مجله پژوهش‌های پنبه ایران
جلد دهم، شماره اول، ۱۴۰۱
۱۰۹-۱۳۲
www.jcri.ir

ارزیابی کیفیت پاشش پهپادسمپاش در مقایسه با سمپاش‌های رایج در مزرعه پنبه

شهرام نوروزیه[1*]، عباس رضایی اصل[2]، محمود جوکار[3]، امیرمسعود شغیع پور[4]

[1]دانشیار، موسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
[2]دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[3]استادیار، موسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،
[4]کارشناس ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۵

چکیده

سابقه و هدف: پنبه یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی در جهان است که به‌دلیل شرایط جغرافیایی و آب و هوایی، کشت مداوم آن باعث بروز برخی بیماری‌های و آفات شده است. با توجه به این‌که کنترل آفات پنبه با استفاده از سمپاش‌های زمینی منجر به خسارت فیزیکی به بوته، کاهش کمی و کیفی محصول پنبه، اتلاف آب و آفت‌کش‌ها می‌شود، استفاده از پهپادهای سمپاش به‌عنوان جایگزین سمپاشی در کشاورزی مدرن معرفی شده است. این پژوهش با هدف ارزیابی مقایسه‌ی کیفیت پاشش یک نوع پهپاد سمپاش با دو نوع سمپاش متداول در زراعت پنبه (بوم‌دار و لانس‌دار پشت تراکتوری) انجام شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی عوامل مؤثر بر ارزیابی کیفیت پاشش سمپاش‌ها پژوهشی در ایستگاه تحقیقات پنبه هاشم‌آباد، روی رقم پنبه گلستان در اواخر مرداد ماه سال ۱۳۹۸ انجام شد. کرت‌های آزمایش از مزرعه‌ای که به‌صورت ردیفی با الگوی ۸۰ در ۲۰ سانتی‌متری کاشت شده بود، انتخاب گردید. واحد نمونه‌برداری شامل انتخاب تصادفی ۹ بوته از نوارهایی به طول ۴۱ متر و عرض ۸ متر و فاصله بین هر کرت ۳ متر بود. این آزمایش بر پایه طرح کرت خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای اصلی آزمایش شامل نوع سمپاش در سه سطح (سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری ، سمپاش لانس‌دار پشت تراکتوری و پهپاد سمپاش) و تیمار فرعی شامل موقعیت پاشش روی بوته در سه سطح (بالا، وسط و پایین بوته) بودند. تمام عملیات کاشت و داشت تا مرحله گل و غنچه‌دهی طبق دستورالعمل‌های رایج انجام‌شد. برای ارزیابی کیفیت عملیات سمپاشی صفات قطر میانه عددی، قطر میانه حجمی، نسبت یکنواختی پاشش، درصد پوشش با استفاده از تحلیل

*نویسنده مسئول: s.nowrozieh@areeo.ac.ir

کارت‌های حساس به آب با روش پردازش تصویر تعیین شد. تعداد و اندازه نقاط بر روی کارت بیان‌کننده میزان پاشش و اندازه ذرات می‌باشد. این کاغذها آغشته به محلول برموفنل بوده که در حالت خشک زرد رنگ است اما به‌محض برخورد قطرات حاوی آب با سطح کاغذ، لکه‌های آبی‌رنگ درنتیجه یونیزه‌شدن رنگ اصلی بر سطح کاغذ پدیدار می‌گردد. کارت‌ها به شاخه حامل غوزه در سه منطقه پایین، وسط و بالای بوته وصل می‌شوند. بلافاصله بعد از سمپاشی کارت‌های حساس به آب از مزرعه جمع شده و به‌منظور استفاده در نرم‌افزار پردازش تصویر توسط اسکنر به‌طور جداگانه تصویربرداری می‌شوند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که پهپاد سمپاش دارای کمترین درصد پوشش سطح در سه ناحیه بوته بود. بهترین شاخص کیفیت پاشش متعلق به سمپاش بوم‌دار با مقدار ۲/۴۳ و بعد از آن پهپاد سمپاش با مقدار ۲/۹۵ بود. هم‌چنین سمپاش بوم‌دار بیشترین یکنواختی قطر میانه حجمی و پهپاد سمپاش بیشترین قطر میانه عددی را داشتند. از لحاظ سرعت سمپاشی و مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب، استفاده از پهپاد سمپاش بهترین گزینه می‌باشد. از نظر تعداد کل قطرات سم در تمام سطوح پوشش گیاهی، پهپاد سمپاش و سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری و هم‌چنین سمپاش بوم‌دار و لانس‌دار پشت تراکتوری شبیه یکدیگر هستند. کمترین تعداد قطرات نیز متعلق به پهپاد سمپاش با مقدار حدود ۳۱۷ قطره در هر سانتی‌متر مربع است.

نتیجه‌گیری: انتخاب بهترین سمپاش برای کنترل آفات پنبه به وسعت مزرعه، مقدار آفت، ارتفاع بوته و در دسترس بودن سمپاش و هزینه سمپاشی وابسته است. پهپاد سمپاش بهترین بازده مزرعه‌ای را داشت و در صورت وسیع بودن مزرعه و طغیان، سریع‌ترین روش سمپاشی استفاده از پهپاد است. درصورتی‌که طغیان آفت نباشد و زمان برای سمپاشی باشد، سمپاش بوم‌دار با توجه به شاخص کیفیت پاشش، بهترین گزینه است، البته درصورتی‌که ارتفاع بوته سبب خسارت زیاد به غوزه و محصول نشود. اگر طغیان آفت در زمانی باشد که به دلیل بارندگی یا پس از آبیاری یا به دلیل ارتفاع زیاد محصول، امکان تردد در مزرعه نباشد بهترین و سریع‌ترین روش پهپاد است. در صورت نبود پهپاد سمپاش در این شرایط تنها گزینه، سمپاش لانس‌دار است که کمترین کیفیت سمپاشی را دارد.

واژه‌های کلیدی: پهپاد سمپاش، آنالیز تصاویر، شاخص کیفیت پاشش، قطر میانه حجمی، قطر میانه عددی

مقدمه

امروزه با توسعه ماشین‌های کشاورزی، بیشتر عملیات کشاورزی در سراسر جهان، از کاشت تا برداشت، به‌صورت مکانیکی با استفاده از ماشین انجام می‌شود. از مزیت‌های مکانیزاسیون با توجه به جمعیت سالخورده جهان و کمبود نیروی کار در فرآیند تولید محصول، بهره‌وری بالا، وابستگی کمتر به نیروی کار انسانی و شدت کار کمتر است. با این حال کاربرد ماشین در مزرعه، مشکلاتی مانند

فشردگی خاک (در اثر فشار ناشی از چرخ‌های ماشین‌های کشاورزی) (ویلیامسون و نیلز، ۲۰۰۰) و سختی تردد ماشین در زمین‌های غیر هندسی را به وجود می آورد (منگ و همکاران، ۲۰۱۹). استفاده از سمپاش‌های زمینی از این قاعده مستثنی نیستند. همچنین مصرف زیاد آب با توجه به بحران آب که یکی از چالش‌های عمده و محدودیت اصلی برای تولید کشاورزی پایدار در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (چونجی و همکاران،۲۰۱۵؛ زی و همکاران، ۲۰۱۸) از نقاط ضعف اینگونه سمپاش‌ها است.

کارایی کم مصرف آفت‌کش‌ها روی محصول پنبه که به‌وسیله افشاندن غیریکنواخت با حجم زیاد آفت‌کش صورت می‌گیرد، مشکل دیگر این سمپاش‌ها است. این امر منجر به استفاده بیش‌ازحد از آفت‌کش‌ها می‌شود که یکی از مشکلات عمده در تولید پنبه است (دگویین و همکاران، ۲۰۰۸). اگرچه بازده محصول با استفاده از آفت‌کش‌ها در سراسر جهان بهبودیافته است، اما غذا و محیط‌زیست نیز توسط آفت‌کش‌ها آلوده‌شده‌اند، که درنتیجه منجر به بحران جهانی غذا و محیط‌زیست شده است (لیو و همکاران، ۲۰۱۵).

از سوی دیگر در سمپاش‌های رایج، آسیب مکانیکی به گیاهان پنبه و خاک در پاشش سموم و ریز مغذی‌ها اتفاق می‌افتد (نواز و همکاران، ۲۰۱۹). سمپاش‌های متداول با برخورد با غوزه و کندن آن‌ها سبب از بین رفتن غوزه‌های باز و آسیب رساندن به محصول پنبه و کاهش محصول و افزایش مواد خارجی پنبه می‌شوند. این مسائل ارتباط زیادی با توسعه پایدار تولید پنبه دارند (منگ و همکاران، ۲۰۱۹).

با توجه به اهمیت تولید پایدار در کشاورزی، روش‌های نوین مبتنی برکشاورزی دقیق از جمله استفاده از پرنده‌های هدایت‌پذیر از دور (پهپاد[1]) برای سمپاشی به‌منظور کاهش مقدار آفت‌کش‌های مصرفی، آسیب به خاک و محصولات، می‌توانند در حفاظت از گیاهان بسیار مؤثر باشند (منگ و همکاران، ۲۰۱۹).

ماهواره‌ها به‌دلیل هزینه بالا و فرایندهای تفکیک مکانی و اندازه‌گیری‌های مکرر برای کاربردهایی مانند پایش سلامت محصول و ویژگی‌های خاک، کارایی کمتری نسبت به پهپادها دارند (سیروفونیا و همکاران، ۲۰۱۷). پهپادهای بدون سرنشین برای عملیات تکراری که برای انسان طولانی و یکنواخت و یا حتی خطرناک می‌باشند در نظر گرفته می‌شوند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ متس و همکاران، ۲۰۱۵). پهپادها به‌طورمعمول به‌صورت نیمه‌مستقل استفاده می‌شوند به این معنا که از آن‌ها برای بازرسی چشمی مزارع استفاده می‌شود، اما تصاویر توسط کاربران متخصص برای بهبود شیوه‌های مدیریتی تفسیر می‌شوند.

1- Unmanned Aerial Vehicles (UAV)

پهپادها به‌تدریج به‌منظور حفاظت از گیاهان مورد استفاده قرارگرفته‌اند، اما هنوزکارهای تحقیقاتی زیادی در رابطه با فناوری پهپادها نیاز است. ژانگ و همکاران (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۲) برای مطالعه توزیع رسوب قطره تحت پارامترهای مختلف سمپاش پهپاد از تصویربرداری مادون‌قرمز حرارتی استفاده کردند. نتایج نشان داد که تصاویر مادون قرمز حرارتی به‌خوبی وضعیت نشست قطره را نشان می‌دهد.

همچنین کیو و همکاران (کیو و همکارن، ۲۰۱۳) در پژوهشی، اثرات ارتفاع پرواز و سرعت پرواز پهپاد سمپاش و اثر متقابل آن را بر غلظت نشست قطره و یکنواختی رسوب بررسی نمودند. بر اساس این تحقیق، بهترین وضعیت پاشش با پهپاد، پرواز در ارتفاع ۲ متر و سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه است. نتایج ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) یک روش جدید برای تشخیص بادبردگی قطرات پیشنهاد کرده و از یک هواپیمای بدون سرنشین برای انجام صحت‌سنجی آزمایش میدانی استفاده کردند. این تحقیق نشان داد که ارتفاع پرواز ۵، ۶ و ۷ متر بر مقدار بادبردگی قطرات تاثیر معنی‌داری ندارد در صورتی‌که سرعت باد عمود بر حرکت (۱، ۲ و ۳ متر بر ثانیه) تاثیر معنی‌داری بر مقدار بادبردگی دارد.

کین و همکاران (کین و همکاران، ۲۰۱۶) محققین دیگری بودند که تأثیر ارتفاع و سرعت پرواز پهپاد را بر رسوب قطره و کنترل ملخ‌های قهوه‌ای در محصول برنج را مطالعه کردند. نتایج حاکی از آن بود که هنگامی‌که ارتفاع پاشش ۱/۵ متر و سرعت پیشروی ۵ متر در ثانیه است، رسوب قطره در لایه پایینی حداکثر و قطرات بیش‌ترین توزیع یکنواخت را دارند. اما داچونها و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی نحوه‌ی پاشش دو نوع سمپاش (۸۰ و ۱۵۰ لیتر در هکتار) و سه سرعت پیشروی در مزرعه سویا، اثر سرعت پیشروی را در پوشش ذرات سم روی بوته سویا، بی‌تاثیر گزارش نمودند.

علی‌وردی (۲۰۲۱) در تحقیق خود تاثیر نوع نازل (استاندارد، ضدبادبردگی و القاءکننده هوا) و تعداد بادبزن آن (یک ، دو و سه) را در پهپاد سمپاش بر میزان نشست قطرات پاشش در محل سمپاشی و کارایی علف‌کش علیه جو زراعی را بررسی کرد. برای بررسی پاشش از کارت حساس به آب استفاده شد. بهترین کارایی علف‌کش با نازل‌های ضد بادبردگی سه بادبزنه (۹۴درصد) و القاء کننده هوا سه بادبزنه (۹۱درصد) به‌دست آمد.

دی‌لیما و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مطالعه‌ای باهدف تعیین بهترین ویژگی‌های کیفیتی در سه بخش مختلف گیاه پنبه، پارامترهای میانگین قطر حجمی، تراکم و پوشش قطرات و تعداد قطرات را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که یک‌سوم بالایی بوته بیشترین مقادیر میانگین قطر حجمی، تعداد قطرات، چگالی و پوشش قطرات را دارد.

شبکه عصبی روش جدیدی در بررسی و مطالعات پدیده‌ها می‌باشد. در تحقیق دیگری از شبکه عصبی پیشخور (FFN)[1] برای مدل‌سازی قطر حجمی متوسط استفاده شد. لایه‌های ورودی مدل فشار

1- Feedforward Neural Network

سمپاشی و قطر خروجی نازل در حالی‌که لایه خروجی مدل شبکه عصبی مصنوعی، قطر حجمی متوسط بود. نازل‌ها در ارتفاع ۷۵ سانتی‌متری میز تست تنظیم گردید. برای ثبت قطرات پاشیده شده و تعیین اندازه آنها از کاغذهای حساس به آب استفاده شد. به منظور بررسی اثر قطر سوراخ و خروجی نازل روی اندازه قطرات خروجی سه نوع نازل مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که شبکه های عصبی مصنوعی می‌توانند برآورد مناسبی در تخمین اندازه ذرات داشته باشند (پیمان و همکاران، ۲۰۱۱).

در پژوهشی دیگر که باهدف بررسی یکنواختی رسوب، نفوذ قطرات، ویژگی‌های رسوب و بازده کار، یک پهپاد شش موتوری با یک سمپاش بوم‌دار و دو سمپاش پشتی بر روی تأثیر کنترل شته‌های گندم انجام شد. این رهیافت حاصل شد که اگرچه رسوب کل پهپاد سمپاش تفاوت معنی‌داری با سه سمپاش دیگر نداشت، اما خسارت به محصول کاهش یافت. پهپاد سمپاش، یکنواختی رسوب و نفوذپذیری قطرات (۰/۲۶ گرم بر سانتی‌مترمربع دریک سوم بالایی پوشش گیاهی) ضعیفی داشت که نیاز به بهبود بیشتر در آینده دارد. در حالی که، سمپاش بوم‌دار در مقایسه با پهپاد سمپاش بهترین یکنواختی رسوب و نفوذپذیری قطرات (۰/۵۲ گرم بر سانتی‌مترمربع دریک سوم بالایی پوشش گیاهی) را داشت. رسوب پهپاد سمپاش در مقایسه با دیگر سمپاش‌ها دارای ویژگی‌های از جمله مساحت پوشش کم‌تر (۲/۲ درصد)، رسوبات پاشش کم‌تر (۲۸/۲ نقطه بر سانتی‌متر مربع)، اندازه قطرات کوچک‌تر (VMD=۱۲۴mμ)، غلظت بالاتر و حجم پاشش کم‌تر بود. به‌علاوه، ظرفیت زراعی پهپاد سمپاش ۴/۱۱ هکتار در ساعت بود که تقریباً ۱/۷، ۲/۰ و ۲/۶ برابر بیشتر از سه سمپاش دیگر بود (ونگ و همکاران، ۲۰۱۹). با توجه به اینکه در کشور استفاده از پهپاد در حال توسعه است و نقاط قوت و ضعف آن در ایران هنوز مشخص نیست این تحقیق با هدف بررسی کمی و کیفی پهپاد سمپاش انجام شد. در این تحقیق یک نوع پهپاد سمپاش با دو نوع سمپاش متداول مزارع پنبه از نظر اندازه ذرات و پوشش روی بوته پنبه مقایسه شد. مقایسه کارآیی این نوع سمپاش با دو نوع سمپاش متداول در پنبه از دیگر اهداف این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی عوامل مؤثر بر ارزیابی کیفیت پاشش سمپاش‌ها (قطر میانه عددی[1]، قطر میانه حجمی[2]، نسبت یکنواختی پاشش، درصد پوشش و تعداد قطرات)، پژوهشی در ایستگاه تحقیقات پنبه هاشم‌آباد، مؤسسه تحقیقات پنبه کشور، روی رقم پنبه گلستان در اواخر مرداد ماه سال ۱۳۹۸ انجام

1. Number Median Diameter (NMD)
2. Volume Median Diameter (VMD)

شد. این تحقیق بر پایه طرح کرت‌های خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای اصلی آزمایش، نوع سمپاش در سه سطح سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری، سمپاش لانس‌دار پشت تراکتوری و پهپاد سمپاش و تیمار فرعی شامل بررسی پاشش در سه ناحیه بوته (بالا، وسط و پایین) بودند. میانگین صفات با استفاده از آزمون t-استیودنت با ضریب خطا ۵درصد با یکدیگر مقایسه شدند. مزرعه انتخاب شده به‌صورت ردیفی با الگوی ۸۰ در ۲۰ سانتی‌متری کاشت شد. تمام عملیات کاشت و داشت تا مرحله گل و غنچه‌دهی طبق دستورالعمل‌های رایج انجام‌شد.

برای کنترل لارو کرم غوزه از سم آوانت به میزان ۲۵۰ میلی لیتر در هکتار و سم لاروین به میزان یک کیلوگرم در هکتار استفاده شد. نتایج تأثیر سمپاش های مختلف بر کنترل مرحله لاروی کرم غوزه پنبه درمجله تخصصی گیاهپزشکی انتشار خواهد یافت.

قبل از ارزیابی مزرعه‌ای سمپاش‌ها، در هر سه سمپاش بده خروجی افشانک، میزان فشار پاشش، سرعت پیشروی سمپاش‌ها و عرض مؤثر پاشش اندازه‌گیری شد. بده افشانک‌ها در هر سمپاش با استفاده از بشر مدرج و در شرایط کار مزرعه اندازه‌گیری شد و نتایج در جدول (۱) ثبت شد.

جدول ۱: مشخصات مرتبط با سمپاش‌ها

عامل	سمپاش بوم‌دار	سمپاش لانس‌دار	پهپاد سمپاش
نوع افشانک	T-Jet 8811002	لانس مسلسلی	بادبزنی 11002-AD
فاصله عرضی افشانک‌ها(سانتی‌متر)	۵۰	-	۵۶
فاصله طولی افشانک‌ها (سانتی‌متر)	-	-	۱۲۴
عرض کار (متر)	۱۲	۱۴-۲	۱/۲
عرض پاشش (متر)	۱۲/۵۵	۱۳	۳/۴
ارتفاع پاشش (متر)	۱/۲۵	-	۲
تعداد افشانک‌ها	۲۵	۱	۴
بده افشانک (میلی لیتربرثانیه)	۲۱/۵۰	۱۹۰	۶
فشار پاشش (بار)	۸	۱۹	۱/۳
سرعت پیشروی(کیلومتر بر ساعت)	۵/۹۴	۴/۴۵	۱۲/۲

برای محاسبه سرعت پیشروی سمپاش‌ها (اندازه‌گیری زمان پیشروی تراکتور در فواصل مشخص) و تعیین بده افشانک‌ها از زمان‌سنج دیجیتالی استفاده شد (جهت بالا بردن دقت چندین تکرار برای هر سمپاش صورت گرفت و سپس میانگین گرفته شد). سرعت متوسط پیشروی تراکتور برحسب کیلومتر در ساعت با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد (صفری و همکاران، ۲۰۱۰) و نتایج در جدول (۱) ثبت

شد:

معادله (۱) $$V=\frac{x}{t} \times 3.6$$

که در آن V: سرعت پیشروی تراکتور برحسب کیلومتر در ساعت، x: مسافت پیموده شده برحسب متر و t: زمان پیموده شدن مسافت x برحسب ثانیه است.

انجام آزمایش

واحد نمونه‌برداری شامل انتخاب تصادفی ۹ بوته از نوارهایی به طول ۴۱ متر و عرض ۸ متر و فاصله بین هر کرت ۳ متر بود. متوسط ارتفاع بوته در زمان سمپاشی ۷۵ سانتی متر بود.

برای ارزیابی سمپاش‌ها از کارت حساس به آب[1] استفاده شد. تعداد و اندازه نقاط بر روی کارت بیان‌کننده میزان پاشش و اندازه ذرات می‌باشد. این کاغذها آغشته به محلول برموفنل[2] بوده که در حالت خشک زرد رنگ است اما به‌محض برخورد قطرات حاوی آب با سطح کاغذ، لکه‌های آبی‌رنگ درنتیجه یونیزه‌شدن رنگ اصلی بر سطح کاغذ پدیدار می‌گردد (متیوز، ۲۰۰۴). به‌منظور استفاده از کارت‌های حساس به آب ابتدا کارت‌های حساس به آب به ابعاد ۳×۳/۵ سانتی‌متر برش‌زده شد. سپس کارت‌ها به‌منظور اتصال به بوته مطابق تصویر (۱) آماده و به شاخه حامل غوزه در سه منطقه پایین، وسط و بالای بوته وصل گردید. بلافاصله بعد از سمپاشی کارت‌های حساس به آب از مزرعه جمع شده و به‌منظور استفاده در نرم‌افزار پردازش تصویر توسط اسکنر به‌طور جداگانه تصویربرداری شد. کارت‌های هر بوته در یک تصویر به همراه خط‌کش با وضوح تصویر ۶۰۰ dpi اسکن شد.

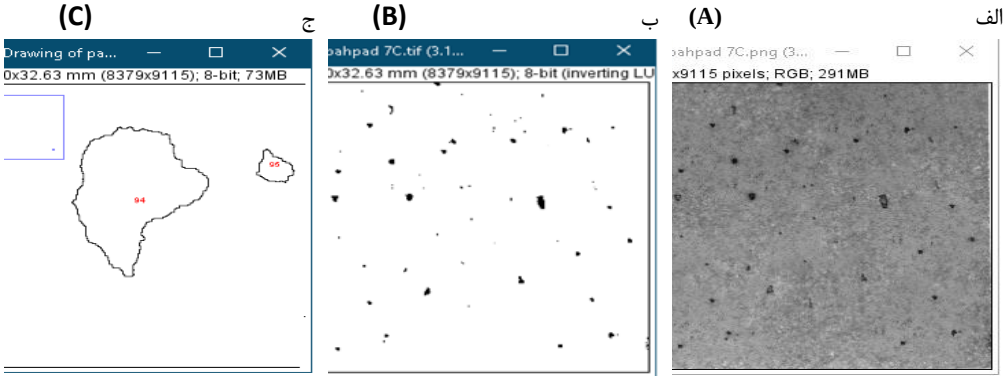
شکل ۱: نحوه اتصال کارت‌ها به غوزه

1. Water Sensitive Card
2. Bromophenol

اندازه قطرات و شاخص کیفیت پاشش: تعیین اندازه قطرات پاشیده شده، قطر متوسط حجمی، قطر میانه عددی، شاخص کیفیت پاشش و مقدار پوشش سطح پس از اسکن کارت‌های حساس به آب، بر اساس آنالیز تصاویر اسکن شده انجام شد.

به‌منظور آنالیز تصاویر از نرم‌افزار فتوشاپ مطابق شکل (۲) جهت تبدیل عکس‌ها به‌عکس خاکستری استفاده شد. پس‌از آن عکس هر کارت حساس برش‌زده شد و نهایتاً به چهار عکس شامل عکس‌های بالای بوته، وسط بوته، پایین بوته و عکس مقیاس تبدیل شدند. سپس هر عکس به همراه مقیاس آن وارد محیط نرم‌افزار ایمج‌جی[1] شد (شکل ۲). برای مقیاس‌بندی، تصویر برش‌زده‌شده و محاسبه طول تصویر برحسب میلی‌متر از قسمت آنالیز و تنظیمات مقیاس طول کارت و واحد مقیاس‌بندی ثبت شد (شکل ۲ قسمت الف). در تصویر (شکل ۲ قسمت ب) طول قسمت برش‌داده‌شده بر اساس میلی‌متر نشان داده‌شده است. سپس به‌منظور تعیین ابعاد قطرات تصاویر از حالت خاکستری به تصاویر باینری (تبدیل قطرات مشکی با زمینه سفید) تبدیل (شکل ۲ قسمت ب) و ذرات درون هر تصویر برچسب‌زده (شکل ۲ قسمت ج) و پارامترهای موردنظر از درون آن‌ها استخراج گردیدند.

نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار ایمج‌جی در نرم‌افزار اکسل ثبت و فرمول‌بندی شدند. برای تعیین قطر میانه حجمی ابتدا قطرات پخش‌شده بر روی سطح هدف بر اساس قطر قطرات طبقه‌بندی‌شده و مقدار حجم قطرات در هر طبقه محاسبه شد. درنهایت با تشکیل جدول فراوانی، ترسیم نمودار هیستوگرام، قطر قطراتی که در ۵۰ درصد فراوانی قرار داشتند مشخص شده و بعنوان قطر متوسط حجمی تعیین شد. به‌طور مشابه با تشکیل جدول فراوانی و تعیین قطر قطراتی که در ۵۰ درصد فراوانی قرار داشتند، قطر میانه عددی و نهایتا کیفیت پاشش محاسبه شد.



شکل ۲- مراحل آماده سازی کارت حساس به آب برای اندازه گیری اثر ذرات سم. الف: انتخاب قابی معین از کارت حساس به آب در نرم آفزار فتوشاپ و تبدیل آن به تصویر خاکستری، ب: مقیاس بندی کارت در نرم افزار ایمیج‌جی و تبدیل تصویر خاکستری به باینری، ج: اندازه گیری تعداد و مساحت ذرات روی کارت

1- ImageJ

اندازه‌گیری کیفیت پاشش: این فاکتور نشان‌دهنده محدوده اندازه قطرات در یک پاشش است. ضریب کیفیت پاشش (معادله ۲) برابر با نسبت VMD به NMD است. هراندازه این نسبت به عدد یک نزدیک‌تر باشد کیفیت پاشش بیشتر است (عزیزپناه، ۲۰۱۵).

$$SQ=\frac{VMD}{NMD}$$ معادله (۲)

که در آن SQ: کیفیت پاشش محلول، VMD: قطر میانه حجمی و NMD: قطر میانه عددی است.

اندازه‌گیری سطح پوشش: سطح پوشش از معادله (۳) به دست می‌آید (متیوز، ۲۰۰۴)

$$SC=\frac{A_{at}}{A_t}\times 100$$ معادله (۳)

که در آن SC: سطح پوشش قطره‌ها A_{at}: مجموع مساحت تمام قطرات و A_t : مساحت کل می‌باشد. در اجرای عملیات سمپاشی گستره‌ای از قطرات ریز و درشت توسط سامانه تولید می‌شود، قطرات ریز سطح پوشش بهتری نسبت به قطرات درشت دارند. همچنین برای تعیین ظرفیت نظری سمپاش، سطحی از مزرعه که در واحد زمان سمپاشی شد از معادله (۴) استفاده شد (صفری و همکاران، ۲۰۱۰):

$$C_{at}=\frac{v.w}{10}$$ معادله (۴)

که در آن C_{at}: ظرفیت نظری برحسب هکتار در ساعت،V: سرعت پیشروی تراکتور برحسب کیلومتر در ساعت و w: عرض کار برحسب متر است. همچنین برای تعیین ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای زمان لازم برای یک هکتار به‌صورت میدانی اندازه‌گیری شده و ظرفیت مؤثر از معادله (۵) محاسبه می‌شود (صفری و همکاران، ۲۰۱۰):

$$C_a=\frac{1}{T}$$ معادله (۵)

که در آن C_a: ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای برحسب هکتار در ساعت، T زمان لازم برای سمپاشی یک هکتار مزرعه برحسب ساعت می‌باشد. درصدبازده مزرعه‌ای (e) نیز از تقسیم نسبت ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای(C_a) به ظرفیت نظری (C_{at}) به دست آمد (رابطه ۶):

$$e=\frac{C_a}{C_{at}}\times 100$$ معادله (۶)

دادههای جمع آوری شده با کمک نرم افزار آماری SAS آنالیز و نمودارها توسط نرم افزار Excel کشیده شد.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس مربوط به بررسی فاکتورهای نوع سمپاش و تعداد قطرات در موقعیت‌های مختلف

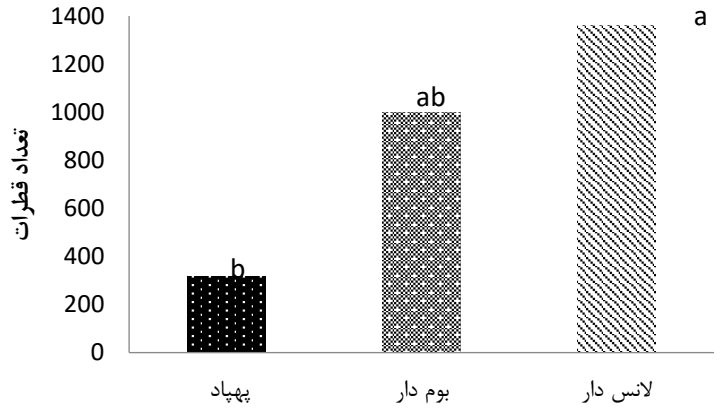
بوته، قطر میانه عددی و قطر میانه حجمی، شاخص کیفیت پاشش و پوشش سطح نشان داد کـه تیمـار نوع سمپاش بر صفات تعداد قطرات، شـاخص کیفیـت و پوشـش سـطح، تـأثیر معنـی‌دار داشـته اسـت درحالی‌که موقعیت کارت های حساس به آب (بالا، وسط و پایین بوته) بر تمامی صفات به جز شـاخص کیفیت پاشش، تأثیر معنی‌داری داشت. به‌علاوه، قطر میانه عددی و قطر میانه حجمی و پوشـش سـطح تحت تأثیر برهمکنش نوع سمپاش و ارتفاع بوته قرار داشت (جدول ۲).

جدول ۲: آنالیز واریانس نوع سمپاش، ارتفاع بوته و اثر متقابل آن‌ها بر مشخصات فیزیکی قطرات

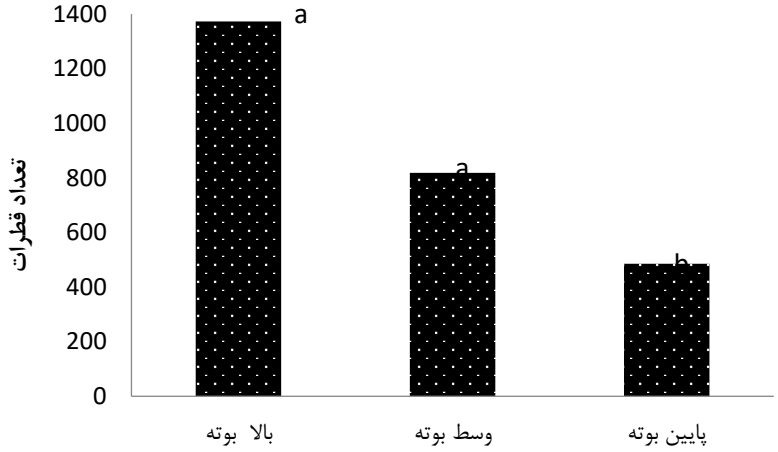
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)				
		تعداد قطرات	قطر میانه عددی	قطر میانه حجمی	شاخص کیفیت‌پاشش	پوشش سطح
تکرار	۲	۱۰۳۸۵۰۰/۱۱ ns	۱۳۵۶/۵۱ ns	۶۵۵۷/۵۱ ns	۰/۷۹ ns	۰/۵۱ ns
نوع سمپاش	۲	۲۵۲۸۶۷۶/۷۸ *	۳۲۳/۰۶ ns	۱۴۴۸/۲۳ ns	۳/۱۸ **	۱۸/۳۸ **
موقعیت بوته	۲	۱۸۰۶۱۹۵/۸۹ *	۶۲۴۹/۶۷ **	۵۵۷۲۳/۸۷ **	۰/۵۹ ns	۲۷/۳۶ **
اثر متقابل نوع سمپاش×موقعیت بوته	۴	۸۵۲۶۰۰/۵۶ ns	۲۷۲۴/۹۹ *	۱۹۲۵۵/۶۹ *	ns ۰/۳۴	۵/۳۶ **
خطا	۱۶	۶۱۳۹۴۸/۰۰	۷۷۰/۵۸	۵۹۲۳/۱۹	۰/۳۷	۱/۱۰
ضریب تغییرات	-	۸۷/۷۲	۲۵/۶۵	۲۵/۴۲	۲۰/۳۹	۴۲/۱۴

**: معنی‌داری در سطح ۱ درصد،*: معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ns : عدم معنی‌داری

تعداد قطرات: بیشترین تعداد قطرات در یک سانتی‌متر مربع مربوط بـه سـمپاش لانـس‌دار بـا مقـدار ۱۳۶۱ قطره در تمام سطوح پوشش گیاهی مشاهده شد (شـکل ۴) کـه اخـتلاف معنـی‌داری در سـطح احتمال ۵ درصد با تعداد قطرات سمپاش بوم‌دار (۱۰۰۰ قطره در سانتی متر مربع) نداشـت. بـر اسـاس نوع پاشش در سمپاش لانس‌دار با فشار زیاد سمپاشی، انتظار می‌رفت که بیشترین تعداد قطرات در این سمپاش باشد. کمترین تعداد قطرات نیز متعلق به سمپاش پهپاد با مقدار حدود ۳۱۷ قطـره در سـانتی متر مربع بود. مقایسه میانگین نشان داده شده در شکل (۳) بیان می‌کند که صفت تعداد قطرات سم در پهپاد سمپاش و سمپاش بوم‌دار اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارنـد. همچنـین بیشـترین و کمتـرین تعداد قطرات تحت تأثیر ارتفاع بوته به‌ترتیب در بالاترین و پایین‌ترین سطح بوته مشـاهده شـد (شـکل ۴)، که با توجه به ویژگی‌های ریخت شناسی و فرم بوته پنبه (تیپ باز در رقـم گلسـتان) و تـاج پوشـی گیاه که در منابع بسیار اشاره‌شده است این رخداد دور از انتظار نبود (روسولم و همکاران، ۲۰۱۲).

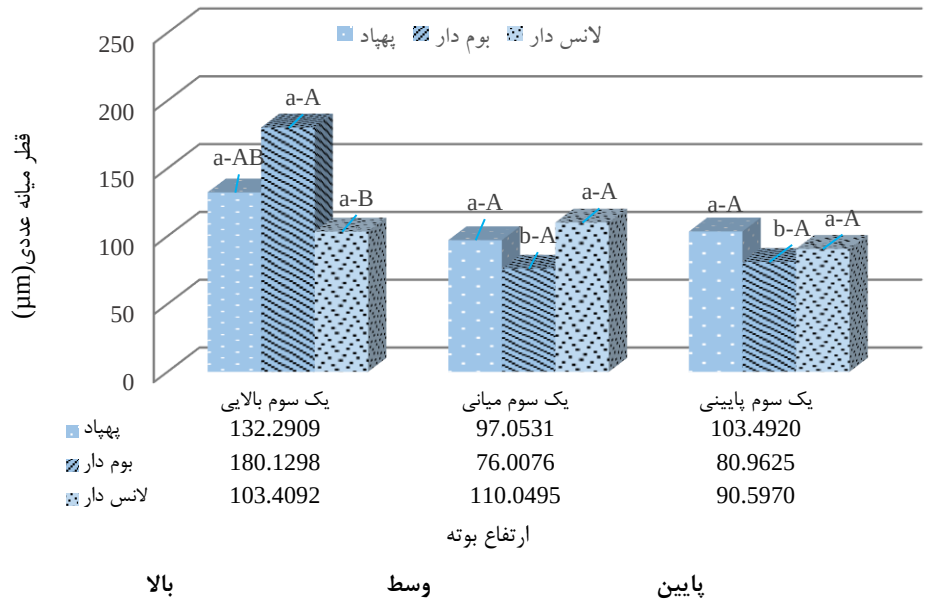


شکل ۳: اثر نوع سمپاش بر میانگین تعداد قطرات در یک سانتی مترمربع.
وجود حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون t- استیودنت در سطح احتمال ۵ درصد.



شکل ۴: اثر سطوح مختلف موقعیت بوته بر میانگین تعداد قطرات در یک سانتی متر مربع، وجود حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون t- استیودنت در سطح احتمال ۵ درصد.

قطر میانه عددی: بر اساس شکل (۵) در پهپاد سمپاش و سمپاش پشت تراکتوری لانس‌دار بین سه ناحیه بالایی، میانی و پایینی بوته از لحاظ قطر میانه عددی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. اندازه ذرات در این دو سمپاش درحدود ۱۰۰ میکرون است و سبب شده که پوشش خوبی را در تمام سطوح بوته ایجاد کند.

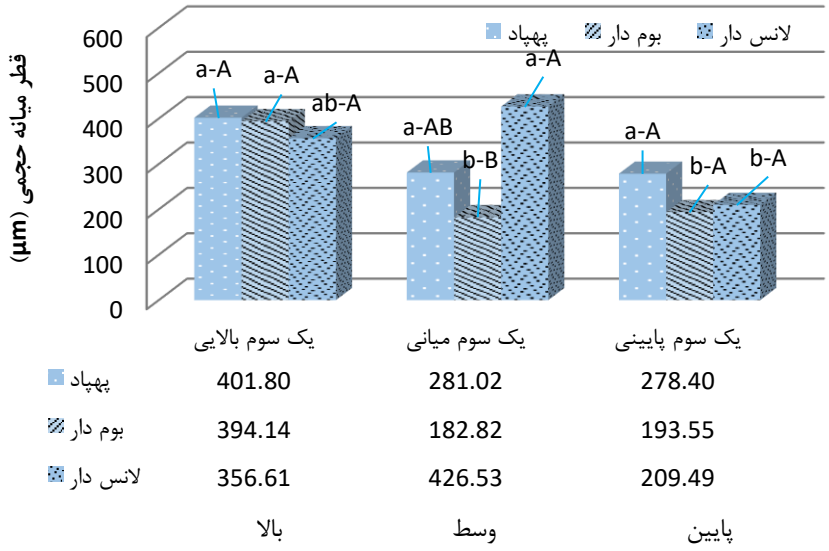


شکل ۵-اثر نوع سمپاش و سطوح ارتفاع بر قطر میانه عددی، وجود حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون t- استیودنت در سطح احتمال ۵ درصد (حروف بزرگ (A,B) سطوح ارتفاع‌ثابت بررسی نوع سمپاش). (حروف کوچک (a,b) نوع سمپاش ثابت بررسی سطوح ارتفاع).

در سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری بالای بوته دارای بیشترین میانگین قطر میانه عددی بود که اختلاف معنی‌داری با یک‌سوم میانی و پایینی بوته داشت. ذرات بزرگتر از ۱۰۰ میکرون در بالای بوته می‌نشیند درحالی‌که ذرات ریزتر به قسمت‌های پایین بوته نفوذ می‌کند. همچنین ارزیابی سه سمپاش در هریک از سه سطح ارتفاع نشان داد که بین سمپاش پشت تراکتوری بوم‌دار و سمپاش لانس‌دار در یک‌سوم بالایی اختلاف معنی‌داری وجود داشت درحالی‌که میان آن‌ها و پهپاد سمپاش اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. هم‌چنین بین سه سمپاش در وسط و پایین بوته در قطر میانه عددی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. با توجه به نمودار در تیمارهای مختلف ۵۰ درصد قطرات، قطری کمتر از ۲۰۰ میکرون دارند. از طرف دیگر چنانچه اندازه قطرات کوچک باشد باعث بادبردگی قطرات می‌شود و درصورتی‌که اندازه قطرات درشت باشد از روی برگ گیاهان لغزیده و روی زمین می‌افتد (صفری و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین سمپاش پهپاد مناسب ترین اندازه قطر میانه عددی را دارد.

قطر میانه حجمی: نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثر نوع سمپاش و سطوح ارتفاع بر قطر میانه حجمی در شکل (۷) نشان داده‌شده است. بر این اساس در پهپاد سمپاش در موقعیت‌های مختلف

ارتفاع بوته، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. این موضوع نشان می‌دهد که ذرات سم در پهپاد سمپاش یکنواخت‌تر از دو سمپاش دیگر است. در سمپاش پشت تراکتوری بوم‌دار یک‌سوم بالایی بوته دارای بیشترین میانگین قطر میانه حجمی بود، که اختلاف معنی‌داری با یک‌سوم میانی و پایینی داشت. این وضعیت مشابه شکل ۵ می‌باشد و دلیل آن اندازه ذرات است. در سمپاش پشت تراکتوری لانس‌دار یک‌سوم میانی و پایینی بوته اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ازلحاظ قطر میانه حجمی داشتند درحالی‌که هر دو سطح با یک‌سوم بالایی بوته در یک گروه قرار دارند. همچنین بررسی سمپاش‌ها در یک ناحیه مشخص نشان داد که در ناحیه بالا و پایین بوته بین سمپاش‌ها ازنظر آماری اختلاف وجود ندارد. در وسط بوته بین سمپاش بوم‌دار و لانس‌دار اختلاف وجود داشت درحالی‌که میان آن‌ها و پهپاد سمپاش اختلاف معنی‌دارنبود. زیاد بودن اختلاف اندازه ذرات در وسط بوته دلیل این موضوع است. با بررسی میانگین‌های نشان داده‌شده در شکل ۵ و۶ می‌توان نتیجه گرفت دلیل بزرگ‌تر بودن قطر میانه حجمی از قطر میانه عددی در هر سه سمپاش تعداد زیاد قطرات ریز همراه با تعداد محدودی قطرات درشت می‌باشد (جانستون و همکاران، ۱۹۷۷).



شکل ۶- اثر نوع سمپاش و سطوح ارتفاع بر قطر میانه حجمی، وجود حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون t- استیودنت در سطح احتمال ۵ درصد (حروف بزرگ (A,B) سطوح ارتفاع‌ثابت بررسی نوع سمپاش). (حروف کوچک (a,b) نوع سمپاش ثابت بررسی سطوح ارتفاع).

این موضوع بیشتر در مورد سمپاش پشت تراکتوری لانس‌دار کـه طیـف وسـیعی از قطـرات ریـز و درشت و تعداد قطرات زیاد (شکل ۳ و ۴) که ناشی از فشار زیاد سمپاشی و نوع سمپاشی می‌باشد (زنـد و همکاران، ۲۰۰۸) صدق می‌کند. همچنین دلیل دیگر افزایش قطر میانی حجمی بادبردگی قطرات ریز می‌باشد به‌طوری‌که سقوط عمودی فقط در مورد قطرات درشت صورت گرفته که این مورد نیز می‌تواند در مورد پهپاد سمپاش (قرارگیری در ارتفاع بالاتری از بوته نسبت به دو سمپاش دیگـر) درسـت باشـد. طبق ارزیابی‌های صورت گرفته بر اساس شکل (۶) می‌توان این نتیجـه را گرفـت کـه سـمپاش بـوم‌دار پشت تراکتوری دارای قطر میانه حجمی کمتر در کل سه ناحیه بوته نسبت به دو سـمپاش دیگـر بـود. نتایج پژوهش فیاز و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که قطر میانی حجمی پهپاد سمپاش در ارتفاع ۲ متـر و سرعت ۲ متر بر ثانیه ۴۴۸/۷۵ میکرون می‌باشد که به نتایج این تحقیق در بالای بوته برای پهپـاد در پژوهش حاضر نزدیک است.

نتایج پژوهش دی لیما و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که قطر میانه حجمـی، در یک‌سـوم میـانی و پایینی ازنظر آماری تفاوتی نداشتند درحالی‌که نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در پهپـاد سـمپاش در هر سه سطح ارتفاع موردارزیابی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. نتایج منگ و همکـاران (۲۰۱۹) نشـان داد که قطر میانه حجمی در پهپاد سمپاش و سمپاش پشـت تراکتـوری بـوم‌دار، ازنظـر آمـاری تفـاوت معنی‌داری داشتند و همچنین قطر میانه حجمی در پهپاد سمپاش کمتر بود که با نتایج پژوهش حاضـر مطابقت نداشت اما در سطح وسط بوته بین سمپاش بوم‌دار و لانس‌دار اختلاف معنی‌دار مشاهده شد.

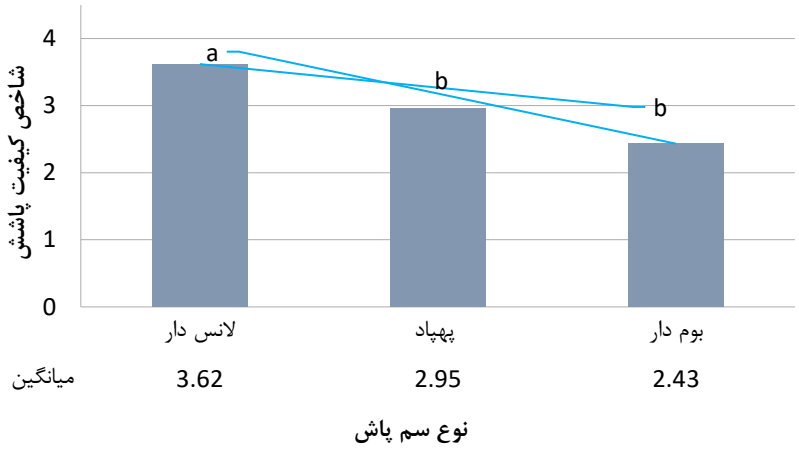
شاخص کیفیت پاشش: بر اساس شکل (۷) بیشترین میـانگین شـاخص کیفیـت پاشـش را سـمپاش لانس‌دار با مقدار ۳/۶۲ به خود اختصاص داده است. بر اساس نوع پاشش در این سـمپاش کـه ناشـی از فشار زیاد سمپاشی است نیز انتظار می‌رفت که شاخص کیفیت پاشش در این سـمپاش بیشـتر از بقیـه سم‌پاش‌ها باشد. کمترین شاخص کیفیت پاشش نیز متعلق به سـمپاش بـوم‌دار بـا مقـدار ۲/۴۳ اسـت. ازنظر شاخص کیفیت پاشش، پهپاد و لانس‌دار و هم‌چنین بوم‌دار و لانس‌دار در یک گروه قرار ندارند. بـا توجه به این‌که هراندازه این نسبت به عدد یک نزدیک‌تر باشـد کیفیـت پاشـش بهتراسـت (عزیزپنـاه و همکاران، ۲۰۱۵). بنابر این بهترین یکنواختی پاشش می‌تواند مربوط به سمپاش بوم‌دار باشد.

هرچند که نسبت یکنواختی پاشش ویژگـی مهمـی در سمپاشـی به‌حسـاب می‌آیـد، امـا در هنگـام تفسیر نتایج مربوط به یکنواختی پاشش می‌بایست هم‌زمان دو پارامتر اولیه قطـر میانـه عـددی و قطـر میانه حجمی را در نظر داشت (نسری و همکاران، ۲۰۰۸) که با توجه به توضیحات فـوق میـانگین کـل قطر میانه عددی و قطر میانه حجمـی بـرای سـمپاش پشـت تراکتـوری بـوم‌دار بـه ترتیـب ۱۱۲/۳۶ و ۲۵۶/۸۳ میکرون بود که قطر میانه حجمـی آن کمتـر و قطـر میانـه عـددی آن بسـیار نزدیـک بـه دو سمپاش دیگر است که نتیجه‌گیری قبلی در این زمینه (یکنواختی پاشش بهتر) را تأیید می‌کند.

مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که نتایج این تحقیق با نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش بدیع و همکاران (بدیعی و همکاران، ۲۰۱۹) که بهترین ضریب یکنواختی پاشش متعلق به سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری و ضعیف‌ترین ضریب یکنواختی پاشش مربوط به سمپاش لانس‌دار پشت تراکتوری را گزارش نموده مطابقت کامل داشته است.

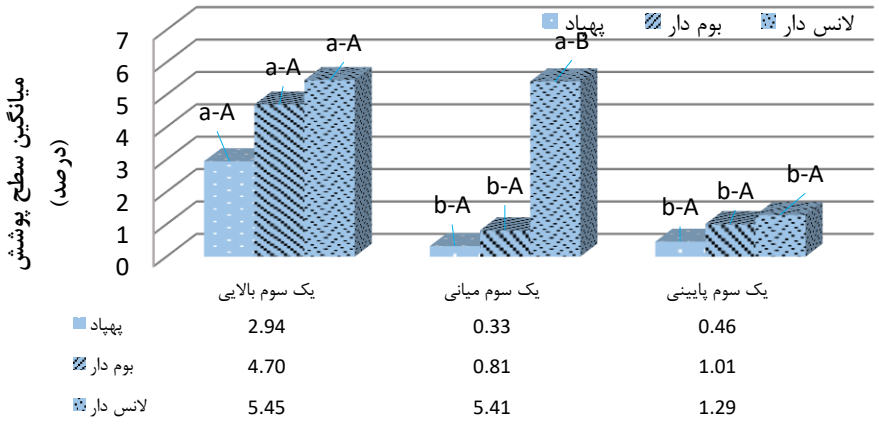
درصد سطح پوشش: بر اساس شکل (۸) بیشترین درصد پوشش را سمپاش لانس‌دار با مقدار ۵/۵ درصد در بالای بوته داشت. کمترین پاشش در بالای بوته با مقدار حدود ۲/۹۴ درصد نیز متعلق به سمپاش پهپاد است. حجم پاشش کم و تعداد قطرات کمتر سم در این نوع سمپاش یکی از دلایل این درصد پوشش است. بررسی سمپاش‌ها در یک ناحیه مشخص نشان می‌دهد که در بالا، وسط و پایین بوته ازنظر درصد پوشش سم، سم‌پاش پهپاد و بوم‌دار در یک گروه قرار دارند. همچنین دریک سوم بالایی و پایینی بوته بین سمپاش‌ها ازلحاظ آماری اختلافی وجود ندارد. بنابراین طبق توضیحات فوق بیشترین درصد پوشش سطح در یک‌سوم بالایی و میانی بوته مربوط به سمپاش لانس‌دار می‌باشد که می‌تواند ناشی از فشار سمپاشی و بده خروجی افشانک (جدول ۱) باشد.

همان‌طور که دیده می‌شود کمترین اختلاف در سه ناحیه بوته در سمپاش پهپاد رخ‌داده است. بیشترین نایکنواختی نیز در سمپاش لانس‌دار اتفاق افتاده است. همان‌طور که در شکل (۸) مشخص است در پوشش پایین بوته پنبه هیچ تفاوت معنی‌داری بین سمپاش‌ها وجود ندارد. مقدار بالای ضریب تغییرات (جدول ۲) نشان می‌دهد که توزیع قطره در تاج پوشش بالایی به‌طور قابل‌توجهی متفاوت از آن در تاج پوشش پایینی در یک تیمار یا در یک‌سطح ارتفاع بوته پنبه بین تیمارهای مختلف است. همچنین نتایج مطالعه حاضر در مورد سطح پوشش نشان می‌دهد که سمپاشی پهپاد منجر به نفوذ ضعیف در مناطق با تراکم کاشت بالا و گیاهانی با شاخص سطح برگ (LAI) بالا مانند پنبه می‌شود. بنابراین نتایج تحقیق حاضر با نتایج منگ و همکاران (۲۰۱۹) که توزیع پوشش قطرات در تاج پوشش بالایی به‌طور قابل‌توجهی متفاوت از آن در تاج پوشش پایینی در یک تیمار یا در یک‌لایه پنبه بین تیمارهای مختلف و نفوذ ضعیف سمپاشی پهپاد نشان داده است، مطابقت دارد. همچنین نتایج این پژوهش با نتایج وانگ و همکاران (۲۰۱۹) در زمینه سطح پوشش مطابقت دارد. همچنین پژوهش‌های مختلف نظیر دی‌لیما و همکاران (۲۰۱۸) و فیاز و همکاران (۲۰۲۰) نفوذ ضعیف پهپاد سمپاش را نشان داده است.



شکل ۷: اثر نوع سمپاش بر میانگین شاخص کیفیت پاشش،

وجود حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون t- استیودنت در سطح احتمال ۵ درصد



شکل ۸: اثر نوع سمپاش و سطوح ارتفاع بر میانگین سطح پوشش، وجود حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون t- استیودنت در سطح احتمال ۵ درصد (حروف بزرگ (A,B) سطوح ارتفاع‌ثابت بررسی نوع سمپاش). (حروف کوچک (a,b) نوع سمپاش ثابت بررسی سطوح ارتفاع).

بازده مزرعه‌ای: محاسبات ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای و بازده مزرعه‌ای این سه نوع سمپاش نشان داد (جدول۳) که بیشترین بازده مزرعه‌ای در سمپاش پهپاد با ۷۸/۹۵ درصد اتفاق افتاده است که به ترتیب برابر با ۱/۳۸ و ۲/۳۱ برابر سمپاش پشت تراکتوری بوم‌دار و لانس‌دار می‌باشد. کمترین بازده مزرعه‌ای مربوط به سمپاش لانس‌دار پشت تراکتوری با ۳۴/۱ درصد می‌باشد. هم‌چنین بیشترین و کمترین ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای به ترتیب متعلق به پهپاد سمپاش با ۴/۱۶ و سمپاش پشت تراکتوری لانس‌دار با ۲/۰۱ هکتار در ساعت بود. هم‌چنین نتایج این پژوهش با نتایج وانگ و همکاران (۲۰۱۷ و ۲۰۱۹) مطابقت دارد.

جدول ۳: پارامترهای مرتبط با سمپاش‌ها

نوع سمپاش	بازده مزرعه‌ای (درصد)	ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای (هکتار در ساعت)
پهپاد سمپاش	۷۸/۹	۴/۲
بوم‌دار تراکتوری	۵۷/۳	۴/۱
لانس‌دار تراکتوری	۳۴/۱	۲/۱

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از سه نوع سمپاش شامل سمپاش لانس‌دار پشت تراکتوری و سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری (به‌عنوان سمپاش‌های رایج در محصول پنبه) و پهپاد سمپاش در مزرعه پنبه استفاده شد. قطر میانه عددی، قطر میانه حجمی، نسبت یکنواختی پاشش، درصد پوشش و تعداد قطرات سمپاش‌ها در این تحقیق مقایسه شدند. نتایج نشان داد که از نظرآماری تعداد کل قطرات سم در تمام سطوح پوشش گیاهی، پهپاد سمپاش و سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری و هم‌چنین سمپاش بوم‌دار و لانس‌دار پشت تراکتوری شبیه یکدیگر هستند. کمترین تعداد قطرات نیز متعلق به پهپاد سمپاش با مقدار حدود ۳۱۷ قطره در هر سانتی متر مربع است.

بررسی صفت درصد پوشش نشان داد که متاسفانه پهپاد سمپاش در مقایسه با دو سمپاش دیگر دارای کمترین درصد پوشش سطح در سه ناحیه بوته می‌باشد. بیشترین درصد پوشش را سمپاش لانس‌دار پشت تراکتوری با مقدار ۵/۵ درصد در بالای بوته و کمترین درصد پوشش سطح را با مقدار حدود ۲/۹۴ درصد در بالای بوته پهپاد سمپاش داشت.

همچنین از نظر اندازه ذرات سم (قطر میانه حجمی و عددی)، سه سمپاش با یکدیگر متفاوت بودند. یکنواختی قطر میانه حجمی سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری یک برتری نسبی در مقایسه با دو سمپاش دیگر است. سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری دارای قطر میانه حجمی کمتر در کل سه ناحیه بوته بود. هم‌چنین پهپاد سمپاش، قطر میانه عددی بهتری در مقایسه با دو سمپاش دیگر داشت. بر

اساس اندازه قطر میانه عددی و حجمی در سطوح مختلف بوته پنبه، سمپاش پهپاد دارای یکنواختی پاشش بهتری نسبت به سمپاش لانس دار بود. بر همین اساس، بهترین شاخص کیفیت پاشش را سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری با مقدار ۲/۴۳ داشت. این بدین معنی است که این سمپاش نسبت به سایر سمپاش‌های مورد مطالعه، دارای کمترین اختلاف بین اندازه قطر میانه حجمی به قطر میانه عددی است و ذرات دارای یکنواختی بیشتری می‌باشند. بعد از این سمپاش، پهپاد سمپاش بهترین یکنواختی ذرات را دارا بود.

بازده مزرعه‌ای از صفات مهمی است که برای کشاورزان بسیار اهمیت دارد. در این صفت پهپاد سمپاش دارای برتری خوبی نسبت به سایر سمپاش‌ها بود. بازده مزرعه‌ای سمپاش پهپاد ۷۸/۹۵ درصد بود که به‌ترتیب برابر با ۱/۳۸ و ۲/۳۱ برابر سمپاش بوم‌دار و سمپاش لانس‌دار پشت تراکتوری بود. شاید بتوان گفت این تنها مزیت پهپاد سمپاش می‌باشد.

انتخاب بهترین سمپاش برای کنترل آفات پنبه به وسعت مزرعه، مقدار آفت، ارتفاع بوته و دسترس بودن سمپاش و هزینه سمپاشی وابسته است. بر اساس نتایج این تحقیق و با توجه به این موضوع که پهپاد سمپاش بهترین بازده مزرعه‌ای را داشت، در صورت وسیع بودن مزرعه و طغیان آفات، سریع‌ترین روش سمپاشی استفاده از پهپاد سمپاش است. درصورتی‌که طغیان آفت نباشد و زمان برای سمپاشی باشد، سمپاش بوم‌دار با توجه به شاخص کیفیت پاشش، بهترین گزینه است، البته درصورتی‌که ارتفاع بوته سبب خسارت زیاد به غوزه و محصول نشود. اگر طغیان آفت در زمانی باشد که به دلیل بارندگی یا پس از آبیاری یا به دلیل ارتفاع زیاد محصول، امکان تردد در مزرعه نباشد بهترین و سریع‌ترین روش پهپاد سمپاش است. در صورت نبود پهپاد سمپاش در این شرایط تنها گزینه، سمپاش لانس‌دار است که کمترین راندمان سمپاشی را دارد.

References

1. Aliverdi, A. 2021. The effect of nozzle type in an unmanned aerial sprayer on the activity of herbicide haloxyfop-R-methyl against volunteer barley (Short comuincation). Volume 89, Issue 2, March 2022, Pages 269-275. (in Persian).
2. Azizpanah, Amir, Ali Rajabipour, Reza Alimardani, Kamran Kheiralipour, Bahram Ghamari, and Vahid Mohammadi. (2015). Design, construction and evaluation of a sprayer drift measurement system. Agricultural Engineering International: CIGR Journal 17, no. 3. (in Persian)
3. Badie. F., Alimoradi. L., Chitband. A.A., Jahedipour, S. (2019). Evaluation of Sprayer Type Effect and Tribenuron-Methyl (Gyahstar) Herbicide Dosage on Broadleaf Weeds of Water Wheat Fields, Journal of plant protection 32, no.4, winter: 527-541. (in Persian).

4. Chuanjie, Y.A.N.G., L. U. O. Yi, S. U. N. Lin, and W. U. Na. (2015). Effect of deficit irrigation on the growth, water use characteristics and yield of cotton in arid Northwest China. Pedosphere 25, no. 6: 910-924.
5. Da Cunha, João PAR, Arthur P. Victor, and Caroline GR Sales. (2018). Spray deposition on soybean crop using different travel speeds and application rates. Engenharia Agrícola 38, no. 1: 82-87.
6. De Lima Junior, Izidro dos S., Paulo E. Degrande, Cristiano de Souza, and Antonio L. Viegas Neto. (2018). Droplet distribution as a function of cotton interrow spacing and angles of sprayer displacement. Engenharia Agrícola 38, no. 6: 927-933.
7. Deguine, Jean-Philippe, Pierre Ferron, and Derek Russell. (2008). Sustainable pest management for cotton production. A review. Agronomy for sustainable Development 28, no. 1:113-137.
8. Fiaz, Ahmad, Baijing Qiu, Xiaoya Dong, Jing Ma, Xin Huang, Shibbir Ahmed, and Farman Ali Chandio. (2020). Effect of operational parameters of UAV sprayer on spray deposition pattern in target and off-target zones during outer field weed control application. Computers and Electronics in Agriculture 172: 105350.
9. Johnstone, D.R., Rendell, C.H. and Sutherland, J.A. (1977). The short-term fate of droplets of coarse aerosol size in ultra-low-volume insecticide application on to a tropical field crop. Journal of Aerosol Science 8, no. 6: 395-407.
10. Liu, Yongbo, Xubin Pan, and Junsheng Li. (2015). A 1961–2010 record of fertilizer use, pesticide application and cereal yields: a review. Agronomy for sustainable development 35, no. 1: 83-93.
11. Matese, Alessandro, Piero Toscano, Salvatore Filippo Di Gennaro, Lorenzo Genesio, Francesco Primo Vaccari, Jacopo Primicerio, Claudio Belli, Alessandro Zaldei, Roberto Bianconi, and Beniamino Gioli. (2015). Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote sensing platforms for precision viticulture. Remote Sensing 7, no. 3: 2971-2990.
12. Matthews, G.A. (2004). How was the pesticide applied?." Crop Protection 23, no. 7: 651-653.
13. Meng, Yanhua, Jianli Song, Yubin Lan, Guiying Mei, Zijing Liang, and Yuxing Han. (2019). Harvest aids efficacy applied by unmanned aerial vehicles on cotton crop. Industrial Crops and Products 140: 111645.
14. Nawaz, Muhammad Farrakh, Guilhem Bourrie, and Fabienne Trolard. (2013). Soil compaction impact and modelling. A review. Agronomy for sustainable development 33, no. 2: 291-309.
15. Neseri, M. 2008. Study and evaluation of factors affecting the performance of tractor-mounted turbine sprayers (turbo-liner). MSc. Thesis, Ferdowsi University Mashhad.

16. Peyman. L, Mahmoudi. A, Abdollahpor.SH, Moghaddam.M and Ranabonab.B. 2011. Controlling Spray Particle Size Using Artificial Neural Networks. 21, No.4: 75-84. (in Persian).
17. Psirofonia, Panagiota, Vasileios Samaritakis, Panagiotis Eliopoulos, and Ilyas Potamitis. (2017). Use of unmanned aerial vehicles for agricultural applications with emphasis on crop protection: Three novel case-studies. International Journal of Agricultural Science and Technology 5, no. 1: 30-39.
18. Qin, Wei-Cai, Bai-Jing Qiu, Xin-Yu Xue, Chen Chen, Zhu-Feng Xu, and Qing-Qing Zhou. (2016). Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. Crop Protection 85: 79-88.
19. Qiu, Baijing, Liwei Wang, Donglin Cai, Jianhao Wu, Guorong Ding, and Xianping Guan. (2013). Effects of flight altitude and speed of unmanned helicopter on spray deposition uniform. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 29, no. 24: 25-32.
20. Rosolem, Ciro Antônio, Fábio Rafael Echer, Izaías Pinheiro Lisboa, and Talita Silva Barbosa. (2012). Acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio pelo algodoeiro sob irrigação cultivado em sistemas convencional e adensado. Revista Brasileira de Ciência do Solo 36, no. 2: 457-466.
21. Safari M, Kafashan J. 2005. Manufacture and Evaluation of Tractormounted Boom Sprayer Equipped with Rotate Plate and its Comparison with Tractor-mounted Boom Sprayer in order to Control Sugar Beet Weeds. Journal of Agriculture Engineering. Agricultural Engineering Research Institute Publication. (in Persian)
22. Safari, M., Amirshaghaghi, F., Lovaimi, N., Chaji, H. 2010. Evaluation Of Conventional Sprayers In Wheat Farms. Journal Of Agricultural Engineering Research . 10(4) :1 - 12. (in Persian).
23. Wang, Guobin, Yubin Lan, Huizhu Yuan, Haixia Qi, Pengchao Chen, Fan Ouyang, and Yuxing Han. (2019). Comparison of spray deposition, control efficacy on wheat aphids and working efficiency in the wheat field of the unmanned aerial vehicle with boom sprayer and two conventional knapsack sprayers. Applied sciences 9, no. 2: 218.
24. Wang, S., Song, J., He, X., Song, L., Wang, X., Wang, C., Wang, Z., Ling, Y. 2017. Performances evaluation of four typical unmanned aerial vehicles used for pesticide application in China. Int. J. Agric. Biol. Eng., 10, 22–31.
25. Williamson, J.R., and Neilsen, W.A. (2000). The influence of forest site on rate and extent of soil compaction and profile disturbance of skid trails during ground-based harvesting. Canadian Journal of Forest Research 30, no. 8: 1196-1205.
26. Xie, Jianming, Jihua Yu, Baihong Chen, Zhi Feng, Jian Lyu, Linli Hu, Yantai Gan, and Kadambot HM Siddique. (2018). Gobi agriculture: an innovative

farming system that increases energy and water use efficiencies. A review. Agronomy for Sustainable Development 38, no. 6: 62.
27. Zand, E., Mousavi, S.K. and Heidari, A. 2008. Herbicides and their application. Mashhad University of Jehad Press P: 567. (in Persian).
28. Zhang, Jing, XiongKui He, JianLi Song, AiJun Zeng, YaJia Liu, and XueFeng Li. (2012). Influence of spraying parameters of unmanned aircraft on droplets deposition. Nongye Jixie Xuebao= Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery 43, no. 12: 94-96.
29. Zhang, Songchao, Xinyu Xue, Weicai Qin, Zhu Sun, Suming Ding, and Lixin Zhou. (2015). Simulation and experimental verification of aerial spraying drift on N-3 unmanned spraying helicopter. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 31, no. 3: 87-93.

Iranian Journal of Cotton Researches
Vol. 10, No. 1, 2022
www.jcri.ir

Evaluation of UAV sprayer quality in compared to common sprayers in cotton field

Shahram Nowrouzieh[1*], Abbas Rezaei Asl[2], Mahmud Jokar[3], Amir Masoud Shafipour[4]

[1]Associate professor, Cotton research institute of Iran, Agricultural research, education and extension organization, Gorgan, Iran
[2]Associate professor, Bio system Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[3]Assistant Professor, Cotton research institute of Iran, Agricultural research, education and extension organization, Gorgan, Iran
[4]M.Sc student of Bio system Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 20.11.2022 ; Accepted: 25.4.2023

Abstract[1]

Introduction: Cotton is one of the most important agricultural products in the world, which has caused diseases and pests due to continuous cultivation and geographical and climatic conditions. Control of cotton pests with ground spraying equipment results in physical plant damage, lower crop yields and quality, water loss, and pesticide use. The use of drone spraying is one of the new methods of precision agriculture that plays a role in sustainable agricultural production and reduces the use of pesticides that damage soil and plants. The aim of this study is to investigate the efficiency of UAV sprayers in cotton cultivation and compare these sprayers with other general cotton sprayers.

Meterial and method: In this study, a drone sprayer was compared with two sprayers commonly used in cotton production (tractor mounted sprayer and lance mounted sprayer). This project was based on a split-plot design in a completely randomized design with three replications. The main treatments of the experiment included the type of sprayer at three levels (tractor mounted sprayer, sprayer with lance and UAV sprayer) and the sub-treatments included the plant position at three levels (top, middle and bottom of the plant). The image processing method was used to evaluate the quality of spraying, including the numerical median diameter (NMD), volumetric median diameter (VMD), spray quality, and percentage of surface coverage using a water sensitive card (WSC). The WSCs were placed at three plant locations at the bottom, middle, and top of the cotton plant on the boll

[*]Corresponding author; s.nowrozieh@areeo.ac.ir

branches. Immediately after spraying, WSC were collected from the field and scanned separately with a scanner for use in ImageJ® image processing software.

Results: The highest number of droplets under the influence of sprayer type was observed in the lance sprayer with about 1361 droplets in all levels of the cotton plant, which was not significantly different from the boom sprayer (1000 droplets). Depending on the type of sprayer, the lance sprayer and the high pressure sprayer were expected to have the highest number of drops. The UAV sprayer had the lowest number of drops with 317 drops. There is no significant difference between the three different top, middle and bottom positions of the crop in terms of NMD in the drone sprayer and the boom mounted tractor sprayer. In the tractor mounted sprayer, the top plant position has the largest NMD, which is significantly different from the middle and bottom plant positions. Also, the evaluation of the three sprayers in each of the three plant positions showed that there is a significant difference between the tractor-mounted boom sprayer and the lance sprayer in the upper plant position, while there is no significant difference between them and the UAV sprayer. There is also no significant difference between the three sprayers in the middle and lower position of the plant in NMD. According to the results, in the different treatments, 50% of the droplet sizes have a diameter less than 200 μm. According to the index for spray quality, the sprayer with lance with a value of 3.62 is the one with the lowest spray quality. According to this index, the best spray quality is the tractor mounted sprayer with a value of 2.43. In terms of spray quality index, the drone sprayer and the lance sprayer as well as the tractor mounted sprayer and the lance sprayer are not in the same group. In addition, the tractor mounted sprayer had the best uniformity of VMD. In this study, the best NMD was obtained with the drone sprayer. The highest percentage of spray coverage was recorded with the lance sprayer at a rate of 5.5% at the top of the plant position. The lowest percentage of spray coverage at the top of the plant was measured with the drone sprayer at a rate of about 2.94%. The effective field capacity and field efficiencies of the three sprayer types showed that the highest field efficiency occurred with the drone sprayer at 78.95%, which was 1.38 and 2.31 times that of the tractor-mounted boom sprayer and lance sprayer, respectively.

Conclusions: The drone sprayer had the best spraying performance, and when the farm is large, the drone sprayer was the fastest spraying machine. The tractor mounted sprayer is the best option when there is no pest outbreak or force majeure. At the pest outbreak or the impossibility of tractor movement in the field due to rain or irrigation, the best and fastest method is drone sprayer. At the same situation, and on unavailability of drone sprayer, The only option on the table is lance sprayer, although it has the lowest spraying efficiency. In terms of spraying speed, water saving and pest control; using a drone sprayer was the best option.

***Keywords*:** Tractor-mounted boom and lance sprayer, Image processing, Water sensitive paper, Volume Median Diameter, Number Median Diameter, Spraying quality index.