

## ارزیابی فاکتورهای عملکردی سمپاشی الکترواستاتیک در سطوح رویی و پشتی برگ به کمک پردازش تصویر

حسین حاجی آقا علیزاده<sup>۱\*</sup>، حسن پوروثوقی گرگری<sup>۲</sup>، امیرعباس بختیاری<sup>۳</sup>

۱. استادیار، دانشگاه بو علی سینا همدان

۲. کارشناس ارشد، مرکز تحقیقات کشاورزی تبریز

۳. دانشجوی دوره دکتری، دانشگاه بوعلی سینا همدان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۱۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۵)

### چکیده

سموم مورد استفاده در کشاورزی در عین ضرورت کاربرد، موجبات آلودگی زیست‌محیطی را نیز فراهم می‌کند. این نهاده، کم و بیش بخش قابل توجهی از اقتصاد کشت را به خود اختصاص می‌دهد. لذا نحوه استفاده از این سموم، به طوری که بیش‌ترین درجات تاثیر و کم‌ترین هدررفت را موجب گردد، بسیار قابل اهمیت است. لذا در این پژوهش، سمپاشی الکترواستاتیک و فاکتورهای عملکردی آن مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایشات در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و به صورت آزمایش فاکتوریل، با سه تکرار انجام گرفت. فاکتورهای مورد بررسی شامل فاصله هد الکترواستاتیک تا هدف (در سطوح ۲، ۲/۵ و ۳ متر)، سرعت دورانی موتور سمپاش (در سه سطح ۵۲۸۸، ۳۹۹۷ و ۲۲۵۶ دور در دقیقه) و دبی محلول خروجی از نازل (در سطوح ۱۲۱، ۳۰۸ و ۴۰۳ میلی‌لیتر در دقیقه) بودند. همچنین به منظور بررسی میزان بادبردگی ذرات باردار سم، آزمایش فاکتوریل با فاکتورهای باردارسازی (در دو سطح)، سرعت باد (در دو سطح) و فاصله از هد (در سه سطح) انجام شد. ارزیابی تصاویر اثرات ذرات سم بر کاغذهای حساس به آب، با استفاده از جعبه ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار متلب و کدنویسی یک الگوریتم پردازش تصویر انجام گرفت. سپس فاکتورهایی مانند قطر میانه حجمی، درصد پوشش سطحی و نسبت یکنواختی نشست ذرات مورد محاسبه و بررسی آماری قرار گرفتند. نتایج حاصل شده نشان داد که معنی‌داری فاکتورهای مورد بررسی در سطوح رویی و پشتی برگ، در برخی موارد متفاوت هستند. همچنین اثر باردارسازی ذرات بر درصد پوشش سطحی از نظر آماری با احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود.

**واژه‌های کلیدی:** درصد پوشش سطحی، قطر میانه حجمی، نسبت یکنواختی نشست، بادبردگی

### مقدمه

سال‌های زیادی از اولین کاربرد سمپاش‌ها در کشور ما می‌گذرد. بیشتر سمپاش‌ها بدون این که شیوه‌های صحیح کاربرد آن‌ها آموزش داده شود، در اختیار کشاورزان قرار داده شده است به گونه‌ای که در حال حاضر به علت عدم ارزیابی دقیق علمی، کمبود دانش فنی بهره‌برداران، عدم اطلاع از عملکرد صحیح و تنظیم نبودن سمپاش‌ها، حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد از سموم مصرفی در کشور به هدر می‌رود (Fallah Jedi, 2005).

مساحت پوشش داده شده و حجم مایع در هر ذره از نظر یک پاشش موثر و مفید مهم است. ذرات ریزتر سم با حجم برابر سطح بیشتری را پوشش می‌دهند (Matthews, 2000). استفاده از تکنیک جریان شدید هوا در سمپاش‌های هوایی، باعث کاهش قطر ذرات و ذره‌پاشی خواهد شد. اما با کاهش قطر ذرات احتمال بادبردگی آن‌ها که باعث اثرات سوء زیست‌محیطی و

زیان‌بار بر زراعت‌های مجاور می‌شود افزایش می‌یابد.

سمپاشی الکترواستاتیک پاسخی به این نیازهاست، تا ضمن کاهش بادبردگی، افزایش میزان نشست ذرات را روی سطوح گیاه حاصل کند. در این نوع سمپاشی پاشش ذرات باردار سم با بهره‌گیری از پتانسیل صفر گیاه، موجب شکل‌گیری جاذبه الکتریکی میان ابر ذرات پاششی و سطوح گیاه می‌گردد و به افزایش جذب و نشست سم روی هدف گیاهی منجر می‌شود. نیروی الکترواستاتیکی عموماً بر روی قطرات بزرگ تاثیر نداشت و خط سیر اساسی ذره را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد اما اگر ذره به گیاه رسیده و دارای لختی کافی باشد احتمال نشست افزایش می‌یابد. در ذرات کوچک‌تر سم و گردهای سمی، شارژ الکتریکی ذرات بسیار موثر است (Shafiei, 2005).

عملکرد یک سمپاش از ارزیابی فاکتورهای مختلفی مشخص می‌شود که می‌توان به فاکتورهای درصد پوشش سطحی، اندازه قطر میانه حجمی ذرات سم، نسبت یکنواختی نشست و میزان بادبردگی اشاره کرد. درصد پوشش سطحی

تعیین‌کننده میزان پوشش سطوح هدف، توسط محلول سمی است. همچنان که اشاره شد ذرات ریزتر پوشش بیشتری از سطح را حاصل می‌کنند. این مقدار از طریق آنالیز تصویر کاغذهای حساس به آب به دست می‌آید. قطر میانه حجمی (VMD)، طیف ذرات پخش شده را به دو قسمت تقسیم می‌کند؛ به طوری که حجم تمام ذرات کوچکتر از VMD با حجم تمام ذرات بزرگتر از VMD برابر باشد. این پارامتر با واحد میکرون مشخص می‌شود. نسبت قطر میانه حجمی به قطر میانه عددی را اصطلاحاً نسبت یکنواختی پاشش یا نسبت یکنواختی نشست می‌نامند. این نسبت تصویری از دامنه اندازه ذرات در یک پاشش را به دست می‌دهد. اگر نسبت یکنواختی نشست به مقدار واحد نزدیکتر باشد، یکنواختی بیشتری از لحاظ اندازه ذرات پاشیده شده، وجود خواهد داشت (Matthews, 2000). قطر میانه عددی (NMD)، طیف ذرات پخش شده را به دو قسمت تقسیم می‌کند؛ به طوری که تعداد ذرات کوچکتر از NMD برابر تعداد ذرات بزرگتر از NMD باشد. امروزه به منظور بالا بردن دقت و صرفه‌جویی در زمان و هزینه از فن‌آوری‌های مرتبط با پردازش تصویر به کمک نرم‌افزارهای پردازش تصویر برای بررسی ذرات ثبت شده روی کاغذهای حساس به آب استفاده می‌شود (Daneshjo et al., 2008).

در مطالعات متعددی به بررسی و ارزیابی سمپاش‌های الکترواستاتیک پرداخته شده است که به چند نمونه از آن‌ها در ادامه اشاره می‌شود. Kirk et al. (2001)، عملکرد یک سیستم سمپاشی الکترواستاتیک هوایی را از نظر میزان نشست ذرات سم و میزان کنترل آفات در مزارع پنبه بررسی کردند. در مطالعه آنان، میزان نشست در سمپاشی الکترواستاتیک بسیار بیشتر از سمپاشی متداول گزارش شد و مقدار سم مصرفی کمتر در سمپاشی الکترواستاتیک (۹/۴ لیتر در هکتار) با مقدار سم مصرفی ۴۶/۸ لیتر در هکتار در سمپاشی متداول، اثراتی مشابه در کنترل آفات نشان داد. Jahannama & Salehi (2011)، الگوی جذب و نشست افشانه قطرات مایع بر اثر باردارسازی الکتریکی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییر در فاصله بین افشانک و هدف، تاثیر به سزایی در عملکرد نازل ندارد. اما کاهش این فاصله ضمن تقویت نسبی باردارسازی افشانه، موجب افزایش نرخ القای بار الکتریکی می‌شود. Marcal & Cunha (2008)، یک روش خودکار کامل، مبتنی بر پردازش تصویر ارائه کردند که کیفیت تشخیص ذرات سم را روی کاغذهای حساس به آب بهبود می‌بخشد. در این پژوهش چهار درجه تفکیک‌پذیری اسکن ۲۰۰، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۱۲۰۰ dpi به کار برده شد و بیشترین دقت تشخیص ذرات روی کاغذهای

حساس به آب در ۶۰۰ dpi حاصل شد. Zhao et al. (2008) عوامل موثر بر نشست ذرات را در سمپاشی الکترواستاتیک مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از تکنیک شبیه‌سازی عددی، برای مدل‌سازی خط سیر ذرات سم باردار به روی هدف کروی، برای قطرهای متفاوت ذرات، نسبت‌های متفاوت بار به جرم و فواصل متفاوت نازل تا هدف استفاده گردید. سپس با تعیین کم‌ترین بادبردگی، خط سیر ذرات سم و تعداد ذرات نشست کرده روی هدف کروی، شرایط مورد نیاز جهت ایجاد میزان نشست بهینه با کم‌ترین ذرات تعیین شد. شبیه‌سازی عددی توسط نرم‌افزار Fluent انجام شد. نتایج نشان داد که افزایش نسبت بار به جرم به طور معنی‌داری باعث افزایش میزان نشست می‌شود و فاصله زیاد نازل تا هدف در سمپاشی الکترواستاتیک باعث افت بیشتر بار ذرات می‌شود. Sasaki et al. (2012) اثر فاصله تا هدف را بر روی میزان نشست ذرات باردار بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که با افزایش فاصله میزان نشست کاهش می‌یابد. تحقیقات آنان نشان داد که در فواصل ۱، ۳ و ۵ متر، نسبت بار به جرم، به ترتیب برابر ۴/۱۱، ۰/۶۴ و ۰/۱۷ و میزان نشست در واحد سطح به ترتیب برابر ۰/۹۱، ۰/۱۷ و ۰/۱۳ میکرولیتر در سانتی‌مترمربع است.

این پژوهش به منظور آزمون عوامل موثر بر کیفیت سم‌پاشی الکترواستاتیک طرح‌ریزی شد و از اسکریپت نوشته شده در محیط نرم‌افزار متلب، برای پردازش تصاویر قطعات کاغذهای حساس به آب، استفاده گردید. سپس نتایج حاصل شده، توسط نرم‌افزار SPSS Statistics 19 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

آزمایشات این پژوهش، در دو بخش در فضای آزاد جلوی آزمایشگاه برق ماشین‌های کشاورزی و داخل کارگاه ماشین‌های کشاورزی مرکز آموزش کشاورزی تبریز (پردیس سعیدآباد) در اسفند ۱۳۹۱ و فروردین ۱۳۹۲ انجام شد. در این پژوهش از یک دستگاه سمپاش پشتی موتوری اتومایزر، مارک شاخص مدل SH.CO-423 با نصب هد الکترواستاتیک ساخت شرکت احسان تحقیق، تحت لیسانس مرکز تحقیقات مهندسی جهاد کشاورزی آذربایجان شرقی، استفاده گردید.

آزمایشات در قالب طرح آماری پایه کاملاً تصادفی، به صورت آزمایش فاکتوریل، با سه تکرار انجام گرفت. در انتخاب فاکتورهای مورد آزمایش و سطوح آنان، متداول بودن و ارایه نتایج عملی به کاربران واقعی، مد نظر قرار گرفت. فاکتور فاصله هد الکترواستاتیک تا هدف گیاهی (D) در سطوح ۲، ۲/۵ و ۳

موقعیت بهتری در آرایش گیاه داشت با چسب متصل گردید. قطعات کاغذ مربوط به هر تیمار با کدهایی مشخص شدند. مثلاً کاغذ با کد ۱۲۳ نشان‌دهنده آزمایشی است که در آن فاصله تا هدف در سطح ۱ (۲ متر)، دور موتور در سطح ۲ (۳۹۹۷ دور در دقیقه) و دبی در سطح ۳ (۴۰۳ میلی لیتر در دقیقه) است. سپس گلدان مورد نظر در نقطه علامت‌گذاری شده، قرار می‌گرفت. گلدان‌ها از طریق قطعات آلومینیومی، که در کف آن‌ها، در داخل خاک گلدان تعبیه شده بود، اتصال زمین را ایجاد می‌کردند.

جهت اندازه‌گیری دما و رطوبت محیط در طول آزمایشات از دماسنج و رطوبت‌سنج دیجیتال testo-625 استفاده شد. دامنه اندازه‌گیری دما توسط این وسیله از ۱۰- تا ۶۰+ درجه سانتی‌گراد با دقت  $\pm 0.5$  درجه سانتی‌گراد و دامنه اندازه‌گیری رطوبت از صفر تا ۱۰۰ درصد با دقت  $\pm 2/5$  درصد بود. همچنین برای اندازه‌گیری دقیق دور موتور سمپاش، در سه حالت اهرم گاز (تمام گاز - ۳/۴ گاز و ۱/۲ گاز) از دورسنج دستی دیجیتال ژاپنی مارک Pantec مدل DTM 30 به صورت دورسنجی غیرتماسی (لیزری) استفاده شد. اندازه‌گیری سرعت باد، توسط بادسنج سیم داغ مارک Lutron مدل YK-2004AH انجام شد. دامنه اندازه‌گیری این بادسنج  $\pm 0.2$  تا ۲۰ متر بر ثانیه با دقت  $\pm 5$  درصد بود. برای انجام آزمایشات بادبردگی از یک پنکه خانگی سه حالته و جهت تنظیم دور فن، به منظور حصول سرعت‌های باد مورد نظر از یک دستگاه دیمر ۲۲۰ ولت ۳۳۰۰ وات بدون مارک استفاده شد. پنکه در فاصله طولی ۱۲۵ سانتی‌متر از هد و در فاصله عرضی ۸۰ سانتی‌متر از خط پاشش قرار گرفت. پس از پایان عملیات پاشش و خشک شدن قطعات کاغذهای حساس به آب، به منظور تهیه تصاویر دیجیتال این قطعات، صفحات طلایی حامل قطعات کاغذ مربوط به هر تیمار، از اسکنر hp Laserjet مدل M1120 با رزولوشن dpi800 استفاده گردید.

در این پژوهش، در محیط نرم‌افزار متلب و با استفاده از توابع جعبه‌ابزار پردازش تصویر، کدنویسی انجام شد (شکل ۲). الگوریتم توسعه داده شده، با انجام پردازش سطح پایین (شامل پیش پردازش‌هایی برای حذف نویز، بهبود کنتراست و فیلتر کردن تصویر)، تصاویر را بهبود داده و سپس با انجام پردازش سطح میانی و با استفاده از بخش‌بندی ناحیه‌ای و برچسب‌گذاری، اشیاء داخل تصاویر را تشخیص داده و ویژگی‌هایی از آن‌ها را تعیین کرد. این الگوریتم پس از فراخوانی هر تصویر دیجیتال مربوط به قطعه کاغذ حساس به آب در صورت نیاز با تصمیم‌گیر کاربر تنظیمات کنتراست و روشنایی

متر، (ارتفاع سمپاش برابر با ارتفاع تقریبی در دست گرفتن هد توسط کاربر، ۸۰ سانتی‌متر تنظیم گردید)، فاکتور سرعت دورانی موتور سمپاش (N) در سطوح ۵۲۸۸، ۳۹۹۷ و ۲۲۵۶ دور در دقیقه و فاکتور دبی محلول خروجی از نازل (Q) در سطوح ۱۲۱، ۳۰۸ و ۴۰۳ میلی‌لیتر در دقیقه، مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی میزان بادبردگی ذرات باردار سم، آزمایشات در شرایط کارگاهی انجام شد تا اثر اغتشاش هوا تا حدودی کنترل شود. بدین منظور آزمایش فاکتوریل با سه فاکتور باردارسازی (در دو سطح ۰ و ۱ به ترتیب مربوط به عدم باردارسازی و باردارسازی)، فاکتور سرعت باد (در دو سطح ۵ و ۳ متر بر ثانیه) و فاکتور فاصله از هد (در سه سطح ۱۲۵، ۱۵۰ و ۱۷۵ سانتی‌متر) طرح‌ریزی شد.

به منظور شبیه‌سازی حرکت کاربر در حمل سمپاش و نیز جهت انجام تنظیمات دقیق‌تر، از یک چهارچرخ آماده، با ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر استفاده شد (شکل ۱). سمپاش با باندهای لاستیکی به صورت کاملاً محکم به شاسی چهار چرخ بسته شد.

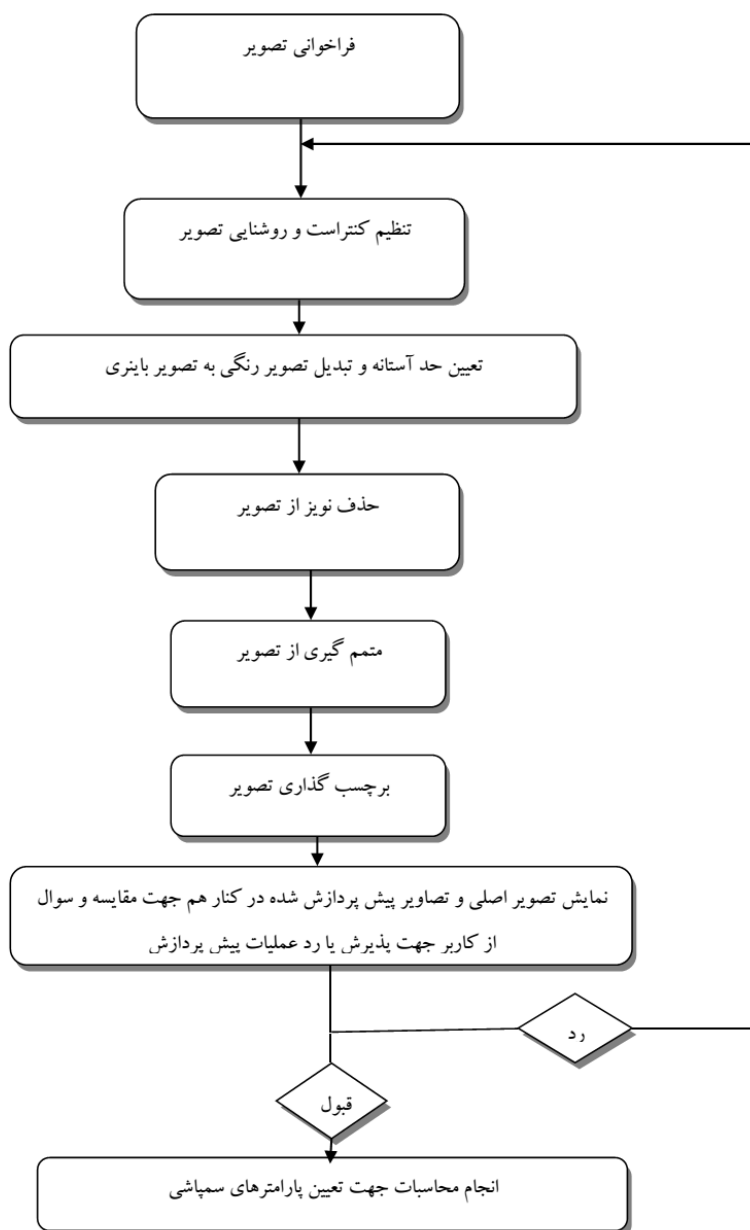


شکل ۱. چهارچرخ حامل سیستم سمپاش الکترواستاتیک

اهداف گیاهی به صورت گلدان‌های پلاستیکی حامل گیاه پیرومیا (قاشقی) انتخاب شدند. علت انتخاب این گیاه، گوشتی بودن برگ‌های آن و خم نشدن در مقابل جریان باد و همچنین در دسترس بودن آن بود. تعداد ۸ گلدان ۴ تا ۶ برگی که از لحاظ آرایش برگ‌ها و حجم گیاه تقریباً مشابه بودند از گلخانه مرکز تهیه شدند. در هر آزمایش یک گلدان به تصادف انتخاب شده و قطعات کوچک کاغذهای حساس به آب (به ابعاد ۱۰×۳۰ میلی‌متر) روی قسمتی از سطوح رویی و پشتی برگ، که

تعریف شده انجام می‌شود. با استفاده از رابطه حجم کره، حجم ذرات سم بدست می‌آید و سپس حجم کل مصرفی و حجم تجمعی به دست می‌آید و از روی این پارامترها قطر میانه حجمی، قطر میانه عددی و قطر میانه حجمی ۱۰ درصد و قطر میانه حجمی ۹۰ درصد به دست می‌آید. سپس پارامترهایی نظیر درصد پوشش سطحی، یکنواختی پاشش و حجم محلول مصرفی در واحد سطح محاسبه می‌شود. این الگوریتم قادر است مساحت تمام لکه‌های ثبت شده روی کاغذ، قطر واقعی تمام ذرات پاشیده شده و حجم تمام ذرات را به همراه پارامترهای فوق‌الذکر محاسبه نموده و خروجی را به صورت یک فایل اکسل در مسیر تعریف شده ذخیره کند. فلوچارت عملیات در شکل ۲ آمده است.

تصویر را انجام می‌دهد. نتیجه پیش پردازش را به صورت تصویر بهبود یافته به همراه تصویر باینری و تصویر Label Matrix در کنار تصویر اصلی مربوط به آن نمایش داده می‌شود. سپس در صورت پذیرش توسط کاربر، مشخصات تصویر مانند طول و عرض تصویر به میکرومتر و رزولوشن اسکن به dpi خواسته می‌شود. با ورود این اطلاعات پردازش‌های اصلی لازم بر اساس تشخیص پیکسل‌های سفید بهم چسبیده در پس زمینه سیاه جهت تعیین تعداد لکه‌های سفید و اندازه‌گیری مساحت آن‌ها بر اساس تعداد پیکسل‌ها انجام می‌شود و سپس با اعمال ضریب پخش متناسب با قطر لکه قطر واقعی ذرات محاسبه می‌شود. سپس محاسبه پارامترهایی مانند قطر میانه حجمی، درصد پوشش سطحی و نسبت یکنواختی نشست ذرات بر اساس روابط



شکل ۲. فلوچارت عملیات پیش پردازش و پردازش تصویر

سطح رویی و پشتی برگ در جدول ۱ آمده است.

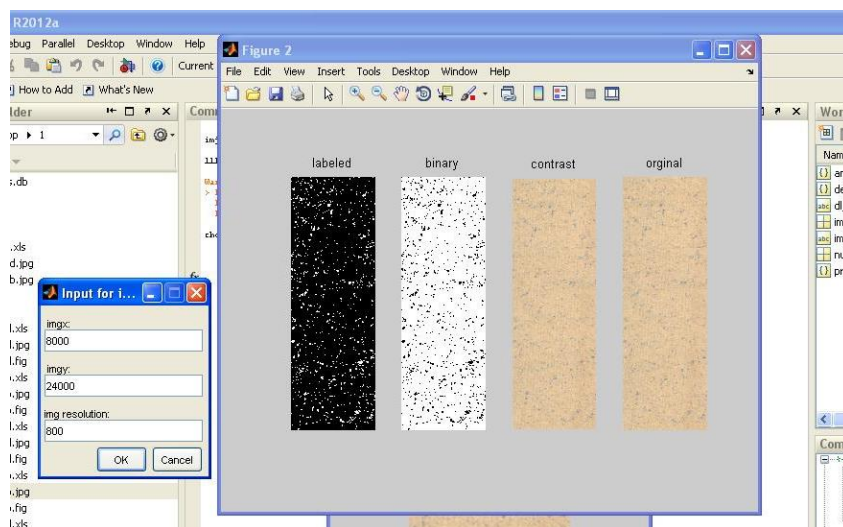
### درصد پوشش سطحی

طبق جدول ۱ هر سه فاکتور فاصله تا هدف، دور موتور و دبی با احتمال ۹۹ درصد روی درصد پوشش سطح رویی و پشتی برگ اثر معنی‌داری داشت. همچنین به استثنا اثر بر همکنش فاکتورهای فاصله و دور (DN) در سطح رویی برگ، تمامی اثرات متقابل نیز برای سطح رویی و پشتی برگ در سطح ۱ درصد معنی دار بودند.

خروجی برنامه پردازش تصویر، در یک فایل Excel گزارش شد. برای اصلاح و برش تصاویر اسکن شده از نرم‌افزار Adobe Photoshop CS6 و برای انجام تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS Statistics 19 استفاده شد. شکل ۳ نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پردازش تصویر در محیط متلب را نشان می‌دهد.

### نتایج و بحث

خلاصه نتایج تجزیه واریانس پارامترهای سمپاشی برای



شکل ۳. گزارش خروجی الگوریتم پردازش تصویر در متلب

جدول ۱. خلاصه نتایج تجزیه واریانس پارامترهای سمپاشی مربوط به سطح رویی و پشتی برگ

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		درصد پوشش سطحی (%)		قطر میانه حجمی (میکرون)		نسبت یکنواختی نشست	
		سطح رویی	سطح پشتی	سطح رویی	سطح پشتی	سطح رویی	سطح پشتی	سطح رویی	سطح پشتی
فاصله تا هدف (D)	۲	۲۷۵۴**	۳۵**	۲۶۹۲۷۲۳**	۳۶۳۰ <sup>ns</sup>	۱۰۰۲**	۰/۹۷ <sup>ns</sup>		
دور موتور (N)	۲	۱۸۷۲**	۲۰۶**	۴۱۳۱۳۴**	۱۴۷۳ <sup>ns</sup>	۶۴۵**	۰/۴۹ <sup>ns</sup>		
دبی نازل (Q)	۲	۶۷۹**	۲۵**	۹۹۴۳۸**	۴۹۷ <sup>ns</sup>	۴۲۶**	۰/۸۰ <sup>ns</sup>		
D*N	۴	۸ <sup>ns</sup>	۴۴**	۴۷۷۹۵**	۴۲۱۵*	۱۵۱**	۲/۱ <sup>ns</sup>		
D*Q	۴	۳۵۹**	۲۴**	۹۹۳۹۲**	۴۵۱ <sup>ns</sup>	۱۴۱**	۰/۹۲ <sup>ns</sup>		
N*Q	۴	۳۱۰**	۴۵**	۴۳۵۱۷**	۳۵۳۳ <sup>ns</sup>	۳۲۹**	۲ <sup>ns</sup>		
D*N*Q	۸	۲۸۸**	۱۲**	۲۱۰۸۱**	۱۹۱۶ <sup>ns</sup>	۱۴۵**	۰/۸۴ <sup>ns</sup>		
خطا	۵۴	۱۱	۲	۵۰۵۵۲	۱۴۵۷	۲۷	۰/۸۶		

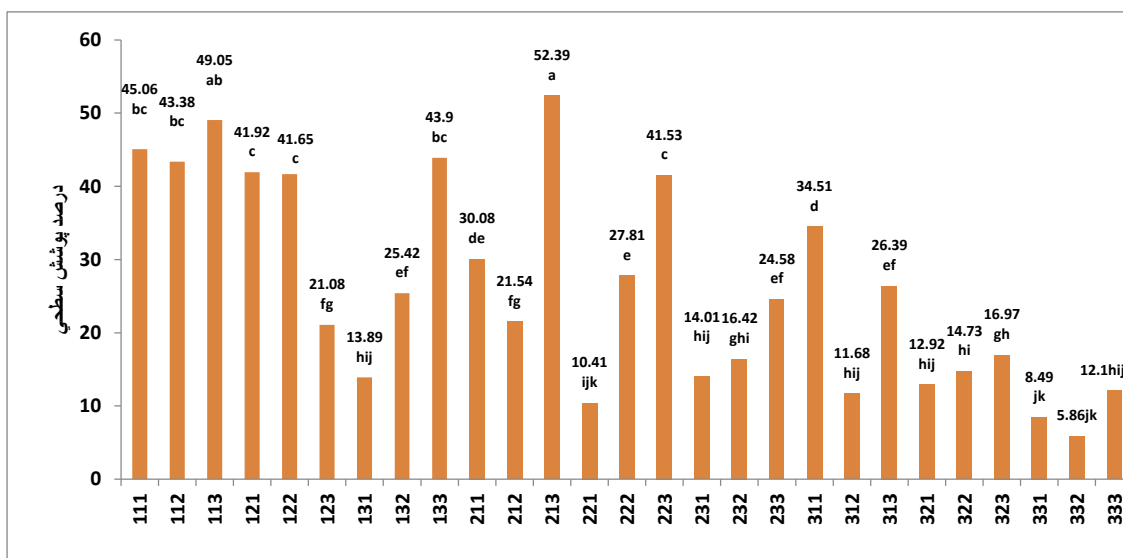
\*\* : تفاوت بسیار معنی‌دار ( $\alpha \leq 0/01$ )  
ns : تفاوت غیرمعنی‌دار

نشان می‌دهد. به علت ازدیاد داده‌های مربوط به جداول نتایج مقایسه میانگین‌ها برای اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه، از درج جداول مربوط به آن‌ها خودداری شده است. به عنوان نمونه

جدول ۲ نتایج مقایسه میانگین‌ها را برای اثرات اصلی، در تیمارهای مربوط به سطح رویی و پشتی برگ که با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت را برای هر پنج صفت مورد بررسی

میدان الکترواستاتیکی و تضعیف القای الکترواستاتیکی بین افشانه و هدف با افزایش فاصله است. *Sasaki et al.* (2012)، به این نتیجه رسیدند که در سمپاشی الکترواستاتیک با افزایش فاصله، میزان نشست محلول سمی روی هدف به شدت کاهش می‌یابد، به طوری که این مقدار در فواصل ۱ و ۴ متر به ترتیب برابر ۰/۹۱ و ۰/۱۰ میکرولیتر در هر سانتیمترمربع است.

شکل ۴، اثر متقابل سه‌گانه فاکتورها را بر روی درصد پوشش سطحی در سطح رویی برگ، نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، به طور کلی با افزایش فاصله نازل تا هدف، میزان پوشش سطحی روی برگ کاهش یافت. اثر اصلی فاصله روی درصد پوشش سطحی، در سطح رویی برگ نیز این مطلب را تایید می‌کند (جدول ۲). علت این امر، افت شدت



شکل ۴. اثر متقابل سه فاکتور فاصله تا هدف (عدد اول)، دور موتور (عدد دوم) و دبی نازل (عدد سوم) بر درصد پوشش سطحی

جدول ۲. اثرات اصلی فاکتورها بر وضعیت نشست ذرات بر سطح رویی و پشتی برگ

سطوح فاکتورها	درصد پوشش سطحی		قطر میانه حجمی		نسبت یکنواختی نشست	
	سطح رویی	سطح پشتی	سطح رویی	سطح پشتی	سطح رویی	سطح پشتی
D1	۳۶،۱۵ <sup>a</sup>	۶،۴۴ <sup>a</sup>	۹۰۱ <sup>a</sup>	۱۲۷ <sup>a</sup>	۱۷،۶۴ <sup>a</sup>	۲،۸۴ <sup>a</sup>
D2	۲۶،۵۳ <sup>b</sup>	۴،۱۷ <sup>b</sup>	۶۴۹ <sup>b</sup>	۱۱۳ <sup>a</sup>	۱۱،۵۶ <sup>b</sup>	۲،۶۷ <sup>a</sup>
D3	۱۵،۹۶ <sup>c</sup>	۵،۲۳ <sup>ab</sup>	۲۷۳ <sup>c</sup>	۱۳۶ <sup>a</sup>	۵،۴۶ <sup>c</sup>	۳،۰۵ <sup>a</sup>
N1	۳۴،۹۰ <sup>a</sup>	۷،۷۰ <sup>a</sup>	۸۶۴ <sup>a</sup>	۱۳۱ <sup>a</sup>	۱۷،۰۸ <sup>a</sup>	۲،۹۹ <sup>a</sup>
N2	۲۵،۴۵ <sup>b</sup>	۵،۸۸ <sup>b</sup>	۵۳۲ <sup>b</sup>	۱۲۸ <sup>a</sup>	۹،۸۰ <sup>b</sup>	۲،۷۲ <sup>a</sup>
N3	۱۸،۳۰ <sup>c</sup>	۲،۲۷ <sup>c</sup>	۴۲۸ <sup>b</sup>	۱۱۷ <sup>a</sup>	۷،۷۸ <sup>b</sup>	۲،۸۵ <sup>a</sup>
Q1	۲۳،۴۸ <sup>b</sup>	۶،۳۸ <sup>a</sup>	۵۱۱ <sup>b</sup>	۱۲۳ <sup>a</sup>	۹،۹۸ <sup>b</sup>	۲،۷۳ <sup>a</sup>
Q2	۲۳،۱۷ <sup>b</sup>	۴،۶۳ <sup>a</sup>	۴۶۳ <sup>b</sup>	۱۲۲ <sup>a</sup>	۸،۶۰ <sup>b</sup>	۲،۷۸ <sup>a</sup>
Q3	۳۲ <sup>a</sup>	۴،۸۳ <sup>a</sup>	۸۴۹ <sup>a</sup>	۱۳۰ <sup>a</sup>	۱۶،۰۷ <sup>a</sup>	۳،۰۵ <sup>a</sup>

حروف مشترک نشان‌دهنده تفاوت غیرمعنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۵ هستند.

بالا، میزان پوشش بیشتری در سطح رویی برگ حاصل شده است. علت این امر تولید قطرات درشت‌تر و به هم پیوستگی آن‌ها روی سطح و ایجاد لکه‌های بزرگتر است. تولید ذرات ریزتر و بالاتر بودن سطح بارداری افشانه

اثر اصلی دور موتور روی درصد پوشش سطحی در سطح رویی برگ نشان داد که در هر سطح از فاصله، با کاهش دور موتور، میزان پوشش سطح رویی برگ کاهش می‌یابد. با توجه به جدول ۲، در سطوح فاصله و دور یکسان، غالباً در سطح دبی

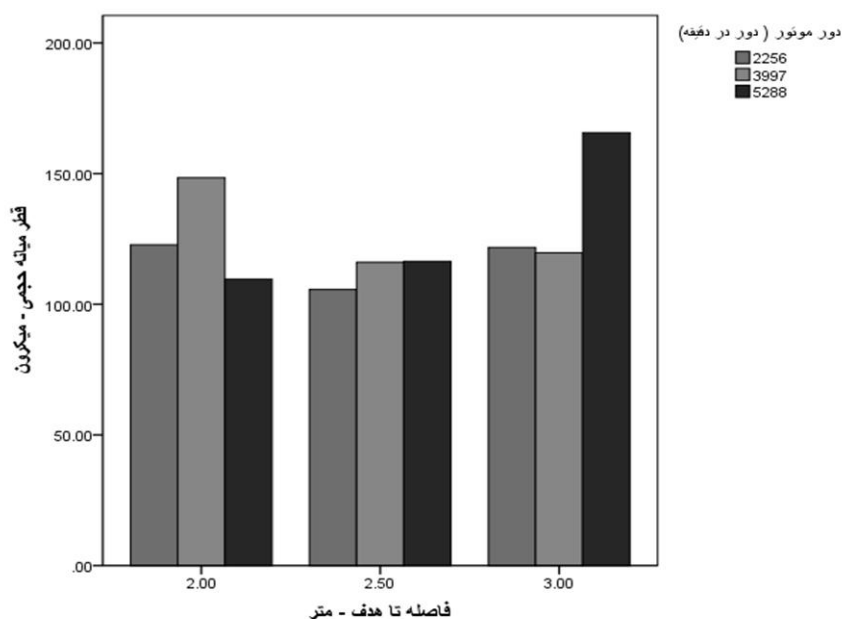
اصلی فاکتورها و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها، از نظر آماری معنی دار نبودند.

اثر متقابل سه‌گانه فاکتورها، برای سطح رویی برگ، نشان داد که کم‌ترین مقادیر قطر میانه حجمی در تیمارهای مربوط به فاصله ۳ متر حاصل شده است. اثرات اصلی سطوح مختلف فاصله نازل تا هدف نیز این مطلب را تایید کرد (جدول ۲). در فواصل کمتر، نشست ذرات سم روی هر قسمت از سطح بیشتر بوده و با به هم پیوستگی آن‌ها، ذرات با قطر میانه حجمی بالاتر تشکیل می‌شود. اثر اصلی دور موتور روی قطر میانه حجمی ذرات نشست کرده بر سطح رویی برگ نیز با کاهش دور قطر میانه حجمی ذرات کاهش یافت (جدول ۲). از سوی دیگر، در سطوح فاصله و دور یکسان، غالباً در سطح دبی بالا، میزان پوشش بیشتری در سطح رویی برگ حاصل شده است.

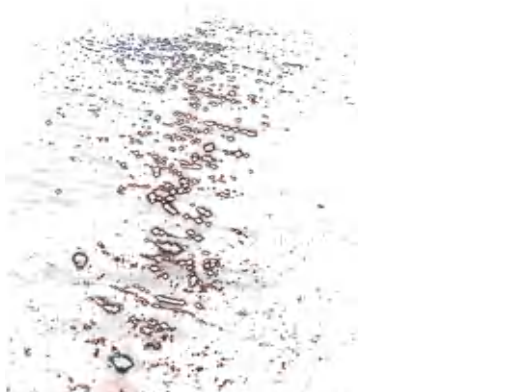
حامل ذرات ریز، عامل اصلی پوشش سطحی بیشتر در سطح پشتی برگ است. با توجه به جدول ۲، عموماً در سرعت‌های دورانی بالای موتور، میزان پوشش سطحی بالاتری در سطح پشتی برگ بروز یافته است. علت این امر تولید ذرات ریزتر، به ویژه در دبی پایین است که افشانه حامل این ذرات سطح بارداری بیشتری را می‌پذیرد و با تشکیل کمر بند الکترواستاتیکی باعث جذب و نشست بیشتر ذرات در سطح پشتی برگ می‌شود. به همین علت، افزایش دبی نیز باعث کاهش میزان نشست ذرات باردار در پشت برگ می‌گردد.

#### قطر میانه حجمی

با توجه به جدول ۱، اثرات هر سه فاکتور به همراه اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها، روی قطر میانه حجمی ذرات نشسته روی سطح رویی برگ، در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اما در سطح پشتی برگ، به جز اثر متقابل فاصله و دور، هیچ‌یک از اثرات



شکل ۵. اثر متقابل فاصله و دور بر قطر میانه حجمی ذرات نشسته بر پشت برگ



شکل ۶. به هم پیوستگی ذرات ریز موجب تشکیل لکه‌های بزرگتر می‌شود

اثر متقابل فاصله و دور موتور، تنها فاکتور معنی‌دار با احتمال ۹۵ درصد، بر روی قطر میانه حجمی ذرات نشسته روی سطح پشتی برگ بود. شکل ۵، اثر متقابل دو فاکتور فاصله و دور موتور را روی این صفت نشان می‌دهد. بالا بودن قطر میانه حجمی در دور بالا در فواصل ۲/۵ و ۳ متر، به علت به هم پیوستگی ذرات ریز و تشکیل لکه‌های بزرگ است (شکل ۶). پایین‌ترین مقادیر قطر میانه حجمی در فاصله ۲/۵ متر حاصل شد که علت آن عدم به هم پیوستن ذرات است.

به طور کلی به علت به هم پیوستگی کمتر ذرات ریز، مقادیر قطر میانه حجمی ذرات نشست کرده روی سطح پشتی برگ، نسبت به سطح رویی برگ بسیار کمتر است که این موضوع ضمن کاهش میزان محلول مصرفی، بر آفاتی که پشت برگ‌ها ماوی می‌گزینند، تاثیر بسیار مفیدی خواهد داشت.

#### نسبت یکنواختی نشست:

با توجه به جدول ۱، اثر اصلی هر سه فاکتور به همراه اثرات متقابل دو گانه و سه‌گانه فاکتورها، روی صفت نسبت یکنواختی نشست در سطح رویی برگ با احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود. اما اثرات هر سه فاکتور و اثرات متقابل آن‌ها، روی یکنواختی نشست ذرات باردار بر سطح پشتی برگ اثر معنی‌داری نداشت. این بدین مفهوم است که در سمپاشی الکترواستاتیک و در تمامی تیمارها، یکنواختی نشست ذرات در سطح پشت برگ‌ها، نسبتاً مشابه است که این امر را می‌توان به کارا بودن کمر بند الکترواستاتیکی تشکیل شده، تعبیر نمود.

اثرات اصلی سطوح مختلف فاصله (جدول ۲) و اثر متقابل سه‌گانه بر نسبت یکنواختی نشست در سطح رویی برگ، نشان داد که کم‌ترین مقادیر نسبت یکنواختی نشست، مربوط به تیمارهای سطح سوم فاصله (۳ متر) است. این امر به دلیل پوشش سطح با ذرات نسبتاً یکنواخت و عدم تشکیل لکه‌های بزرگ‌تر است. با کاهش فاصله، این یکنواختی کمتر می‌شود، به طوری که میانگین آن در تیمارهای مختلف فاصله ۲ متر، به ۱۷/۶۴ می‌رسد. می‌توان استنباط کرد که در فواصل کمتر، به دلیل احتمال برخورد ذرات با یکدیگر در سطح رویی و تشکیل لکه‌های بزرگ‌تر و همچنین اغتشاش در نشست ذرات، میزان یکنواختی نشست کمتر است. از سوی دیگر با توجه به اثرات اصلی دور (جدول ۲) و اثر متقابل سه‌گانه بر نسبت یکنواختی

نشست در سطح رویی برگ، به طور کلی در هر سطح از فاصله، مقدار نسبت یکنواختی نشست در دور بالا بیشتر است. با کاهش دور این نسبت کاهش می‌یابد و یکنواختی نشست ذرات بهبود می‌یابد. اثر سطوح مختلف دبی نازل بر نسبت یکنواختی نشست در سطح رویی برگ، نشان داد که بدترین حالت یکنواختی نشست، در دبی بالا اتفاق می‌افتد و یکنواختی نشست در دبی ۳۰۸ میلی‌لیتر در دقیقه بهینه است (جدول ۲). علت این امر آن است که ذرات حاصل از دو سطح دیگر دبی، هنگام نشست روی سطح، تشکیل لکه‌های بزرگ می‌دهند. البته بر طبق جدول ۲، بین مقادیر این صفت در دو سطح اول دبی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

#### درصد پوشش سطحی سطوح کاغذهای حساس به آب، توسط ذرات بادبرده:

از سطوح قطعات کاغذهای حساس به آب به عنوان سطوح جمع آوری ذرات دچار بادبردگی استفاده شد. جدول ۳، نتایج تجزیه واریانس را برای درصد پوشش سطحی توسط ذرات بادبرده که نشانگر میزان بادبردگی هستند، نشان می‌دهد. همان طور که در جدول ۳ مشخص است، اثر باردارسازی ذرات نسبت به عدم باردارسازی آنها از نظر آماری با احتمال ۹۹ درصد روی درصد پوشش سطحی معنی‌دار بود. اثرات اصلی سرعت باد و فاصله و همچنین اثرات متقابل CV و VL نیز در سطح ۱ درصد روی این صفت معنی‌دار هستند. به علاوه اثر متقابل CL با احتمال ۹۵ درصد روی درصد پوشش سطحی معنی‌دار بود. اما اثر متقابل سه فاکتور روی این صفت معنی‌دار نبود.

نتایج مقایسه میانگین‌ها برای درصد پوشش سطحی توسط ذرات بادبرده، برای سطوح مختلف فاکتورها در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۳. خلاصه نتایج تجزیه واریانس پارامترهای مربوط به بادبردگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	پارامتر F (برای درصد پوشش سطحی)
وضعیت باردارسازی (C)	۱	۹/۱۶**
سرعت باد (V)	۱	۵/۰۷**
فاصله (L) 0	۲	۵/۰۲**
C*V	۱	۴/۲۷**
C*L	۲	۰/۶۹*
V*L	۲	۰/۹۸**
C*V*L	۲	۰/۱۶ <sup>ns</sup>
خطا	۲۴	۰/۱۸

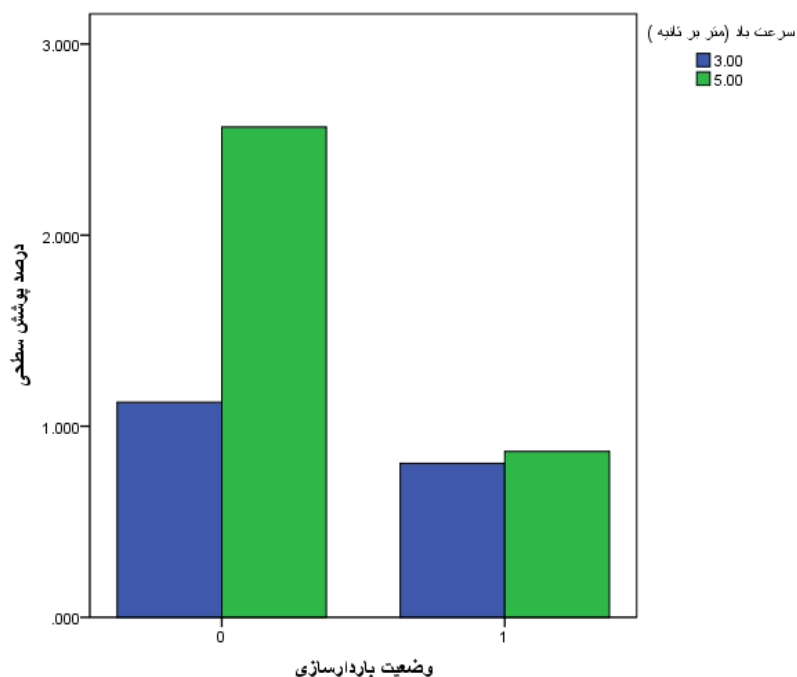


جدول ۴. اثرات اصلی فاکتورها بر درصد پوشش سطحی توسط ذرات بادبرده

سطوح فاکتورها	درصد پوشش	سطوح	درصد پوشش	سطوح	درصد پوشش
L1	۰/۷۵ <sup>b</sup>	C1	۱/۸۵ <sup>a</sup>	V1	۱/۷۲ <sup>a</sup>
L2	۱/۲۴ <sup>b</sup>	C2	۰/۸۴ <sup>b</sup>	V2	۰/۹۷ <sup>b</sup>
L3	۲/۰۳ <sup>a</sup>				

ذرات باردار در دو سرعت متفاوت باد مشاهده گردید. با توجه به این که ذرات تولیدی به دلیل دور بالای موتور و دبی پایین نازل، بسیار ریز هستند، بادبردگی آنها در حالت پاشش عادی و با افزایش سرعت باد به شدت افزایش می‌یابد در حالی که باردارسازی ذرات، موجب کنترل مسیر حرکت ذرات باردار در سرعت‌های مختلف باد می‌گردد.

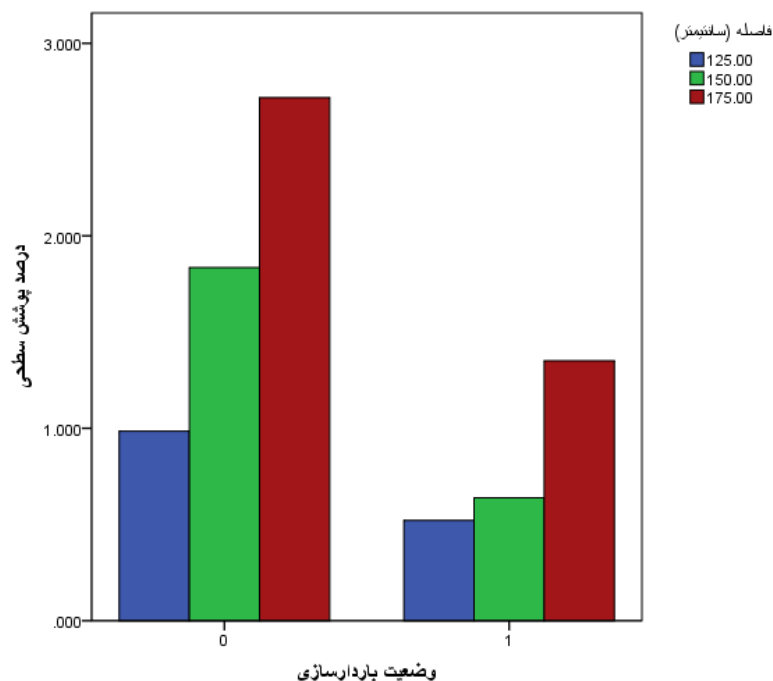
شکل ۷، اثر متقابل CV را روی درصد پوشش سطحی کاغذهای حساس به آب نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است، میزان نشست ذرات دچار بادبردگی (بر روی سطوح کاغذهای حساس به آب)، در حالت بدون باردارسازی بیشتر بود. در حالت بدون باردارسازی این میزان در سرعت باد ۵ متر بر ثانیه خیلی بیشتر از سرعت باد ۳ متر بر ثانیه بود در حالی که در حالت باردارسازی، تفاوت بسیار اندکی در میزان بادبردگی



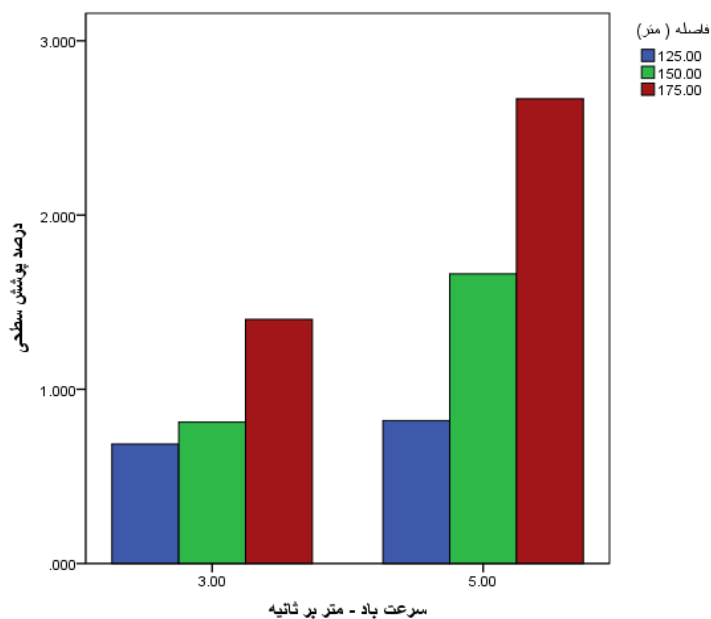
شکل ۷. اثر متقابل وضعیت باردارسازی و سرعت باد بر درصد پوشش سطحی سطوح کاغذهای حساس به آب، توسط ذرات دچار بادبردگی

اثر ترکیب سطوح مختلف فاکتورهای سرعت باد و فاصله (اثر متقابل VL) در شکل ۹ مشاهده می‌شود. ذرات سم، صرف نظر از باردار بودن یا باردار نبودن، در سرعت باد بالاتر، بیشتر دچار بادبردگی شدند و نرخ افزایش بادبردگی در سطوح مختلف فاصله، در سرعت باد ۵ متر بر ثانیه بیشتر از سرعت باد ۳ متر بر ثانیه بود.

شکل ۸، مربوط به اثر متقابل CL است. با افزایش فاصله و با دور شدن ابر پاششی از نازل، بادبردگی افزایش یافت. در حالت بدون باردارسازی این افزایش در فواصل مختلف، با شیب یکنواختی رخ داد اما در حالت باردارسازی، نرخ افزایش بادبردگی با افزایش فاصله افزایش یافت. علت این امر تضعیف میدان الکترواستاتیکی با افزایش فاصله و عدم توانایی نگهداری بار الکتریکی توسط ذرات است.



شکل ۸. اثر متقابل وضعیت باردارسازی و فاصله بر درصد پوشش سطحی سطوح کاغذهای حساس به آب، توسط ذرات دچار بادبردگی



شکل ۹. اثر متقابل سرعت باد و فاصله بر درصد پوشش سطحی ذرات دچار بادبردگی

### نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه، برخی فاکتورهای مهم در عملکرد سم‌پاش‌های الکترواستاتیک مورد بررسی قرار گرفت. علیرغم پیچیده بودن و نامعین بودن رفتار ذرات باردار سم در نشست روی سطوح رویی و پشتی برگ می‌توان گفت که بهینه‌ترین تیمارها جهت پاشش الکترواستاتیک تیمارهای با فاصله ۲/۵ و ۳ متر و دور بالای موتور (حالت تمام گاز) و دبی پایین جریان محلول می‌باشد.

Gupta (1992)، در گزارش نهایی طرح تحقیقی خود در مورد عملکرد سمپاش الکترواستاتیک دستی، به این نتیجه رسید که به طور کلی، با افزایش ارتفاع پاشش در هر دو حالت با باردارسازی و بدون باردارسازی، بادبردگی افزایش می‌یابد. اما کاهش بادبردگی ذرات باردار نسبت به ذرات بدون بار در ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر، حدود ۲۹ درصد کمتر است، درحالی که در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر، این کاهش ۴ درصد کمتر بود.

یکنواختی نشست در سطح رویی برگ بود. اما اثرات هر سه فاکتور و اثرات متقابل آن‌ها، روی یکنواختی نشست ذرات باردار بر سطح پشتی برگ اثر معنی داری نداشت که بیان‌گر یکنواختی نشست ذرات در سطح پشت برگ‌ها است. همچنین بادبردگی به عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل مورد بحث در سمپاش‌های ذره‌پاش مورد ارزیابی قرار گرفت. همان طور که انتظار می‌رفت، ذرات سم در حالت بدون باردارسازی دچار بادبردگی بیشتری شدند، در صورتی که در سرعت‌های مختلف باد، باردارسازی ذرات، موجب کنترل بهتر مسیر حرکت ذرات باردار گردید.

نتایج نشان داد که به طور کلی با افزایش فاصله نازل تا هدف، میزان پوشش سطحی در روی برگ کاهش یافت. از سوی دیگر، از آنجا که تولید ذرات ریزتر و بالاتر بودن سطح بارداری، عامل اصلی پوشش سطحی بیشتر در سطح پشتی برگ است، عموماً در سرعت‌های دورانی بالای موتور، میزان پوشش سطحی بالاتری در سطح پشتی برگ بروز یافت و افزایش دبی نیز باعث کاهش میزان نشست ذرات باردار در پشت برگ گردید. دیگر نتایج پژوهش حاکی از معنی‌دار بودن اثرات اصلی هر سه فاکتور مورد بررسی (فاصله هد، سرعت دورانی موتور و دبی خروجی) به همراه اثرات متقابل دو گانه و سه‌گانه آن‌ها، بر صفت نسبت

## REFERENCES

- Daneshjo, M.A., Abbaspoor-Fard, M.H., Aghkhani, M.H. & Ariyan, M. (2008) Development and evaluation of suitable software in the sprayer and toxin density and droplet size. *Journal of Plant Protection (Agricultural Science and Technology)*, 22(2), 171- 181. (In Farsi)
- Fallah Jedi, R. (2005) *Sprayer calibration routine in Iran* (First edition). Office of Educational Technology Services, Karaj. (In Farsi)
- Gupta, C.P. (1992) *Farmer driven electrostatic low volume sprayer*. Final report. U.S. Agency for international development.
- Jahannama, M.R. & Salehi, H. (2011) Patterns of spray attraction and deposition due to electrical charging. *Sharif Mechanical Engineering Journal*, 3-27(1), 3-14. (In Farsi)
- Kirk, I. W., Hoffmann, W.C. & Carlton, J.B. (2001) Aerial electrostatic spray system performance. *Transactions of the ASABE*, 44, 1089 – 1092.
- Marcal, A. R. S., & Cunha, M. (2008) Image processing of artificial targets for automatic evaluation of spray quality. *Transactions of the ASABE*, 51, 811 -821.
- Matthews, G. A. (2000) *Pesticide Application Methods*. 3<sup>rd</sup> ed. Blackwell science, London.
- Sasaki, S. R., Teixeira, M. M., Fernandes, H. C., Monterio, P. M. B., Rodrigues D. E. & Alvarenga C. B. (2012) Effect of space on droplets electrical charge during electrostatic spraying. *International Conference of Agricultural Engineering - CIGR-AgEng: agriculture and engineering for a healthier life*, Valencia, Spain, 8-12 July 2012.
- Shafiei, A. (2005) *Principles of Agricultural Machinery* (Second edition). Tehran University. (In Farsi)
- Zhao, S., Castle, G.S.P. & Adamiak, K. (2008) Factors affecting deposition in electrostatic pesticide spraying. *Journal of Electrostatics*, 66(11-12), 594-601