Iranian Journal of Plant ProtectionScience
Vol 51, No 1, spring and summer 2020 (13-26)
DOI: 10.22059/ijpps.2020.281898.1006894

دانش گیاهپزشکی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹ (ص۲۶-۱۳)

مقایسه پهپاد با سم‌پاش تراکتوری لانس دار در کنترل زنجرک خرما *Ommatissus lybicus* (Hemiptera: Tropiduchidae)

محمود صفری[1*] و عزیز شیخی گرجان[2]
۱.استادیار موسسه **تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات ،آموزش و ترویج کشاورزی**
۲. دانشیار **موسسه تحقیقات گیاهپزشکی ایران**
(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۰۵ – تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۸)

چکیده

زنجرک خرما با تغذیه از شیرهٔ برگ و ترشح عسلک، موجب ضعف نخل‌های خرما و کاهش شدید کیفیت میوه و بازارپسندی آن می‌شود. برای کنترل شیمیایی این آفت در نخلستان‌های کشور، غالباً از سم‌پاش‌های لانس‌دار پشت تراکتوری استفاده می‌شود. این روش، به دلیل فشار بالای پاشش، موجب اتلاف محلول حشره‌کش و افزایش میزان مصرف آن در هکتار و آلودگی محیط‌زیست می‌شود. استفاده از پهپاد سم‌پاش، می‌تواند راهکاری برای کاهش معایب اشاره‌شده باشد. این پژوهش با سه تیمار شامل سم‌پاشی با پهپاد، سم‌پاشی با سم‌پاش لانس‌دار تراکتوری و شاهد (بدون سم‌پاشی)، علیه زنجرک خرما در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار دریکی از نخلستان‌های منطقه فراشبند استان فارس انجام شد. نتایج نشان دادند که در سم‌پاش لانس‌دار و پهپاد به ترتیب مقدار محلول مصرفی ۱۱۰۰ و ۲۸/۹ لیتر در هکتار، اتلاف محلول حشره‌کش ٤۲/٦ و ۱۱/۰۲ درصد و ظرفیت مزرعه‌ای، ۰/۸ و ۲/۷ هکتار بر ساعت است. در هفت روز پس از سم‌پاشی، درصد کارایی سم‌پاش‌های پهپاد و لانس‌دار به ترتیب ٤۰/۸ و ٤۸/٤ درصد بود که اختلاف معنی‌داری را نشان داد؛ ضریب کیفیت پاشش در پهپاد سم‌پاش ۱/۳۵ و انرژی مصرفی سم‌پاش لانس‌دار ٤٤/٤ برابر پهپاد سم‌پاش و هزینه سم‌پاشی در هکتار با استفاده از سم‌پاش لانس‌دار ۱/۲٦ برابر پهپاد سم‌پاش بود. درنهایت ازنظر فنی و اقتصادی، استفاده از پهپاد سم‌پاش به‌منظور مبارزه با آفت زنجرک خرما می‌تواند مناسب باشد.

واژه‌های کلیدی: استان فارس، حجم پاشش، سم‌پاشی خرما، کیفیت پاشش، فراشبند، هزینه.

Comparison between unmanned aerial vehicle and tractor lance sprayer against Dubas bug *Ommatissus lybicus* (Hemiptera: Tropiduchidae)

Mahmood Safari[1*] and Aziz Sheikhi Garjan[2]
1.Assistant Professor of Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research and Education Organization
2. Associate Professor Iranian Institute of Plant Protection
(Received: July 25, 2019 - Accepted: January 28, 2020)

ABSTRACT

Dubas bug *Ommatissus lybicus* de Bergevin, a sucking pest of the date palm, reduces the fruit's quality and marketability. The chemical application using tractor lance sprayers is the conventional control method against the pest in Iran. However, the foliage application utilized by high pressure increases the amount of drift, spray volume, and environmental contamination. Utilizing the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) sprayer against the Dubas bug could reduce the mentioned disadvantages of the conventional sprayers. In this research, three different treatments were applied to control the pest using an RCBD statistical design in four replications at the Farashband area of Fars Province, Iran. Results showed the spray volume of tractor lance and UAV sprayers was 1100 and 28.9 L ha^{-1}, the run-off rate of the sprayers was 42.6 and 11.02%, respectively. The spraying coverage of the above sprayers was 2.7 and 0.8 ha per hour, respectively. There wasn't any significant difference between UAV and tractor lance sprayers in efficacy on 3 days after treatment but the effectiveness of UAV sprayer was significantly more than the tractor lance sprayer on 7 days after treatment. The spray quality coefficient in the UAV sprayer was 1.35. The energy consumption of the tractor lance sprayer was 44.4 times higher than that of the UAV sprayer. The spraying costs per hectare using the tractor lance sprayer were 1.26 times of the UAV sprayer. Finally, in terms of technically and economically, the use of the UAV sprayer can be suitable in comparison with the tractor lance sprayer.

Keywords: Cost, Date palm spraying, Farashband, Fars Province, Spraying quality, Spray volume.

* Corresponding author E-mail: email2safari@yahoo.com

مقدمه

خرما یکی از محصولات مهم باغی کشور به شمار می‌رود و نقش مهمی در اقتصاد ملی، ایجاد اشتغال، تأمین امنیت غذایی، صادرات و ارزآوری ایفا می‌کند. بر پایهٔ آمار گمرک در شش‌ماههٔ نخست سال ۹۵، بیش از ۶۹ هزار تن خرما به کشورهای مختلف صادرشده که بر اساس آن ۷۹ میلیون و ۶۳۰ هزار دلار، ارز نصیب کشور شده است. خرمای ایرانی به بیش از ۷۰ کشور جهان صادرشده است که در این میان می‌توان به کشورهای امارات متحدهٔ عربی، استرالیا، کانادا، آلمان، سوئد و فرانسه اشاره کرد (Anonymous, 2015). بر اساس آمارنامهٔ سال ۱۳۹۵ وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت میوه‌های نیمه گرمسیری ۸۳۱ هزار هکتار (۲۹ درصد سطح زیر کشت باغ‌ها کشور) است که ۳۰/۵ درصد از آن (۲۶۱۷۶۵ هکتار) مربوط به محصول خرما است. میزان تولید این محصول ۱۱۶۰ هزار تن است که ۱۴/۵ درصد از ۸ میلیون تن محصولات نیمه گرمسیری را به خود اختصاص داده است (Ahmadi *et al*., 2017). زنجرک خرما *Ommatissus lybicus* از دیرباز یکی از آفات مهم و کلیدی مناطق خرماخیز کشور بوده است که در استان‌های خوزستان، فارس، کرمان، بلوچستان و مناطق خور و بیابانک و مهران انتشار داشته است، این آفت در کشورهای عراق، مصر، شمال آفریقا، لیبی و اسپانیا نیز مشاهده‌شده است. این حشره علاوه بر نخل خرما به انواع نخیلات زینتی نیز حمله می‌کند (Gharib, 1991). حشره بالغ و پوره‌ها با تغذیه از شیره و مواد سبزینه برگ، ترشح عسلک موجب می‌شود، میوه‌های خرما، کوچک و نامرغوب شده و درنهایت ریزش نماید. این آفت در جنوب کشور به نام عسلک خرما یا شیرهٔ شناخته می‌شود (Eata, 1990). پوره‌های این آفت بیشتر در تاج نخل و در قسمت فوقانی برگ و در داخل حفره برگ مستقر می‌شوند، محل تخم‌گذاری زنجرک خرما، اغلب در سطح‌رویی برگچه‌ها است (Gharib, 1991). در حال حاضر متداول‌ترین شیوه مبارزه با این آفت، روش شیمیایی است. در بیش از ۱۵ هزار هکتار از نخلستان‌های کشور از روش مبارزه شیمیایی استفاده می‌شود. مناسب‌ترین زمان مبارزه با زنجرک خرما زمانی است که تعداد پوره‌ها در پشت هر برگچه بین ۱۰-۶ عدد باشد و ۴۰-۳۰ درصد تخم‌ها به پوره تبدیل‌شده باشند (Anonymous, 2017). ارتفاع زیاد درختان خرما و نظام کشت سنتی و متراکم بودن کاشت در نخلستان‌ها موجب شده کنترل شیمیایی آفات نخلستان‌ها با مشکلات جدی روبرو باشد. براین‌اساس، استفاده از روش‌های مختلف کنترل شیمیایی برای کنترل آفات نخیلات موردتوجه بوده است. همچنین رعایت نکردن بهداشت و مسایل به زراعی (کاشت متراکم و غیراستاندارد، بی‌توجهی به عملیات هرس و تغذیهٔ بهینه) در نخلستان‌ها، شرایط مناسب را جهت طغیان آفت و وارد آوردن خسارت کمّی و کیفی شدید به محصول فراهم ساخته است.

در کلیهٔ نخلستان‌های کشور ازجمله منطقهٔ فراشبند فارس، به‌منظور سم‌پاشی علیه زنجرک خرما از سم‌پاش‌های زمینی استفاده می‌شود. از متداول‌ترین دستگاه‌های سم‌پاش زمینی مورداستفاده در این نخلستان‌ها می‌توان به سم‌پاش‌های لانس‌دار پشت تراکتوری اشاره کرد. در این سم‌پاش‌ها، قطرات ریز (با قطر کمتر از ۱۰۰ میکرون)، توسط جریان هوا تا فاصلهٔ ۴۰ متری منتقل می‌شوند، درصورتی‌که قطرات درشت (۴۰۰-۲۰۰ میکرون)، پس از طی مسافت کوتاهی به پایین سقوط می‌کنند. از طرفی، استفاده از تراکتور در باغ‌هایی که کشت سنتی دارند غیرممکن است. در این باغ‌ها، جوی‌های آبیاری یکی از موانع اصلی تردد تراکتور است. در هواپیماهای سم‌پاش، به دلیل پخش محلول حشره‌کش از ارتفاع ۳۰ متری، بادبردگی افزایش می‌یابد. استفاده از هواپیما در شرایطی که عوامل محیطی مناسب نباشد (وزش باد شدید)، روش مناسبی برای مبارزه با آفات خرما محسوب نمی‌شود، زیرا با این روش، کلیهٔ قسمت‌های هدف، به‌طور یکنواخت با قطرات حشره‌کش پوشش داده نمی‌شوند. در مواردی که به دلایل مختلف، سم‌پاشی هوایی تنها راه موجود باشد، استفاده از بالگرد مناسب‌تر از هواپیما است (Kaj-baf and Afshari, 1998). سم‌پاشی هوایی نخلستان‌ها در قسمت‌هایی از کشور بکار گرفته‌شده است؛ مقایسهٔ

سم‌پاشی هوایی و زمینی (با سم‌پاش لانس‌دار) در کنترل آفت، نشان داد که دو روش سم‌پاشی (علیرغم عدم یکنواختی پاشش و آلودگی زیست‌محیطی در سم‌پاش هوایی)، ازنظر اثربخشی، دارای کارایی یکسانی هستند (Heidari and Asari., 2016)؛ در سال‌های اخیر، سم‌پاشی هوایی به لحاظ آلودگی زیست‌محیطی، متوقف‌شده و سم‌پاشی زمینی به دلیل معایبی همچون بادبردگی زیاد و عدم رعایت فاصلۀ کاشت در نخلستان‌ها، با مشکل مواجه شده است. از طرفی آفت زنجرک خسارت خود را در مدت‌زمان کوتاهی به‌جا می‌گذارد؛ بنابراین نیاز به استفاده از فناوری نوین سم‌پاشی که بتواند به نحو مؤثر قسمت فوقانی نخیلات را سم‌پاشی نماید از ضروریات است. یکی از روش‌های مناسب، استفاده از پهپاد سم‌پاش، جهت سم‌پاشی قسمت فوقانی نخیلات است. به‌منظور تعیین یکنواختی پاشش، قطر میانۀ حجمی[1]، قطر میانۀ عددی[2] و درنهایت ضریب کیفیت سم‌پاشی[3] تعیین می‌گردد در حالت ایده‌آل، ضریب کیفیت سم‌پاشی برابر یک است؛ ولی با توجه به شرایط کاری عملیات، عملاً این نسبت غیرممکن است. هر چه میزان این نسبت با عدد یک فاصله داشته باشد، ضریب کیفیت سم‌پاشی افزایش و درنتیجه کیفیت پاشش پایین‌تر است (Srivastava *et al*., 1993). پهپاد سم‌پاش برای مقاصد مختلفی استفاده می‌شود که یکی از کاربردهای آن، عملیات سم‌پاشی برای مناطق مرتفع و صعب‌العبوراست. از این فناوری به‌منظور انجام دادن اهدافی ویژه، نظیر نمونه‌گیری از آب‌وخاک و عملیات سم‌پاشی آفات در مزارع، استفاده شده است (Hoffmann *et al*., 2016). حشره‌کش سیستمیک سیوانتو[4]، حاوی ۲۰۰ گرم در لیتر مادۀ مؤثرۀ فلوپیرادیفورون است که باعث ایجاد اختلال در سیستم اعصاب مرکزی حشره شده و باعث مرگ آن می‌گردد. این حشره‌کش پس از سم‌پاشی، جذب شاخه و برگ‌ها شده و در آوندهای چوبی و آبکش حرکت می‌کند. بهترین زمان مصرف این حشره‌کش علیه زنجرک خرما در نسل اول (اواخر اردیبهشت تا اوایل خرداد) در زمان تشکیل میوه و در صورت نیاز به تکرار سم‌پاشی، در نسل دوم بعد از برداشت خرما است. فلوپیرادیفورون، تمام مراحل زندگی آفات مکنده (بالغ و پوره) را به‌خوبی کنترل می‌نماید، پوشش مناسب شاخ و برگ درختان در زمان سم‌پاشی الزامی است (Arbabtafti *et al*., 2014).

کارایی پهپاد به‌منظور کنترل آفات و کاهش بیماری انسانی، نشان داد که کاربرد آفت‌کش گرانول، مؤثر بوده و استفاده از این دستگاه، از ضریب اطمینان بالایی برخورداراست. برای کنترل بندپایان، سم‌پاشی هوایی به کمک پهپاد، یک روش مهم و مؤثر محسوب می‌شود، در پهپاد سم‌پاش به دلیل دمش هوا به سمت پایین توسط حرکت ۶ موتور ملخ و فاصلۀ کم بین نازل و هدف پاشش از بادبردگی محلول حشره‌کش، جلوگیری می‌شود و محلول به داخل محصول نفوذ می‌نماید (Miller, 2005). در پژوهش انجام‌شده در کشور چین، به کمک پویایی سیالات و شبکه‌های عصبی، حرکت جریان هوا از سوی پهپاد سم‌پاش ۶ موتورِ شبیه‌سازی گردید. نتایج این پژوهش نشان دادند که مدل برازش‌شده، به‌خوبی شرایط مزرعه‌ای را تأیید می‌نماید و جریان رو به پایین باد و قطر قطرات از عوامل تأثیرگذار بر هدایت قطرات و کاهش باد بردگی است (Yang *et al*., 2018). در هندوستان به‌منظور مبارزه با آفات در مزارع بادام‌زمینی و برنج از پهپاد سم‌پاش استفاده می‌شود. ظرفیت مزرعه‌ای در ارتفاع یک متر از محصول با سرعت پیشروی، ۳/۶ کیلومتر بر ساعت برای این دو مزرعه، به ترتیب ۱/۱۵ و ۱/۰۸ هکتار بر ساعت است. در این محصولات، هزینه‌های عملیاتی به ترتیب ۴/۸ و ۵ دلار در هکتار بود. افزایش ارتفاع و فشار پاشش، می‌تواند در افزایش یکنواختی پاشش مؤثر باشد. قطر متوسط حجمی و عددی قطرات سم‌پاشی در شرایط آزمایشگاهی، به ترتیب ۳۴۵ و ۲۷۰ میکرومتر بود (Yallappa, 2017). در پژوهشی دیگر، به‌منظور کنترل آفات در باغ‌ها انگور از پهپاد سم‌پاش استفاده‌شده است. نتایج نشان دادند با رعایت کردن

1- Volume Median Diameter (VMD)
2 - Number Median Diameter (NMD)
3- Quality Coefficient
4 - Sivanto-SL200

الگوی پروازی منظم[5] با عرض کار مؤثر، میزان مصرف محلول حشره‌کش در هکتار بین ۵۰-۱۰ لیتر بر هکتار و ظرفیت کاری آن بین ۵-۲ هکتار بر ساعت متغیر است. استفاده از سامانه‌های خودکار می‌تواند بار کاری کاربر را کاهش دهد (Giles and Billing, 2015). استفاده وسیع از پهپادها، دارای محدودیت‌هایی است که می‌توان به کوتاه بودن زمان شارژ باطری، نیاز به کاربر ماهر بالا و قیمت بالای این دستگاه‌ها اشاره نمود (Bin Jun and Kim, 2016). با توجه به تقسیم‌بندی سم‌پاش‌ها در چهار گروه حجم بسیار کم[6] (۵-۰/۵ لیتر بر هکتار)، حجم کم[7] (۵۰-۵ لیتر بر هکتار)، حجم متوسط[8] (۱۵۰-۵۰ لیتر بر هکتار) و حجم زیاد[9] (۲۰۰ لیتر بر هکتار به بالا)، سم‌پاش‌های پهپاد و لانس‌دار پشت تراکتوری به ترتیب در گروه سم‌پاش‌های با حجم کم و حجم زیاد دسته‌بندی می‌شوند (Shamabadi and Tabatabaee-Kloor, 2008). بررسی تعدادی از پژوهش‌گران نشان داده است که شمارش قطرات عسلک، تخمین بهتری از اندازهٔ جمعیت آفت در مقایسه با روش شمارش مستقیم پوره‌ها نشان می‌دهند (Thacker *et al*., 2003). در این شرایط، پوره‌ها و حشرات بالغ متحرک بوده و هنگام نمونه‌برداری از روی برگ‌ها پراکنده می‌شوند که باعث ایجاد خطا در شمارش نمونه‌ها می‌شود، در درختان مرتفعی چون نخل، این روش آسان و دقیق‌تر است. در پژوهش حاضر، به‌منظور کنترل آفت زنجرک خرما در منطقه فراشبند فارس، از پهپاد سم‌پاش در مرحلهٔ پوره استفاده شد. این روش با روش‌های سم‌پاش لانس‌دار پشت تراکتوری و شاهد (بدون سم‌پاشی)، مقایسه شد و نتایج ازنظر فنی و اقتصادی بررسی شدند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در نیمهٔ اول خردادماه ۱۳۹۷، دریکی از نخلستان‌های منطقهٔ فراشبند استان فارس و بـر روی نخل‌های هم‌سن، به‌منظور کنترل زنجرک خرما توسط پهپاد سم‌پاش و سم‌پاش لانس‌دار تراکتوری انجام شد. در پهپاد سم‌پاش[10] از دو نازل میکرونر استفاده شده است (جدول ۱). این دستگاه دارای ۶ ملخ است که باعث جابجایی دستگاه می‌شود (شکل ۱- الف). چرخش ملخ‌ها باعث دمش هوا و هدایت قطرات محلول حشره‌کش به سمت پایین می‌شوند.

جدول ۱. مشخصات فنی پهپاد HS0615

Table 1 Unmanned Aerial Vehicle (UAV) specification HS0615

Characters	Explanation
Machine name	Sprayer Unmanned (Model: HS0615)
Produced by	Machine Kashte Fars Co
Number of electromotor	6
Power source	2 Lithium polymer batteries with capacity of 22,000 A.h
Maximum weight	35kg
Tank volume	15 Liter
Nozzle type	Micronair (Radial Inner Impairment) with Brushless Motor, Spray Width 1.5m and 6000rpm
Pump Output	300-1150 ml per minute
Unmanned dimension (Operational)	Diameter (255cm) and height (55cm)
Unmanned dimension (Nonoperational)	Diameter (70cm) and height (55cm)
Control system	Ground station with 2.5 cm accuracy (RTK)
Temperature range	15-45 ° C

در سم‌پاش لانس‌دار پشت تراکتوری از پمپ پیستونی به‌منظور تحت‌فشار قرار دادن محلول حشره‌کش، استفاده‌شده است. لانس سم‌پاش مجهز به یک لولهٔ آلومینیومی به طول ۴ متر است که ارتفاع پاشش را افزایش می‌دهد (شکل ۲ - ب). نازل هیدرولیک مورداستفاده از نوع مخروطی توخالی و حجم مخزن ۴۰۰ لیتر بود.

قبل از اقدام به سم‌پاشی، سم‌پاش‌ها ازنظر محلول مصرفی در دقیقه و سرعت پیشروی تنظیم گردیدند. در خارج از نخلستان، با تغییر خروجی مختلف نازل‌ها، سرعت‌های پیشروی و ارتفاع پاشش، پهپاد سم‌پاش کالیبره شد. در زیر هر دو نازل پهپاد، استوانه مدرج قرار داده‌شده و میزان بدهٔ خروجی در مدت‌زمان یک دقیقه در ۳ تکرار تعیین و متوسط آن برحسب لیتر بر دقیقه تعیین شد. همچنین عرض کار و سرعت

5 - Auto pilot
6 -Ultra Low Volume(U.L.V)
7 -Low Volume(L.V)
8 -Median Volume
9 - High Volume

10 ساخت شرکت دانش‌بنیان ماشین کاشت فارس(مدلHS0615)

پیشروی و حجم محلول مصرفی در هکتار محاسبه شد. در سم‌پاش لانس‌دار نیز با فشار پاشش ۲۰ بار و با استفاده از نازل مخروطی، بدهٔ خروجی برحسب لیتر بر دقیقه تعیین شد (Fallah-Jeddi, 2000). برای این سم‌پاش نیز مشابه روش پهپاد، ظروف مدرجی زیر نازل‌ها قرار داده شد و بدهٔ خروجی برحسب لیتر بر دقیقه تعیین و درنهایت لیتر بر هکتار محاسبه شد.

از حشره‌کش سیوانتو با فرمولاسیون SL200 ساخت شرکت بایرکراپ ساینس آلمان با غلظت ۰/۵ در هزار برای سم‌پاش تراکتوری لانس‌دار استفاده شد. با توجه به آزمایش انجام‌شده در خارج از نخلستان (شکل ۱-ب)، مناسب‌ترین ارتفاع پاشش نسبت به هدف در پهپاد سم‌پاش یک متر تعیین که توسط حس‌گر فاصله نصب‌شده بر روی دستگاه کنترل گردید. منبع تأمین توان موتورها و نازل‌های میکرونر، دو عدد باطری ۲۴ ولت لیتیوم پلیمر با ظرفیت ۲۲Ah بود. در تیمار سم‌پاش لانس‌دار، میزان مصرف محلول حشره‌کش در هر نخل ۱۳-۸ لیتر (به‌طور متوسط ۱۰ لیتر) بود، با در نظر گرفتن تعداد نخل‌های یک هکتار که بین ۱۲۰-۱۰۰ نخل است (متوسط ۱۱۰ نخل) و فاصله ۱۰ متر بین درختان، میزان محلول مصرفی در هکتار سم‌پاش لانس‌دار ۱۱۰۰ لیتر در هکتار است که با ۵۵۰ میلی‌لیتر حشره‌کش مخلوط گردید. در پهپاد سم‌پاش بدهٔ خروجی ۱/۳ لیتر بر دقیقه بود که با عرض کار ۳ متر و سرعت پیشروی ۲ متر بر ثانیه (۷/۲ کیلومتر بر ساعت)، میزان محلول مصرفی ۲۸/۹ لیتر و مقدار حشره‌کش مصرفی (سیوانتو)، ۴۸۱/۷ میلی‌لیتر در هکتار بود (شکل ۱-الف). ازنظر شاخص‌های فنی، پهپاد سم‌پاش در گروه سم‌پاش‌های با حجم کم (۵۰-۵ لیتر بر هکتار) و سم‌پاش لانس‌دار در گروه سم‌پاش‌های با حجم زیاد (۲۰۰ لیتر بر هکتار به بالا) قرار گرفت که ازنظر کالیبراسیون، در محدودهٔ استاندارد قرار داشتند. در باند آزمایشی، تعدادی کارت حساس در خارج از محدودهٔ عرض کار قرار گرفتند و با شمارش آن‌ها و تعیین درصد کارت‌های که قطرات محلول سم دریافت کرده‌اند، میزان درصد اتلاف محلول سم بررسی شد (شکل ۱-ب). بر روی کارت‌های قرار داده‌شده در عرض کار، تعداد قطرات در سانتیمتر مربع شمارش گردید و ازنظر میزان تراکم ارزیابی شد. پژوهش‌ها برای کنترل حشرات، تعداد قطرات در سانتیمتر مربع (تراکم) را ۳۰-۲۰ قطره (ذره) توصیه نموده است (Shamabadi and Tabatabaee-Kloor, 2008). کارت‌های حساس به‌صورت عمود بر مسیر حرکت و به فواصل ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر و به تعداد ۱۴ عدد به‌منظور تعیین عرض کار مفید استفاده شد (شکل ۱-ب).

با توجه به دبی خروجی (Q) برحسب لیتر بر دقیقه، فشار پاشش (p) برحسب کیلو پاسکال و بازدهٔ کاری پمپ (η) که معمولاً بین ۶۰-۵۰ درصد است، میزان توان مصرفی (P)، از معادلهٔ ۱ محاسبه شد (Shamabadi and Tabatabaee-Kloor, 2008):

$$P = \frac{Q \times p}{60000\,\eta} \qquad (1)$$

در سم‌پاش لانس‌دار، انرژی لازم از طریق تراکتور تأمین می‌شود، بنابراین، میزان مصرف سوخت در یک ساعت تعیین و با دارا بودن انرژی معادل سوخت (گازوییل)، انرژی مصرفی برحسب کیلووات ساعت تعیین شد. در پهپاد، با اندازه‌گیری آمپر مصرفی و داشتن ولتاژ، انرژی مصرفی شش ملخ و دو نازل میکرونر، تعیین شد. ارزیابی، شامل بررسی نحوه پوشش دهی قطرات، ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای، اتلاف محلول سم و کارایی سم‌پاش‌ها در کنترل زنجرک خرما بود. در نخلستان برای بررسی کیفیت سم‌پاشی از کارت‌های حساس به آب استفاده شد. این کارت‌ها به تعداد چهار عدد و در قسمت فوقانی برگ و محل تجمع زنجرک‌ها قرار داده شد. برای تعیین کارایی، از روش شمارش قطرات عسلک ریخته‌شده در زیر تاج درخت استفاده شد. برای این منظور، دو صفحه شیشه‌ای به ابعاد ۱۲×۱۲ سانتی‌متر برای مدت ۱۲ ساعت در زیر تاج هر درخت، کار گذاشته شد (درمجموع ۲۴ صفحه شیشه‌ای)؛ سپس تعداد قطرات در شش کادر ۲×۲ سانتی‌متر مربع شمارش شد (Arbabtafti, *et al.*, 2014).

شکل ۱. پهپاد سم‌پاش (راست) و کاربرد کارت‌های حساس برای تعیین عرض کار مفید (چپ)

Figure 1.Sprayer unmanned (right) and sensitive cards to determine the effective working wide (left)

شکل ۲. سم‌پاش لانس‌دار پشت تراکتوری (راست)، لانس و بوم ۴ متری (وسط)، محل نصب کارت‌های حساس (چپ)

Figure 2.Tractor lance sprayer (right), lance and boom with 4m wide (middle), and position of sensitive cards (left)

برای محاسبهٔ کارایی از رابطه هندرسون-تیلتون استفاده شد که شامل تعداد قطرات شاهد قبل از سم‌پاشی (C_b)، تعداد قطرات شاهد بعد از سم‌پاشی (C_a)، تعداد قطرات تیمار بعد از سم‌پاشی (T_a) و تعداد قطرات تیمار قبل از سم‌پاشی (T_b)، است (رابطه ۲). برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از آزمون t-test استفاده شد

و میانگین کارایی تیمارها تعیین گردید (Heidari and Asari., 2016):

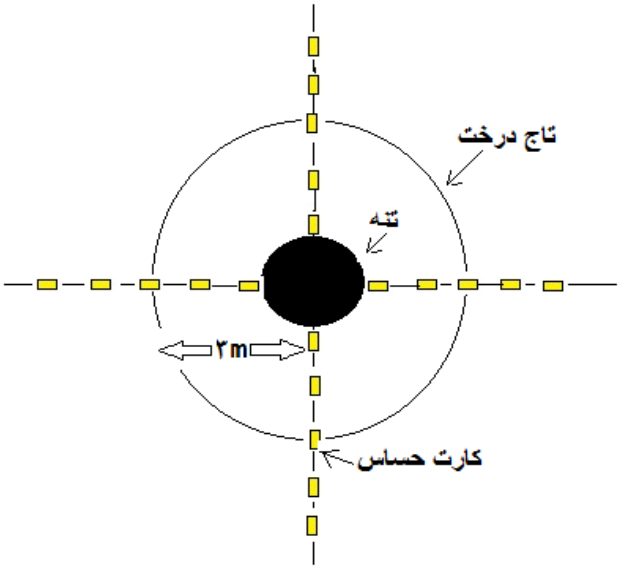
$$\text{درصد کارآئی} = \frac{1-(Cb\times Ta)}{(Ca\times Tb)} \times 100 \qquad (۲)$$

مقایسهٔ کارایی روش‌های سم‌پاشی در کنترل زنجرک خرما با طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار انجام شد. زمان محلول‌پاشی علیه زنجرک خرما برای نسل زمستانه هم‌زمان با ظهور پوره‌های سن دوم و سوم با انجام بررسی‌های هفتگی از زمان ظهور پوره‌ها تعیین شد. به‌جز روش سم‌پاشی، کلیه عوامل برای تیمارها، یکسان بود. تیمارهای آزمایشی شامل:۱- سم‌پاشی با پهپاد ۲- سم‌پاشی با سم‌پاش لانس‌دار تراکتوری ۳- شاهد (بدون سم‌پاشی) بودند. برای این منظور برای هر تیمار یک ستون کشت با ۱۶ نخل در نظر گرفته شد، فاصلهٔ طولی و عرضی نخل‌ها به ترتیب ۱۰ متر و ۲۰ متر و فاصلهٔ طولی تیمارها ۵۰ متر بود (شکل ۳). عرض کار با توجه به عرض تاج‌ها بین ۵-۲ متر متغیر بود که متوسط آن‌ها حدود ۳ متر در هر دو سم‌پاش در نظر گرفته شد. با تعیین زمان لازم برای سم‌پاشی یک هکتار، ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای محاسبه گردید. در این روش با توجه به در نظر گرفتن شرایط واقعی عملیات سم‌پاشی، کلیهٔ وقت‌های تلف‌شده نظیر فرود آمدن و برخاستن دستگاه برای تعویض باطری و پر کردن مخزن در نظر گرفته‌شده است. با در نظر گرفتن میزان خروجی دستگاه سم‌پاش بر اساس لیتر بر دقیقه، سرعت پیشروی و عرض پاشش، میزان محلول مصرفی در هکتار در شرایط مزرعه‌ای محاسبه شد.

شکل ۳. موقعیت واحدهای آزمایشی
Figure 3. Position of trail plots

برای تعیین یکنواختی پاشش، قطر متوسط حجمی و عددی، بر روی کارت‌های حساس، مساحت ۱×۱ سانتی‌متر مربع ترسیم و اندازهٔ آن چهار برابر بزرگ و پس از اندازه‌گیری قطرات داخل مربع، توسط خط کش و شمارش آن‌ها، مجدداً، اندازهٔ قطرات ۱/۴ برابر گردید. سپس با تشکیل جدول فراوانی مقادیر قطر متوسط حجمی و عددی محاسبه شد. قبل از عملیات سم‌پاشی در زیر هر نخل آزمایشی، تعداد ۲۰ عدد کارت حساس به ابعاد ۷۰×۳۰ میلی‌متر، به‌صورت شعاعی و به فاصلهٔ یک متر از یکدیگر قرار داده شدند.

این کارت‌ها در زیر تاج (۳ متر) و بیرون تاج (۲ متر) قرار گرفتند. پس از عملیات سم‌پاشی، تعداد کارت‌های حساسی که قطرات بر روی آن اثر گذاشته بود شمارش و درنهایت درصد کارت‌هایی که در معرض قطرات محلول حشره‌کش قرارگرفته بود به‌عنوان درصد اتلاف محلول سم تعیین شد (شکل ۴).



شکل ۴. موقعیت کارت‌های حساس در زیر نخل به‌منظور تعیین میزان ریزش محلول حشره‌کش
Figure 4. Position of sensitive cards to determine run-off insecticide spray

از روش اجاره‌ای برای مقایسهٔ اقتصادی تیمارها استفاده شد، در این روش برای هر تیمار علاوه بر نرخ اجاره برای سم‌پاشی یک هکتار، سایر هزینه‌ها شامل مصرف حشره‌کش و آب در هکتار و میزان اتلاف محلول سم در هکتار، مدنظر قرار گرفت. در این روش هزینه به‌موقع انجام نشدن عملیات بهتر است اضافه گردد که در این پژوهش به علت عدم دسترسی به اطلاعات مربوطه، منظور نگردید. پس از تعیین میزان درصد اتلاف محلول سم، محلول مصرفی، ظرفیت مؤثر، کیفیت پاشش، انرژی مصرفی و ارزیابی اقتصادی، نتایج به کمک نرم‌افزار SPSS 18 و از طریق آزمون t تجزیه‌وتحلیل شدند و درنهایت روش‌ها ازنظر فنی و اقتصادی ارزیابی گردیدند.

نتایج

مقایسهٔ محلول مصرفی در هکتار

بین تیمارهای آزمایشی ازنظر میزان محلول مصرفی در هکتار در سطح ۱ درصد، اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). بر اساس جدول میانگین‌ها، بیش‌ترین میزان مصرف محلول حشره‌کش مربوط به سم‌پاش لانس‌دار (۱۱۰۰ لیتر در هکتار) و کم‌ترین مربوط به پهپاد سم‌پاش (۲۸/۹ لیتر در هکتار) بود.

اتلاف محلول حشره‌کش

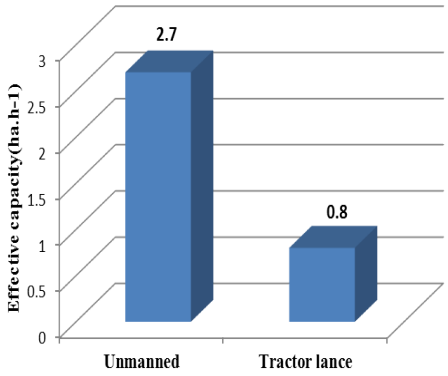
بین روش‌های سم‌پاشی ازنظر اتلاف[11] (ریزش قطرات حشره‌کش در زیر و اطراف نخل) در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. با توجه به مقایسه میانگین‌ها، ازنظر بالا بودن درصد اتلاف، سم‌پاش لانس‌دار با ۴۲/۶ درصد و پهپاد سم‌پاش با ۱۱ درصد به ترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد اتلاف بودند (جدول ۲).

ظرفیت مزرعه‌ای

بین تیمارهای آزمایشی ازنظر ظرفیت مزرعه‌ای در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). بیشترین و کمترین ظرفیت مزرعه‌ای با

11 – Run-off losses

۲/۷ و ۰/۸ هکتـار بـر سـاعت بـه ترتیـب مربـوط بـه سم‌پاش‌های پهپاد و لانس‌دار بودند (شکل ۵).



شکل ۵. مقایسهٔ ظرفیت مؤثر روش‌های سم‌پاشی

Figure 5. Comparison between the effective capacity in spraying methods

مقایسهٔ کارایی روش‌های سم‌پاشی

کارایی عملیات سم‌پاشی، با شمردن تعداد قطرات عسلک در دو سانتیمتر مربع از صفحات شیشه‌ای، طی یک روز قبل از عملیات،۳ و ۷ روز بعد از عملیات بررسی شد. مطابق جدول ۳، در ۳ روز پس از سم‌پاشی، بین تیمار پهپاد و سم‌پاش لانس‌دار، اختلاف، معنی‌دار نبود اما در ۷ روز پس از سم‌پاشی، بین روش پهپاد (۴۸ درصد) و سم‌پاش لانس‌دار (۴۰ درصد) اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲).

مقایسهٔ یکنواختی پاشش روش‌های سم‌پاشی

بررسی کارت‌های قرار داده‌شده در مسیر پاشش در مسیر باند پاشش پهپاد سم‌پاش (بیرون از نخل) نشان داد که تراکم قطرات حشره‌کش در قسمت مرکزی خط عمود بر مسیر حرکت نسبت به طرفین بیشتر است. این نتایج نشان می‌دهند در موقعیت‌های نزدیک به نازل‌ها، تراکم بیشتر از مناطق دیگر است. با توجه به اینکه در این شرایط، عرض پاشش دستگاه ۴/۵ متر بود بنابراین عرض کار ۳ متر بر روی نخل‌ها را تحت پوشش قرار می‌داد و تمام قسمت‌های تاج محصول در معرض سم‌پاشی قرار داشت. در پهپاد سم‌پاش با توجه به کارت‌های حساس قرار داده‌شده بر روی نخل و محاسبات انجام‌شده، قطر میانهٔ حجمی و قطر میانهٔ عددی به ترتیب ۳۸۸ و ۲۸۶ میکـرون بود. در این سم‌پاش‌ها، اندازه قطرات و میزان تراکم آن‌ها نسبتاً یکنواخت بود.

جدول ۲- میانگین و خطای معیار متغیرها در تیمارها

Table2. Means and standard error of variables in the treatments

Variables	Sprayers	Mean	Mean difference ±SE	t_{value}, Pr
Field capacity ($ha.h^{-1}$)	UAV*	0.42±2.7	0.21±1. 9	8.79, 0.001
	Tractor lance	0.08±0.8		
Spray volume ($L.ha^{-1}$)	UAV	3.60±28.9	31.48±1071.1	34.01,0.001
	Tractor lance	62.87±1100		
Run off Loss (%)	UAV	2.36±11.02	4.77±37.09	6.61,0.001
	Tractor lance	3.17±48.11		
Effectiveness (+3) (%)	UAV	2±42.16	3.75±5.94	1.58,0.165
	Tractor lance	3.17±48.11		
Effectiveness (+7) (%)	UAV	2.09±48.42	2.91±7.59	2.06,0.04
	Tractor lance	2.03±40.82		

*Unmanned Aerial Vehicle

مقایسهٔ انرژی مصرفی روش‌های سم‌پاشی

در پهپاد سم‌پاش، مصرف‌کننده‌های توان، شامل الکتروموتور فن‌های بالابرنده دستگاه و آرمیچرهای دو نازل میکرونر است که توان مصرفی کل دستگاه به

کمک دو باطری ۲۴ ولت (۴۸ ولت) تأمین می‌شود. میزان جریان مصرفی ۱۵ آمپر است بنابراین میزان توان مصرفی دستگاه، ۷۲۰ وات‌ساعت است (حاصل‌ضرب ولتاژ در آمپر مصرفی). در تیمار سم‌پاش لانس‌دار تراکتوری، مصرف‌کننده‌های توان، پمپ دستگاه و رانش تراکتور است که توان پمپ از طریق محور پی تی او[۱۲] تراکتور تأمین می‌شود، با در نظر گرفتن بده (۱۸ لیتر بر دقیقه) و فشار پمپ (۲۲۰۰ کیلو پاسکال) و بازدۀ مکانیکی (۵۵ درصد)، توان پمپ ۱/۲ کیلووات و در مدت یک ساعت، انرژی مصرفی ۱/۲ کیلووات ساعت است.

میزان انرژی مصرفی تراکتور از روش میزان مصرف ساعتی سوخت محاسبه شد. مصرف ساعتی سوخت تراکتور برای عملیات سم‌پاشی، ۱۶ لیتر بر ساعت بود. در این تراکتور، میزان انرژی تولیدی (معادل)، به ازای یک لیتر گازوییل، ۲ کیلووات ساعت است (Ghasemi-Nejad *et al*., 2008)، بنابراین میزان انرژی تولیدی در طی یک ساعت ۳۲ کیلووات ساعت خواهد بود. انرژی مصرفی پمپ سم‌پاش در ساعت ۱/۲ کیلووات ساعت است. به‌هرحال توان مصرفی پمپ سم‌پاش قسمتی از انرژی تولیدشده از طریق سوخت است (مابقی انرژی صرف روشن ماندن دستگاه و حرکت تراکتور می‌شود). درنهایت مقدار انرژی مصرفی تراکتور همراه با سم‌پاش لانس‌دار ۴۴/۴ برابر انرژی مصرفی پهپاد سم‌پاش بود

ارزیابی اقتصادی روش‌های سم‌پاشی

با توجه به قیمت بالای پهپاد سم‌پاش، خرید این دستگاه، در توانایی کشاورزان (بخصوص کشاورزان خرده‌پا) نیست. بنابراین به دلیل استفاده از روش اجاره‌ای توسط کشاورزان منطقه، این دو روش سم‌پاشی به‌صورت اجاره‌ای باهم مقایسه شدند. اجرت یک هکتار عملیات سم‌پاشی در سال ۱۳۹۷، توسط پهپاد سم‌پاش در منطقه فارس، ۶۰ هزار تومان بوده است. با استفاده از سم‌پاش لانس‌دار، این رقم، هکتاری ۴۰ هزار تومان است. این در حالی است که در مواقعی که آفات به‌طور وسیعی منطقه را در معرض آلودگی قرار داده است یکی از عوامل مهم، ظرفیت مزرعه‌ای عملیات است که پهپاد سم‌پاش با ظرفیت ۲/۷ هکتار بر ساعت، به‌خوبی عملیات مبارزه با آفات را انجام می‌دهد. ظرفیت سم‌پاش لانس‌دار با سرعت پیشروی ۲/۵ کیلومتر بر ساعت و عرض کار ۳ متر، ۰/۸ هکتار بر ساعت است. در سم‌پاش لانس‌دار، هزینه هکتاری، پایین‌تر است ولی می‌بایست ظرفیت مزرعه‌ای، کیفیت سم‌پاشی، مصرف و اتلاف حشره‌کش را نیز مدنظر قرارداد با این شرایط، بخصوص زمانی که سطح آلودگی آفت، گسترده است اگر این هزینه‌ها در نظر گرفته شود، هزینه عملیاتی سم‌پاش لانس‌دار به‌مراتب بالاتر خواهد بود. مشکلات زیست‌محیطی استفاده از روش رایج مزید بر علت است. در سال ۱۳۹۷، قیمت یک لیتر حشره‌کش سیوانتو،۲۰۰ هزار تومان و یک مترمکعب آب کشاورزی ۱۰۰ تومان در نظر گرفته‌شده است با در نظر گرفتن میزان حشره‌کش و آب مصرفی و میزان اتلاف حشره‌کش در تیمارها، نتایج مطابق جدول ۳ هستند.

جدول ۳- مقایسه اقتصادی روش‌های سم‌پاشی

Table3.Economical comparison between spraying methods

Items	sprayers	
	UAV**	Tractor lance
Machine rent ($.ha^{-1})	6	4
Pesticide spray volume ($.ha^{-1})	19.22	22
Pesticide loss ($.ha^{-1})	2.1149	8.52
Water consumption ($.ha^{-1})	0.0001	0.01
Total costs($.ha^{-1})	27.33	34.53
Costs ratio	1	1.26

* Each dollar of USA is equivalent to 100,000 Rials of Iran.

**Unmanned Aerial Vehicle

12 -pto

بحث

نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش بررسی سم‌پاش‌های رایج مورداستفاده در مزارع گندم هم‌خوانی داشتند (Safari *et al*., 2006). در پژوهش انجام‌شده به‌منظور سم‌پاشی باغ انگور توسط پهپاد، میزان محلول مصرفی بین ۵۰-۱۰ لیتر در هکتار گزارش‌شده است که محلول مصرفی توسط پهپاد در این پژوهش در این محدوده قرار دارد (Giles and Billing, 2015). با این نتایج، سم‌پاش لانس‌دار در گروه حجم بالا و پهپاد سم‌پاش در گروه حجم پایین قرار گرفت. این در حالی است که سیاست وزارت جهاد کشاورزی، کاهش مصرف محلول حشره‌کش به کمتر از ۴۰ لیتر در هکتار است (Anonymous, 2017). در هواپیماهای سم‌پاش، مانند آنتونوف یا تراش، به‌منظور مبارزه با آفات، میزان مصرف محلول حشره‌کش ۲۵ لیتر در هکتار است (Fallah-Jeddi, 2000). در پهپاد سم‌پاش به دلیل اینکه از دو نازل میکرونر استفاده‌شده است، ازنظر محلول مصرفی در هکتار شرایط مشابه سم‌پاش میکرونر، کم‌مصرف محسوب می‌شود. بیشترین میزان محلول مصرفی در هکتار مربوط به سم‌پاش‌های لانس‌دار بود. حدود ۴۰ درصد از سم‌پاش‌های کشور از این نوع هستند و در نخلستان‌ها غالباً استفاده می‌شوند (Safari *et al*., 2006). نخلستان‌های کشور معمولاً در مناطق دوردست بوده و به روش سنتی کشت‌شده‌اند. آب‌رسانی به سم‌پاش‌های تراکتوری در این نخلستان‌ها یکی از مشکلات اساسی است. ازنظر اتلاف محلول سم، علی‌رغم قطرات درشت‌تر در سم‌پاش لانس‌دار، پهپاد سم‌پاش علاوه بر کیفیت سم‌پاشی بالا، دارای اتلاف کمتری نسبت به روش لانس‌دار بوده است. یکی از دلایل آن می‌تواند به دلیل وجود ملخ نصب‌شده بر روی پهپاد باشد که قطرات حشره‌کش را در ارتفاع کم (یک متر) به سمت هدف هدایت می‌نماید. از طرفی با توجه به مصرف بسیار پایین محلول حشره‌کش، قطرات کنترل‌شده به هدف می‌رسند و با توجه به حجم کم محلول حشره‌کش، میزان ریزش محلول کمتر از سم‌پاش لانس‌دار است. در سم‌پاش لانس‌دار به دلیل ارتفاع بلند درختان، میزان فشار پاشش باید زیاد باشد تا محلول حشره‌کش را به ارتفاع موردنظر برساند، درنتیجه با افزایش فشار، میزان مصـــرف محلول در هکتار هم افزایش می‌یابد (Pimentel & Levitan, 1986). در این سم‌پاش‌ها، به دلیل درشت‌تر بودن قطرات نسبت به پهپاد، محلول حشره‌کش به هدف برخورد نموده و بسیاری از قطرات به سمت پایین و تحتانی نخل، سقوط می‌نمایند که باعث آلودگی خاک، کاربر و محیط‌زیست می‌شود (شکل ۲-ب). از طرفی، به علت این‌که کاربر، هرچند یک‌بار سر نازل را به سمت بالا می‌گیرد یا این‌که به‌صورت زیگزاگ و غیرمنظم سم‌پاشی می‌نماید، باعث اتلاف محلول حشره‌کش و بادبردگی می‌شود. در این سم‌پاش‌ها، قطر قطرات متفاوت است و از قطرات ریز تا درشت وجود دارد. قطرات ریز دچار بادبردگی می‌شوند و قطرات درشت پس از اصابت به هدف، به پایین، ریزش (شره کردن) می‌کنند. ازنظر یکنواختی پاشش در سم‌پاش لانس‌دار سطح روی کاغذهای حساس کاملاً خیس یا عاری از قطرات حشره‌کش بود و این نشان می‌دهد قطرات سم‌پاشی به‌طور یکنواخت توزیع نشده و ریزش قطرات نسبتاً بالا است (بعضی از کارت‌ها در معرض عملیات سم‌پاشی قرار نگرفته بودند)؛ لذا این عامل قابل‌محاسبه نبود. بر طبق اظهارنظر پژوهش‌گران، میزان ریزش قطرات به زمین در سم‌پاشی هیدرولیک بیش از ۹۵ درصد است (Safari *et al*., 2006). ضریب کیفیت پاشش، با توجه به ارقام فوق برای پهپاد سم‌پاش ۱/۳۵ محاسبه شد که نشان‌دهندهٔ کیفیت بالای سم‌پاشی است (ضریب کیفیت سم‌پاشی به دلیل خیس شدن کامل کارت‌های حساس برای سم‌پاش لانس‌دار قابل‌محاسبه نبود).

از دلایل عمدهٔ پایین بودن ظرفیت مزرعه‌ای در سم‌پاش‌های لانس‌دار، می‌توان به‌سرعت پایین عملیات سم‌پاشی، حرکت‌های زیگزاگ کاربر و همپوشانی‌های غیرضروری و جابه‌جایی لانس و سم‌پاشی موضعی اشاره نمود که هر یک از این عوامل به‌نوبهٔ خود باعث اتلاف وقت شده‌اند. در پهپاد سم‌پاش به علت سرعت‌بالای سم‌پاشی و مشخص بودن مسیر سم‌پاشی به نحو مؤثری از اتلاف وقت جلوگیری می‌شود. با این

ظرفیت مزرعه‌ای (۲۱/۶ هکتار در روز) علاوه بر منطقهٔ فراشبند، بسیاری از مناطق کشور که به زنجرک خرما آلوده هستند می‌تواند توسط پهپاد، سم‌پاشی شود، این موضوع، بخصوص در زمان‌هایی که آفت به‌صورت طغیانی است و در مدت‌زمان کوتاهی باید عملیات سم‌پاشی انجام شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

کارایی پهپاد سم‌پاش، در ۷ روز پس از سم‌پاشی، علی‌رغم مصرف پایین محلول حشره‌کش در هکتار از سم‌پاش لانس‌دار بیشتر بوده است. در تعدادی از پژوهش‌های انجام‌شده، دمش جریان هوا به سمت پایین باعث نفوذ بهتر قطرات حشره‌کش به داخل محصول می‌شود (Miller, 2005) که می‌تواند یکی از دلایل کارایی بیشتر روش پهپاد در روز هفتم باشد. در پژوهشی، کارایی سم‌پاشی هوایی معمولی و زمینی (با سم‌پاش لانس‌دار فرقونی) در کنترل پوره‌های آفت زنجرک خرما، بررسی شد، نتایج نشان دادند که کارایی دو روش سم‌پاشی در کنترل آفت، به‌جز روز اول بعد از سم‌پاشی، در روزهای مختلف بعد از سم‌پاشی باهم اختلاف معنی‌داری ندارند و کارایی دو روش سم‌پاشی در کنترل آفت یکسان است. میانگین کنترل آفت در هفت روز پس از سم‌پاشی در سم‌پاشی زمینی و هوایی به ترتیب ۷۹/۳ و ۸۰/۶ درصد بوده است که این نتایج با نتایج روز هفتم این پژوهش (۴۰/۸ و ۴۸/۴ درصد) در کنترل زنجرک خرما هم‌خوانی دارند (Heidari and Asari., 2016). در پژوهشی دیگر، برتری نسبی کارایی عملیات سم‌پاشی روش میکرونر نسبت به روش لانس‌دار در کنترل آفت سیب گزارش‌شده است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارند (Amirshaghaghi & Safari., 2016). دلیل دیگر کارایی بیشتر در ۷ روز بعد از سم‌پاشی، می‌تواند به دلیل بالا بودن میزان نشست و نفوذ حشره‌کش سیستمیک در سطح شاخ و برگ و افزایش مقدار غلظت حشره‌کش در شیره گیاهی باشد (Sheikhigarjan and Zand, 2005). در پژوهش انجام‌شده بر روی سم‌پاش‌های الکترواستاتیک، میکرونر و لانس‌دار به‌منظور مبارزه با کرم سیب، سم‌پاش میکرونر (نازل‌های میکرونر در پهپاد استفاده شده است)، ازنظر یکنواختی پاشش نسبت به لانس‌دار، دارای پوشش مناسب‌تری بوده است. در نوع لانس‌دار، قطرات درشت و غیر یکسان با توزیع غیریکنواخت در پشت و روی برگ‌ها مشهود بوده است (Amirshaghaghi & Safari., 2016).

نتایج نشان دادند هزینه‌های عملیات سم‌پاشی در سم‌پاش لانس‌دار و پهپاد به ترتیب ۳۴/۵۳ و ۲۷/۳۳ دلار در هکتار است که در سم‌پاش لانس‌دار ۱/۲۶ برابر پهپاد سم‌پاش است. در پژوهش انجام‌شده در مزرعه برنج، هزینه هکتاری ۵ دلار بر هکتار بوده است (Yallappa, 2017) که کمتر از هزینه‌های هکتاری این پژوهش با استفاده از پهپاد سم‌پاش بوده است. به‌هرحال شرایط اجتماعی و اقتصادی هر کشور، از عوامل مؤثر در میزان هزینه‌های هکتاری عملیات سم‌پاشی است. علاوه بر مقادیری که در جدول ۳ اشاره شد، چنانچه این آفت به‌صورت گسترده و اپیدمی در منطقه شیوع پیداکرده باشد می‌بایست هزینه‌های فرصت ازدست‌رفته را نیز باید به هزینه‌های روش لانس‌دار اضافه نمود. ظرفیت مزرعه‌ای سم‌پاش‌های لانس‌دار ۰/۸ هکتار در ساعت است که در ۸ ساعت کار روزانه ۶/۴ هکتار سم‌پاشی می‌شود که با این ظرفیت در مقیاس وسیع، آفت به نخلستان صدمات جبران‌ناپذیری وارد خواهد کرد (در پهپاد سم‌پاش ظرفیت روزانه ۲۱/۶ هکتار است). به دلیل بالا بودن اتلاف حشره‌کش درروش لانس‌دار، علاوه برافزایش هزینه‌های ناشی از اتلاف حشره‌کش که در جدول ۳ ذکر شد، آلودگی زیست‌محیطی (از بین رفتن حشرات مفید، آلودگی کاربر که در معرض عملیات سم‌پاشی قرار دارد، آلودگی ناشی از دود اگزوز تراکتور) از مضرات استفاده از روش لانس‌دار است که به‌نوبه خود (به دلیل هزینه‌های درمان کاربر) باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود. علاوه بر این با توجه به سنتی بودن غالب نخلستان‌های کشور، جابجایی آب برای پر کردن مخزن سم‌پاش و تردد تراکتور به دلیل وجود جوی و پشته یا خیس بودن مزرعه از مشکلات اساسی این روش است.

علیرغم برتری پهپاد سم‌پاش نسبت به سم‌پاش لانس‌دار تراکتوری، یکی از مشکلات اساسی پهپادها،

تعویض منظم باطری خالی‌شده به ازای هر ۱۵ دقیقه است که می‌بایست برای این مشکل، راه‌حلی اندیشیده شود. اخیراً، یکی از شرکت‌های داخلی برای تأمین توان، بجای باطری، از موتور دو زمانه ۱۰ اسب بخار به وزن ۸۵۰ گرم استفاده کرده است که در مرحلهٔ فاز تحقیقاتی است. درصورتی‌که به مرحلهٔ تجاری برسد، یکی از مشکلات اساسی پهپادها را مرتفع می‌نماید.

به‌طورکلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در پهپاد سم‌پاش، علاوه بر کیفیت بالای سم‌پاشی ازنظر یکنواختی پاشش، میزان اتلاف حشره‌کش و آلودگی زیست‌محیطی کمتر است. ظرفیت مزرعه‌ای پهپاد سم‌پاش حدود ۳/۳ برابر روش سم‌پاش لانس‌دار بود که بالا بودن سرعت عمل سم‌پاشی در مواقع بحرانی زنجرک در سطح وسیعی از نخلستان‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. انرژی مصرفی سم‌پاش لانس‌دار در ساعت، ۴۴/۴ برابر انرژی مصرفی پهپاد سم‌پاش بود. ازنظر درصد کارایی، روش سم‌پاشی با پهپاد سم‌پاش، نه‌تنها مشابه روش لانس‌دار است بلکه در صورت اصلاح بعضی نکات فنی می‌تواند پتانسیل بالایی در کاهش مصرف محلول حشره‌کش و تلفات زنجرک داشته باشد. ازنظر اقتصادی، هزینه‌های سم‌پاشی با استفاده از پهپاد سم‌پاش (بدون در نظر گرفتن هزینه‌های به‌موقع انجام نشدن عملیات و آلودگی‌های زیست‌محیطی) کمتر از روش لانس‌دار است. با توجه به نتایج فوق ازنظر فنی و اقتصادی، سم‌پاشی با پهپاد نسبت به سم‌پاش لانس‌دار، دارای ارجحیت است. درنهایت با توجه به نتایج این پژوهش، استفاده از پهپاد سم‌پاش ازنظر فنی و اقتصادی قابل توصیه است.

سپاسگزاری

از مدیر محترم جهاد کشاورزی فراشبند آقای مهندس بیژن نادر پور، مسئول حفظ نباتات، آقای مهندس سهراب ریحانی به دلیل همکاری در انجام پروژه و همچنین از مدیریت محترم شرکت ماشین کاشت فارس آقایان مهندس مجید محمدی کشکولی و مهندس امیر احیائی به خاطر در اختیار قرار دادن پهپاد سم‌پاش و پرواز آن تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

1. Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H., Hatami, F., Hoseinpoor, R., Abdshah, H., Rezaee, M.M., & Estabragh, M.F. (2017). *Agricultural Statistics*, Third edition, Gardening Products, Ministry of Jihad Agriculture, Deputy Director of Planning and Economics, Center for Information and Communication Technologies.
2. Amirshaghaghi, F & Safari, M. (2016). Comparison and technical evaluation of electrostatic micronair and tractor mounted lance sprayers in order to control (Carpocasa pomonella L.) in apple orchards. *Journal of Agricultural Machinery*, 6(2): 376-383(In Farsi).
3. Anonymous. (2015). Review of the Export Advantages of Dates in the Agricultural Area. *Mizan news Agency*, News Code: 230837, from http://www.mizanonline.com/fa/news/230837/70 (In Farsi).
4. Anonymous. (2017). *Guidelines for care and warning networks and control of Cicala pest*. Hormozgan Agricultural Jihad Organization. From http://hormozgan-agri-jahad.ir/pdf/azmoon96/6.pdf (In Farsi).
5. Arbabtafti, R., Sheikhi-garjan, A., Gharalari, A.H. & Damghani, R. (2014). Effects of adjuvants on the efficacy of certain insecticides against Ommatissus lybicus Bergevin (Hem. Tropiduchidae) in Iran. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 10: 526-533.
6. Eata, M. (1990). Investigating the effects of palm date cluster coverage from inoculation stage to fruit arrival in preventing atmospheric agents and birds on the quantitative and qualitative properties of the product. *Journal of Seed and Plant Improvement Research Institute*: 46-32 (In Farsi).
7. Fallah-Jeddi, R. (2000). *Building and application of conventional sprayers in Iran*. Educational services and technology.Pages:80 (In Farsi).
8. Gharib, A.R. (1991). *Important pests of palm trees*. Agricultural Extension Organization Publications (In Farsi).
9. Ghasemi-Nejad, R.M., Almasi, M. & Sheikh Davoodi, M.J. (2008). Survey of Specific Fuel Consumption and Energy Efficiency for Two MF285 and ITM750 Tractors. *Fifth National Congress*

of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. 6-7 September, Ferdowsi University of Mashhad (In Farsi).
10. Giles, D.K. & Billing.R.C. (2015). Deployment and Performance of a UAV for Crop Spraying. *Chemical engineering transactions*: 44.
11. Heidari, A. & Asari, M.J. (2016). Evaluation of air pollution efficiency in control of date spread. *Twenty-second of Iranian Plant Protection Congress*, September 9 (In Farsi).
12. Hoffmann, H., Jensen, R., Thomsen, A., Nieto, H. & Friborg, T. (2016). Crop water stress maps for an entire growing season from visible and thermal UAV imagery. *Bio geosciences*, 13(65):45-63.
13. Kaj-Baf, GH.R &. Afshari, M. (1998). Effects of air sprayer on Date worm control. *Report of Agricultural Research Center of Khuzestan Province*. Page 13 (In Farsi).
14. 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.
15. Pimentel, D &. Levitan, L. (1986). Pesticides: amounts applied and amounts reaching pests. *Bioscience*: 86-91.
16. Safari, M., Chaji, H., Lovaimi, N & Amirshaghghi,F. (2006). Evaluation of Common sprays used in wheat fields, *Journal of Agricultural Engineering*, 1(4): 1-12 (In Farsi).
17. Shamabadi, Z &. Tabatabaee-Kloor, R. (2008). *Identification and application of sprayers*. Publishing Makhtoom Gholi Faraghi, 220 pages, First print. (In Farsi).
18. Sheikhigarjan, A, &. Zand, E. (2005). *Use of pesticides in agricultural products*. Institute of Plant Pests and Diseases Research. 362 pages. (In Farsi).
19. Srivastava, A.K., Goering, C.E. & Rohrbach, R.P. (1993). *Engineering Principles of Agricultural Machines*. ASAE, text book, NO.6, ASAE, 2950, Nils Road, St Joseph. Michigan, USA.
20. Thacker, J.R.M. Mahmoudi, A.l. &. Deadman, M.L. (2003). Population dynamics and control of the Dubas bug Ommatissus lybicus in the Sultanate of Oman. In: "*The BCPC International Congress– Crop Science and Technology*, pp: 987-992.
21. Yallappa,D. (2017). Development and evaluation of drone mounted sprayer for pesticide applications to crops. *IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, 19-22 Oct San Jose, CA, USA.
22. Yang,F., Xue,X., Cai,C., Sun, Z &. Zhou, Q. (2018). Numerical Simulation and Analysis on Spray Drift Movement of Multi rotor Plant Protection Unmanned Aerial Vehicle. *Energies*, 11, 2399; doi: 10.3390/en11092399.