

مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی توزیع عرضی، ارتفاع پاشش و اندازه قطر‌ها در سه نوع سمپاش ULV قابل نصب روی وانت

مهرنوش جعفری^{۱*} و پیمان سیدین

۱- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- کارشناس گروه تکنولوژی مبارزه، دفتر آفت‌کش‌ها، سازمان حفظ نباتات، تهران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۳۱

چکیده

روش واحدی برای ارزیابی فناوری‌های مختلف سمپاشی وجود ندارد. روش‌های موجود مزایا و محدودیت‌هایی دارند که باید بررسی شوند. هدف از این پژوهش معرفی روش آزمونی برای ارزیابی سمپاش‌های ULV قابل نصب روی وانت است، سمپاش‌هایی که اغلب برای مبارزه با آفات مهاجم به ویژه ملخ صحرائی به کار می‌روند. در این تحقیق از راهنمای حداقل‌های FAO کمک گرفته شد تا روش آزمونی برای بررسی عملکرد سمپاش‌های ULV ارائه شود. اندازه قطر‌ها، توزیع عرضی و ارتفاع پاشش سه مدل سمپاش با نام‌های ULV3، ULV3 Plus و ULV5 که عمده تفاوت این سمپاش‌ها بهره‌گیری از اتمایزهایی با تکنولوژی‌های متفاوت است، ارزیابی و الگوهای پاشش رسم شد. بررسی ظرفیت پمپ سمپاش‌ها نشان داد که بیشینه فشار کاری پمپ ۵ بار و بیشینه دبی آن ۱/۸۳ لیتر بر دقیقه در فشار ۰/۵ بار است. ارزیابی‌ها نشان داد که دبی خروجی از اتمایزها، صرف‌نظر از حجم سم داخل مخزن، یکنواخت است. قطر میانه عددی و حجمی برای تمامی سمپاش‌ها به کمک کاغذهای حساس به آب سنجیده و به ترتیب کوچک‌تر از ۳۰ و ۶۰ میکرومتر گزارش شد. سمپاش مدل ULV3 Plus که اتمایزر آن از ترکیب توان الکتریکی و بادی بهره می‌برد، بهترین عملکرد را با تولید قطر‌ه‌هایی با قطر میانه عددی ۲۸ و قطر میانه حجمی ۵۱ میکرومتر داشت. بیشینه عرض پاشش نیز در ارزیابی سمپاش ULV3 Plus با عرض پاشش ۱۵ متر به دست آمد. به دلیل محدودیت‌های استفاده از کاغذهای حساس به آب، پیشنهاد می‌شود فناوری‌های جدید، مانند استفاده از پراکنش نور لیزر یا دوربین‌های پرسرعت، جایگزین کاغذهای حساس به آب شوند.

واژگان کلیدی

الگوی پاشش، قطر میانه حجمی، قطر میانه عددی، کاغذ حساس به آب

مقدمه

افزایش یابد (Anon, 2013). برای افزایش تولیدات کشاورزی در سال‌های پیش رو، استفاده از ابزارهای حفاظت گیاهی اهمیت ویژه‌ای خواهد یافت. حفاظت محصولات کشاورزی از آفات و بیماری‌ها و جلوگیری از اتلاف آنها، هدف اولیه‌ای از سمپاشی است و هدف نهایی آن تولید محصول با کیفیت است. آفات و

برابر گزارش سازمان جهانی خواربار و کشاورزی سازمان ملل (FAO)، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ رشدی برابر با ۳۰ درصد خواهد داشت. بنابراین تولیدات کنونی کشاورزی باید از ۹/۳ میلیارد تن در سال به حدود ۱۳/۵ میلیارد تن در سال ۲۰۵۰

سموم قابل حل در روغن و غیرفرار پیشنهاد می‌شود. اتمایزر^۴ مورد استفاده در سمپاش‌های ULV از نوع چرخشی است و از نیروی گریز از مرکز برای شکستن قطره‌ها به ذرات کوچک‌تر بهره می‌برد. طیف اندازه قطره‌ها در این گروه از سمپاش‌ها محدود است، بنابراین به آنها سمپاش با کاربرد قطره‌های کنترل شده^۵ (CDA) نیز گفته می‌شود. برد پاشش سمپاش‌های ULV تحت تأثیر جهت و شدت وزش باد است و قطره‌ها به دلیل کوچک بودن، مدت طولانی‌تر در هوا معلق می‌مانند. در این گروه از سمپاش‌ها هدایت ذرات به سمت موضع هدف دشوار است و به شدت تحت تأثیر جهت وزش باد غالب قرار دارد. پیشنهاد شده است در شرایطی که باد در محدوده ۳ تا ۱۰ کیلومتر بر ساعت می‌وزد، از سمپاش‌های ULV استفاده شود؛ و به مفهومی دیگر، در شرایطی که باد با سرعتی بیش از ۱۲ کیلومتر بر ساعت می‌وزد، استفاده از این سمپاش‌ها توصیه نمی‌شود.

سمپاشی زمانی موفق و کارآمد خواهد بود که بر اساس هدف‌های مورد نظر، مناسب‌ترین سمپاش انتخاب و به دقت کالیبره شود. برای کاهش هرچه بیشتر اثرهای سوء سموم، مواردی مانند بهینه‌سازی تجهیزات سمپاشی، کالیبراسیون، نگهداری و سرویس مناسب می‌تواند اثر قابل توجهی در سلامت انسان، محصولات و محیط زیست داشته باشد. از میان شاخص‌های مختلف ارزیابی سمپاش‌ها سه شاخص کیفی اندازه قطره‌ها، توزیع عرضی و ارتفاع پاشش اهمیت ویژه‌ای دارند (Wang et al., 2019). در این میان اندازه قطره‌ها مهم‌ترین شاخص است زیرا پایداری سمپاشی موضع هدف را تضمین

بیماری‌های گیاهی سالانه به ۳۲ درصد از تولیدات کشاورزی حمله می‌کنند. با وجود مشخص شدن خطرهای سموم کشاورزی برای انسان، حیوانات و محیط زیست، هنوز سمپاشی اصلی‌ترین راه کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌های گیاهی است. میزان مصرف سالانه سموم دفع آفات کشاورزی در ایران، حدود ۲۴۰۰۰ تن است، از این میزان، حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها به ترتیب بالاترین میزان مصرف را دارند (Rostami & BehAyeen, 2021). در مبارزه شیمیایی، سموم مایع به کمک دستگاه‌های سمپاشی به سطوح هدف پاشیده می‌شوند. به انتقال قطره‌های سم به موضع هدف، در شرایطی که حلال سم آب یا روغن است، سمپاشی گفته می‌شود (Beyaz et al., 2017).

با توجه به میزان سمپاشی هدف، سمپاش‌های سموم مایع به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند: ۱- سمپاش با حجم پاشش زیاد^۱، ۲- سمپاش با حجم پاشش کم^۲ و ۳- سمپاش با حجم پاشش فوق کم^۳. هدف اولیه از به کارگیری سمپاش‌هایی با حجم پاشش فوق کم (ULV)، مبارزه با آفات و بیماری‌ها با حداقل میزان سم است تا متعاقب آن صرفه اقتصادی سمپاشی افزایش یابد. در این نوع سمپاش‌ها، مقدار پاشش سم کمتر از ۵ لیتر در هکتار است. قطره‌های تولید شده با سمپاش‌های ULV، به دلیل کوچک بودن، تحت تأثیر میزان تبخیر بالایی قرار دارند و این مشکل با افزایش دمای محیط و کاهش رطوبت نسبی هوا دو چندان می‌شود. به این دلیل، استفاده از آب به عنوان حلال در این سمپاش‌ها توصیه نمی‌شود و بهره‌گیری از

1- High Volume Spraying

3- Ultra Low Volume

5- Controlled Droplet Application (CDA)

2- Low Volume Spraying

4- Atomizer

گذشته از کاغذهای حساس به آب برای بررسی ویژگی‌های پاشش استفاده شده است (Sanchez-Hermosilla & Medina, 2004; Gil *et al.*, 2007). امروزه از فنون پردازش تصویر بهره گرفته می‌شود و ویژگی‌های قطره‌های تشکیل شده روی کاغذهای حساس به آب سنجیده می‌شود (Hoffmann & Hewitt, 2005; Zhu *et al.*, 2011; Cunha *et al.*, 2012; Salyani *et al.*, 2013; Sies *et al.*, 2017) اما تخمین اندازه قطره‌های پاشش یا ارزیابی پوشش سمپاشی^۱ به کمک کاغذهای حساس به آب در شرایطی امکان‌پذیر است که میزان پاشش کم باشد و هم‌پوشانی بین قطره‌ها وجود نداشته باشد (Fox *et al.*, 2001).

در کشورهای پذیرنده FAO، استاندارد قابل قبولی برای ارزیابی کیفیت و ایمنی سمپاش‌های اعمال‌کننده حشره‌کش‌ها وجود ندارد. از این‌رو از سال ۱۹۹۵، FAO-AGSE سعی کرده تا راهنمایی برای ارتقای ایمنی و بازده این دسته از سمپاش‌ها ارائه دهد. در روش آزمون مذکور سعی شده حداقل نیازهای هر سمپاش برای داشتن ایمنی و کیفیت بیان شود (Anon, 2001). در مقاله حاضر روشی بر اساس راهنمای حداقل‌های FAO برای آزمون و ارزیابی سمپاش‌های ULV قابل نصب بر پشت وانت که اغلب به منظور مبارزه با آفت ملخ صحرائی کاربرد دارند، ارائه شده است. این روش آزمون برای ارزیابی سه دستگاه سمپاش ULV با نام‌های تجاری ULV3، ULV3 Plus و ULV5 استفاده شده که عمده تفاوت آنها به کارگیری فناوری‌های مختلف در ساخت اتمایزر است، اهم نتایج در این مقاله بیان شده است.

می‌کند. انتظار می‌رود طیف اندازه قطره‌های تولیدی توسط سمپاش‌ها یکنواخت باشد و از تولید قطره‌های با اندازه بسیار بزرگ یا بسیار کوچک اجتناب شود (Cunha *et al.*, 2019). کیفیت سمپاشی در اکثر موارد با شاخص‌هایی مانند قطر میانه حجمی (VMD)، قطر میانه عددی (NMD) و ضریب یکنواختی پاشش (VMD/NMD) سنجیده می‌شود. قطر میانه حجمی که مرسوم‌ترین شاخص در ارزیابی سمپاش‌هاست، حجم پاشش را به دو قسمت یکسان تقسیم می‌کند. نیمی از حجم پاشش با اندازه قطره‌هایی کوچک‌تر از قطر میانه حجمی و نیم دیگر با قطری بیشتر صورت می‌پذیرد. قطر میانه عددی نیز قطره‌ها را از نظر تعداد به دو بخش تقسیم می‌کند به گونه‌ای که نیمی از کل قطره‌های پخش شده از دهانه افشانه، قطری کوچک‌تر و نیمی دیگر دارای قطر بزرگ‌تری هستند (Beyaz *et al.*, 2017). فناوری‌های مختلف سمپاشی بر اساس شاخص قطر میانه حجمی به چند دسته تقسیم می‌شوند (جدول ۱). برای مؤثر بودن سمپاشی از نظر بیولوژیکی برای هر کاربرد خاص نیز اندازه بهینه‌ای برای قطره‌ها پیشنهاد شده است (Matthews *et al.*, 2014) (جدول ۲). کیفیت سمپاشی تا آن اندازه اهمیت دارد که اگر سمپاشی با پوشش نامناسب انجام شود، ممکن است باعث افزایش مقاومت حشرات یا علف‌های هرز گردد (Martini *et al.*, 2012; Renton *et al.*, 2014).

کاغذهای حساس به آب از ۳۵ سال پیش تا کنون برای سنجش اندازه قطره‌های سم و بررسی توزیع پاشش استفاده می‌شوند (Ciba-Geigy Limited, 1985). در پژوهش‌های

جدول ۱- طبقه‌بندی سمپاش‌ها بر اساس مشخصه قطر قطره‌ها (Matthews et al., 2014)

Table 1- Classification of sprayers based on the characteristic of droplets diameter (Matthews et al., 2014)

VMD (μm)	نوع سمپاش Spraying term	
10-30	Fog	مه‌پاش
31-50	Aerosol	گردپاش
51-100	Very small size spraying	سمپاشی با حجم پاشش بسیار کم
101-200	Small size spraying	سمپاشی با حجم پاشش کم
201-400	Medium size spraying	سمپاشی با حجم پاشش متوسط
>400	Large size spraying	سمپاشی با حجم پاشش زیاد

جدول ۲- اندازه بهینه قطره‌ها بر اساس هدف سمپاشی (Matthews et al., 2014)

Table 2- Optimum droplet size based on spraying target (Matthews et al., 2004)

VMD (μm)	سطوح هدف و نوع سم	
10-50	Flying insects (insecticides)	حشرات بالدار (حشره‌کش‌ها)
30-50	Insects on the leaves (insecticide)	حشرات روی برگ‌ها (حشره‌کش‌ها)
40-100	Leaf surfaces (fungicide)	سطوح برگ (قارچ‌کش‌ها)
250-500	Ground spraying (herbicide)	سطح زمین (علف‌کش‌ها)

مواد و روش‌ها

مشخصات سمپاش‌ها

جدول ۳ مشخصات سه مدل سمپاش، ULV3، ULV3 Plus و ULV5 (ساخت شرکت سپاهان دلتا - ایران) ارزیابی شده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. فناوری تولید قطره‌ها در این سه مدل سمپاش متفاوت است.

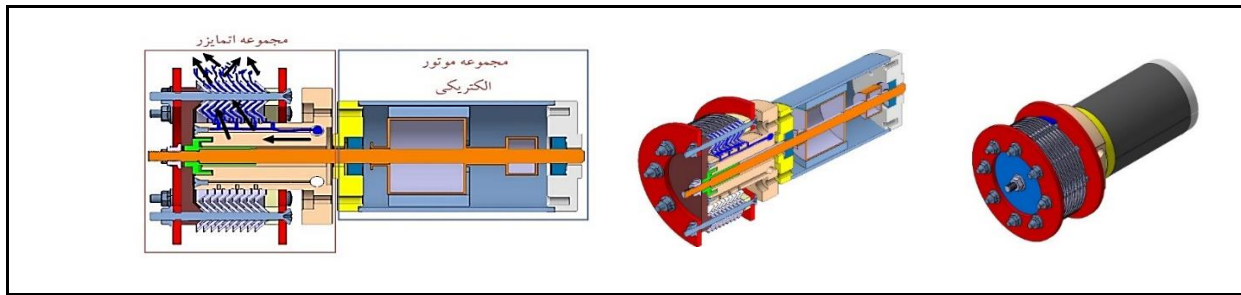
اتمایزر سمپاش مدل ULV3

شکل ۱ نحوه عملکرد اتمایزر سمپاش ULV3 را نشان می‌دهد. در این مدل، پره‌ها با یک موتور الکتریکی به چرخش درمی‌آیند و سم با فشار به درون محفظه سر اتمایزر تزریق می‌شود (شکل ۱). زمانی که موتور الکتریکی شروع به چرخش می‌کند، پره‌ها با سرعت ۷۰۰۰ دور در دقیقه

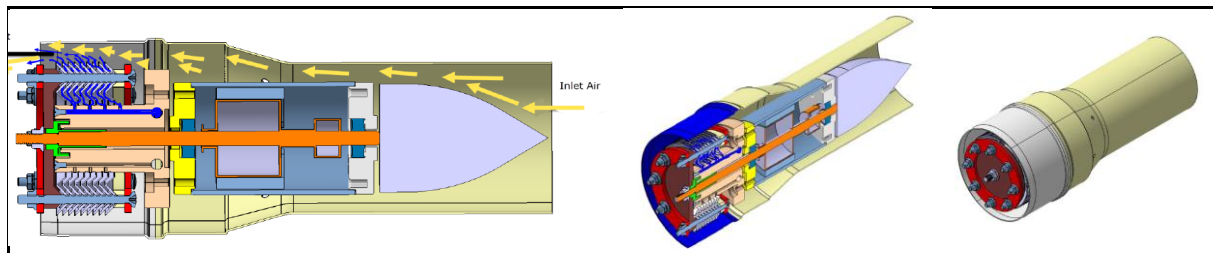
می‌چرخند. در ادامه مسیر حرکت، سیال به لبه دیسک‌ها می‌رسد و با نیروی گریز از مرکز به اطراف پخش می‌شود.

اتمایزر سمپاش مدل ULV3 Plus

اتمایزر استفاده شده در این مدل سمپاش از ترکیب جریان هوا و توان الکتریکی برای پاشش سموم مایع بهره برده است (شکل ۲). در اتمایزرهای الکتریکی-بادی، قسمت سر اتمایزر با نیروی الکتریکی به حرکت درمی‌آید و جریان هوا کمک می‌کند تا قطره‌های تولید شده توسط اتمایزر به مسافت دورتری پرتاب شوند. هوا در حین خروج سم از لبه پره‌ها، با سرعت به داخل اتمایزر رانده می‌شود و با خروج هوا، سیال که اکنون به قطرات ریز تبدیل شده است، به بیرون پرتاب می‌شود.



شکل ۱- مدل سه بعدی به همراه نمای برش خورده از اتمایزر سمپاش ULV3 و نمایش مسیر جریان خروجی
 Fig. 1- 3D model with a cross-sectional view of ULV3 sprayer atomizer and the flow path presentation

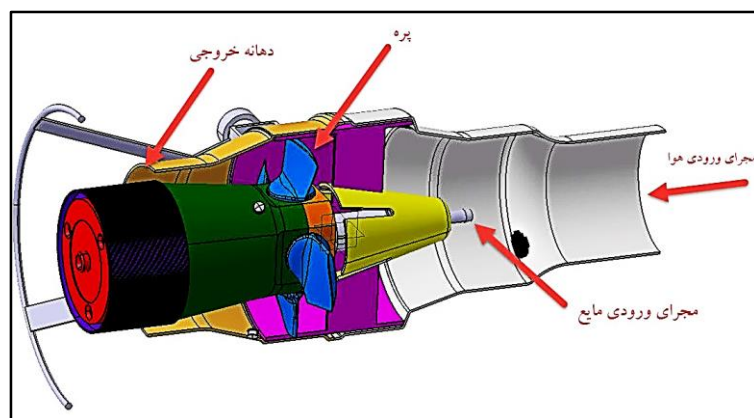


شکل ۲- مدل سه بعدی به همراه نمای برش خورده از اتمایزر سمپاش ULV3 Plus و نمایش مسیر جریان خروجی
 Fig. 2- 3D model with a cross-sectional view of ULV3 Plus sprayer atomizer and the flow path presentation

اتمایزر سمپاش مدل ULV5




در این مدل، در بخشی از مسیر هوای ورودی، سطح مقطع کاهش می‌یابد. در نتیجه سرعت هوای عبوری افزایش و فشار هوا کاهش می‌یابد. سیال در همین نقطه از مسیر به داخل جریان هوا وارد می‌شود و به دلیل سرعت زیاد هوا، به شکل قطره‌های ریز درمی‌آید و به کمک پره‌ها به سمت بیرون پرتاب می‌شود.

شکل ۳ نحوه عملکرد این نوع اتمایزر را نشان می‌دهد. در این نوع اتمایزر، جریان هوا از قسمت عقب وارد تونل ورودی می‌شود و زمانی باعث چرخش محور مرکزی و مکانیزم پاشش می‌گردد که به پره‌های داخلی این بخش برخورد می‌کند.



شکل ۳- نمای برش خورده از اتمایزر سمپاش ULV5
 Fig. 3- A cross-sectional view of ULV5 sprayer atomizer

جدول ۳- ویژگی‌های سه سمپاش ULV3، ULV3 plus و ULV5
Table 3- Specifications of the three ULV3, ULV3 plus and ULV5 sprayers

ULV5	ULV3 plus	ULV3	مدل سمپاش Sprayer Model
			
بادی Pneumatic	الکتریکی Electrical	الکتریکی Electrical	منبع توان چرخشی اتمایزر Atomizer rotational power source
3000-5000	4500-7400	4500-7400	محدوده سرعت اتمایزر (دور در دقیقه) Atomizer speed range (rpm)
120	120	120	ظرفیت مخزن (لیتر) Tank capacity (Liter)
1420 × 820 × 1540 (mm)	1420 × 820 × 1540 (mm)	1100 × 550 × 1540 (mm)	ابعاد دستگاه (طول × عرض × ارتفاع) Dimension (Length × Wide × Height)
دنده‌ای مغناطیسی Magnetic gear pump	دنده‌ای مغناطیسی Magnetic gear pump	دنده‌ای مغناطیسی Magnetic gear pump	نوع پمپ Pump type
1.8	1.8	1.8	حداکثر دبی پمپ (لیتر بر دقیقه) Maximum Flow rate (L/min)
0.1	0.1	0.1	حداقل دبی پمپ (لیتر بر دقیقه) Minimum Flow rate (L/min)
2000	2000	----	جریان هوای دمنده (مترمکعب در ساعت) Blowing air flow (m ³ /hr)
12 KW (16HP)	12 KW (16 HP)	----	توان موتور احتراق داخلی Internal combustion engine power

- تمامی دسته‌ها و دستگیره‌ها باید حداقل ۳۰۰ میلی‌متر از محل لولاها فاصله داشته باشند.
- اتصالات هیدرولیکی باید از نوع قفل شونده و چفت و بست^۱ باشند.
- سیستم پرکننده مخزن باید ایمن باشد و در میزان پرشدگی توصیه شده توسط شرکت سازنده، به سادگی پر شود و پاشش و سرریزش نداشته باشد.
- در شرایط کاری سمپاشی با فشار و میزان سمپاشی پیشنهاد شده، سمپاش چکه نکند.
- به سادگی از خارج و داخل تمیز شده و در طراحی سمپاش از ایجاد سطوح ناهموار پرهیز شود.
- روی سطح خارجی سمپاش محلی برای تجمع سم وجود نداشته باشد.

روش آزمون برای سمپاش‌های ULV پشت و انتی بر اساس راهنمای حداقل‌های FAO

حداقل ملزومات یک سمپاش ULV: از نظر راهنمای حداقل‌های FAO، سمپاش‌ها باید ایمن، قابل اطمینان و با کیفیت کاری بالا باشند و از موادی مقاوم به سایش، خوردگی و زنگ زدگی ساخته شوند. از این رو مطابق با راهنمای FAO (Anon, 2001):
- سمپاش باید به شکل کاملاً ایمن به خودرو متصل شود.
- تجهیزات انتقال قدرت باید به اندازه کافی محافظت شده باشند و هیچ قطعه متحرکی در تماس با کاربر قرار نگیرد.

1- Snap-Fit

مدام) بدون اینکه نیازی به تعویض یا تعمیر قطعات داشته باشد. گستره اندازه قطره‌هایی که توسط اتمایزر ایجاد می‌شوند باریک باشد و در ۵۰ درصد تجمعی بین ۵۰ تا ۱۰۰ میکرومتر قرار گیرد.

اندازه‌گیری ظرفیت پمپ

برابر راهنمای FAO، ظرفیت پمپ باید حداقل به اندازه ۹۰ درصد ظرفیت اسمی اعلام شده توسط شرکت سازنده، باشد. مدار اندازه‌گیری ظرفیت پمپ در شکل ۴ نشان داده شده است. در این روش آزمون، برای اندازه‌گیری ظرفیت پمپ، فشارسنج و شیر کنترل جریان در مسیر دهش پمپ قرار داده شد. در ابتدا شیر کنترل جریان کاملاً باز شد تا حداکثر جریان خروجی از پمپ حاصل شود. برای مدتی پمپ در این وضعیت کار کرد و اجازه داده شد جریان اندازه‌گیری شده با جریان سنج به مقدار یکنواختی برسد. سپس در ۱۲ مرحله مطابق با درجات مندرج روی شیر کنترل جریان، جریان خروجی از پمپ محدود شد و فشار مرتبط با هر جریان ثبت گردید (Haman & Zazueta, 2011).

لبه‌های تیز و نواحی ساییده که ممکن است باعث آسیب به اپراتور گردد، روی سمپاش وجود نداشته باشد.

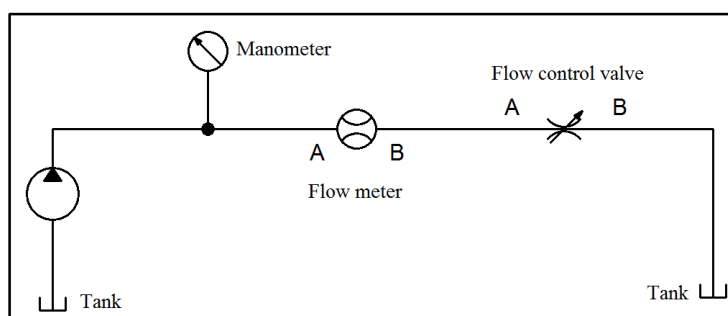
تمامی اجزا که در تماس مستقیم با سم قرار دارند از موادی ساخته شوند که قابلیت جذب سم را ندارند.

اجزائی که به طور مستقیم در مقابل نور آفتاب قرار می‌گیرند، باید از موادی ساخته شوند که دچار خرابی بی‌دلیل نگردند (محافظت UV).

به منظور تبعیت از راهنمای FAO، در دهانه پرکن مخزن باید یک صافی با بیشینه مش ۱ میلی‌متر نصب شود. مخزن باید با نشانگر سطح سیال تجهیز شود، فاصله بین اندازه‌های نشانگر از ۲۰ درصد حجم اسمی مخزن بیشتر نباشد.

پمپ در این نوع سمپاش‌ها باید ظرفیت کافی برای تأمین مقدار سم مورد نیاز را در سرعت پیشنهاد شده داشته باشد و قادر باشد در ۲۰ درصد بالاتر از فشار کاری پیشنهاد داده شده توسط سازنده کار کند.

اتمایزر باید بتواند ۵۰ ساعت در بیشینه سرعت کار کند (در طول ده روز و هر روز ۵ ساعت به طور



شکل ۴- مدار اندازه‌گیری ظرفیت پمپ

Fig. 4- Pump capacity measurement circuit

کردن موتور DC متوقف شد و در زیر آن ظرف مدرجی با قابلیت اندازه‌گیری حجم یک لیتر با حداکثر خطای ۱۰ میلی‌لیتر قرار داده شد.

اندازه‌گیری دبی خروجی از اتمایزر

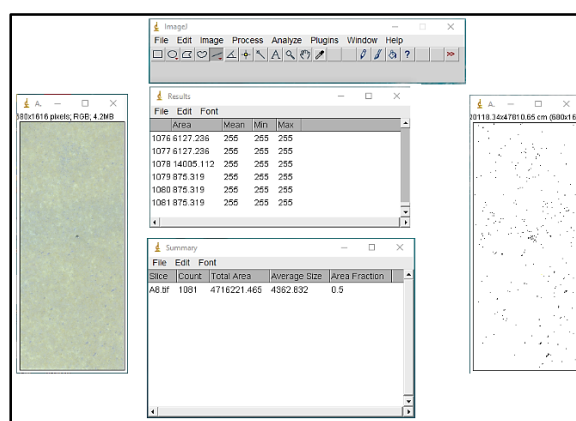
برای اندازه‌گیری دبی خروجی از اتمایزر، حرکت چرخشی اتمایزر با خاموش

مختلفی وجود دارد که یکی از عملیاتی‌ترین و باصرفه‌ترین این روش‌ها به کارگیری کاغذهای حساس به آب است. این کاغذها آغشته به محلول برموفنل آبی است که به محض برخورد قطره‌های حاوی آب با سطح کاغذ، لکه‌های آبی رنگ ناشی از یونیزه شدن رنگ اصلی بر سطح کاغذ پدیدار می‌شود (Maghsoudi, 2013). در این آزمون، از نرم‌افزار ImageJ استفاده شد که توسط موسسه ملی سلامت ایالات متحده ارائه شده است (شکل ۵). این نرم‌افزار به کمک روش‌های پیشرفته پردازش تصویر، اثر قطره‌های پاشیده شده بر کاغذهای حساس به آب را می‌سنجد (Zhu et al., 2011).

برابر راهنمای FAO، بین مقدار خروجی اندازه‌گیری شده و جریان اسمی ذکر شده توسط سازنده، نباید بیش از ۵ درصد اختلاف وجود داشته باشد. در این مرحله از آزمون، اثر چهار سطح پرشدگی مخزن (۱۲۰، ۱۰۰، ۶۰ و ۱۵ لیتر) و اثر ۱۰ سطح دبی پمپ، که توسط کنترلر دستگاہ قابل تغییر بود، بر دبی خروجی از اتمایزر بررسی شد.

بررسی قطره‌های پاشش

به منظور ثبت الگوی پخش قطره‌های پاشیده شده و تعیین اندازه آنها، روش‌ها و نظریه‌های



شکل ۵- نرم افزار ImageJ

Fig. 5- ImageJ software

در این ۵۰ درصد فراوانی قرار دارند اندازه قطر میانگین و عددی نیز تعیین می‌شود. عواملی مانند گسترش و هم‌پوشانی، دقت اندازه‌گیری با کاغذهای حساس به آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Longo et al., 2020). فاکتور گسترش نسبت بین قطر لکه ایجاد شده روی کاغذ حساس به آب و اندازه حقیقی قطره است که در اغلب موارد ثابت فرض می‌شود و توسط تولیدکنندگان کاغذهای حساس به آب گزارش می‌گردد (جدول ۳).

در این نرم‌افزار ابتدا از کاربر خواسته شده تا تصویر دیجیتال کاغذ حساس به آب با ریزبینی بالای ۶۰۰ dpi را بارگذاری کند. پس از آن، کاربر ناحیه‌ای را تعیین می‌کند که قرار است تعداد قطره‌های آن و مساحت هر قطره اندازه‌گیری شود. پارامترهایی که با نرم‌افزار تخمین زده می‌شوند عبارت‌اند از سطح هر لکه، قطر هر قطره، درصد پوشش سطح کاغذ توسط قطره‌ها. همچنین، با تشکیل جدول فراوانی و تعیین قطر قطره‌هایی که

جدول ۳- فاکتور گسترش (Beyaz et al., 2017)

Table 3- Spreading factor (Beyaz et al., 2017)

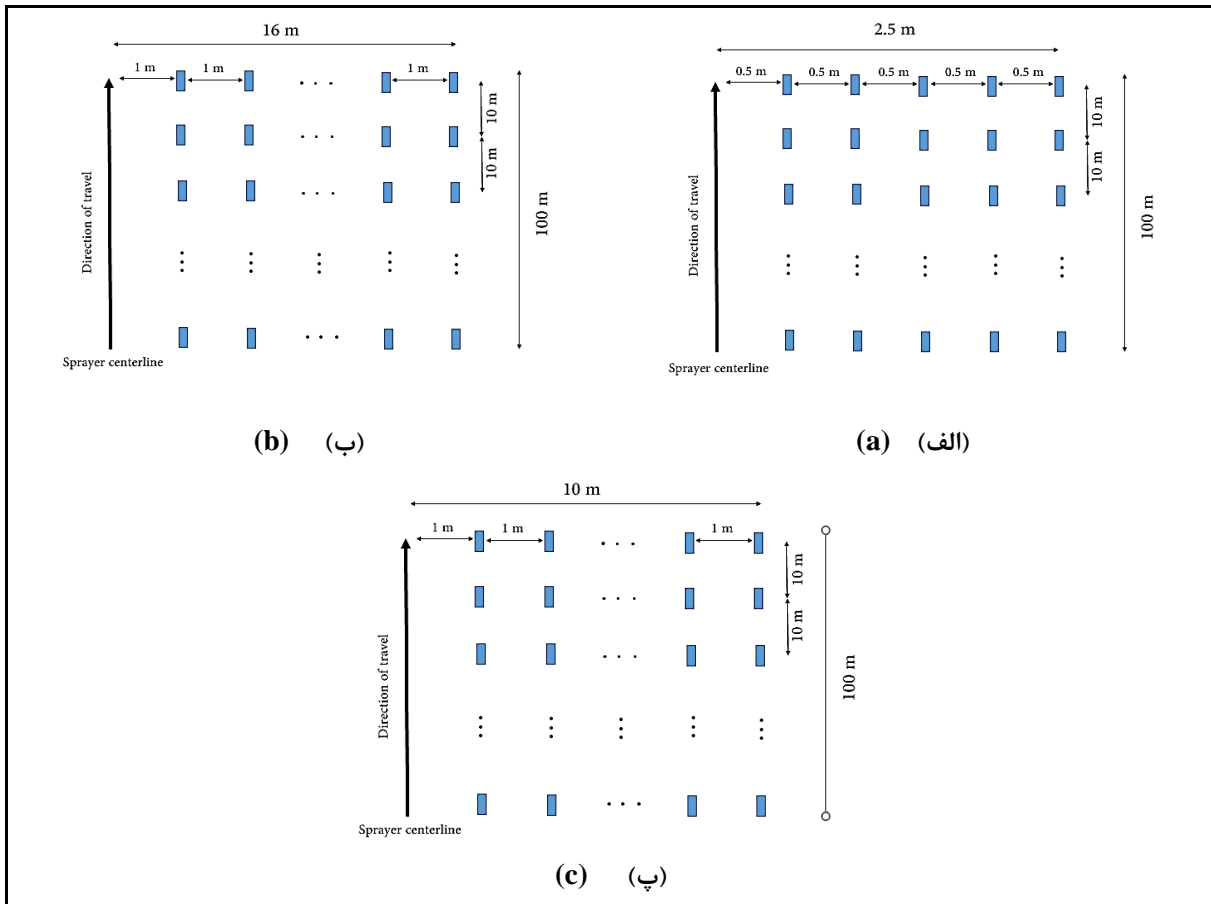
فاکتور گسترش Spreading factor	قطر قطرات (μm) Droplet diameter (μm)
1.7	100
1.8	200
1.9	300
2	400
2.1	500
2.1	600

بررسی پاشش عرضی سمپاش

در ابتدا برد پاشش هر سمپاش به کمک سنجش استاتیکی یعنی شرایطی تعیین شد که خودرو ساکن بود و دستگاه پاشش را انجام می‌داد. پس از آن، به منظور ثبت قطره‌های پاشش، با توجه به متفاوت بودن عرض‌های پاشش، سه آرایش برای قرارگیری کاغذهای حساس به آب در نظر گرفته شد (شکل ۶). در ۱۰ ردیف که فاصله ردیف‌ها از هم ۱۰ متر بود با فواصلی بین نیم تا یک متر، کاغذهای حساس به آب قرار داده شد. سمپاشی از فاصله ۳۰ متری قبل از فضای در نظر گرفته شده شروع و سرعت حرکت خودرو ۴ کیلومتر بر ساعت مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۰۴۸۹ تعیین شد. سرعت وزش باد ۰/۱ متر بر ثانیه، رطوبت نسبی هوا ۱۹ درصد و دمای هوای محیط ۲۸/۸ درجه سلسیوس گزارش شد. پیش از آزمون، تمامی تنظیمات سمپاش مطابق با توصیه شرکت سازنده و روی بیشینه میزان سمپاشی، بیشینه سرعت چرخشی اتمایزر و بیشینه سرعت فن اجرا و مخزن با آب به اندازه ظرفیت اسمی پر شد. به هنگام آزمون، زاویه اتمایزر در سمپاش‌های ULV3 plus و ULV5 تا بیشینه حد به سمت چیدمان کاغذهای حساس به آب متمایل گردید.

بررسی ارتفاع پاشش سمپاش

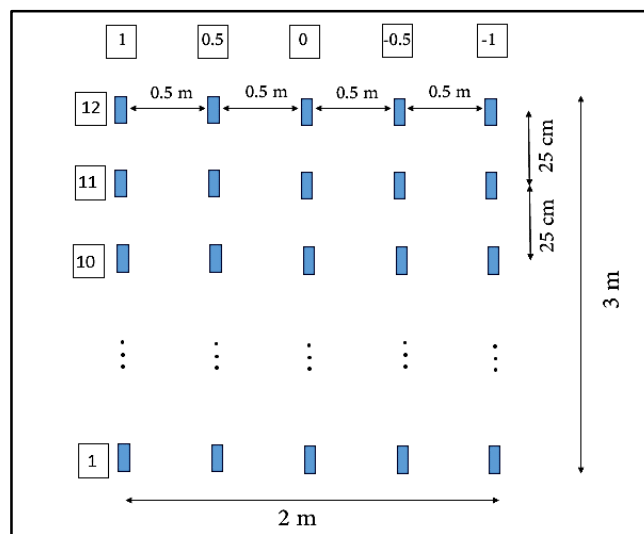
شکل ۷ طرح‌واره‌ای از نحوه قرارگیری کاغذهای حساس به آب را برای ارزیابی توزیع عمودی پاشش نشان می‌دهد. در این آرایش روی یک صفحه عمودی ۳ متری کاغذهای حساس به آب روی ۵ ستون که از هم به اندازه ۰/۵ متر فاصله داشتند، قرار داده شد. فاصله بین کاغذها روی هر ستون ۲۵ سانتی‌متر بود. سمپاشی از فاصله ۳۰ متری پیش از صفحه عمودی شروع شد. بر حسب نوع سمپاش و عرض پاشش، فاصله صفحه عمودی تا محور سمپاشی متغیر در نظر گرفته شد تا ارتفاع پاشش هر سمپاش قابل ارزیابی باشد. در این مرحله از آزمون، خودرو با سرعت ۴ کیلومتر بر ساعت (مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۰۴۸۹) از مقابل صفحه عمودی حرکت کرد. در روز آزمون، سرعت وزش باد، ۰/۱ متر بر ثانیه، رطوبت نسبی هوا، ۱۹ درصد و دمای هوا ۳۲/۲ درجه سلسیوس گزارش شد. پیش از آزمون، مطابق با توصیه شرکت سازنده و بر حسب نوع سمپاش میزان سمپاشی، سرعت چرخشی اتمایزر و سرعت فن روی بیشینه تنظیم شد و مخزن با آب تا ظرفیت اسمی پر شد. همچنین در حین آزمون زاویه اتمایزر در سمپاش‌های ULV3 plus و ULV5 تا بیشینه حد به سمت صفحه عمودی متمایل شد.



شکل ۶- نحوه آرایش کاغذهای حساس به آب برای سنجش پاشش عرضی

(الف سمپاش ULV3، ب سمپاش ULV3 plus و پ سمپاش ULV5)

Fig. 6- Water sensitive papers arrangements for evaluating the transverse distribution pattern of a) ULV3, b) ULV3 plus and c) ULV5 sprayers



شکل ۷- نحوه آرایش کاغذهای حساس به آب برای سنجش ارتفاع پاشش

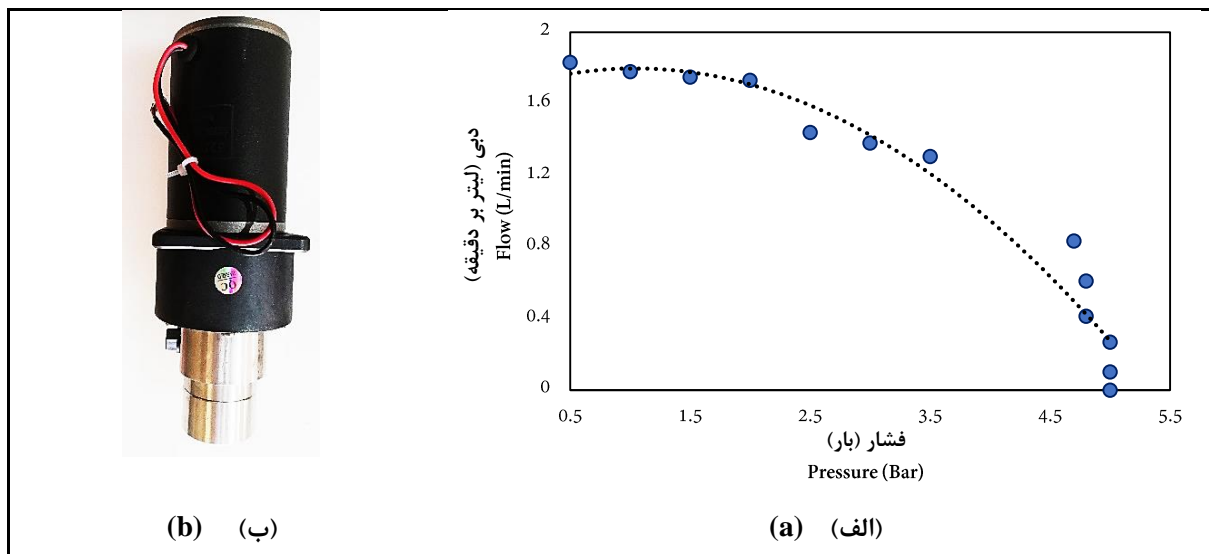
Fig. 7- Water sensitive papers arrangement for evaluating height of spraying

نتایج و بحث

نتایج آزمون ظرفیت پمپ

دقیقه گزارش شد. پمپ به کار رفته در تمامی سمپاش‌های مورد بررسی یکسان بود و مطابق با استاندارد حداقل‌های FAO تشخیص داده شد. ظرفیت این نوع پمپ دنده‌ای در حدود ۲ درصد بالاتر از ظرفیت اسمی اعلام شده توسط سازنده (۱/۸ لیتر بر دقیقه) گزارش شد.

در آزمون بررسی ظرفیت پمپ، همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، بیشینه فشاری کاری پمپ ۵ بار اندازه‌گیری شد. بیشینه دبی پمپ در فشار نیم‌بار به میزان ۱/۸۳ لیتر بر



شکل ۸- الف) نمودار دبی-فشار پمپ و ب) پمپ دنده‌ای مغناطیسی
Fig. 8- a) Flow-pressure diagram and b) Magnetic gear pump

نکته است). قطعا استفاده از زمان‌سنج و ظرف مدرج منجر به بروز خطا در مقادیر گزارش شده می‌گردد. اما سعی شد با تکرار و میانگین‌گیری از داده‌ها تا حد ممکن خطا کاهش یابد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که با کاهش حجم پرشدگی مخزن جریان خروجی از اتمایزر افزایش می‌یابد. با کاهش حجم پرشدگی مخزن، هوا جایگزین آن می‌شود و فشار هوای بالای مایع به خروج بهتر سم از مخزن کمک می‌کند.

نتایج بررسی دبی خروجی از اتمایزر

مطابق با جدول ۴، میانگین دبی خروجی از اتمایزر ۱/۸۴ لیتر بر دقیقه است. قابلیت اطمینان دبی خروجی پارامتر مهم دیگری در ارزیابی پمپ‌هاست. از مقایسه مقادیر دبی خروجی به ازای حجم‌های متفاوت پرشدگی مخزن در جدول ۴، می‌توان مشاهده کرد که دبی خروجی از اتمایزر، صرف‌نظر از حجم سم داخل مخزن، یکنواخت است (کوچک بودن مقادیر انحراف معیار داده‌ها موید این

جدول ۴- نتایج اندازه‌گیری دبی خروجی از اتمایزر

Table 4- Results of measuring flow rate from the atomizer

دبی (لیتر بر دقیقه) Flow rate (L/min)										درجه بندی کنترلر
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Controller rating
1.80	1.67	1.53	1.30	1.07	0.89	0.75	0.55	0.34	0.10	حجم پر شدگی مخزن : ۱۲۰ لیتر Tank filling volume: 120 Liters
1.82	1.8	1.53	1.38	1.17	0.92	0.77	0.58	0.35	0.12	حجم پر شدگی مخزن : ۱۰۰ لیتر Tank filling volume: 100 Liters
1.87	1.76	1.55	1.36	1.14	0.95	0.77	0.59	0.36	0.12	حجم پر شدگی مخزن : ۶۰ لیتر Tank filling volume: 60 Liters
1.9	1.73	1.6	1.4	1.17	0.95	0.76	0.57	0.34	0.10	حجم پر شدگی مخزن : ۱۵ لیتر Tank filling volume: 15 Liters
1.84	1.74	1.55	1.36	1.13	0.93	0.76	0.57	0.35	0.11	میانگین Average
0.04	0.05	0.03	0.04	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	انحراف معیار Standard deviation

نتایج بررسی اندازه قطره‌های پاشش

اما خطر بادبردگی همواره وجود خواهد داشت (Nuyttens *et al.*, 2011). شواهد نشان داده است که قطره‌های با قطر بیش از ۱۰۰ میکرومتر روی زمین‌های بایر اطراف سمپاش می‌ریزند و تأثیری بر آفات مهاجم نخواهند گذاشت. ذرات کوچک‌تر از ۵۰ میکرومتر هم در اثر بادبردگی از ناحیه هدف دور می‌شوند و عملکرد مؤثری در مبارزه با آفات ندارند.

نتایج حاصل از بررسی اندازه قطره‌های پاشش برای سه سمپاش مورد مطالعه در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، قطره‌های تولید شده توسط اتمایزر سمپاش ULV3 Plus به نسبت دو سمپاش دیگر کوچک‌ترند (قطر میانه حجمی ۵۱ میکرومتر). در این نوع سمپاش توان چرخشی اتمایزر توسط یک موتور الکتریکی تأمین می‌شود که با سرعت ۷۰۰۰ دور در دقیقه می‌چرخد و جریان باد کمک می‌کند تا قطره‌ها پس از جدایی از اتمایزر مجدداً به هم نچسبند و بتوانند مسافت طولانی‌تری در هوا طی کنند. پس از سمپاش ULV3 Plus، سمپاش ULV5 قرار می‌گیرد

پژوهش‌های گذشته نشان داده است که برای مبارزه با حشرات مهاجمی مانند ملخ صحرائی، سمپاشی با قطره‌هایی به قطر میانه حجمی ۷۰ تا ۹۰ میکرومتر مؤثر خواهد بود (Symmons *et al.*, 1989). در پژوهش دیگری برای مبارزه با ملخ صحرائی، پیشنهاد شده قطر میانه حجمی قطره‌های سم تولیدی باید کوچک‌تر از ۳۰ میکرومتر باشد تا مدت طولانی‌تری در فضا بماند و حشرات در حال پرواز را هم تحت تأثیر قرار دهد (Schick, 1997). در مواردی دیگر، قطر میانه حجمی کمتر از ۵۰ میکرومتر گزارش شده است (Hoffmann *et al.*, 2008; Hoffmann *et al.*, 2012; Anon, 2006a, 2006b). تعیین اندازه دقیق قطره‌ها به سرعت باد و ارتفاع پاشش بستگی دارد و هدف از سنجش آن کاهش بادبردگی یا ریزش روی سطح زمین است. تحقیقات نشان داده است اگر اندازه قطره‌ها کوچک باشند ناحیه هدف با کیفیت بهتری پوشش داده می‌شود (Cawood *et al.*, 1995)

قطره‌ها کوچک‌تر باشند دقت تشخیص اندازه آنها به کمک روش‌های پردازش تصویر دشوارتر خواهد بود (Zhu et al., 2011). پژوهش‌های گذشته نشان داده است زمانی که رزولوشن اسکنر روی dpi ۶۰۰ تنظیم شود، اگر نقطه‌ای به قطر ۵۰ میکرومتر باشد نرم‌افزار اندازه آن را ۹۵ میکرومتر گزارش خواهد کرد. همچنین قطره‌ای به قطر ۱۰۰ میکرومتر را ۱۶۵ میکرومتر اندازه‌گیری خواهد کرد (Salyani et al., 2013). همان‌طور که پیش‌تر بیان شد علاوه بر رزولوشن اسکنر، ضریب گسترش هم در تخمین اندازه قطره‌ها تأثیرگذار است. در پژوهش حاضر، مطابق با جدول ۳، با توجه به محدوده اندازه قطره‌ها (کمتر از ۱۰۰ میکرومتر)، ضریب گسترش برابر با ۱/۷ انتخاب شد.

که توان چرخشی اتمایزر آن صرفاً با باد تأمین می‌شود. تفاوتی که در اندازه قطره‌های خروجی از این دو سمپاش مشاهده می‌شود به دلیل سرعت چرخشی پایین‌تر اتمایزر سمپاش ULV5 است (قطر میانه حجمی ۵۴ میکرومتر).

پژوهش‌های گذشته نشان داده است، درصد پوشش کاغذهای حساس به آب بر دقت سنجش اندازه قطره‌ها تأثیرگذار است. میزان پوشش اگر بیشتر از ۲۰ درصد باشد، نتایج قابل اطمینان نیستند و اگر نزدیک ۷۰ درصد باشد، تخمین اندازه قطره‌ها ناممکن است (Fox et al., 2003).

علاوه بر درصد پوشش، محدودیت رزولوشن اسکنرها هم از عوامل اثرگذار بر دقت سنجش اندازه قطره‌هاست. گزارش شده که هرچه

جدول ۵- مقایسه اندازه قطره‌های پاشش

Table 5- Comparison of the size of spray droplets

تعداد قطرات در cm^2 Number of droplets per cm^2	ضریب یکنواختی پاشش VMD/NMD	قطر میانه حجمی (میکرومتر) VMD (μm)	قطر میانه عددی (میکرومتر) NMD (μm)	نوع سمپاش Sprayer Model
80	1.86	54	29	ULV5
139	2.07	58	28	ULV3
68	1.82	51	28	ULV3 Plus

(۱/۸ لیتر بر دقیقه) تعداد قطره‌ها در هر سانتی‌متر مربع بالاتر از میزان مورد نیاز برای مبارزه با آفات مهاجم که در حدود ۲۰ قطره در سانتی‌متر مربع است (Matthews et al., 2014) گزارش گردید (جدول ۵).

در شکل ۹ میانگین درصد پوشش کاغذهای حساس به آب نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین عرض پاشش را سمپاش ULV3 Plus دارد. در این مرحله از آزمون، حرکت رو به جلو خودرو و وزش باد، خروجی اتمایزر را به سمت عقب خودرو هدایت و از کاغذهای

نتایج بررسی پاشش عرضی

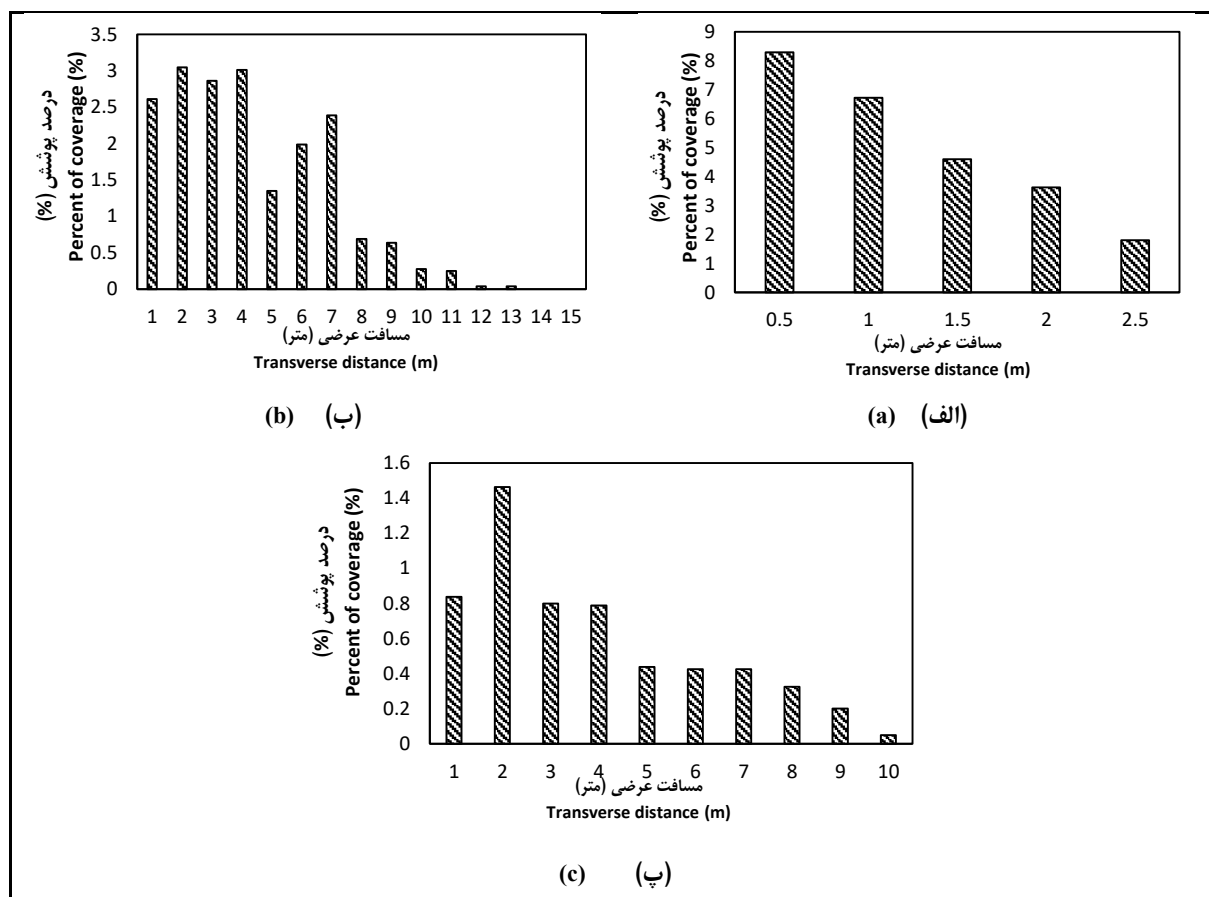
گزارش تعداد قطره در سطح برای مبارزه با آفات اهمیت دارد. در پژوهش حاضر درصد پوشش سطح و تعداد قطره‌ها در سانتی‌متر مربع گزارش شده است. درصد پوشش نمی‌تواند بیانگر میزان کاربرد سم بر اساس لیتر در هکتار باشد، اما می‌تواند یکنواختی پاشش در طول و عرض را مشخص کند. تعداد قطره‌ها در هر سانتی‌متر مربع وابسته است به طیف اندازه قطره‌های تولیدی توسط هر سمپاش و میزان سمپاشی. از آنجا که برای اجرای آزمایش‌ها بیشینه میزان خروجی از اتمایزر در نظر گرفته شد

حرکت خودرو بر انحراف قطره‌های پاشیده شده از موضع هدف، استفاده از آشکارساز الگوی عمودی میسر نشد. شکل ۱۱ تخمینی از الگوی پاشش سه مدل سمپاش مورد ارزیابی را نشان می‌دهد. بیشینه ارتفاع پاشش هر سه مدل سمپاش، متناسب با ارتفاع دکل محل نصب اتمایزر و در حدود ۳ متر است. در مدل ULV3 Plus ارتفاع پاشش با افزایش فاصله عرضی با شدت بیشتری نسبت به مدل ULV5 کاهش یافت، به نحوی که با افزایش فاصله عرضی از ۴ متر به ۶ متر، ارتفاع پاشش به کمتر از یک چهارم کاهش یافت و در فاصله ۱۰ متری از محور پاشش، تنها آثار مختصری روی ردیف‌هایی در پایین صفحه آشکارساز عمودی ثبت شد.

حساس به آب دور می‌کرد. بنابراین، به منظور ثبت قطره‌های پاشش هر یک از سمپاش‌ها با توجه به عرض پاشش استاتیکی آنها، آرایش کاغذهای حساس به آب تغییر داده شد تا توزیع عرضی پاشش ثبت شود.

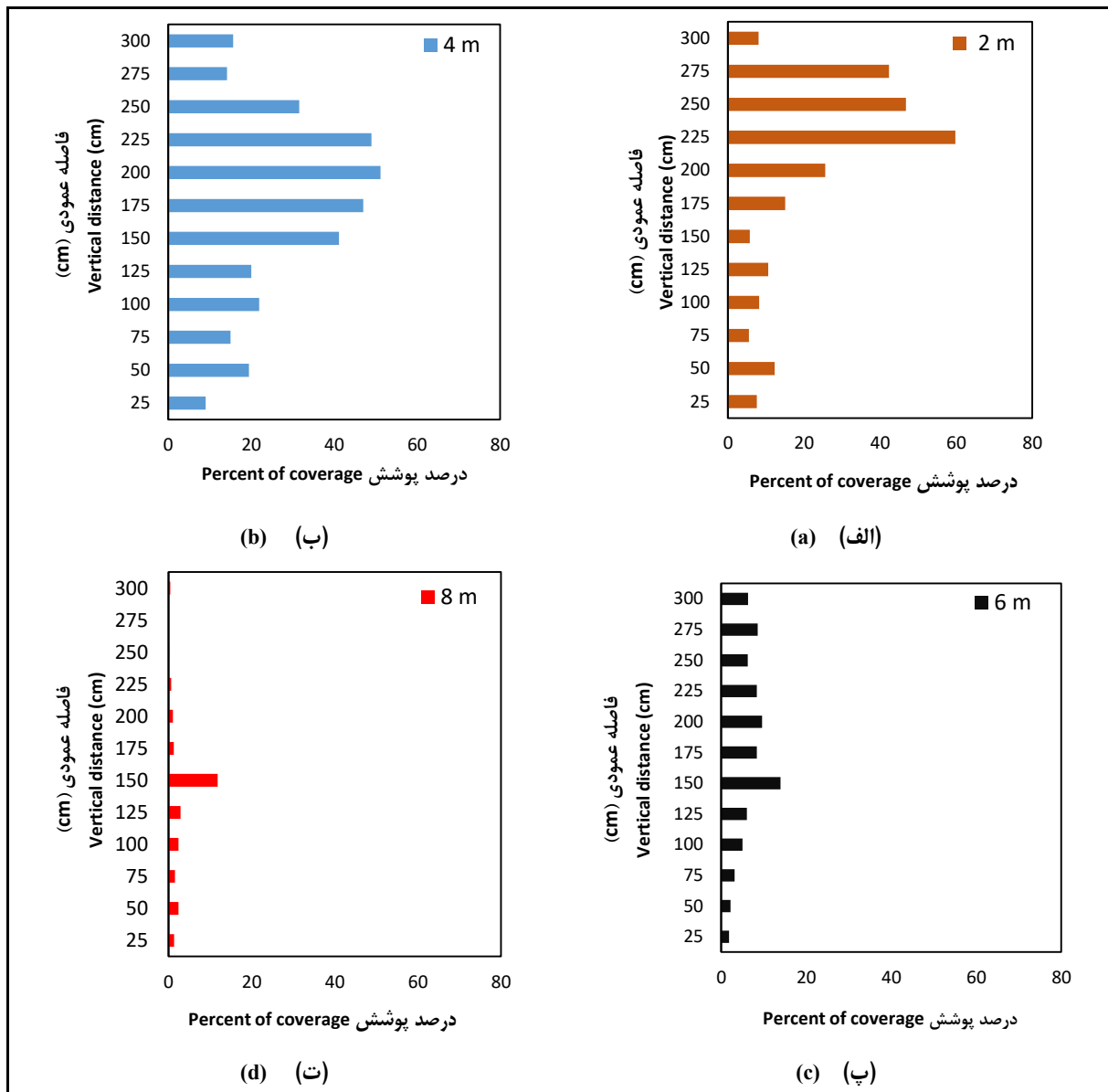
نتایج بررسی ارتفاع پاشش

شکل ۱۰ پاشش عمودی را برای سمپاش مدل ULV5 نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در شرایطی که نازل تا صفحه آشکارساز عمودی در حدود ۲ متر فاصله دارد، ارتفاع پاشش به ۳ متر می‌رسد. اما با افزایش فاصله در حدود ۸ متر، ارتفاع پاشش به نصف یعنی ۱/۵ متر کاهش می‌یابد. در مدل ULV3 به دلیل عرض پاشش کمتر و تأثیر



شکل ۹- نمودارهای میانگین توزیع عرضی پاشش برای سمپاش‌های الف) ULV3، ب) ULV3 Plus و پ) ULV5

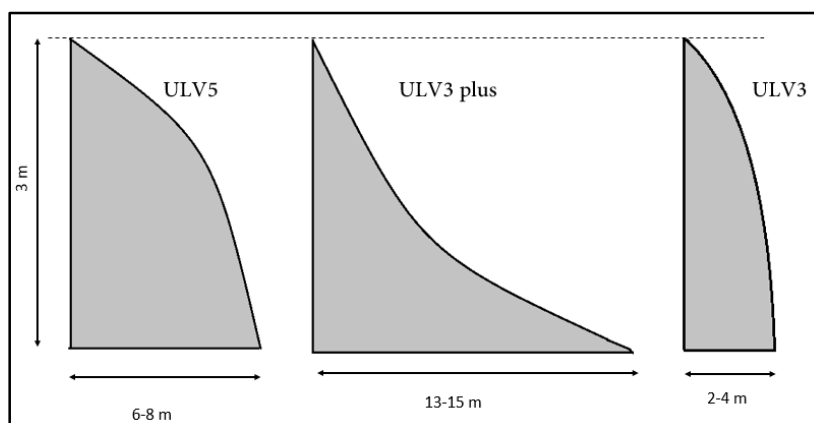
Fig. 9- The average of transverse distribution of a) ULV3, b) ULV3 Plus and c) ULV5 sprayers



شکل ۱۰- نمودارهای میانگین پاشش عمودی برای سمپاش ULV5 در فاصله‌های عرضی الف) ۲، ب) ۴، پ) ۶

و ت) ۸ متری نسبت به صفحه آشکارساز عمودی

Fig. 10- The vertical distribution pattern diagrams of ULV5 sprayer at transverse distances of a) 2, b) 4, c) 6 and d) 8 meters from the vertical patternator



شکل ۱۱- پروفیل‌های توزیع پاشش
Fig. 11- Spraying distribution profiles

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر نتایج زیر حاصل شد:

- طرح کلی و مشخصات فنی سمپاش‌ها مطابق با راهنمای حداقل‌های FAO گزارش شد.
- دبی خروجی از اتمایزر از آنچه سازنده در دفترچه راهنمای دستگاه اعلام داشته (در بیشینه حالت ۱/۸ لیتر بر دقیقه) بیشتر است و طبق نمودار دبی- فشار پمپ، بیشینه دبی خروجی از پمپ ۱/۸۳ لیتر بر دقیقه اندازه‌گیری شد.
- پارامتر دیگری که در بررسی عملکرد پمپ‌ها بیان می‌شود قابلیت اطمینان دبی خروجی است. ارزیابی‌ها نشان داد که دبی خروجی از اتمایزرها، صرف‌نظر از حجم سم داخل مخزن، یکنواخت است.
- اندازه قطره‌ها برای سمپاش‌هایی که در مبارزه با آفات مانند ملخ صحرایی کاربرد دارند، معیار اصلی ارزیابی است. هر اندازه این نوع سمپاش‌ها بتوانند قطره‌هایی با اندازه کوچک‌تر تولید کنند، باد آنها را به فاصله‌های دورتر انتقال خواهد داد. سمپاش‌های تجاری همواره طیفی از اندازه قطره‌ها تولید می‌کنند، در مورد سمپاش‌های مورد مطالعه در این پژوهش نیز، طیف قطره‌های تولیدی، محدوده‌ای بین ۲۰ تا ۵۰۰ میکرومتر را شامل می‌شود. با توجه به معیار

قطر میانۀ عددی، می‌توان مشاهده کرد که ۵۰ درصد قطره‌های تولید شده توسط این سمپاش‌ها اندازه‌ای کوچک‌تر از ۳۰ میکرومتر دارند. سمپاش مدل ULV3 Plus با تولید قطره‌هایی با قطر میانۀ عددی ۲۸ میکرومتر و قطر میانۀ حجمی ۵۱ میکرومتر بهترین عملکرد را داراست.

- نتایج تحقیق نشان داد که بررسی پاشش عرضی به روش بیان شده با دشواری همراه است؛ زیرا حرکت خودرو و وزش باد سم را به سمت عقب خودرو

هدایت و از کاغذهای حساس به آب دور می‌کند.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد اگرچه کاغذهای حساس به آب مرسوم‌ترین ابزار برای ارزیابی سمپاش‌ها شناخته شده‌اند اما استفاده از آنها با دشواری‌هایی همراه است. در پژوهش‌های گذشته نیز به محدودیت‌های بهره‌گیری از کاغذهای حساس به آب در ارزیابی مزرعه‌ای سمپاش‌ها (Salyani *et al.*, 2013) یا ارزیابی سمپاش‌ها تحت شرایطی که میزان پاشش بالاست و هم‌پوشانی قطره‌ها اجتناب‌ناپذیر است (Panneton, 2002)، اشاره شده است. همچنین پیشنهاد شده از آنجا که تشخیص قطره‌های بسیار ریز به دلیل اینکه سطح

عنوان روش‌های سنجش سنتی شناخته می‌شوند (Vulgarakis Minov, 2015). توصیه می‌شود برای سنجش اندازه قطره‌ها از فناوری‌های نوین بهره گرفته شود. امروزه ویژگی‌های پاشش به صورت کیفی و براساس ماشین بینایی سنجیده می‌شوند. بهره‌گیری از فناوری‌های متفاوت مانند روش تصویربرداری با سرعت بالا^۱، هولوگرافی لیزری^۲، تصویربرداری لیزری^۳ و ردیاب فلورسنس^۴ باعث شده پارامترهای کیفی در ارزیابی سمپاش‌ها به سرعت سنجیده و شاخص‌های بیشتری استخراج شوند.

کوچکی از کاغذ را می‌پوشانند، تقریباً ناممکن است، در هنگام استفاده از کاغذهای حساس به آب دقت لازم صورت پذیرد زیرا احتمال خطا در اندازه‌گیری VMD وجود دارد (Cunha et al., 2019). حتی در برخی پژوهش‌ها اشاره شده است که استفاده از ابزارهای مکانیکی پیشرفته‌تر نیز مانند اسکنرهای پاششی و آشکارسازهای عمودی و افقی، به دلیل تأثیر بر جریان سیال، از دقت ارزیابی‌ها می‌کاهد (Rhodes, 2008). آشکارسازها، ابزارهای مکانیکی و کاغذهای حساس به آب به

قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی گروه صنعتی سپاهان دلتا به انجام رسید. نویسندگان لازم می‌دانند از جناب آقای مهندس علی نیرومند مدیر عامل محترم گروه صنعتی سپاهان دلتا سپاسگزاری کنند که هزینه‌های آزمون را تأمین کردند و سمپاش‌های تولیدی آن شرکت را در اختیار قرار دادند.

مراجع

- Anon. (2001). *Guidelines on minimum requirement for agricultural pesticide application equipment*. Vol. 2. Vehicle-mounted and trailed sprayers, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Anon. (2006a). *Equipment for vector control: specification guidelines*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Anon. (2006b). *Pesticides and their application*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Anon. 2013. *World population prospects: The 2010 revision and world urbanization prospects: The 2011 revision*. United Nations. Available at: <http://esa.un.org>.
- Beyaz, A., Dagtekin, M., Cilingir, I., & Gerdan, D. (2017). Evaluation of droplet size spectra for agricultural pesticide applications using water sensitive paper and image analysis techniques. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 7717-7723.
- Cawood, P. N., Robinson, T. H., & Whittaker, S. (1995). *An investigation of alternative application techniques for the control of black-grass. Proceeding of the Brighton Crop Protection Conference - Weeds*. Nov. 20-23. Brighton, United Kingdom.
- Ciba-Geigy Limited. (1985). *Water-sensitive paper for monitoring spray distribution*. Ciba-Geigy Application Services, Publ. No. AG 8.11/19374 XYe. Basle, Switzerland.
- Cunha J. P., Reis, E. F., de Assunção, H. H. T., & Landim, T. N. (2019). Evaluation of droplet spectra of the spray tip AD 11002 using different techniques. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 39(4), 476-481.

1- High Speed Photography

2- Laser Holography

3- Laser Imaging

4- Fluorescent Tracer

- Cunha, M., Carvalho, C., & Marcal, A. R. S. (2012). Assessing the ability of image processing software to analyze spray quality on water-sensitive papers used as artificial targets. *Biosystems Engineering*, 111(1), 11-23.
- Fox, R. D., Salyani, M., Cooper, J. A., & Brazee, R. D. (2001). Spot size comparisons on oil/water sensitive paper. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(2), 131-136.
- Fox, R., Derksen, R., Cooper, J., Krause, C., & Ozkan, H. (2003). Visual and image system measurement of spray deposits using water sensitive paper. *Applied Engineering in Agriculture*, 19(5), 549-552.
- Gil, E., Escola, A., Rosell, J.R., Planas, S., & Val, L. (2007). Variable rate application of plant protection products in vineyards using ultrasonic sensors. *Crop Protection*, 26, 1287-1297.
- Haman, D. Z., & Zazueta, F. S. (2011). Measuring Pump Capacity for Irrigation System Design. *IFAS Extension*. University of Florida. Available at: <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Hoffmann, W. C., & Hewitt, A. J. (2005). Comparison of three imaging systems for water-sensitive papers. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(6), 961-964.
- Hoffmann, W. C., Walker, T. W., Fritz B. K., Farooq, M., Smith, V. L., Robinson, C. A., & Lan, Y. (2012). Further evaluation of spray characterization of sprayers typically used in vector control. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 28(2), 93-101.
- Hoffmann, W. C., Walker, T. W., Fritz, B. K., Gwinn, T., Smith, V. L., Szumlas, D., Quinn, B., Lan, Y., Huang, Y., & Sykes, D. (2008). Spray Characterization of Thermal Fogging Equipment Typically Used in Vector Control. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 24(4), 550-559.
- Longo, D., Manetto, G., Papa, R., & Cerruto, E. (2020). Design and construction of a low-cost test bench for testing agricultural spray nozzles. *Applied Sciences*, 10, 5221.
- Maghsoudi, H. (2013). Variable treatment garden sprayer with mechatronic target detection system by ultrasonic sensors (Ph. D Thesis), Faculty of Agriculture. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (in Persian)
- Martini, X., Kincy, N., & Nansen, C. (2012). Quantitative impact assessment of spray coverage and pest behavior on contact pesticide performance. *Pest Management Science*, 68(11), 1471-1477.
- Matthews, G. A., Bateman, R., & Miller, P. (2014). *Pesticide application methods*. Wiley Blackwell.
- Nuyttens, D., De Schampheleire, M., Baetens, K., Brusselman, E., Dekeyser, D., & Verboven, P. (2011). Drift from field crop sprayers using an integrated approach: Results from a five-year study. *Transactions of the ASABE*, 54(2), 403-408.
- Panneton, B. (2002). Image analysis of water-sensitive cards for spray coverage experiments. *Applied Engineering in Agriculture*, 18(2), 179-182.
- Renton, M., Busi, R., Neve, P., Thornby, D., & Vila-Aiub, M. (2014). Herbicide resistance modelling: past, present and future. *Pest Management Science*, 70(9), 1394-1404.
- Rhodes, M. J. (2008). *Introduction to particle technology*. New Jersey, USA. John Wiley and Sons Inc.
- Rostami, M. A., & BehAyeen, M. A. (2021). *Guideline to identification, calibration, and adjustment of sprayers*. Tehran: Publication of Agricultural Education. (in Persian)
- Salyani, M., Zhu, H., Sweeb, R. D., & Pai, N. (2013). Assessment of spray distribution with water-sensitive paper. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(2), 101-111.
- Sanchez-Hermosilla, J., & Medina, R. (2004). Adaptive threshold for droplet spot analysis using water-sensitive paper. *Applied Engineering in Agriculture*, 20, 547-551.
- Schick, J. R. (1997). *An engineer's practical guide to drop size*. Spraying Systems Co.

- Sies, M. F., Madzlan, N. F., Asmuin, N., Sadikin, A., & Zakaria, H. (2017). Determine spray droplets on water sensitive paper (WSP) for low pressure deflector nozzle using image J. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 243, 012047.
- Symmons, P. M., Boase, C. J., Clayton, J. S., & Gorta, M. (1989). Controlling desert locust nymphs with bendiocarb applied by a vehicle-mounted spinning disc sprayer. *Crop Protection*, 8, 324-331.
- Vulgarakis Minov, S. (2015). Integration of imaging techniques for the quantitative characterization of pesticide sprays (Ph. D. Thesis), Faculty of Bioscience Engineering. Ghent University. Belgium.
- Wang, L., Yue, X., Liu, Y., Wang, J., & Wang, H. (2019). An intelligent vision based sensing approach for spraying droplets deposition detection. *Sensors*, 19, 933.
- Zhu, H., Salyani, M., & Fox, R. D. (2011). A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. *Computers and Electronics in Agriculture*, 76, 38-43.

Research Paper

The Assessment of Transverse Distribution, Spraying Height and Droplet Sizes of Three Types of ULV Sprayers Can Be Mounted on Truck

M. Jafari* and P. Seyedin

*Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: m.jafari@iut.ac.ir
Received: 26 January 2022, Accepted: 21 June 2022
[http://doi: 10.22092/AMSR.2022.357283.1409](http://doi:10.22092/AMSR.2022.357283.1409)

Abstract

There is no unique method for evaluation of different spraying technologies. Existing methods have advantages and limitations that should be considered. The aim of this research is to introduce a test method to evaluate ULV sprayers that can be installed on the back of trucks, which are often used to fight against invasive pests, especially desert locusts. In this research, FAO minimum requirements guideline were used to provide a test method to evaluate the performance of ULV sprayers. Droplet size, vertical and transverse distribution patterns of three sprayer models named ULV3, ULV3 Plus and ULV5, which their main difference is the use of atomizers with different technologies, were evaluated and the spraying patterns were drawn. Pump capacity measurement of the sprayers showed that the maximum working pressure is 5 bar and the maximum flow rate is 1.83 liters per minute at a pressure of 0.5 bar. The evaluations showed that regardless of the volume of insecticide inside the tank, the output flow from the atomizers is uniform. The numerical and volumetric median diameters for all sprayers were measured with the use of water-sensitive papers and reported to be smaller than 30 and 60 μm , respectively. The ULV3 Plus sprayer model, whose atomizer uses a combination of electric and pneumatic power, had the best performance by producing droplets with a numerical median diameter of 28 and a volumetric median diameter of 51 μm . The maximum spraying width was also obtained in the evaluation of the ULV3 Plus sprayer with a spraying width of 15 meters. Due to the limitations of using water-sensitive papers, it is suggested that new technologies, such as the use of laser light scattering or high-speed cameras, replace water-sensitive papers.

Keywords: Numerical Median Diameter, Volumetric Median Diameter, Spraying Pattern, Water-Sensitive Paper



© 2022 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)