

## طراحی، ساخت و ارزیابی افشانک کمک هوا برای سمپاش بوم‌دار

مجید رهنما<sup>۱\*</sup>، محمد امین آسودار<sup>۱</sup>، محمود قاسمی نژاد رائینی<sup>۱</sup>، محمدعلی هرمزی<sup>۲</sup> و فیروزه سلیمانی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱/۲۶

۱- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران  
۲- دانش‌آموخته رشته مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران  
\*مسئول مکاتبه: rahnamam2002@ramin.ac.ir

### چکیده

سم‌پاشی یکی از عملیات مهم برای مبارزه با عوامل زنده کاهش تولید در محصولات کشاورزی است. با توجه به بالای بودن هزینه‌های سم‌پاشی و مسائل زیست‌محیطی ناشی از آن، مدیریت مناسب در این زمینه ضروری است. در این میان کاهش بادبردگی افشانک می‌تواند علاوه بر کاهش هدر رفت سموم و یک‌نواختی مناسب پاشش، از عمده‌ترین عامل مؤثر در پیش‌گیری از خطر ابتلا به آلودگی زیست‌محیطی با آفت‌کش‌ها باشد. برای این منظور، پس از طراحی اولیه، ساخت و ارزیابی افشانک کمک هوا در سم‌پاش بوم‌دار، به صورت آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان انجام شد. آزمایش‌ها با سه نوع افشانک کمک هوا شامل افشانک نوع اول: هوا-مایع-هوا (ALA)، افشانک نوع دوم: مایع (LA)، افشانک نوع سوم: مایع-هوا-مایع (LAL)، چهار سطح سرعت جریان کمک هوا (۰، ۲، ۴ و ۷/۵ متر بر ثانیه) و چهار سطح سرعت باد (۰، ۲، ۳ و ۴ متر بر ثانیه) مورد بررسی قرار گرفتند. با استفاده از یک دستگاه اسپکتروفتومتر، نرم افزار MATLAB، SAS 9.1 و EXEL آزمون دانکن در سطح یک درصد و هم‌چنین آزمون برش‌دهی، میزان بادبردگی، میزان نشست محلول سم، یک‌نواختی در پاشش، قطر میانه حجمی ۵۰ و ۹۰ درصد، قطر میانه عددی و شاخص کیفیت پاشش محاسبه شد. نتایج تجزیه واریانس به دست آمده حاکی از آن بودند که اثر نوع افشانک، سرعت کمک هوا و سرعت باد بر میزان نشست محلول سم، میزان بادبردگی، یک‌نواختی در پاشش، قطر میانه حجمی ۵۰ و ۹۰ درصد و هم‌چنین شاخص کیفیت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان دادند که افشانک سوم با سرعت کمک هوا و سرعت باد ۴ متر بر ثانیه به ترتیب با ۱۴۴/۸۷ لیتر بر هکتار و ۰/۰۶ درصد بیش‌ترین و کم‌ترین میزان نشست محلول سم و میزان بادبردگی را به خود اختصاص داد. در حالی که کم‌ترین و بیش‌ترین میزان نشست محلول سم و میزان بادبردگی به ترتیب با ۳۱/۱۶ لیتر بر هکتار و ۰/۶۹ درصد، مربوط به افشانک سوم بدون کمک هوا (شاهد) در سرعت باد ۲ متر بر ثانیه بود. کم‌ترین ضریب تغییرات (بیش‌ترین یک‌نواختی در پاشش) با ۰/۴۲ درصد مربوط به افشانک سوم با کمک هوا و سرعت باد ۴ متر بر ثانیه، اما بیش‌ترین ضریب تغییرات (کم‌ترین یک‌نواختی در پاشش) با ۴/۰۸ درصد مربوط به افشانک اول با کمک هوای ۷/۵ متر بر ثانیه ولی بدون سرعت باد به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: افشانک کمک هوا، بادبردگی، نشست، قطر میانه حجمی، یک‌نواختی در پاشش

### ۱- مقدمه

مختلفی در کیفیت سم‌پاشی موثر هستند. سرعت باد، ارتفاع بوم، فشار پاشش، نوع نازل، سرعت پیشروی تراکتور، زاویه پاشش از جمله این عوامل هستند. در ایران سالانه سطحی در حدود ۱۲ میلیون هکتار مبارزه‌ی شیمیایی صورت می‌پذیرد که با این وسعت مبارزه، کنترل بادبردگی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. بهبود در کنترل ذره‌سازی میزان اثر بخشی را افزایش داده و هم‌چنین مصرف سم در هکتار و آلودگی محیط زیست و آسیب‌های آن را کاهش می‌دهد (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۲). کارایی سم‌پاش‌ها به نوع نازل، تعداد ذرات و نحوه پراکندگی آنها در سطح محصول بستگی دارد. از مهم‌ترین عوامل نفوذ ذرات سم به داخل بوته، اندازه ذرات سم می‌باشد.

کل تولید مواد شیمیایی در کشاورزی جهان سالانه حدود ۳ میلیون تن است (ساینسی و بستابن<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱) که هدف نهایی در کاربرد پاشش آفت‌کش‌ها، رسیدن به اندازه مناسبی از نشست مواد فعال در سطح گیاه در جهت به دست آوردن حداکثر اثر بیولوژیکی می‌باشد (اسپانوغ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). نوع نازل، فشار سم‌پاشی، ارتفاع بوم سمپاش و سرعت باد به عنوان عوامل مؤثر در بادبردگی، روی اندازه‌ی ذرات می‌باشند. هدف از ذره‌سازی افزایش سطح تماس قطرات سموم در برخورد با سطح گیاه یا خاک می‌باشد. عوامل

<sup>1</sup> Sayinci and Bastaban

<sup>2</sup> Spanoghe

را کاهش دهد که. این راستا فابو<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند سمپاش کمک هوا<sup>۱۰</sup>، باعث افزایش یک نواختی پوشش قطره محلول سم را در پایین گیاه سیب زمینی شده و تلفات پاشش را کاهش می دهد (زیر ۴ درصد). همچنین استفاده از سمپاش هوا القا و همچنین سمپاش هوا محافظ<sup>۱۱</sup>، می تواند بادبردگی افشانک را تا ۶۰ درصد کاهش دهد (وان دی زند<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). بر طبق بررسی های آرویدسون<sup>۱۳</sup> و همکاران (۲۰۱۱) بادبردگی افشانک به شدت توسط بسیاری از عوامل از جمله تجهیزات و تکنیک های کاربردی، ویژگی های افشانک، مراقبت اپراتور و مهارت تحت تاثیر قرار می گیرد. تسای و لیانگ<sup>۱۴</sup> (۲۰۰۴) در طی تحقیقاتی بر روی سمپاش بوم دار مجهز به یک واحد دمنده در یک محیط شبیه سازی شده، نشان دادند که سمپاش کمک هوا، استراتژی مناسبی برای کاهش بادبردگی است. همچنین نتایج نشان دادند که در سرعت هوای ۲۰ تا ۳۰ متر بر ثانیه سمپاش کمک هوا، شاخص مربوط به بادبردگی نسبی، برای پاشش در مسیر باد، ۵۰ تا ۸۰ درصد و برای خلاف جهت باد، ۵ تا ۲۲ درصد کاهش داد. در تحقیقاتی دیگر ساینسی و بستابان<sup>۱۵</sup> (۲۰۱۱) یک نواختی توزیع پاشش انواع مختلف افشانک و نشست آن ها را در گیاه سیب زمینی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش ها نشان دادند که بهترین توزیع یک نواختی پاشش (CV)<sup>۱۶</sup> برای افشانک AI با ۱۶/۴ درصد و بالاترین مقدار برای افشانک های AR، HC، SD به ترتیب با ۴۳/۹، ۴۰/۴ و ۴۶/۵ درصد بوده است. مطالعات فوق نشان می دهد که نوع افشانک یک ارتباط مستقیم با میزان کاهش بادبردگی، یک نواختی پاشش، میزان نشست محلول سم و صرفه جویی در مصرف سم دارد.

با توجه به اهمیت بالای مسائل اقتصادی و زیست محیطی در تمام بخش های صنعتی و کشاورزی کشورهای مختلف، استفاده از تکنولوژی های جدید جهت کاهش مسائل فوق و همچنین یافتن روش های جایگزین برای سمپاشی موثر، از اولویت خاصی برخوردار می باشد. مطالعه شیوه های صحیح سمپاشی با حفظ عدم آسیب به محیط زیست تاثیر بسیار عمده ای در بهبود زراعت و در نتیجه کاهش میزان مصرف سم خواهد داشت. در این راستا روش های نوین همچون استفاده از جریان کمک هوا برای کاهش میزان بادبردگی، افزایش یک نواختی و نفوذپذیری در حال گسترش است. با توجه به گسترده شدن استفاده از سمپاش ها در بیش تر نقاط جهان و افزایش آلودگی زیست محیطی به علت بادبردگی افشانک لازم است که این روش در ایران نیز ارزیابی، بررسی و گسترش یابد. لذا هدف از این

انتخاب نوع نازل استفاده از فشار مناسب کیفیت سمپاشی را افزایش می دهد و با مدیریت اندازه ذره، زاویه و فشار پاشش می توان بادبردگی را کنترل کرد.

اندازه قطرات یک عامل حیاتی است و رابطه قوی با بادبردگی افشانک، سرعت قطره و همچنین میزان یک نواختی پوشش بستگی دارد (نویی تنز<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷b). قطرات بزرگ تر تمایل به نشست در محل نزدیک به سمپاش را دارند در حالی که قطرات کوچک تر تمایل به نشست در محل نسبتا دور از سمپاش را دارند. اگر قطرات کوچک تر از حد مطلوب باشند دچار بادبردگی شده و کارایی نخواهند داشت و اگر بزرگ تر از حد مطلوب باشند، به گیاه نچسبیده و از روی سطح برگ گیاهان سر خورده و روی زمین می افتند (پیمان و همکاران، ۱۳۹۰). بر طبق مطالعات انجام شده، قطرات کوچک تر از ۱۵۰ میکرومتر معمولا تمایل زیادی به بادبردگی دارند اما پوشش بهتری ارائه می دهند، قطرات بزرگ تر از ۳۰۰ میکرومتر مقاوم به بادبردگی هستند و تمایل به سر خوردن از روی گیاه را دارند و پوشش ضعیف تری ارائه می دهند، بنابراین قطرات بین ۱۰۰-۳۰۰ میکرومتر به عنوان بهترین محدوده اندازه قطرات بین بادبردگی و پوشش گیاه مورد نظر معرفی شدند (دیویو<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹). با افزایش آگاهی در مورد خطر احتمالی آفت کش ها، اقدامات متعددی جهت کاهش در معرض قرار گرفتن از راه کاهش بادبردگی افشانک انجام گرفته است (هیلز و ورمیر<sup>۳</sup>، ۲۰۱۳). سمپاش بوم دار اغلب در مزارع کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد (کندی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۲) که بادبردگی افشانک توسط این سمپاش یک منبع آلودگی بالقوه است. بسیاری از این سمپاش ها از پاشش افشانک بادبزنی یکنواخت<sup>۵</sup> استفاده می کنند و با توجه به این که فرآیند پاشش این نوع از افشانک ها در ایجاد قطرات پاششی با کیفیت است، اما اشکال عمده آن ها خطر بادبردگی به منطقه غیرهدف است (بیات و بوزدوگان<sup>۶</sup>، ۲۰۰۵). چندین راه حل فنی قابل توجهی برای کمک به افزایش اندازه قطرات سمپاش زراعی و کاهش میزان بادبردگی مایع توسعه یافته (نویی تنز و همکاران، ۲۰۰۷b) که نتیجه آن تعدیل کننده بار محیط زیست بوده است. کوفرات<sup>۷</sup> و همکاران (۱۹۹۹) روشی را برای افزایش اندازه قطرات با استفاده از یک سیستم سیال دوقلو<sup>۸</sup> بررسی کردند که هوا به طور فعال به داخل افشانک توسط کمپرسور پمپ می شود و اندازه قطره ایجاد شده توسط افشانک با تغییر فشار عملیاتی می تواند با استفاده از سیستم هیدرولیک افشانک، مایع و جریان هوا را تغییر یابد. استفاده از کمک هوا می تواند تلفات پاشش

<sup>9</sup> Fabio

<sup>10</sup> Air Assisted

<sup>11</sup> Air Protection Sprayer

<sup>12</sup> Van De Zande

<sup>13</sup> Arvidsson

<sup>14</sup> Tsay and Liang

<sup>15</sup> Sayinci and Bastaban

<sup>16</sup> Coefficients of variation

<sup>1</sup> Nuyttens

<sup>2</sup> Deveau

<sup>3</sup> Helz and Vermer

<sup>4</sup> Kennedy

<sup>5</sup> Standard Flat Fan

<sup>6</sup> Bayat and Bozdogan

<sup>7</sup> Kufferath

<sup>8</sup> Twin Fluid System

پارامترها بر طبق سیستم پاشش مرجع ایزو<sup>۷</sup>، ۲۰۱۰ انتخاب شدند و در طول آزمایش ثابت نگه داشته شدند. آزمایش‌های این تحقیق در سال ۱۳۹۴ به صورت فاکتوریل با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی و در محیط کنترل شده کارگاهی انجام شد.

## ۲-۳- ویژگی‌های سم‌پاش بوم‌دار پشت تراکتوری مورد استفاده در طول آزمایش‌های مزرعه

سم‌پاش مورد استفاده از نوع هیدرولیکی پشت تراکتوری بود. در این تحقیق از سم‌پاش بوم‌دار ساخت ترکیه مجهز به ۲۰ افشانک، با عرض کار بوم ۱۰ متر، فاصله افشانک‌ها از هم ۰/۵ متر و حجم مخزن ۴۰۰ لیتر استفاده شد. تراکتور جاندیر ۳۱۴۰ به‌عنوان منبع قدرت هیدرولیک و از کمپرسور هوا با مدل CROWN ساخت کشور چین برای انتقال جریان کمک هوا بر روی افشانک سم‌پاش هدف استفاده شد. فشار توسط فشارسنج روی سمپاش اندازه‌گیری و قرائت شد و جهت اندازه‌گیری دبی از روش حجمی و با استوانه مدرج اندازه‌گیری گردید.

## ۲-۴- رنگ مورد استفاده در انجام آزمایش جهت شبیه-

### سازی سم

ردیاب (رنگ) مورد استفاده در این آزمایش در جهت شبیه‌سازی شرایط واقعی محلول سم شامل رنگ تارترازین زرد رنگ با کد ای ۱۰۲<sup>۸</sup> بود. این رنگ، رنگی خوراکی است که به‌میزان ۵-۶ گرم بر لیتر در آب حل می‌شود (جیل و همکاران، ۲۰۱۲؛ بالساری و همکاران، ۲۰۱۴).

## ۲-۵- اندازه‌گیری اندازه قطرات

برای ثبت قطرات پاشیده شده و تعیین اندازه آن‌ها از کاغذهای حساس به آب با ابعاد ۳×۷ سانتی‌متر استفاده شد. برای اطمینان و جلوگیری از هر گونه آسیب غیرمنتظره از هر کارت با استفاده از دوربین دیجیتال مدل Canon Power shot SX510HS ساخت کشور ژاپن، عکس‌برداری و سپس کارت‌ها شماره‌گذاری و در مکانی تاریک و فاقد رطوبت نگهداری شدند. کارت‌ها با نرم افزار جعبه ابزار پردازش تصویر متلب<sup>۹</sup> برش‌زده و اندازه قطرات با استفاده از Image Tool-QR محاسبه شدند. قطر و تعداد قطرات پاشش، با استفاده از نرم افزار متلب استخراج گردید و داده‌های به‌دست آمده را در فرمول-های مربوطه قرار داده، قطر میانه حجمی ۵۰ و ۹۰ درصد و قطر میانه عددی محاسبه گردید.

تحقیق، طراحی، ساخت و ارزیابی افشانک کمک هوا برای سم‌پاش بوم‌دار است که می‌تواند با ایجاد جریان هوا به‌عنوان محافظ، مانع از بادبردگی قطرات افشانک در منطقه هدف شده و همچنین با ایجاد الگوی درست و یک‌نواخت پاشش و به حداقل رساندن تلفات بادبردگی افشانک و کمک به حفظ محیط‌زیست شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- طراحی و ساخت افشانک کمک هوا

در این تحقیق سه نوع افشانک طراحی و ساخته شد. افشانک نوع اول (ALA)<sup>۱</sup> افشانکی است که مایع را از وسط افشانک و هوای محافظ را از کناره افشانک پاشش می‌کند (این افشانک دارای ۴ عدد سوراخ خروجی هوا می‌باشد که جهت یک‌نواختی بهتر پاشش طراحی و ساخته شد). در افشانک نوع دوم (LA)<sup>۲</sup> محلول رسیده به افشانک و هوای محافظ به‌صورت جداگانه باید در زمان مشخصی پاشیده شود. افشانک نوع سوم (LAL)<sup>۳</sup> افشانکی است که هوا از وسط افشانک و مایع سم‌پاشی از کنار تزریق می‌شود (این افشانک دارای ۶ عدد سوراخ خروجی مایع می‌باشد که علت انتخاب این طراحی برای ایجاد ۲ خروجی مایع به قطر ۱/۲ میلی‌متر به این گونه طراحی شد: "استفاده از مساحت دایره و ایجاد ۶ عدد سوراخ به قطر تقریباً ۰/۵ میلی‌متر"). در طراحی سه نوع افشانک کمک هوا، از افشانک مخروطی توخالی با استفاده از نرم افزار سالیدورکس<sup>۴</sup> استفاده شد.

جهت تهیه افشانک و ساخت آن از دستگاه تراش مدل TN50BR ساخت تبریز استفاده شد. افشانک‌ها از قطعه‌ای آلومینیومی به قطر ۵۰ میلی‌متر و به طول ۱۰ و ۵ سانتی‌متر (دو تکه و با دقت ۰/۰۵ میلی‌متر) با تراش ساخته و جهت انجام آزمایش‌ها آماده گردید. (شکل ۲).

### ۲-۲- سطوح مختلف متغیرهای مورد آزمایش

عامل اول سه نوع افشانک (N) کمک هوا<sup>۵</sup> (LAL, LA, ALA) با آرایش‌های مختلف هوا و مایع، عامل دوم چهار سطح جریان کمک هوا (A) ۰، ۲، ۴ و ۷/۵ متر بر ثانیه (آل حیدری<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۴) و عامل سوم چهار سطح سرعت باد (W) ۰، ۲، ۳ و ۴ متر بر ثانیه (سرعت باد ۴ متر بر ثانیه در اهواز طبق آمار هواشناسی) بود. دبی افشانک ۰/۷۷ لیتر در دقیقه، قطر خروجی افشانک ۱/۲ میلی‌متر در فشار عملیاتی ۴۰ پوند بر اینچ مربع، سرعت رو به جلوی تراکتور ۶ کیلومتر در ساعت و ارتفاع بوم ۰/۵ متر از سطح زمین بود که این

<sup>1</sup> Air-Liquid- Air

<sup>2</sup> Liquid- Air

<sup>3</sup> Liquid- Air-Liquid

<sup>4</sup> Solid Works- SP3-32bit- Premium 2013

<sup>5</sup> Air Assisted

<sup>6</sup> Al Heidary

<sup>7</sup> ISO

<sup>8</sup> E102 Tartrazine Yellow

<sup>9</sup> Matlab R 2013a

$$D_{pq} = \frac{1}{\left[ \frac{\sum^n Ni \times Di^p}{\sum^n Ni \times Di^q} \right]^{\frac{1}{p-q}}} \quad (۴)$$

در این رابطه  $p$  و  $q$  ضرایب ثابت هستند که به ترتیب می‌تواند مقادیر ۱ تا ۴ و ۰ تا ۳ باشند،  $Di$  قطر ذرات برای گروه  $i$  بر حسب میکرومتر،  $Ni$  تعداد قطره در گروه  $i$ ، تعداد گروه اندازه‌ها و  $i$  اعداد اندازه گروه می‌باشد. که برای تعیین قطر میانه حجمی  $p$  و  $q$  باید به- ترتیب ۳ و ۰ ( $VMD = D30$ ) و برای تعیین قطر میانه عددی به- ترتیب ۱ و ۰ ( $NMD = D10$ ) باشد. تعداد قطرات روی هر سانتی متر مربع کارت در یک منطقه از کاغذ حساس به آب، به‌عنوان تراکم قطره به‌دست آمد (سینگ<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). برای تعیین قطر میانه عددی و حجمی ۹۰ درصد جدول توزیع فراوانی قطرات از کوچکترین قطره تا بزرگترین قطره به‌ترتیب رسم گردید و سپس قطر قطره‌ای که از نظر تعداد در ۹۰ درصدی تعداد کل قطرات را داشت، قطر عددی و قطره‌ای که در ۹۰ درصدی از حجم قطره قرار داشت، به‌عنوان قطر حجمی ۹۰ درصدی انتخاب شد.

## ۲-۷- تجزیه و تحلیل داده‌های آماری آزمایش

تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها با کمک نسخه جدید نرم- افزارهای Excel 2013 و SAS 9.1 انجام شد. داده‌های مربوط به- کارت‌های حساس به آب، پس از عکس‌برداری، توسط نرم افزار MATLAB برش‌زده شد و با آزمون دانکن و LS means در سطح ۱ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

## ۲- نتایج و بحث

در این مطالعه ابتدا پارامترهای عملکردی افشانک‌های طراحی شده در منطقه هدف با استفاده از داده‌های آزمایش‌ها بررسی، سپس در مرحله بعد تأثیر استفاده از کمک هوا در کاهش بادبردگی و افزایش نشست محلول سم در افشانک‌ها تا فاصله استاندارد ۵ متر از منطقه هدف، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

### ۳-۱- تأثیر نوع افشانک، سرعت کمک هوا و سرعت باد

#### بر شاخص‌های عملکردی سم‌پاش بوم‌دار

نتایج تجزیه واریانس تأثیر نوع افشانک کمک هوا، سرعت کمک هوا و سرعت باد و اثرات متقابل این عوامل بر میزان بادبردگی، میزان نشست محلول سم، یک‌نواختی در پاشش، قطر میانه حجمی ۵۰ و ۹۰ درصد، قطر میانه عددی و شاخص کیفیت در جدول ۱ آورده شده است. اثر نوع افشانک کمک هوا، سرعت کمک هوا و سرعت باد بر میزان بادبردگی، میزان نشست محلول سم، یک‌نواختی در پاشش، قطر میانه حجمی ۵۰ و ۹۰ درصد، قطر میانه عددی و شاخص

## ۲-۶- متغیرهای مورد اندازه‌گیری

به‌منظور اندازه‌گیری سرعت باد شبیه‌سازی شده با فن (پنکه معمولی)، سرعت هوا تولید شده توسط دستگاه کمپرسور، میزان دمای محیط و میزان رطوبت هوا از دستگاه ابزارهای اسکتک<sup>۱</sup> با مدل EN 300 ساخت کشور آمریکا شامل (بادسنج، رطوبت‌سنج، روشنایی‌سنج، دماسنج و سطح صداسنج) استفاده گردید.

برای ارزیابی افشانک‌های کمک هوا ساخته شده، میزان نشست محلول سم (لیتر بر هکتار)، میزان بادبردگی (درصد) و ضریب تغییرات (درصد یک نواختی در پاشش) در ظروف مخصوص اندازه-گیری شد. همچنین با استفاده از کاغذهای حساس به آب، قطر میانه حجمی ۵۰ و ۹۰ درصد (میلی‌متر)، قطر میانه عددی (میلی‌متر) و شاخص کیفیت (درصد) در پاشش محاسبه گردید.

به‌منظور اندازه‌گیری میزان نشست محلول سم‌پاشی شده از پتری دیش با قطر ۹ سانتی‌متر استفاده شد. برای قرائت طول موج و رسم گراف استاندارد و اندازه‌گیری میزان نشست محلول سم از دستگاه اسپکتروفتومتری آنالیتیک جنا<sup>۲</sup> مدل اسپیکول<sup>۳</sup> ۲۰۰۰ استفاده شد. رسوبات در هر ظروف مخصوص طبق رابطه (۱) محاسبه شد (جیل و همکاران، ۲۰۱۳).

$$D_i = \frac{(\rho_{smp} - \rho_{blk}) \times V_{dil}}{\rho_{sray} \times A_{col}} \quad (۱)$$

در رابطه فوق،  $D_i$  نشست محلول سم بر یک ظرف (میکرولیتتر بر سانتی‌متر مربع)،  $\rho_{smp}$  میزان جذب نمونه،  $\rho_{blk}$  میزان جذب شاهد (آب)،  $V_{dil}$  حجم مایع محلول آب مقطر (میکرولیتتر)،  $\rho_{sray}$  میزان جذب غلظت محلول در نمونه‌ها و  $A_{col}$  مساحت ظروف مخصوص برای جمع‌آوری محلول (سانتی‌متر مربع) است. میزان پتانسیل بادبردگی نیز از رابطه (۲) محاسبه شد (جیل و همکاران، ۲۰۱۵).

$$DPV = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{RSD} \times 100 \quad (۲)$$

در رابطه فوق؛  $DPV$  مقدار پتانسیل بادبردگی،  $RSD$  نشست شاهد، شماره ظرف و  $D_i$  نشست سم در یک ظرف می‌باشد. شاخص کیفیت پاشش از رابطه (۳) محاسبه شد (صفری و همکاران، ۲۰۱۳).

$$\text{شاخص کیفیت پاشش} = \frac{VMD}{NMD} \quad (۳)$$

در رابطه فوق،  $VMD$  قطر میانه حجمی (میلی‌متر) و  $NMD$  قطر میانه عددی (میلی‌متر) می‌باشد. با استفاده از رابطه (۴) قطر میانه حجمی  $D_{pq}^{p-q}$  و قطر میانه عددی ۵۰ درصد محاسبه شد (سریوستاوا و همکاران، ۱۳۸۶).

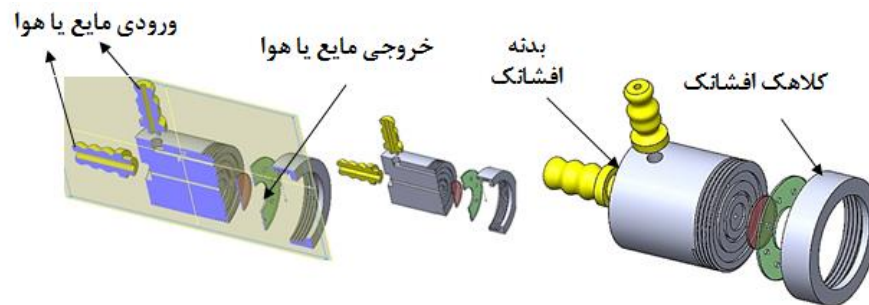
<sup>1</sup> Extch Instruments

<sup>2</sup> Spectrophotometer Analytic Jena

<sup>3</sup> Spekol

نشست محلول سم، میزان بادبردگی، یک‌نواختی در پاشش، قطر میانه حجمی ۵۰ و ۹۰ درصد، قطر میانه عددی و شاخص کیفیت در سطح یک درصد معنی‌دار شد، که در ذیل به تفصیل شرح داده می‌شود.

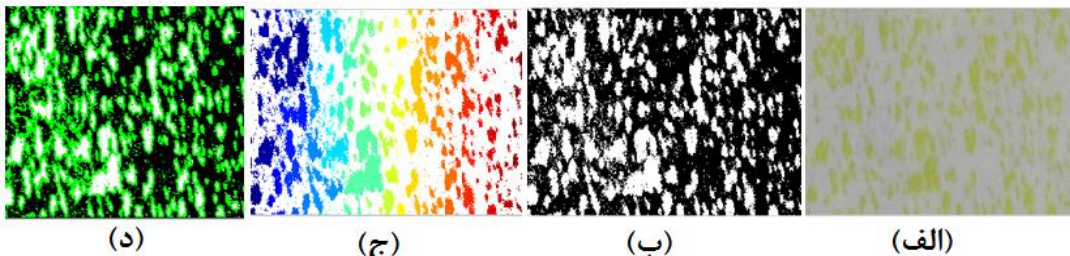
کیفیت در سطح یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل سه-گانه فاکتورهای فوق نیز بر خصوصیات ذکر شده معنی‌دار شده است. بنابراین، از روش برش‌دهی استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس برش-دهی اثرات متقابل (سه‌گانه) به وسیله نوع افشانک در جدول ۲ نشان داده شده است. بر طبق این جدول، اثر نوع افشانک بر میزان



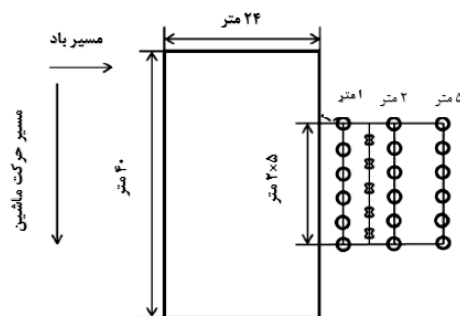
شکل ۱- شماتیک ساختمان افشانک‌ها و شکل انفجاری قطعات آن با استفاده از نرم افزار سالیدورکس



شکل ۲- افشانک‌های کمک هوا ساخته شده، (الف) نوع اول (ALA)، (ب) نوع دوم (LA) و (ج) نوع سوم (LAL)



شکل ۳- (الف) برش عکس اصلی، (ب) تصویر باینری از کارت حساس به آب، (ج) برچسب تصویر، (د) طرح جدا شده تصویر



Note: ○- نشست بادبردگی ظروف نمونه‌برداری - ☼- پاشش بادبردگی هوپرد

شکل ۴- طرح‌بندی میدانی برای مطالعه بادبردگی افشانک (زاوو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴)

<sup>۱</sup>Zhao

### ۲-۲- تأثیر ترکیب‌های مختلف تیمارها بر میزان

#### نشست محلول سم

شکل ۵ مقایسه میانگین اثرات متقابل (سه گانه) برش‌دهی شده میزان نشست محلول سم بر حسب نوع افشانک را نشان می‌دهد. بیش‌ترین میزان نشست محلول مربوط به افشانک سوم با تیمار سرعت کمک هوا و باد ۴ متر بر ثانیه با مقدار ۱۴۴/۸۷ لیتر بر هکتار می‌باشد. دلیل آن این است که در این افشانک استفاده از کمک هوا باعث شده است که ذرات به همراه کمک هوا سمت پایین حرکت کرده و به عبارت دیگر در این افشانک چون هوا در وسط و مایع از اطراف آن خارج می‌شود، هوای خروجی قطرات را به همراه خود به سمت پایین حرکت داد و باعث افزایش میزان نشست محلول سم نسبت به سایر افشانک‌ها شده است. همچنین کم‌ترین میزان نشست محلول سم مربوط به افشانک سوم در تیمار بدون کمک هوا و سرعت باد ۲ متر بر ثانیه با مقادیر ۳۱/۱۶ لیتر بر هکتار به دست آمد. دلیل پایین بودن نشست در این افشانک در زمان عدم استفاده از کمک هوا احتمالاً به دلیل ریزتر شدن قطرات بود که آن هم به دلیل طراحی خاص آن است (مایع از ۶ افشانک اطراف افشانک هوا پاشیده می‌شود). به‌طور کلی افشانک سوم به خوبی توانسته عمل محافظت از محلول را در سرعت‌های مختلف باد انجام دهد و از نظر نشست بهتر از دو افشانک دیگر می‌باشد.

مطابق با نتایج جیل و همکاران (۲۰۱۴) از ارزیابی توزیع افشانک یک سم پاش دستی در محصولات گوجه‌فرنگی، استفاده از افشانک بادبزی یک‌نواخت کمک هوا نسبت به افشانک بادبزی یک‌نواخت بدون کمک هوا، میزان بازده نشست محلول سم از ۱/۹۸ به ۲/۹۵ درصد افزایش داد. در حالی که در این تحقیق نسبت بیش‌ترین میزان نشست محلول سم به کم‌ترین نشست آن در استفاده از افشانک بدون کمک هوا و افشانک کمک هوا به ترتیب از ۷۲ درصد به ۷۸ درصد به دست آمد. همچنین میزان بازده نشست محلول سم از ۱/۹۸ به ۲/۶۱ درصد افزایش یافت. بنابراین، نتایج این تحقیق با نتایج جیل و همکاران (۲۰۱۴) در استفاده از افشانک کمک هوا با مناسب‌ترین میزان نشست محلول سم مطابقت دارد.

### ۳-۳- تأثیر ترکیب‌های مختلف تیمارها بر میزان

#### بادبردگی

شکل ۶ مقایسه میانگین اثرات متقابل (سه گانه) برش‌دهی شده میزان بادبردگی به‌وسیله نوع افشانک را نشان داده است. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان بادبردگی از نظر نوع افشانک، مربوط به افشانک سوم (LAL) به ترتیب در تیمارهای بدون کمک هوا و باد با ۰/۷۳ درصد و سرعت کمک هوا و باد ۴ متر بر ثانیه با ۰/۰۶ درصد به دست آمد. همچنین با توجه به شکل مشخص است که در هنگام استفاده از کمک هوا، افشانک سوم بهترین نتایج را داشته است. ولی با توجه به نتایج آل حیدری و همکاران (۲۰۱۴)، در بررسی اثر نوع افشانک، آرایش افشانک و سرعت باد جانبی در میزان بادبردگی در

یک تونل باد، بیش‌ترین درصد بادبردگی مربوط به تیمار افشانک کمک هوای دوقلو در سرعت کمک هوای ۷/۵ متر بر ثانیه با ۰/۱۷ درصد و کم‌ترین درصد بادبردگی مربوط به تیمار افشانک کمک هوای دوقلو با سرعت کمک هوا ۲ متر بر ثانیه با ۰/۰۵ درصد بود. این در حالی است که در این تحقیق بیش‌ترین میزان بادبردگی در افشانک‌های کمک هوا مربوط به تیمارهایی با سرعت هوای کمک بالاتر از ۴ متر بر ثانیه و کم‌ترین میزان بادبردگی مربوط به تیمارهایی با سرعت هوای کمک ۴ متر بر ثانیه و کم‌تر از آن به دست آمد. بنابراین، نتایج این تحقیق با نتایج آل حیدری و همکاران (۲۰۱۴) در انتخاب استفاده از مناسب‌ترین سرعت کمک هوا همخوانی دارد.

### ۴-۳- تأثیر ترکیب‌های مختلف تیمارها بر میزان ضریب

#### تغییرات (یک نواختی در پاشش)

شکل ۷، مقایسه میانگین اثرات متقابل (سه گانه) برش‌دهی شده میزان ضریب تغییرات (یک نواختی در پاشش) به‌وسیله نوع افشانک را نشان داده است. بر طبق این شکل، بیش‌ترین و کم‌ترین میزان ضریب تغییرات از نظر نوع افشانک، به ترتیب مربوط به افشانک اول (ALA) و افشانک سوم (LAL) بدست آمد. این در حالی است که بیش‌ترین ضریب تغییرات (کم‌ترین یک نواختی پاشش) در افشانک اول مربوط به تیمار کمک هوای ۷/۵ و ۴ متر بر ثانیه و بدون سرعت باد با ۴/۰۸ درصد و کم‌ترین ضریب تغییرات در افشانک سوم، مربوط به تیمار سرعت کمک هوا و باد ۴ متر بر ثانیه با ۰/۴۲ درصد حاصل شد. تیمار با پایین‌ترین ضریب تغییرات، دارای میزان یک نواختی پاشش بالاتری نسبت به دیگر تیمارها می‌باشد. علت این نتایج، می‌تواند تأثیر طراحی خروجی‌های مایع در افشانک سوم باشد. چون در این افشانک مایع از شش سوراخ محیطی اطراف افشانک خارج می‌شود، باعث برخورد با مولکول‌های کمک هوا شده و آن‌ها را یک‌نواخت‌تر می‌کند. نتایج گلیاس<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲) در اتمیزه کردن مایع و اندازه‌گیری بادبردگی پاشش در یک تونل باد برای یک سیستم دوقلو با یک افشانک منحرف کننده، نشان داد که افشانک TKSS 10-042 در سرعت باد ۴ متر بر ثانیه، پوشش نسبی آن به ترتیب ۴ و ۳ درصد بود در حالی که میزان پوشش همین افشانک در سرعت باد ۲ متر بر ثانیه، به ترتیب ۵ و ۲/۵ درصد گزارش شد. نتایج این پژوهش نشان دادند که نسبت میزان ضریب تغییرات در افشانک بدون کمک هوا و افشانک کمک هوا به ترتیب از ۸۹ درصد به ۷۰ درصد کاهش یافت. با افزایش میزان ضریب تغییرات، میزان یک نواختی پاشش کاهش و عکس آن صادق است. همچنین بازده یک نواختی در پاشش در افشانک بدون کمک هوا و کمک هوا به ترتیب از ۲/۴۲ به ۸/۷۱ درصد افزایش یافت. بنابراین، نتایج این پژوهش در افزایش میزان یک‌نواختی در پاشش با استفاده

<sup>1</sup>Gulyas

از افشانک کمک هوا با نتایج گلیاس و همکاران (۲۰۱۲) هم‌خوانی دارند.

جدول ۱- تجزیه واریانس تاثیر نوع افشانک (N)، سرعت کمک هوا (A) و سرعت باد (W) و اثرات متقابل این عوامل بر میزان بادبردگی، میزان نشست محلول سم، یک نواختی در پاشش، قطر میانه حجمی ۵۰ و ۹۰ درصد، قطر میانه عددی و شاخص کیفیت

میانگین مربعات (MS)								
منابع تغییرات	درجه آزادی	میزان نشست (لیتر بر هکتار)	میزان بادبردگی (درصد)	ضریب تغییرات (درصد)	قطر میانه حجمی ۵۰ (میلی‌متر)	قطر میانه حجمی ۹۰ (میلی‌متر)	قطر میانه عددی (میلی‌متر)	کیفیت پاشش (درصد)
سرعت کمک هوا (A)	۳	۶۳۷۶/۵۰**	۰/۲۶**	۴/۰۷**	۰/۰۰۸**	۰/۱۲۹**	۰/۰۱۲**	۰/۰۸۱**
سرعت باد (W)	۳	۱۵۵/۷۷*	۰/۰۰۴ <sup>ns</sup>	۱۳/۱۶**	۰/۰۱۲**	۰/۱۸۷**	۰/۱۰۱**	۰/۰۶۸**
نوع افشانک (N)	۲	۹۴۶۴/۶۵**	۰/۴۴**	۰/۳۷**	۰/۰۰۴**	۰/۱۵۸**	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۸۵**
اثرات متقابل (W*A)	۹	۱۴۶۷/۴۰**	۰/۰۵**	۰/۵۶**	۰/۰۱۸**	۰/۰۴۵**	۰/۰۱۹**	۰/۰۷۴**
اثرات متقابل (A*N)	۶	۶۲۴۳/۰۹**	۰/۲۳**	۱/۰۲**	۰/۰۰۲**	۰/۰۷۱**	۰/۰۱۲**	۰/۰۲۱*
اثرات متقابل (W*N)	۶	۳۳۰/۹۲**	۰/۰۱**	۶/۶۴**	۰/۰۰۴**	۰/۰۳۰**	۰/۰۲۰**	۰/۰۱۵ <sup>ns</sup>
اثرات متقابل (W*A*N)	۱۸	۱۰۶۲/۱۶**	۰/۰۴**	۰/۱۶۱**	۰/۰۰۲**	۰/۰۲۷**	۰/۰۰۹**	۰/۰۲۱**
خطای آزمایشی	۹۶	۴۲/۲۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۷
ضریب تغییرات		۷/۲۳	۱۱/۵۹	۵/۰۴	۷/۶۹	۳/۶۰	۲/۵۹	۱۹/۳۷

\*، \*\* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات متقابل (سه گانه) برش‌دهی شده به وسیله نوع افشانک برای سم‌پاش‌های بوم‌دار بر میزان بادبردگی، نشست محلول سم، یک‌نواختی در پاشش، قطر میانه حجمی ۵۰ و ۹۰ درصد، قطر میانه عددی و شاخص کیفیت

میانگین مربعات (MS)								
منابع تغییرات	درجه آزادی	میزان نشست (لیتر بر هکتار)	میزان بادبردگی (درصد)	ضریب تغییرات (درصد)	قطر میانه حجمی ۵۰ (میلی‌متر)	قطر میانه حجمی ۹۰ (میلی‌متر)	قطر میانه عددی (میلی‌متر)	کیفیت پاشش (درصد)
افشانک اول	۱۵	۹۱۴/۷۲**	۰/۰۳**	۴/۲۳**	۰/۰۰۷**	۰/۰۷۲**	۰/۰۱۱**	۰/۰۳۹**
افشانک دوم	۱۵	۱۳۲۲/۴۱**	۰/۰۶**	۱/۶۱**	۰/۰۰۶**	۰/۰۳۰**	۰/۰۲۸**	۰/۰۳۱**
افشانک سوم	۱۵	۳۸۵۳/۹۷**	۰/۱۴**	۱/۲۰**	۰/۰۰۷**	۰/۰۶۱**	۰/۰۱۸**	۰/۰۴۸**

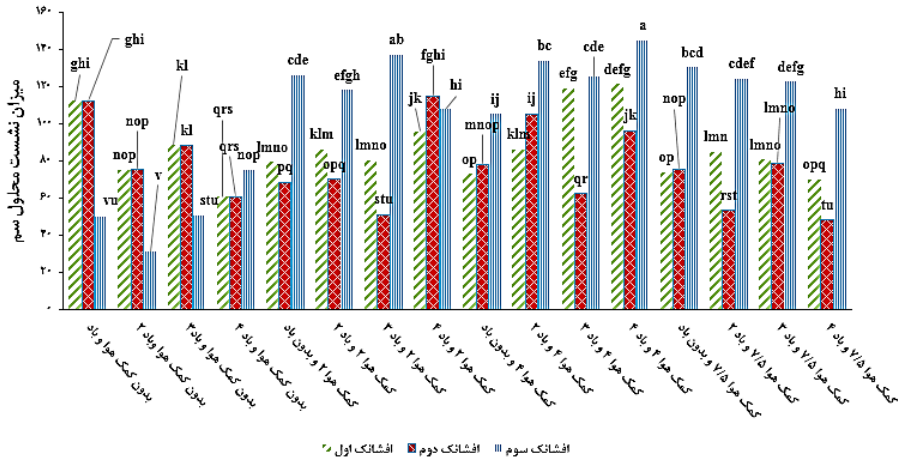
\*، \*\* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد

### ۳-۵- تأثیر ترکیب‌های مختلف تیمارها بر قطر میانه حجمی ۵۰ و ۹۰ درصد

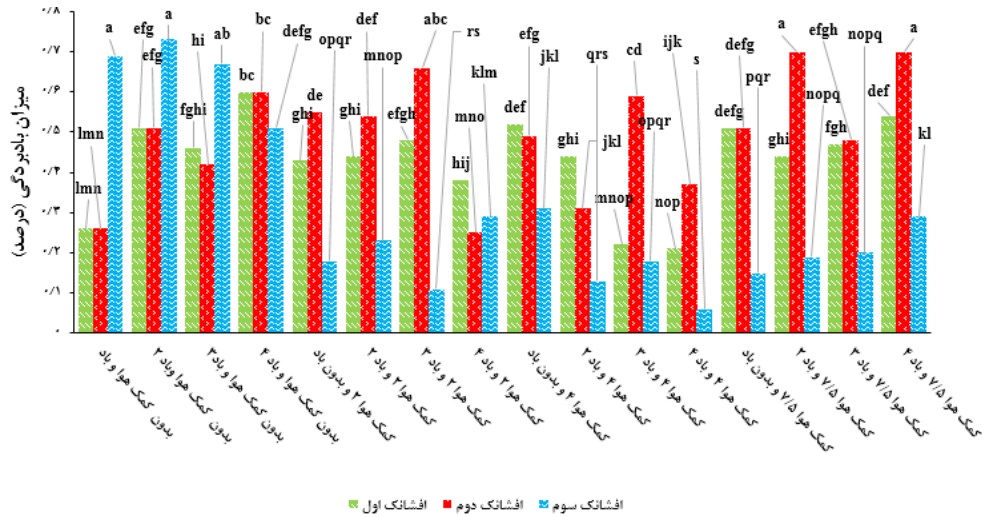
با توجه به رده‌بندی پاشش افشانک‌ها به وسیله طیف‌سنجی قطرات بر طبق استاندارد جامعه کشاورزی و مهندسی بیولوژیکی

آمریکا<sup>۱</sup>، در رده متوسط (M) با کد زرد رنگ، قطر میانه حجمی ۵۰ درصد تقریباً بین ۲۱۸-۱۷۷ میکرومتر و قطر میانه حجمی ۹۰ درصد تقریباً بین ۳۶۰-۲۵۷ میکرومتر می‌باشد. بر طبق داده‌های این آزمایش‌ها (شکل ۸)، مناسب‌ترین قطر میانه حجمی ۵۰ درصد که در

<sup>1</sup> ASABE Standard S-572.1



شکل ۵- تأثیر ترکیب‌های مختلف تیمارها بر میزان نشست محلول سم



شکل ۶- تأثیر ترکیب‌های مختلف تیمارها بر میزان باادبردی

هم‌چنین بر اساس نتایج حاصل از شکل ۹، مناسب‌ترین قطر میانه حجمی ۹۰ درصد مربوط به افشانک سوم و نامناسب‌ترین آن مربوط به افشانک اول و دوم گزارش شد. بزرگ‌ترین قطر میانه حجمی ۹۰ درصد مربوط به افشانک اول در تیمار کمک هوای ۴ و سرعت باد ۳ متر بر ثانیه با ۰/۸۱۶ میلی‌متر و کم‌ترین قطر میانه حجمی ۹۰ درصد مربوط به افشانک اول و دوم در تیمارهای بدون کمک هوا و سرعت باد ۴ متر بر ثانیه با ۰/۲۹۶ میلی‌متر نتیجه شد. باید توجه داشت که هر چه قطر میانه حجمی ۵۰ درصد و ۹۰ درصد به هم نزدیک‌تر باشند نشان از یک نواختی و هر چه به مقدار مناسب (حدود ۰/۳۰۰ میلی‌متر) نزدیک باشند نشان عملکرد بهتر افشانک می‌باشد. بنابراین، با مقایسه شکل ۹ و ۸ می‌توان به این نتیجه رسید که قطر میانه حجمی ۹۰ درصد و ۵۰ درصد برای افشانک سوم کمترین اختلاف را با هم دارند و به مقدار مناسب نزدیک‌تر می‌باشند. دلیل اختلاف زیاد قطرهای در افشانک نوع اول (ALA) در آرایش قرارگیری مایع و هوا کمکی می‌باشد (هوا اطراف و مایع وسط) که

این رده‌بندی قرار گرفته بودند، مربوط به افشانک سوم (LAL) و نامناسب‌ترین آن مربوط به افشانک اول (ALA) به‌دست آمد. بزرگ‌ترین قطر میانه حجمی ۵۰ درصد مربوط به افشانک دوم (LA) در تیمار کمک هوای ۴ متر بر ثانیه و بدون سرعت باد با ۰/۶۰۸ میلی‌متر و کم‌ترین قطر میانه حجمی ۵۰ درصد مربوط به افشانک سوم (LAL) در سرعت هوای کمک ۷/۵ و با ۳ متر بر ثانیه و افشانک اول و دوم در تیمارهای بدون کمک هوا و سرعت باد ۴ متر بر ثانیه با ۰/۲۰۰ میلی‌متر به دست آمد. همچنین با توجه به- شکل ۸، در مجموع مناسبترین محدوده قطر میانه حجمی مربوط به افشانک‌های سوم و دوم به‌دست آمد. دلیل این امر این بود که در این افشانک‌ها مایع بلافاصله بعد از خروج در معرض هوای کمکی قرار گرفته و با سرعت به سمت پایین حرکت می‌کند و جریان هوا باعث خورد شدن و یک‌نواخت شدن قطرات می‌گردد.



می‌باشد. هم‌چنین با مقایسه این نمودار با نمودار مربوط به قطر میانه حجمی ملاحظه می‌شود که در این افشانک قطر میانه حجمی و عددی به‌هم نزدیک‌تر می‌باشد که نشان به‌بهبود شاخص کیفیت پاشش در این نوع افشانک (مقدار ۲/۶۷ برای افشانک اول، ۲/۳۹ برای افشانک دوم و ۲/۲۲ برای افشانک سوم) می‌باشد. دلیل آن این است که در این نوع افشانک هوا در وسط و مایع توسط ۶ روزنه کناری پاشیده شده و جریان هوا این مایع را به سمت پایین هدایت کرده و ضمن ممانعت از چسبیدن دوباره قطرات به همدیگر مانع بادرده‌گی قطرات و هم‌چنین ریز کردن قطرات درشت می‌شود که نمودارهای میزان بادرده‌گی (شکل ۶) و یک نواختی پاشش (شکل ۷) تایید کننده همین مطلب هستند. هم‌چنین بر طبق نتایج بدست آمده، افشانک سوم (در تیمار کمک هوا و سرعت باد ۴ متر بر ثانیه) که بیش‌ترین میزان نشست و کم‌ترین میزان بادرده‌گی را به خود اختصاص داده است، دارای قطر میانه عددی مناسبی با ۰/۲۰۷ میلی‌متر می‌باشد.

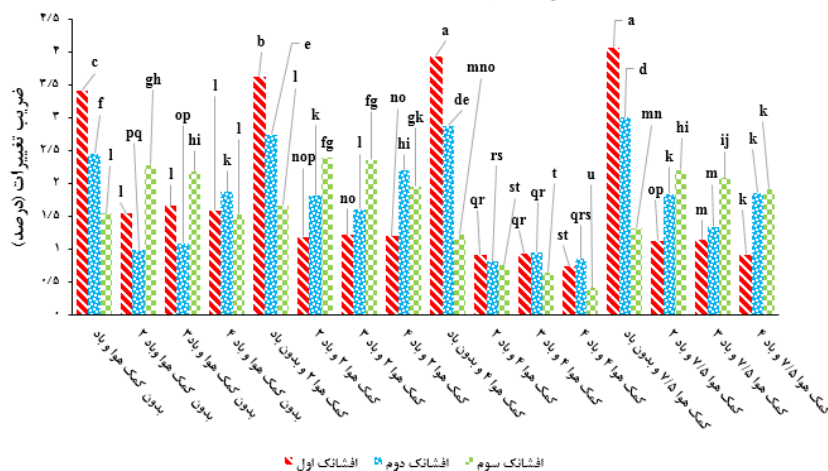
نکته دیگری که در شکل ملاحظه می‌شود این است که وقتی سرعت باد و هوای کمکی صفر است قطر میانه عددی مقادیر کمی دارند (حدود ۰/۱۵۹ میلی‌متر) که دلیل آن عدم بادرده‌گی قطرات کوچک در باد کم بوده و باعث شده قطر میانه عددی کاهش یابد ولی به‌محض وجود جریان باد و بدون هوای کمکی قطر میانه عددی در تمام افشانک‌ها در حد بیشینه (حدود ۰/۲۸۰ میلی‌متر) شده است که نشان از بادرده‌گی قطرات ریز و افزایش قطر میانه عددی شده است. ولی در اثر استفاده از هوای کمکی قطر میانه عددی تمام افشانک‌ها به‌دلیل جلوگیری از بادرده‌گی کاهش یافته است که بهترین افشانک، افشانک نوع سوم (هوا وسط و مایع اطراف) بوده است.

باعث به‌هم پیوستن قطرات در اثر جریان هوای اطراف مایع می‌شود. به‌عبارت‌دیگر هوای کمکی خروجی از روزنه‌های اطراف مایع مانع از پخش درست قطرات در فضا می‌شوند.

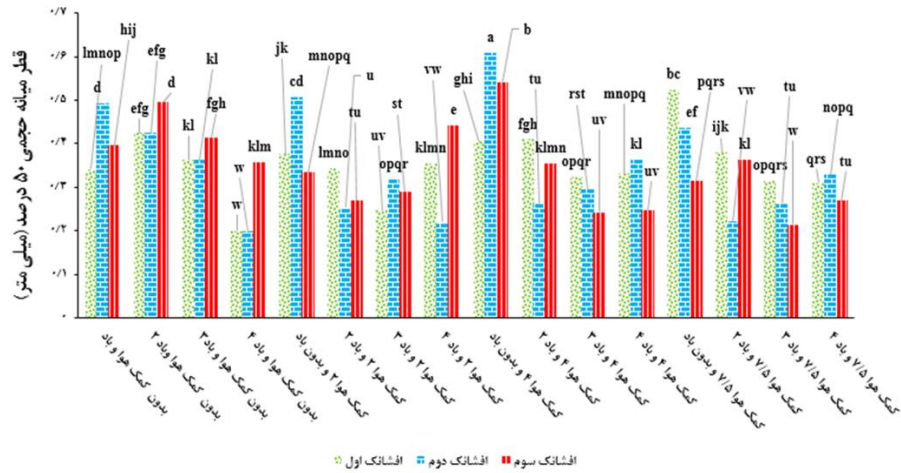
میزان تغییر قطر میانه حجمی ۵۰ درصد در افشانک بدون کمک هوا و با کمک هوا به‌ترتیب از ۱/۶۲ درصد به ۱/۱۸ درصد روندی کاهشی داشت. این مطلب بیانگر آن است که با استفاده از کمک هوا، قطر میانه حجمی ۵۰ درصد به حد استاندارد نزدیک‌تر می‌شود. این نتیجه با نتایج آل‌حیدری و همکاران (۲۰۱۴) همخوانی دارد که بیان کردند که در بررسی اثر نوع افشانک کمک هوا، آرایش افشانک و سرعت باد جانبی در میزان بادرده‌گی در یک تونل باد، بیش‌ترین قطر میانه حجمی ۵۰ درصد مربوط به افشانک CVI با ۵۷۸ میکرومتر و کم‌ترین قطر میانه حجمی ۵۰ درصد، مربوط به افشانک کمک هوای AXI با ۲۲۶/۵ میکرومتر است. آنها اعلام نمودند که در افشانک کمک هوا نسبت به بدون کمک هوا، قطر میانه حجمی ۵۰ درصد روندی کاهشی دارد و با استفاده از کمک هوا، قطر میانه حجمی ۵۰ درصد در حد استاندارد خواهد بود.

### ۳-۶- تأثیر ترکیب‌های مختلف تیمارها بر قطر میانه عددی

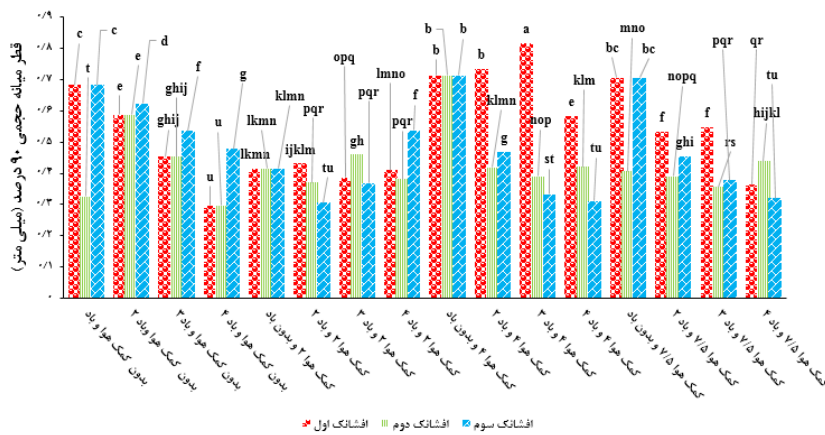
نمودار ۱۰ تأثیر ترکیب‌های مختلف تیمارها بر قطر میانه عددی را براساس نوع افشانک نشان داده است. بر طبق این نمودار، بزرگ‌ترین قطر میانه عددی با ۰/۳۰۵ میلی‌متر مربوط به تیمار بدون کمک هوا و سرعت باد ۲ و ۴ متر بر ثانیه در افشانک سوم (LAL) و کوچک‌ترین قطر میانه عددی مربوط به افشانک اول و دوم در تیمارهای بدون کمک هوا با سرعت باد ۴ متر بر ثانیه با ۰/۱۱۶ میلی‌متر و افشانک نوع سوم در تیمار کمک هوای ۷/۵ متر بر ثانیه و سرعت باد ۳ متر بر ثانیه به‌دست آمد. با توجه به نمودار مذکور ملاحظه می‌شود مناسب‌ترین قطر میانه عددی ۵۰ درصد (حدود ۰/۲۰۰ میلی‌متر) در همه تیمارها مربوط به افشانک نوع سوم



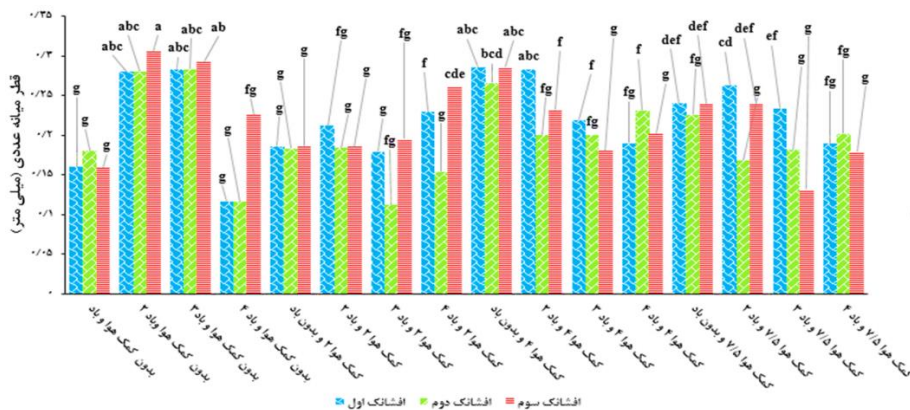
شکل ۷- تأثیر ترکیب‌های مختلف تیمارها بر میزان ضریب تغییرات (یک‌نواختی در پاشش)



شکل ۸- تأثیر ترکیب‌های مختلف تیمارها بر قطر میانه حجمی ۵۰ درصد



شکل ۹- تأثیر ترکیب‌های مختلف تیمارها بر قطر میانه حجمی ۹۰ درصد



شکل ۱۰- تأثیر ترکیب‌های مختلف تیمارها بر قطر میانه عددی

داشت. این بیانگر آن است که با استفاده از کمک هوا، قطر میانه حجمی ۹۰ درصد در حد بالاتری از بدون کمک هوا خواهد بود. با توجه به نتایج آل حیدری و همکاران (۲۰۱۴)، در بررسی اثر نوع افشانک، آرایش افشانک و سرعت باد جانبی در میزان بادبردگی در یک تونل باد، بیش‌ترین قطر میانه حجمی ۵۰ و ۹۰ درصد در

در این پژوهش نسبت بزرگ‌ترین به کوچک‌ترین قطر میانه حجمی ۹۰ درصد در افشانک بدون کمک هوا و با کمک هوا به ترتیب از ۵۶ درصد به ۶۱ درصد به‌دست آمد و همچنین میزان بازده قطر میانه حجمی ۹۰ درصد در افشانک بدون کمک هوا و با کمک هوا به‌ترتیب از ۱/۳۰ درصد به ۱/۶۲ درصد روندی کاهشی

کمک هوا و سرعت باد ۴ متر بر ثانیه به ترتیب با ۱۲۱/۵۱ لیتر بر هکتار و ۰/۲۱ درصد با یک نواختی پاشش ۰/۷۴ درصد به دست آمد.

۲- در افشانک دوم (LA) در تیمار کمک هوا ۲ و سرعت باد ۴ متر بر ثانیه با ۱۱۴/۶۹ لیتر بر هکتار و ۰/۲۵ درصد و ۲/۲۰ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین میزان نشست محلول سم و میزان بادبردگی و یک نواختی در پاشش حاصل شد.

۳- بیشترین و کمترین میزان نشست محلول سم و بادبردگی در افشانک سوم (LAL) با مقادیر ۱۴۴/۸۷ لیتر بر هکتار و ۰/۰۶ درصد و بیشترین یک نواختی پاشش با ۰/۴۲ درصد مربوط به تیمار با کمک هوا و سرعت باد ۴ متر بر ثانیه نتیجه شد.

۴- میزان قطر میانه حجمی ۵۰ و ۹۰ درصد، قطر میانه عددی و شاخص کیفیت برای افشانک‌های اول و دوم و سوم به ترتیب با مقادیر (۰/۳۳۱، ۰/۵۸۴، ۰/۱۹۰، میلی‌متر و ۰/۳۱ درصد برای افشانک اول)، (۰/۱۵۴، ۰/۳۸۲، ۰/۲۲۰، میلی‌متر و ۰/۵۳ درصد برای افشانک دوم) و (۰/۲۴۷، ۰/۳۱۱، ۰/۲۰۲، میلی‌متر و ۰/۵۳ درصد برای افشانک سوم) گزارش شد.

۵- با توجه به مقایسه میانگین اثرات متقابل (سه گانه) اثر نوع افشانک، سرعت کمک هوا و سرعت باد، می‌توان بیان کرد که در بین سه نوع افشانک کمک هوای مورد آزمایش، افشانک نوع سوم (LAL) با تیمار کمک هوا، بیشترین میزان نشست محلول سم (۱۱۹/۸ لیتر بر هکتار با کمک هوا در مقایسه با ۵۲/۱ لیتر بر هکتار در حالت بدون کمک هوا) و کمترین میزان بادبردگی (۰/۱۶ درصد با کمک هوا در مقایسه با ۰/۶۳ درصد در حالت بدون کمک هوا) و کمترین ضریب تغییرات (بیشترین یک نواختی در پاشش با مقادیر ۰/۶۷ درصد با کمک هوا در مقایسه با ۱/۸۲ درصد در حالت بدون کمک هوا در سرعت کمک هوای ۴ متر بر ثانیه) داشت. همچنین در این نوع افشانک قطر میانه حجمی ۵۰ و ۹۰ درصد، قطر میانه عددی و شاخص کیفیت پاشش به ترتیب با مقادیر ۰/۲۴۷، ۰/۳۱۱، ۰/۲۰۲، میلی‌متر و ۱/۸۹ نسبت به دیگر تیمارها مناسب‌تر بود.

سرعت کمک هوا ۲ متر بر ثانیه به ترتیب با ۵۷۸ و ۸۵۶ میکرومتر و کمترین آن در سرعت کمک هوا ۷/۵ متر بر ثانیه، به ترتیب ۲۲۶/۵ و ۳۵۳/۵ میکرومتر بود. در حالی که در این تحقیق بیشترین قطر میانه حجمی ۵۰ و ۹۰ درصد به ترتیب در افشانک سوم در تیمار بدون کمک هوا و سرعت باد ۲ متر بر ثانیه با ۰/۶۰۸ میلی‌متر و افشانک اول در تیمار کمک هوای ۴ و سرعت باد ۳ متر بر ثانیه با ۰/۸۱۶ میلی‌متر و همچنین کمترین قطر میانه حجمی ۵۰ درصد در افشانک سوم، با ۰/۲۰۰ میلی‌متر، در تیمار کمک هوای ۷/۵ و سرعت باد ۳ متر بر ثانیه به دست آمد که این نتایج با نتایج آل حیدری و همکاران (۲۰۱۴) مبنی با کاهش قطر میانه حجمی در اثر استفاده از کمک هوا مطابقت دارد.

در هر سرعت باد و در هر سرعت کمک هوا افشانک سوم (LAL) بهترین شاخص کیفیت پاشش (کمترین مقدار) را داشت و با افزایش سرعت باد کیفیت پاشش کاهش (شاخص از ۲/۰۹ در سرعت باد صفر به ۲/۹۸ در سرعت باد ۴ متر بر ثانیه) می‌یابد. دلیل آن این است که با افزایش سرعت باد بادبردگی، قطرات ریز افزایش یافته و در نتیجه قطر میانه حجمی افزایش یافته و باعث افزایش شاخص و کاهش کیفیت پاشش می‌شود. تغییرات شاخص کیفیت پاشش با افزایش سرعت کمک هوا ابتدا کاهش (از ۲/۱۸ در سرعت کمک هوای صفر تا ۲/۰۳ در سرعت کمک هوای ۴ متر بر ثانیه) و سپس افزایش (۲/۵۵ در سرعت کمک هوای ۷/۵ متر بر ثانیه) یافت. دلیل آن می‌تواند این باشد که افزایش سرعت کمک هوا به دلیل اینکه در این افشانک هوا از وسط نازل‌های مایع خارج می‌شود به قطرات برخورد کرده و باعث ریز و یکنواخت شدن آن می‌شود و افزایش بیش از حد سرعت کمک هوا از ۴ به ۷/۵ متر بر ثانیه باعث افزایش بادبردگی (شکل ۶) به دلیل ریزتر شدن و غیریکنواخت شدن آن می‌شود.

## نتیجه‌گیری کلی

۱- مطابق با نتایج بدست آمده، در افشانک اول که مایع از وسط خارج می‌شد و هوا از کناره‌ها (ALA) بیشترین میزان نشست محلول سم و کمترین میزان بادبردگی مربوط به تیمار سرعت

## منابع

- پیمان، ل.، عبدالله‌پور، ش.، رعناپنا، ب. و محمودی، الف. ۱۳۹۰. بررسی عوامل موثر در یک نواختی اندازه قطرات سم با استفاده از معیار CV. اولین کنگره ملی علوم و فن‌آوری‌های نوین کشاورزی دانشگاه زنجان (محور گیاه پزشکی). ص ۴.
- سریواستوا، الف.، گورینگ، ک. و رورباک، ر. ۱۳۸۶. ترجمه منصور بهروزی‌لار و حسین مبلی، اصول طراحی ماشین‌های کشاورزی. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی تهران. چاپ دوم. ص ۷۰۲.
- فتاحی، ح.، عبدالله‌پور، ش.، اسماعیل‌زاده، الف و مقدم‌واحد، م. ۱۳۹۳. ارائه و ارزیابی یک مدل تجربی برای بادبردگی افشانک‌های بادبزی در تونل باد به کمک پردازش تصویر. نشریه ماشین‌های کشاورزی. (۲) ۴. ص ۲۷۴-۲۶۶

- Al Heidary, M., Douzals, J.P., Sinfort, C. and Vallet, A. 2014. **Influence of nozzle type, nozzle arrangement and side wind speed on spray drift as measured in a wind tunnel.** International Conference of Agricultural Engineering Journal. Pp: 1-7.
- Arvidsson, T., Bergström, L. and Kreuger, J. 2011. **Spray drift as influenced by meteorological and technical factors.** Pest Manag Journal. Sci. 67. Pp: 586–598.
- Balsari, P., Gil, E., Marucco, P., Gallart, M., Bozzer, C., Liop, C. and Tamagnone, M. 2014. **Study and development of a test methodology to assess potential drift generated by air-assisted sprayers.** Di SAFA Crop protection Journal Aspects of Applied Biology. 122. Pp: 339-346.
- Bayat, A. and Bozdogan, N. Y. 2005. **An air-assisted spinning disc nozzle and its performance on spray deposition and reduction of drift potential.** Crop Protection Journal. 24. Pp: 651-960.
- Deveau, J. 2009. **Six elements of effective spaying in orchards and vineyards.** Ministry of agriculture. Food and rural affairs Journal. 605 (09-039). Pp: 1-9.
- Fabio S., Carlos, G. R. 2006. **Spray deposition and losses in potato ASA function of air assistance and sprayer boom.** Since. Agricultural Journal. Vol: 63(6): 515- 521.
- Gil, E., Balsari, P., Gallart, M., Llorens, J., Marucco, P., Andersen, P.G., Fàbregas, X. and Llop, J. 2014. **Determination of drift potential of different flat fan nozzles on a boom sprayer using a test bench.** Crop Protection Journal. 56. Pp: 58–68.
- Gil, E., Gallart, M., Balsari, P., Marucco, P., Almajano, M. P. and Liop, J. 2015. **Influence of wind velocity and wind direction on measurements of spray drift potential of boom sprayers using drift test bench.** Agricultural and Forest Meteorology Journal. 202. Pp: 94–101.
- Gil, E., Gallart, M., Llorens, J. and Llop, J. 2012. **Determination of drift potential value (DPV) for different flat fan nozzles using a horizontal drift test bench.** International Conference of Agricultural Engineering Journal. 8. Pp: 6.
- Gil, E., Llorens, J., Liop, J., Fabregas, X. and Gallart, M. 2013. **Use of a terrestrial lidar sensor for drift detection in vineyard spraying.** Sensors Journal. 13. Pp: 516-534.
- Hilz, E. and Vermeer, A.W.P. 2013. **Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction.** Crop Protection Journal. 44. Pp: 75-83.
- Kennedy, M. C., Butler Ellis, M.C. and Miller, P.C.H. 2012. **BREAM: A probabilistic bystander and resident exposure assessment model of spray drift from an agricultural boom sprayer.** Computers and Electronics in Agriculture Journal. 88. Pp: 63-71.
- Kufferath, A., Wende, B. and Leuckel, W. 1999. **Influence of liquid flow conditions on spray characteristics of internal-mixing twin fluid atomisers.** Heat Fluid Flow Journal. Pp: 513-519.
- Nuyttens, D., De Schampheleire, M., Baetens, K. and Sonck, B. 2007a. **The influence of operator-controlled variables on spray drift from field crop sprayers.** American Society of Agricultural and Biological Engineers Journal. 50. Pp: 1129-1140.
- Nuyttens, D., Baetens, K., De Schampheleire, M., Sonck, B. 2007b. **Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics.** Biosystems Engineering Journal. 97, 333-345.
- Safari, M., Shamabadi, Z. and Sheikh, A. 2013. **Comparison of tractor air assisted boom sprayer with conventional sprayers to control sun pests in wheat production.** IJACS Journal. 5. Pp: 433-444.
- Sayinci, B. and Bastaban, S. 2011. **Spray distribution uniformity of different types of nozzles and its spray deposition in potato plant.** African Journal of Agricultural Research. 6. Pp: 352 -362.
- Singh, G., Kumar, S. S., Dixit, A., Manes, G. S. and Singh, A. 2011. **Spray distribution pattern of different sprayers on cotton using droplet analyzer.** Journal of research, skuast-j 10.Pp:33-40
- Spanoghe, P., Van Eeckout, H., Der Meeren, P. and Steurbaut, W. 2004. **Effect of adjuvants on atomization of pesticides.** Atomization and Sprays Journal. 14. Pp: 511-524.

- Tsay, J.R. and Liang, L.S. 2004. **Evaluation of an air-assisted boom spraying system under a no-canopy condition using CFD simulation.** American Society of Agricultural and Biological Engineers Journal. 47. Pp: 1887-1897.
- Van de Zande, J., Michielsen, J.M.G.P., Stallinga, H., 2007. **Spray Drift and Off-field Evaluation of Agrochemical in the Netherlands.** Plant Research International B.V., Wageningen. Report 2007-149.
- Zhao, H., Xie, C.H., Maoliu, F., Xiongkui, H.E., Zhang, J. and Song, J. 2014. **Effects of sprayers and nozzles on spray drift and terminal residues of imidacloprid on wheat.** Crop Production Journal. 60. Pp: 78-82.

# Design, Construction and Evaluation of Air Assisted Nozzle on Boom Sprayer

M. Rahnama<sup>1\*</sup>, M. A. Asoodar<sup>1</sup>, M. Ghaseminejad Raeini<sup>1</sup>, M. A. Hormozi<sup>2</sup> and F. Solimany<sup>2</sup>

Received: 30 April 2017

Accepted: 15 April 2018

<sup>1</sup>Department of Agricultural Machinery and Mechanization, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Ahvaz, Iran.

<sup>2</sup>Graduated, Department of Agricultural Machinery and Mechanization, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

\*Corresponding Author: Email:rahnamam2002@ramin.ac.ir

## Abstract

Spraying is a major operation to control the bio elements that are harmful for farming products. Considering the high costs of chemical spraying and related environmental issues, the proper management is important. In the meantime, reduction in nozzle drift can be considered as one of the main factors in preventing the risk of pesticide environmental pollution, as well as reducing pesticide waste and proper spray uniformity. For this purpose, design, fabrication and evaluation of air assisted nozzle on boom sprayer was conducted using a factorial completely randomized design with three replications. The experiments were performed using three types of air assisted nozzles: air- liquid-air (ALA), liquid (L), liquid-air- liquid (LAL) at four levels of air assisted speed (0, 2, 4 and 7.5 m/s), and also four levels of wind speed (0, 2, 3 and 4 m/s). In the research, the drift, sediment, uniform spraying, volume median diameter of 50 and 90%, numerical median diameter and spraying quality indicators were evaluated. A spectrophotometry device for measurements and MATLAB and SAS 9.1 statistical software were used for analysis. Results showed that the effects of air assisted nozzle and wind speed on the drift, sediment, uniform spraying, volume median diameter of 50 and 90% and spraying quality indicator were significant ( $\alpha \leq 0.01$ ). Also results indicated that the third type of nozzle (LAL) at 4 m/s assistant air speed and 4 m/s wind speed had the highest sediment (144.87 l/ha) and the lowest drift (0.06%), while the lowest sediment (31.16 l/ha) and the highest drift (0.69%) were found for the third nozzle (LAL) without assistant air (as control group) and in 2 m/s wind speed. The minimum coefficient of variation (0.42 the most uniformity in spraying) was related to the third nozzle with 4 m/s assistant air speed and 4 m/s wind speed, but the maximum coefficient of variation (4.08) belonged to the first nozzle with 7.5 m/s assistant air speed but without any blowing wind.

**Keywords:** Air assisted nozzle, Drift, Volume median diameter, Sediment, Spraying quality indicator