روش گردش نقدی سالانه استفاده شد. بدین منظور، پیش از سمپاشی با پهپاد (که در داخل کشور معمولاً به صورت اجاره‌ای است)، یک ارزیابی نسبی از هزینه‌ها نسبت به روش مرسوم سمپاشی با سمپاش‌های لانس‌دار و اتومایزر انجام شد و نتایج مقایسه شدند (Soltani, 2008) در روش گردش نقدی سالیانه، هزینه یکنواخت سالانهٔ هر روش محاسبه شد. هزینهٔ اولیه ماشین با در نظر گرفتن ضریب بازگشت سرمایه به معادل هزینهٔ یکنواخت سالیانه تبدیل گردید. ارزش اسقاط ماشین در پایان ۱۰ سال با در نظر گرفتن ضریب اقساط منظم سالیانه و نرخ سود بانکی به معادل هزینهٔ یکنواخت سالیانه تبدیل شد. سرانجام، هزینه یکنواخت سالیانه خرید ماشین، ارزش اسقاط و هزینهٔ تعمیر و نگهداری با یکدیگر تجمیع و میزان هزینه یکنواخت سالیانه محاسبه شد. هر روشی که هزینهٔ یکنواخت سالیانه کمتری داشت به عنوان روش مناسب از نظر اقتصادی انتخاب شد. در این تحقیق، هزینهٔ یکنواخت سالیانهٔ هر سه روش پهپاد، سمپاش لانس‌دار و اتومایزر تعیین و در صورت استفاده از دستگاه به صورت اجاره‌ای، میزان درآمد حاصل محاسبه و در انتها نسبت سود به هزینه با هم مقایسه شد.

پس از تعیین میزان بادبردگی، محلول مصرفی، ظرفیت مؤثر، کیفیت پاشش و ارزیابی اقتصادی، نتایج با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح ۵ و ۱ درصد و به کمک نرم‌افزار SPSS 18 تجزیه و تحلیل شد.

نتایج و بحث

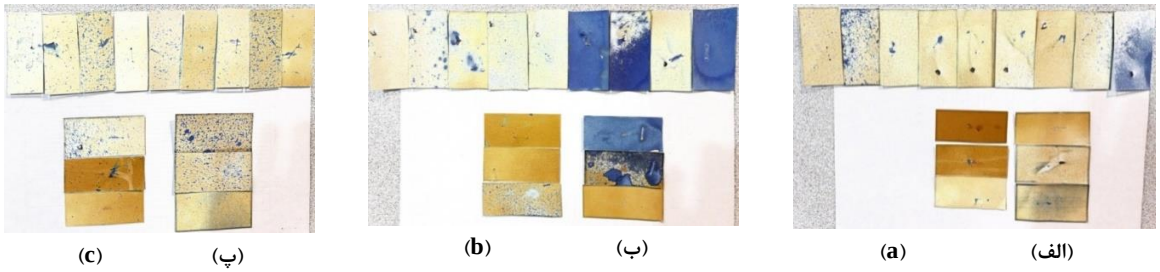
محلول مصرفی در هکتار

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی از نظر میزان محلول‌مصرفی در هکتار در سطح ۱ و ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). بر اساس جدول مقایسهٔ میانگین‌ها، بیشترین میزان مصرف محلول سم مربوط به سمپاش لانس‌دار (۱۲۰۰ لیتر در هکتار) و کمترین مربوط به پهپاد سمپاش (۳۲ لیتر در هکتار) است. میزان مصرف محلول سمپاش اتومایزر ۲۱۱ لیتر در هکتار است. بیشتر بودن میزان محلول‌مصرفی در هکتار در سمپاش لانس‌دار در حالی است که حدود ۴۰ درصد از سمپاش ها در کشور از این نوع‌اند و در مزارع اغلب از این سمپاش‌ها استفاده می‌شود. یکی از دلایل استفاده از این سمپاش‌ها، کاربری راحت‌تر و هزینهٔ پایین‌تر آن است؛ با توجه به شرایط خشکسالی کشور و لزوم بهره‌وری در مصرف آب (در بسیاری از موارد، دسترسی به آب 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 هدر رفتن محلول سم و ایجاد آلودگی محیط‌زیست (خاک) می‌گردد. از طرفی، یکی از مشکلات اساسی پرنده‌های سمپاش و از جمله پهپاد، بادبردگی است که در پهپاد سمپاش این مشکل با ۴ دمنده، که باعث جابه‌جایی دستگاه می‌شوند، برطرف شده است و قطره‌های سم به سمت پایین و هدف

هدایت می‌شود.

یکنواختی پاشش

بررسی کارت‌های قرار داده شده در مسیر پاشش و در مسیر باند پاشش پهپاد سمپاش (خارج از مزرعه) نشان داد که تراکم قطره‌های سم در قسمت مرکزی خط عمود بر مسیر حرکت نسبت به طرفین بیشتر است. این نتایج نشان می‌دهد در موقعیت‌های نزدیک به نازل‌ها، تراکم بیشتر است تا در مناطق دیگر. با توجه به اینکه در این شرایط عرض‌پاشش دستگاه ۵ متر است، بنابراین روی محصول را به طور نسبی تحت پوشش قرار می‌دهد و تمام قسمت‌های تاج محصول در معرض سمپاشی قرار دارد. با توجه به کارت‌های حساس نصب شده روی گیاه و محاسبات، قطر متوسط حجمی و قطر میانهٔ عددی در پهپاد سمپاش به ترتیب ۳۶۳ و ۲۹۵ میکرون بود. در سمپاش اتومایزر، قطر متوسط حجمی و قطر میانه عددی به ترتیب ۸۳۱ و ۲۸۸ محاسبه شد. در پهپاد، اندازهٔ قطره‌ها و میزان تراکم آنها نسبتاً یکنواخت بود (شکل ۴- پ). در سمپاش لانس‌دار این عامل قابل‌محاسبه نبود زیرا سطح کاغذهای حساس کاملاً تیره شده بود یا قطره‌ها به طور یکنواخت توزیع نشده بودند (بعضی از کارت‌ها در معرض عملیات سمپاشی قرار نگرفته بودند). 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 ۱/۲۳ و ۲/۸۸ 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). نتایج حاصل از قراردادن کارت‌های حساس در قسمت فوقانی، میانی و تحتانی گیاه در جدول ۳ آورده شده است. پوشش‌دهی روش‌های پهپاد، لانس و اتومایزر در قسمت فوقانی گیاه به ترتیب ۸۹/۳، ۶۶ و ۳ درصد، در قسمت میانی گیاه به ترتیب ۲۵/۳، ۱۱ درصد و ۱ و در قسمت تحتانی به ترتیب ۸/۳، صفر و صفر درصد بوده است. این نتایج نشان داد در قسمت فوقانی گیاه، درصد پوشش‌دهی روش لانس بیشتر است ولی به صورت یکنواخت توزیع نشده است. به عبارت دیگر روی یک بوته در قسمت فوقانی گیاه، پوشش‌دهی کامل است و روی بوتهٔ دیگر پاششی صورت نگرفته است، این مشکل در سمپاش اتومایزر نیز وجود دارد. در این سمپاش‌ها به دلیل سمپاشی زیگزاک، یکنواختی پوشش روی بوته‌ها وجود ندارد و در قسمت میانی و تحتانی گیاه، پهپاد مناسب‌ترین پوشش‌دهی را دارد.



شکل ٤- نمونه‌ای از یکنواختی پاشش در عرض سمپاشی و درصد نفوذ قطره‌ها در سه نقطهٔ فوقانی، میانی و تحتانی گیاه الف) اتومایزر، ب) لانس، پ) پهپاد

Figure 4- A sample of spraying uniformity across the spraying width and droplet penetration percentage in the upper, middle and lower of the plant: a- Knapsack mist blower b- Lance and c- Drone

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 و ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. با توجه به مقایسه میانگین‌ها، از نظر بالا بودن درصد باد بردگی، سمپاش لانس‌دار با ۴۵/۶ درصد و سمپاش‌های پهپاد و اتومایزر به ترتیب با ۱۳/۳ و ۱۳/۰۶ درصد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. بین سمپاش اتومایزر و پهپاد از نظر درصد بادبردگی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، این نتایج نشان می‌دهد که پهپاد سمپاش علاوه بر کیفیت سمپاشی بالا، دارای بادبردگی کمتری نسبت به روش لانس‌دار است. یکی از دلایل پایین بودن درصد بادبردگی در سمپاش‌های اتومایزر و پهپاد، وجود دمنده‌های نصب شده روی پهپاد و فن دمندهٔ سمپاش اتومایزر است که قطره‌های سم را به سمت هدف هدایت می‌کنند. در پهپاد سمپاش، با توجه به مصرف بسیار پایین محلول سم، قطره‌ها همراه با جریان باد ملخ ها به صورت کنترل‌شده به هدف می‌رسند و با توجه به حجم کم محلول سم، مجالی برای بادبردگی باقی نمی‌ماند. در سمپاش لانس‌دار، به دلیل درشت‌تر بودن قطره‌های سم نسبت به پهپاد، محلول سم به هدف برخورد می‌کند و بسیاری از قطره‌ها به سمت پایین محصول سقوط می‌کنند که باعث آلودگی خاک، کاربر و محیط‌زیست می‌شود، در این روش، قطره‌ها در اثر اصابت به هدف پخش می‌شوند و بادبردگی ایجاد می‌کنند. این نتایج نشان داد در تیمارهایی که به سامانهٔ دمنده مجهز هستند میزان بادبردگی کاهش می‌یابد و محلول‌سم به صورت جهت‌دار به هدف اصابت می‌کند. در پهپاد کوادکوپتر، به دلیل استفاده از نازل‌های تی‌جت، قطر قطره‌ها درشت‌تر و بادبردگی آن نسبت به نازل‌های میکرونر کمتر است. هرچند در این تحقیق به‌رغم استفاده از نازل‌های تی‌جت، میزان بادبردگی نسبت به نازل‌های میکرونر بیشتر بوده است (Safari *et al.*, 2022). در سمپاش لانس‌دار، به رغم وجود قطره‌های درشت‌تر، (قطر میانه حجمی بالای ۸۰۰ میکرون)، میزان بادبردگی ۴۵/۶ درصد بوده است که دلیل عمده آن سرعت باد (۴ متر بر ثانیه) و سمپاشی در جهات مختلف بوده که نسبت به محصول دارای فاصله بوده است.

جدول ۲- تجزیهٔ واریانس پارامترهای عملکردی سمپاش‌ها (میانگین مربعات)

Table 2- Analysis of variance of performance parameters (Square means)

منبع تغییرات Source	درجهٔ آزادی df	ظرفیت مزرعه‌ای نظری Field capacity Theoritical	ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر Effective field capacity	بازده مزرعه‌ای Field efficiency	محلول مصرفی Soloution consumption	بادبردگی Drift	نشست قطره‌ها در تاج گیاه Droplet setteling in up	نشست قطره‌ها در وسط گیاه Droplet setteling in middle	نشست قطره‌ها در پایین گیاه Droplet setteling in down	نسبت سود به هزینه Benefit-cost ratio
تیمار (سمپاش‌ها) Treatments (sprayers)	2	8.71**	8.6**	695.5*	1187148.1**	873.18**	5960.44**	448.77**	69.44*	5.15**
خطا Errors	6	0.08	0.07	35.61	849.08	17.48	11.77	11.52	4.11	0.05

* و **: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns: نبود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۳ – مقایسهٔ میانگین تیمارها (در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد)

Table 3 - Comparison of average treatments* (at the 5% and 1% levels)

تیمار Treatment	ظرفیت نظری Field capacity ($ha.h^{-1}$)	ظرفیت مؤثر Effective field capacity ($ha.h^{-1}$)	بازده مزرعه‌ای Field efficiency (%)	محلول مصرفی Soloution consumption ($Lit.ha^{-1}$)	باد بردگی Drift (%)	تاج گیاه Up (%)	وسط گیاه Middle (%)	پایین گیاه Down (%)	سود به هزینه Benefit-cost ratio
پهپاد Drone	4.03 a	3.36a	90.2 a	32.03 b	20.68 b	66.3b	25.33a	8.33a	2.33 c
لانس‌دار Lance	1.13 b	0.73b	60.66 b	1200 a	45.68a	89.00a	11.00b	0b	4.15 b
اتومایزر Knapsack mist blower	1.03 b	0.66b	69.00 b	211.00 b	13.06 b	3.00c	1.00c	0b	4.88 a

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون در یک گروه آماری قرار می‌گیرند و اختلاف معنی‌داری ندارند.

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

ظرفیت و بازده مزرعه‌ای

بین تیمار پهپاد و دو تیمار لانس‌دار و اتومایزر از نظر ظرفیت مزرعه‌ای اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد وجود دارد (جدول‌های ۲ و ۳) و در سمپاش‌های لانس‌دار، اتومایزر و پهپاد ظرفیت مزرعه‌ای نظری به ترتیب ۱/۱۳، ۱/۰۳ و ۴/۰۳ هکتار بر ساعت، ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای ۰/۷۳، ۰/۶۶ و ۳/۶ هکتار بر ساعت و بازده مزرعه‌ای ۶۰/۶، ۶۹ و ۹۰/۲ درصد است. بازده مزرعه‌ای روش پهپاد به طور معنی‌داری بیشتر از بازده مزرعه‌ای روش‌های رایج بوده است. از دلایل عمدهٔ پایین بودن ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای 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 دلیل سرعت بالای سمپاشی (۲ متر بر ثانیه)، در مقایسه با سمپاش لانس‌دار (۰/۵۷ متر بر ثانیه) و اتومایزر (۰/۵۲ متر بر ثانیه)، و به دلیل 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 کاهش وقت‌های تلف شده مانند دور زدن‌های متوالی و پرکردن مخزن سمپاش است. بازده مزرعه‌ای پهپاد در صورت استفاده از باتری‌های دارای دوام بیشتر، افزایش خواهد یافت.

کارآیی

قطعه‌ای در مزرعهٔ ۴۰۰ هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح نهال و بذر انتخاب شد که بیش از ۲۰ درصد به کرم میوه‌خوار هلیوتیس آلوده بود. در همه تیمارها مقدار حشره‌کش ایندوکساکارب مصرفی ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتاردر نظر گرفته شد اما حجم آب مصرفی سمپاش‌ها در هکتار متغیر بود، بنابراین، غلظت حشره‌کش در مخزن سمپاش‌ها متفاوت بود. در نمونه‌برداری قبل از سمپاشی، جمعیت غالب کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی را لارو سن ۲ و ۳ تشکیل می‌داد. نتایج ارزیابی تعداد میوه‌های آلوده به کرم میوه‌خوار نشان داد که بین تیمارها از لحاظ درصد میوهٔ آلوده اختلاف معنی‌داری وجود

دارد، سمپاش پهپاد در مقایسه با سمپاش‌های اتومایزر پشتی و لانس‌دار دارای کمترین درصد آلودگی بود (جدول ۴). در تمام روزهای بعد از سمپاشی، تیمارهای پهپاد و اتومایزر به ترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد کارایی بودند. بیشترین درصد کارایی در همه تیمارها در ۸ روز بعد از سمپاشی حاصل شد (جدول ۵). در پهپاد سمپاش، میانگین درصد آلودگی میوه‌ها ۴ و ۸ روز بعد از سمپاشی بین ۵ تا ۷ درصد متغیر بود و کمترین درصد آلودگی را ۸ روز بعد از سمپاشی داشت، درصورتی‌که در همان زمان سطح آلودگی در تیمار شاهد ۱۴/۸ درصد بود. در تیمارهای لانس‌دار و اتومایزر، اگرچه درصدآلودگی ۱۰-۷ درصد بود و کمترین درصد آلودگی میوه در ۸ روز بعد از سمپاشی حاصل شد اما مقایسهٔ درصدآلودگی در تیمارهای مختلف نشان داد که بین تیمارهای سمپاشی و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود دارد اما بین تیمارهای سمپاشی این اختلاف معنی دار نیست. به عبارت دیگر، درصد آلودگی میوه‌ها به کرم میوه‌خوار در تمام تیمارهای سمپاشی مشابه بود (جدول ۴).

بررسی کارایی تیمارها بر اساس میانگین درصد میوه‌های آلوده نشان داد که در میان سه نوع فناوری سمپاشی، سمپاش لانس‌دار و پهپاد در یک هفته بعد از سمپاشی کارایی یکسانی دارند به طوری‌که کارایی در پهپاد سمپاش در ۴ و ۸ روز بعد از سمپاشی به ترتیب ۶۰ و ۷۹ درصد است، در صورتی‌که در سمپاش لانس‌دار ۴۷ و ۶۸ درصد است. سمپاش اتومایزر در مقایسه با دو تیمار دیگر (در هفته اول بعد از سمپاشی) دارای کمترین کارایی بود (۶۰-۳۴ درصد) و از لحاظ آماری با دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌داری داشت و از نظر مقایسهٔ میانگین درصد کارایی در گروه دوم قرار گرفت. ارزیابی‌ها در هفتهٔ دوم بعد از سمپاشی نشان داد که در همهٔ تیمارها، درصد کارایی روند نزولی دارد و در عین حال، تیمار پهپاد با ۵۹ درصد، بیشترین و تیمارهای اتومایزر و لانس‌دار با ۴۱ و ۴۰ درصد کمترین کارایی را دارند (جدول ۵).

جدول ٤- درصد کارایی بر اساس تعداد دالان

Table 4- Effectivness percentage based on the number of corridors

تیمارها Treatment		روزهای قبل و بعد از سمپاشی Days before and after spraying			
		-1	+4	+8	+14
شاهد	Control	16.37±2.23[a]	11.62±1.17[a]	14.8±1.6[a]	15.25±1.9[a]
سمپاش پهپاد	Sprayer drone	13.5±1.3 [a]	7±1[b]	5.25±0.75 [b]	6.5±1.1 [b]
سمپاش اتومایزر	Knapsack mist blower	16±1.6[a]	10.62±1.06[ab]	8.75±1.4 [b]	10.5±2.09 [ab]
سمپاش لانس‌دار	Lance sprayer	15.37±2.06 [a]	9.12±0.94[ab]	7.12±1.07 [a]	10.12±1.7 [ab]
احتمال معنی دار بودن	Pr	0.73	0.12	0.0021	0.004
ضریب تغییرات	CV	48	28.1	39	33.4

جدول ۵- میانگین درصد کارایی بر اساس درصد میوه‌های آلوده به کرم میوه‌خوار (هلیوتیس)

Table 5- The mean effectivness percentage based on the percentage of fruits infected with fruit worm (Heliotis)

روزهای قبل و بعد از سمپاشی Days before and after spraying			تیمارها Treatment	
+14	+8	+4		
59.75±4.46 a	79.56±3.27 a	60.81±6.03 a	Sprayer drone	سمپاش پهپاد
40.06±6.74 b	60.12±6.9 b	34.2±5.57 b	Knapsack mist blower	سمپاش اتومایزر
41.75±6.35 a	68.56±4.9 ab	47.75±6.02 a	Lance sprayer	سمپاش لانس‌دار
0.02	0.013	0.06	Pr	احتمال معنی دار بودن
15.6	9.12	20	CV	ضریب تغییرات

در تحقیقی به منظور کنترل آفت توتای گوجه فرنگی، روش لانس‌دار از نظر کارآیی نسبت به روش‌های پهپاد و اتومایزر برتری نسبی داشته است (Safari *et al.*, 2022)، در حالی‌که در این تحقیق در مبارزه با کرم میوه‌خوار هلیوتیس روش پهپاد از نظر کارایی در ۱۴ روز پس از سمپاشی نسبت به روش‌های اتومایزر و لانس‌دار بهتر بود. در روزهای چهارم و هشتم نیز روش استفاده از پهپاد از نظر کارایی نسب به روش‌های اتومایزر و لانس‌دار برتری داشته است.

ارزیابی اقتصادی

با توجه به قیمت بالای پهپاد سمپاش، خرید این دستگاه در توان کشاورزان (به خصوص کشاورزان خرده‌پا) نیست؛ چنانچه کشاورز عمده کار اقدام به خرید یک دستگاه پهپاد نماید و علاوه بر سمپاشی مزارع خود، مزارع سایر کشاورزان را نیز سمپاشی نماید، نتایج مقایسه اقتصادی استفاده از پهپاد سمپاش با سایر سمپاش‌ها مطابق جدول ۶ است.

جدول ٦- مقایسه اقتصادی روش‌های سمپاشی

Table 6- Economic comparison of spraying methods

اتومایزر Knapsack mist blower	لانس‌دار Lance sprayer	پهپاد Drone sprayer	مورد Item	
6000	30000	850000	Capital cost	هزینه خرید (هزار تومان)
1	1	1	Labor per day	کارگر در روز
600	600	600	Labor cost	هزینه کارگری (هزار تومان در روز)
18000	18000	18000	Labor cost per month	هزینه کارگری در ماه (هزار تومان در ماه)
8	8	8	Hour per day	ساعات کار روزانه
240	240	240	spraying hours per year	ساعات سمپاشی در سال
600	3000	85000	Salvage value	ارزش اسقاط (هزار تومان)
300	1500	42500	Maintance cost	هزینه نگهداری (هزار تومان)
1464.6	7323	207485	Machine cost	هزینه ماشین (هزار تومان)
19464.6	25323	225485	Total cost	هزینه کل شامل هزینه کارگری (هزار تومان)*
95040	105120	522720	Income	درآمد (هزار تومان در سال)
4.88	4.15	2.33	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

متوسط اجرت عملیات سمپاشی در هکتار توسط سمپاش‌های لانس‌دار و اتومایزر در منطقه به ترتیب ۵۵۰ و ۵۰۰ هزار تومان است که اختلاف معنی‌داری با روش پهپاد نشان نمی‌دهد؛ بنابراین در مواقعی‌که آفات به طور وسیع منطقه را آلوده‌اند یکی از عوامل مهم، ظرفیت مزرعه‌ای عملیات است که پهپاد سمپاش با ظرفیت مؤثر ۳/۶۳ هکتار بر ساعت به خوبی عملیات مبارزه با آفات را به انجام می‌رساند. ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای سمپاش‌های لانس‌دار و اتومایزر به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۶۶ هکتار بر ساعت تعیین شده است. در این سمپاش‌ها، لازم است ظرفیت مزرعه‌ای[1]، کیفیت سمپاشی، مصرف محلول سم و اتلاف آن را نیز مدنظر قرارداد. با این شرایط، به خصوص زمانی‌که سطح آلودگی آفت گسترده است اگر این هزینه‌ها در نظر گرفته شود، هزینه عملیاتی سمپاش‌های لانس‌دار و اتومایزر به مراتب بالاتر خواهد بود. مشکلات زیست‌محیطی استفاده از روش‌های رایج را نیز باید مدنظر قرار داد.

چنانچه کشاورزان عمده‌کار در نظر داشته باشند پهپاد سمپاش بخرند باید ۸۵۰ میلیون تومان بپردازند، این قیمت برای پهپاد کوادکوپتری است که ظرفیت مخزن آن ۱۶ لیتر است (جدول ۶). در این سمپاش ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای ۳/۶۳ هکتار بر ساعت است که با ۸ ساعت کار روزانه سطح سمپاشی شده ۲۹/۰۴ هکتار در روز خواهد بود. با در نظر گرفتن اجرت هکتاری ۶۰۰ هزار تومان، میزان درآمد روزانه (با ۸ ساعت کاری) ۱۷۴۲۴ هزار تومان خواهد بود که در یک ماه میزان درآمد ۵۲۲۷۲۰ هزار تومان خواهد شد. در روش‌های استفاده از سمپاش لانس‌دار و اتومایزر به ترتیب میزان درآمد ماهیانه ۱۰۵۱۲۰ و ۹۵۰۴۰ هزار تومان خواهد بود.

نسبت سود به هزینه در روش‌های پهپاد، لانس‌دار و اتومایزر به ترتیب ۲/۳، ۴/۱۵ و ۴/۸۸ خواهد بود. این نتایج نشان می‌دهد نسبت سود به هزینه در پهپاد نسبت به روش‌های رایج کمتر شده است که از دلایل عمده آن بالا رفتن معنی‌دار قیمت خرید پهپاد نسبت به سمپاش‌های دیگر است.

نتیجه‌گیری

- میزان بادبردگی در سمپاش‌های لانس‌دار به رغم وجود قطره‌های درشت‌تر نسبت به دو روش اتومایزر و پهپاد بیشتر است که دلیل آن وجود جریان هوا در دو روش پهپاد و اتومایزر است که قطره‌ها را به سمت هدف هدایت می‌کند. ضریب کیفیت پاشش در سمپاش‌های اتومایزر و پهپاد به ترتیب ۲/۹۲ و ۱/۲۲ است که روش استفاده از پهپاد سمپاش نسبت به روش اتومایزر برتری نشان می‌دهد. در سمپاش لانس‌دار یکنواختی پاشش وجود ندارد.

- در سمپاش‌های لانس‌دار، اتومایزر و پهپاد حجم محلول مصرفی به ترتیب در گروه‌های فوق‌العاده زیاد، زیاد و فوق‌العاده کم قرار دارد و روش پهپاد سمپاش به طور معنی‌داری مصرف محلول سم را کاهش می‌دهد.

- بازده مزرعه‌ای پهپاد سمپاش به طور معنی‌داری نسبت به روش‌های لانس‌دار و اتومایزر بیشتر است که نشان‌دهندهٔ پایین بودن وقت‌های تلف شده در این روش است.

- در مبارزه با کرم میوه‌خوار هلیوتیس، کارایی روش پهپاد در ۱۴ روز پس از سمپاشی با ۵۹/۷۵ درصد، نسبت به روش‌های اتومایزر و لانس‌دار (به ترتیب با

۱- در صورتی‌که سمپاشی به موقع نباشد خسارت جبران‌ناپذیری به مزرعه وارد می‌شود.

۴۰/۰۶ و ۴۱/۷۵ درصد)، بهتر است. در روزهای چهارم و هشتم نیز روش استفاده از پهپاد از نظر کاریی، نسبت به روش‌های اتومایزر و لانس‌دار، برتری دارد.

- از نظر اقتصادی، نسبت سود به هزینه در روش‌های پهپاد، لانس‌دار و اتومایزر به ترتیب ۲/۳۳، ۴/۱۵ و ۴/۸۸ است که در روش پهپاد این نسبت کمتر از دو روش دیگر است. دلیل عمده آن بالا رفتن معنی‌دار قیمت اولیه پهپاد است.

- با توجه به نتایج فوق و در نظر گرفتن عوامل فنی و اقتصادی، لازم است روش مناسب سمپاشی انتخاب گردد؛ از نظر کارآیی به منظور کنترل آفت هلیوتیس، استفاده از روش پهپاد توصیه می‌شود. در مقایسه با دیگر عوامل فنی، روش پهپاد سمپاش نسبت به دیگر روش‌ها برتری نسبی دارد. در ارزیابی اقتصادی، چنانچه هر ساله قیمت اولیه پهپاد افزایش معنی‌دار پیدا کند، نسبت به انتخاب این روش باید بررسی بیشتری بشود.

قدردانی

از مدیریت محترم شرکت پرواز یاران سیرنگ آقای دکتر شریفیان به دلیل همکاری خوب و مؤثر به منظور اجرای پروژه سپاسگزاری می‌شود. از بخش سبزی و صیفی موسسه تحقیقات اصلاح نهال و بذر و از آقای دکتر زمانی به دلیل در اختیار قرار دادن مزرعه و همکاری در اجرای پروژه صمیمانه قدردانی می‌شود.

مراجع

Ahmadichenari, H., Hasheminia, M., & Afsar, A. (2005). Study and investigation of the number of working days suitable for carrying out the spraying operation of cotton fields in Varamin region. *Scientific-Research Journal of Agricultural Sciences*, *12*(1),164-180. (in Persian)

Bagheri, N., Safari, M., & Sheikhi Garjan, A. (2022). Performance evaluation of the UAV sprayer in the control of *Brevicoryne Brassicae* L. pest in Canola. *Journal of Agricultural Machinery*. https://doi.org/10.22067/jam.2022.79329.1129. (in Persian)

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. https://doi.org/10.3390/agronomy10020303.

Gibbs, J., Peters, T. M., & Heack, L. P. (2021). Comparison of droplet size, coverage, and drift potential from UAV application methods and ground application methods on row crops. *Transaction of ASABE, 64*(3), 819-828. https://doi.org/10.13031/trans.14121.

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

Huang, H., Deng, J., Lan, Y., Yang, A., Deng, X., & Zhang, L. (2018). A fully convolutional network for weed mapping of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. Plos One, 13(4), e0196302. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196302.

Karimi, K. (2019). *Integrated management of tomatoe fruit worm (Heliotis).* No. 9906101, Plant Protection Organization, Pest Control Deputy, Intelligence Office.

Kharim, M. N. A., Wayayok, A., Shariff, Sharif, 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*, 105045. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105045.

Martin, D. E., Wold, W. E., & Latheef, M. A. (2019). Effect of application height and ground speed on spray pattern and droplet spectra from remotely piloted aerial application systems. *Drones*, *3*(83), 1-21. https://doi.org/10.3390/drones3040083.

Meng.Y., Su, J., Song, J., Chen, W. H., & Lan, Y. (2020). Experimental evaluation of UAV spraying for peach trees of different shapes: Effects of operational parameters on droplet distribution. *Computers and Electronics in Agriculture. 170*, 105282. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105282.

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

Safari, M., & Bagheri, N. (2021). Technical criteria for the evaluation of sprayer drones. *Technical Instructions*. Agricultural Engineering Research Institute. (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 ProtectionScience, 51*(1), 13-26. https://doi.org/10.22059/ijpps.2020.281898.1006894. (in Persian)

Safari, M., Bagheri, N., Sheikhi Garjan, A., & Zarifneshat, S. (2022). Evaluation and comparison of sprayer drone to control tuta pest in tomato crop. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, *23*(84), 1-16. https://doi.org/10.22092/amsr.2023.361037.1435.

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

Wang, S. L., Song, J. L., He, X. K., Song, L., Wang, X. N., 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. https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20171004.3219.

Xinyu, X., Kang, T., Weicai, Q., Lan, Y and Zhang, H. (2014). Drift and deposition of ultra-low altitude and low volume application in paddy field**.** *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *7*(4), 23-28.

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

Yousefi, R. (2015). Determining the number of suitable working days for spraying wheat fields in Qazvin province. *Journal of Biosystems Engineering*, *4*(2), 12-28. (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. https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20200301.64.

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.24/No.85/Spring 2023/P:91-110
Journal Home Page: https://amsr.areeo.ac.ir

Research Paper

Technical and Economical Evaluation of UAV Sprayer in Comparison with Conventional Methods to Control Tomato *Helicoverpa Amigera*

M. Safari*, N. Bagheri and A. Sheikhi Garjan

*Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, AREEO, Karaj, Iran. Email: email2safari@yahoo.com
Received: 23 December 2023, Accepted: 12 March 2023
http://doi: 10.22092/AMSR.2024.364474.1474

Abstract

Tomato fruitworm (Heliotis) is the most destructive pests of the crops of Solanaceae family. In favorable environmental conditions, Heliotis spread quickly. In recent years, drone prayers have been used to control pests but the performance of these sprayers has not been evaluated in tomato fields yet. This research was carried out in a tomato field infected by the the Heliotis pest and the drone sprayer performance was compared with the performance of tractor lancer sprayer and back knapsack sprayer (atomizer) in the form of Randomized Complete Block Design (RCBD) and in three replications. The results showed that in tractor lancer, atomizer and drone sprayers the solution consumption was 1200, 211 and 32 liters per hectare, drift was 45.6, 13.06, 20.68 percent and field efficiency was 60.66, 69 and 90.2 percent respectively. In 14 days after spraying, the effectiveness was calculated 59.75%, 40.06% and 41.75% in drone method, atomizer and lancer methods respectively. In terms of effectiveness coefficient, the spraying with the drone was found better than that with atomizer and lancer methods on the 4th and 8th days after spraying. The spraying quality coefficient in atomizer and drone sprayer was 2.92 and 1.22, respectively. Economically, profit to cost ratio was calculated 4.15, 4.88 and 2.33 in lancer, atomizer and drone method respectively. Finally, according to the results, the use of drone sprayer to control tomato pests is recommended technically but in terms of economical aspects more studies should be done.

Keywords: Chemical Control, Pests, Spraying

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