

مطالعه تجربی رفتار الکتروهیدرودینامیکی یک سمپاش القایی

محمد رضا جهان نما^۱

چکیده

سمپاشی سموم باردار روشی است که با بهره‌گیری از پیدایش میدان الکتریکی میان قطرات باردار سم و هدف گیاهی زمینه بهبود کمی و کیفی نشست سم را فراهم می‌سازد. شناخت این فرآیند علاوه بر نگرش صرف بر مقادیر کمی نشست مستلزم بررسی مشخصه‌های الکتروهیدرودینامیکی اسپری باردار می‌باشد که مقاله حاضر به ابعادی از این موضوع طی بررسی تجربی یک نازل دو سیاله (هوا و مایع) القایی و ابر باردار شده آن می‌پردازد. اندازه‌گیری قطر و سرعت قطرات توسط یک سیستم لیزری، تعیین بار الکتریکی ویژه با استفاده از یک محفظه فارادی و برداشت تصویر اسپری توسط یک دوربین سرعت بالا چارچوب این مطالعه را تشکیل می‌دهند. نتایج حاصل نشان می‌دهند که اسپری تولید شده (از نوع مخروطی دوار توپر)، از منظر هیدرودینامیکی، توزیع نرمالی را برای مشخصه‌های سرعت و اندازه ابر قطرات فراهم می‌سازد. فشار هوای مصرفی پارامتری است که نقش اساسی در تعیین توان مصرفی نازل دارد در حالی که ولتاژ و دبی مایع از تاثیر به سزایی بر تغییر توان برخوردار نیستند. نقش باردارسازی نیز در افزایش تمایل سینماتیکی قطرات باردار به سوی یک هدف (با پتانسیل صفر) بروز می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: سمپاشی، الکترواستاتیک، روش تجربی، الکتروهیدرودینامیک، بار الکتریکی ویژه

۱- مقدمه

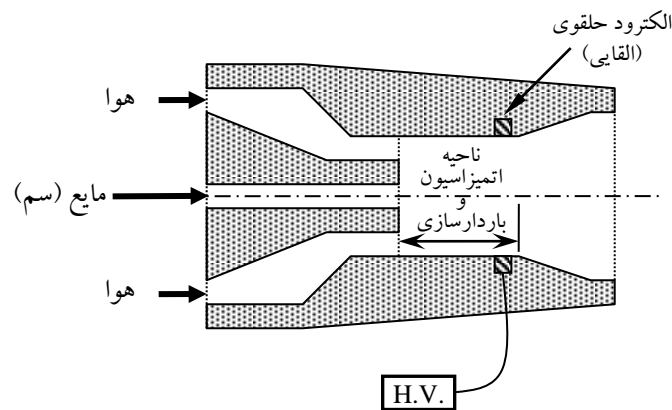
حفظ نباتات فرآیندی حیاتی در کشاورزی محسوب می‌شود که به رغم توسعه و تحقیق بر روی روش‌های مختلف مبارزه با آفات، وابستگی قابل توجهی به کاربرد و پاشش سموم دارد. روش‌های متداول پاشش سم بر پایه استفاده از سمپاش‌هایی استوار هستند که قطرات سم را با استفاده از نیروهای ثقلی و اینرسی به سوی اهداف گیاهی هدایت می‌کنند. بازده پایین سمپاشی و توزیع غیر یکنواخت نشست، نارسایی اصلی این سیستمها محسوب می‌شوند که در عدم توانایی کامل نیروهای دینامیکی در کنترل مسیر حرکت قطرات نهفته است [۱]. پاشش قطرات باردار سم از جمله روش‌های موثری است که برای رفع نارسایی‌های مزبور مورد توجه، پژوهش و کاربرد قرار گرفته است. در این روش، پاشش قطرات باردار سم بر روی اهداف گیاهی با بهره‌گیری از ویژگی پتانسیل صفر گیاه، موجب شکل‌گیری میدان جاذبه الکتریکی (علاوه بر میدان نیروی دینامیکی) میان ابر اسپری و سطح گیاه شده و افزایش جذب و نشست سم را بر روی هدف گیاهی به دنبال دارد [۲]. این میدان جاذبه همچنین سبب کنترل مسیر حرکت قطرات سم در نزدیکی گیاه شده و امکان جذب قطرات باردار را به قسمت‌های زیرین و غیر قابل دسترس آن مهیا می‌سازد [۳]، که این مزیت در اهداف گیاهی متراکم و با هندسه نامنظم اهمیتی مضاعف می‌یابد.

مروری بر ادبیات فنی موضوع نشان می‌دهد که محور اصلی فعالیت‌های پژوهشی بر روی سمپاشی الکترواستاتیکی به دو دیدگاه "افزایش جذب و نشست سم و کاهش آفت" و "ارتقا بازده الکتریکی مکانیزم باردار سازی" اختصاص یافته است ولی به نقش پارامترهای هیدرودینامیکی جریان دو فازی اسپری توجه خاصی مبذول نگردیده است. هر چند نتایج این تحقیقات متفقاً بر نقش مثبت پاشش قطرات باردار سم در افزایش جذب و نشست سم بر روی سطوح فوقانی و زیرین اهداف گیاهی تأکید دارند، ولی در توصیف فیزیکی این پدیده‌ها (به دلیل عدم تحلیل هیدرودینامیکی) دچار نارسایی هستند [۴]. در این راستا مقاله حاضر با ارائه نتایج تجربی حاصل از بررسی الکتروهیدرودینامیکی یک سمپاش دو سیاله الکترواستاتیک القایی، ابعادی از مشخصه‌های عملکرد سمپاش (مانند توان مصرفی، توزیع فراوانی ابعاد و سرعت قطرات و ارزیابی کیفی جذب ابر باردار به هدف) را مورد مطالعه قرار می‌دهد.

۲- روش بررسی

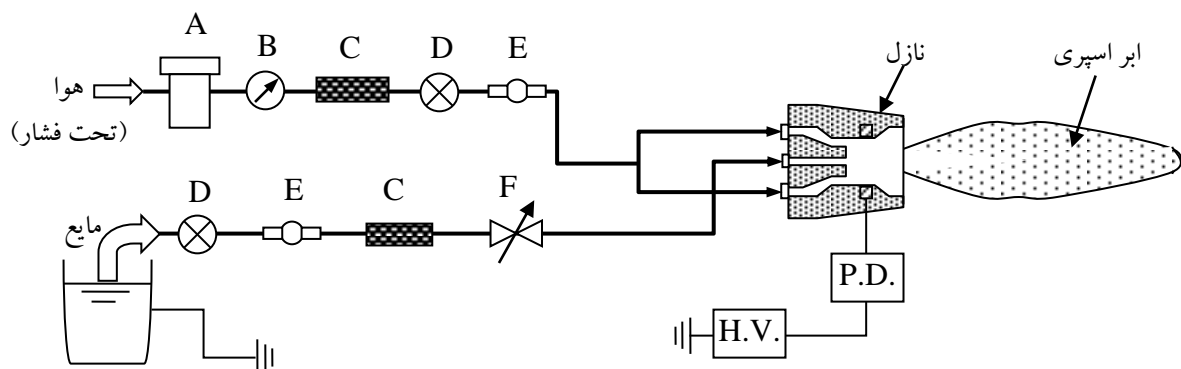
پژوهش انجام شده مبتنی بر روشی تجربی است که بر روی یک سمپاش دو سیاله الکترواستاتیک القایی، ساخت شرکت ESS [۵]، به مورد اجرا درآمده است. نازل این سمپاش (شکل ۱) از نوع دو سیاله متشکل از خطوط جریان هوای تحت فشار و مایع (محلول سم) می‌باشد. ورود هوای فشرده به داخل نازل با ایجاد ناحیه فشار منفی در داخل نازل موجب مکش مایع به درون نازل می‌شود. جریان هوای فشرده همچنین با

اعمال تنش برشی (ناشی از سرعت بالای هوا) بر جریان پیوسته مایع سبب اتمیزاسیون (قطره سازی) سم شده و با انتقال ممنتوم، پاشش این قطرات را به صورت یک ابر پاشش دو فازی (شامل فاز گسسته قطرات مایع و فاز پیوسته هوا) به محیط خارج میسر می‌سازد. باردار سازی قطرات سم در داخل نازل همزمان با فرآیند اتمیزاسیون توسط یک الکتروود حلقوی، متصل به یک منبع تغذیه الکتریکی، صورت می‌گیرد. مکانیزم باردار سازی بر پایه روش القای الکترواستاتیکی انجام می‌گیرد که در آن بار الکتریکی با قطبیتی مخالف قطبیت الکتروود به قطرات سم القا می‌شود. این روش باردارسازی برای سموم رسانا (با مقاومت الکتریکی ویژه کمتر از $1 \times 10^4 \Omega m$) مناسب می‌باشد [۶] و لذا از سمپاش مورد مطالعه همانند سایر سمپاش‌های



شکل (۱): شماتیک نازل دو سیاله القایی.

القایی می‌توان برای باردارسازی و پاشش سمومی با پایه آبی بهره جست. در این راستا، بررسی‌های انجام شده در پژوهش حاضر نیز مبتنی بر باردارسازی و پاشش آب به عنوان سیال رسانا می‌باشد. چیدمان تجربی طراحی شده برای تست، مطابق شکل (۲)، متشکل از دو خط جریان هوا و مایع، و یک خط جریان منبع تغذیه الکتریکی می‌باشد که همگی به نازل دو سیاله القایی (شکل ۱) منتهی می‌شوند. هوای تحت فشار از یک مخزن هوای فشرده تامین می‌شود که در خط جریان هوا پس از عبور از رگولاتور فشار، فشارسنج، فیلتر هوا، شیر (قطع / وصل) و دبی‌سنج به نازل وارد می‌شود. خط جریان مایع شامل شیر (قطع / وصل)، دبی‌سنج، فیلتر مایع و شیر (کنترل دبی) می‌باشد که مایع تحت تاثیر خلا ناشی از هوای فشرده پس از عبور از اجزا مزبور به داخل نازل تغذیه می‌شود. جریان الکتریکی توسط یک منبع تغذیه تامین می‌شود



شکل (۲): شماتیک چیدمان تجربی، A: رگولاتور فشار، B: فشارسنج، C: فیلتر، D: شیر قطع و وصل، E: دبی‌سنج، F: شیر کنترل، P.D.: کاهنده ولتاژ، H.V.: منبع تغذیه.

که پس از گذر از یک کاهنده ولتاژ (برای رفع مشکل ناشی از افت ناگهانی ولتاژ در کرانه پایین تغذیه که امکان کار در کرانه بالا را در پژوهش حاضر ضروری ساخت) به الکتروود (باردارساز) حلقوی انتقال می‌یابد. تصویر واقعی نازل و خطوط جریان هوا، مایع و تغذیه الکتریکی در شکل (۳) مشاهده می‌شوند. برای اندازه‌گیری بار الکتریکی اسپری از یک محفظه فارادی مطابق شکل (۴) استفاده گردید. این

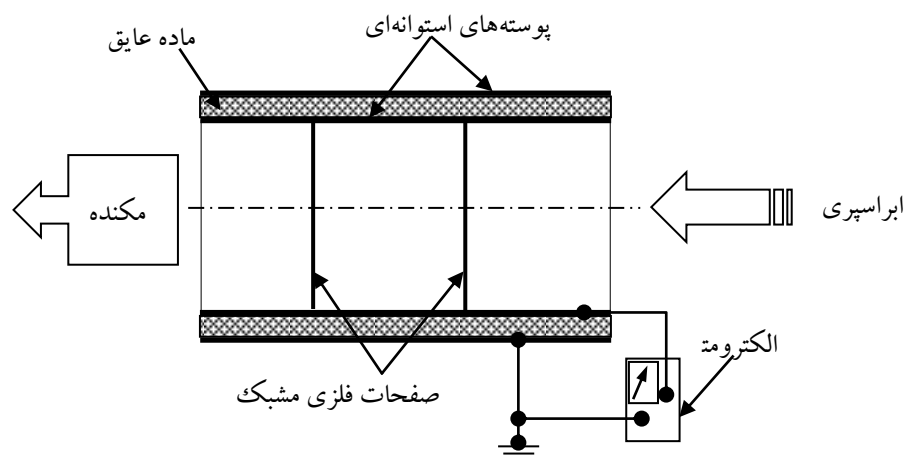


شکل (۳): تصویری از نازل دو سیاله القایی و خطوط جریان هوا، مایع و تغذیه الکتریکی.

محفظه متشکل از دو پوسته فلزی استوانه‌ای هم مرکز می‌باشد که توسط یک ماده عایق الکتریکی (PVC) از یکدیگر جدا شده‌اند. استوانه داخلی به یک الکترومتر و استوانه خارجی به زمین متصل گردیدند. ابر قطرات مایع پس از خروج از نازل به درون محفظه اسپری می‌گردد و در حین عبور از محفظه با دو صفحه فلزی مشبک، تعبیه شده در فضای استوانه داخلی، برخورد می‌کند. در این حالت بار الکتریکی اسپری به صورت یک جریان الکتریکی از طریق الکترومتر اندازه‌گیری و به زمین (پتانسیل صفر) تخلیه می‌گردد. یک مکنده نیز در انتهای محفظه قرار داده می‌شود تا جریان اسپری را به درون استوانه داخلی تسهیل نموده و از پس‌خورد قطرات به خارج از محفظه جلوگیری کند. بار الکتریکی ویژه اسپری، q_d ، را می‌توان با اندازه‌گیری جریان الکتریکی قطرات مطابق رابطه زیر محاسبه نمود:

$$q_d = \frac{i_s}{\dot{m}_l} \quad (1)$$

که i_s و \dot{m}_l به ترتیب جریان الکتریکی ناشی از قطرات باردار اسپری و دبی جرمی جریان مایع می‌باشند. بار الکتریکی ویژه (با واحد کولن بر کیلوگرم) مقدار بار الکتریکی اسپری را در واحد جرم قطرات مایع نشان می‌دهد و شاخصی برای توان باردارسازی



شکل (۴): محفظه فارادی برای اندازه‌گیری بار الکتریکی ویژه

الکترواستاتیکی یک سنجش محسوب می‌شود.

اندازه‌گیری مشخصه‌های قطر و سرعت قطرات توسط سیستم *PDA (Phase Doppler Anemometer)* صورت گرفت که از قابلیت اندازه‌گیری مولفه یک بعدی سرعت و فاصله کانونی یکسان (۳۱۰ میلی‌متر) برای اپتیک‌های فرستنده و گیرنده لیزر برخوردار می‌باشد. نتایج نهایی اندازه‌گیری، حاصل پردازش سیگنال خروجی این سیستم است که در قالب داده‌های خام به نرم افزار *Sizeware®* معرفی و پس از تحلیل، در فرمت قابل تحلیل ارایه و مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مطالعه حاضر همچنین از یک دوربین سریع *Kodak ES1.0* با خروجی ۸ بیت و زمان معرض ۱ میکروثانیه برای تصویر برداری از اسپری و تحلیل کیفی آن استفاده گردید. نور پردازی هدف توسط سیستم *PAL500* با توانایی تولید دو پالس مستقل فوتونی (به ازای فرمان واحد و با استفاده از گاز آرگون)، هر یک با استمرار زمانی ۷۵۰ نانوثانیه انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

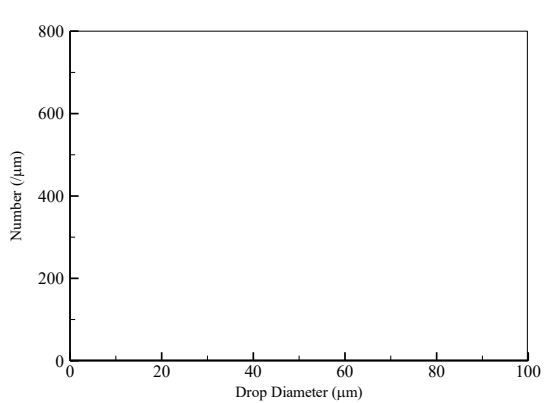
نمونه‌هایی از نتایج پژوهش انجام شده در شکل‌های (۵) الی (۱۰) ارایه شده‌اند. شکل (۵) تصویری را از اسپری تولید شده توسط نازل دو سیاله القایی به ازای ولتاژ باردارسازی $800V$ ، دبی (جریان مایع) $Lmin^{-1}$ و فشار هوای $207 kPa$ به نمایش می‌گذارد (تصویر در حالت افکت منفی، نگاتیو، می‌باشد). تصویر مزبور، از نقطه نظر دسته‌بندی ساختار یک اسپری $[N]$ ، اسپری "مخروطی دوار و توپری (*solid round cone*)" را به عنوان الگوی هندسی به نمایش می‌گذارد که زاویه مخروطی آن به دلیل انرژی جنبشی قطرات در ورود به محیط اتمسفر، پس از طی فاصله‌ای از خروجی نازل آغاز به شکل‌گیری و توسعه می‌نماید.

شکل‌های (۶) و (۷) توزیع‌های فراوانی سرعت و اندازه (قطر) قطرات اسپری را در فاصله $10 cm$ از

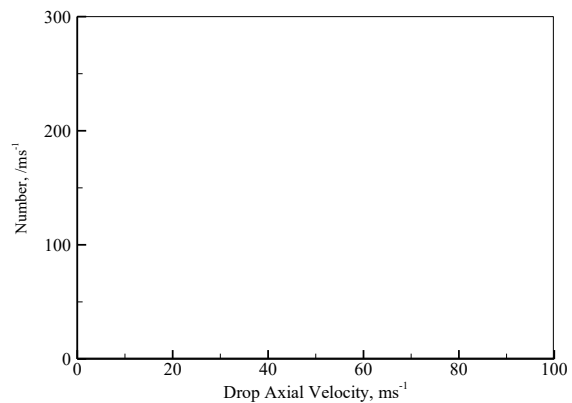
اریفیس و بر روی



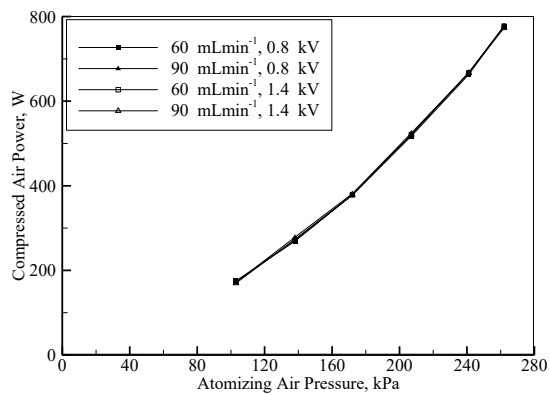
شکل (۵): تصویری از اسپری تولید شده توسط نازل دو سیاله القایی.



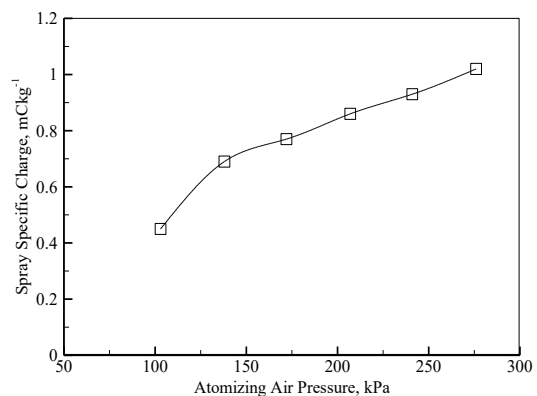
شکل (۷): توزیع فراوانی عددی اندازه (قطر) قطرات.



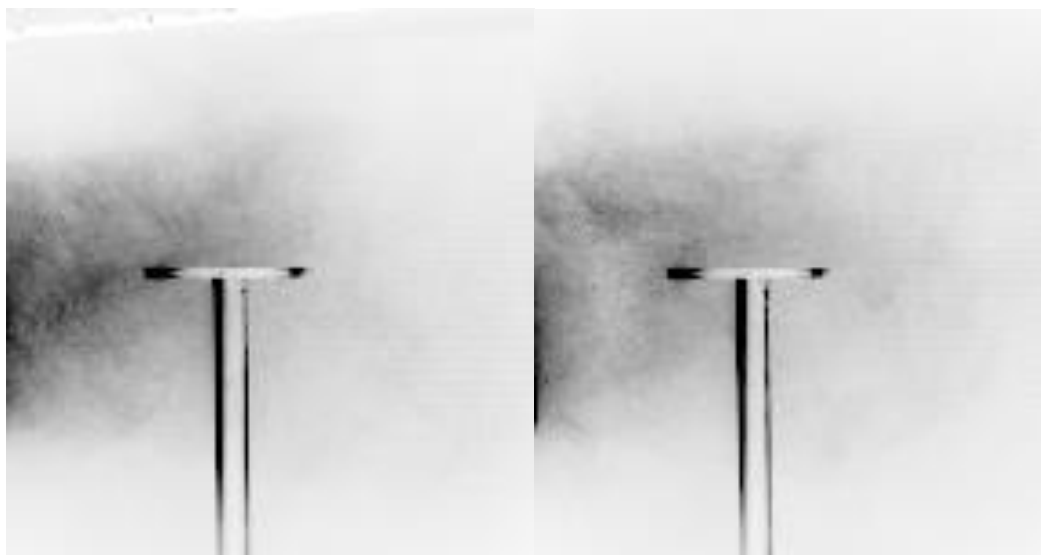
شکل (۶): توزیع فراوانی عددی سرعت قطرات.



شکل (۹): تغییرات توان هیدرودینامیکی بر حسب فشار هوا.



شکل (۸): تاثیر فشار هوا بر بار الکتریکی ویژه.



(ب)

(الف)

شکل (۱۰): الگوی اسپری باردار پیرامون هدفی متصل به زمین به ازای ولتاژ باردار سازی (الف) ۱/۱ kV (ب) ۱/۴ kV.

محور تقارن نازل برای ولتاژ، دبی و فشاری همانند شرایط شکل (۵) نشان می دهند. محاسبه انحراف معیار و میانگین سرعت زمانی (مبتنی بر وزن گیری زمانی برای سرعت ۱۰۰۰۰ قطره عبوری از پروب اندازه گیری) برای توزیع فراوانی سرعت (شکل ۶)، به ترتیب مقادیر $12/4 \text{ ms}^{-1}$ و $44/16 \text{ ms}^{-1}$ را به دست می دهد که بیانگر توزیع نرمالی با کژئی (*skewness*) $+0/16$ می باشد. محاسبات مشابه برای توزیع فراوانی قطر (شکل ۷) نیز مقادیر $8/9 \text{ m}$ و $20/99 \text{ m}$ را به ترتیب برای انحراف معیار و میانگین عددی اندازه قطرات فراهم می سازد که از کژئی $+1/51$ برخوردار است. با پایه این نتایج و بر اساس توزیع استاندارد $z [8]$ می توان دریافت که الگوی های توزیع فراوانی اندازه و سرعت قطرات به ترتیب محدوده های $20/0 \pm 99/18 \text{ m}$ و 1^{-1} $44/0 \pm 16/25 \text{ ms}$ را با اطمینان ۹۵٪ برای مقادیر میانگین مربوطه (قطر و سرعت) تضمین می کنند. این موضوع موید قابلیت نازل در تولید اسپری می باشد که توزیع مولف های هیدرودینامیکی آن از پراکندگی (*disparity*) ناچیزی برخوردار است.

تاثیر فشار هوا بر بار ویژه اسپری (بار الکتریکی انتقال یافته به واحد جرم قطرات) به ازای ولتاژ ثابت 800 V و دبی 60 Lmin^{-1} در شکل (۸) مشاهده می شود. مطابق این شکل، افزایش فشار هوا موجب ازدیاد بار الکتریکی ویژه اسپری می گردد. دلیل این امر را می توان در افزایش توان قطره سازی (اتمیزاسیون) در فشار بالاتر دانست که به تولید قطرات کوچکتر و فراهم شدن سطح کل بیشتری از قطرات در اسپری می انجامد. از آنجایی که مقدار کمی بار الکتریکی که به یک قطره منتقل می شود با سطح کل قطره متناسب است، افزایش سطح کل قطرات امکان انتقال بار الکتریکی بیشتری را میسر می سازد که تاثیر آن در ازدیاد بار ویژه انعکاس یافته است. در شکل (۹) تاثیر فشار هوا بر توان هیدرودینامیکی در دو ولتاژ و دبی متفاوت نشان داده شده است. نتایج نشان می دهند که افزایش فشار نقشی اساسی در ازدیاد توان مصرفی ایفا می کند و در مقابل ولتاژ

و دبی تاثیری بر توان ندارند که این موضوع موید تاثیر غالب نیروی آیرودینامیک بر میدان الکتریکی در داخل نازل می‌باشد.

الگوی شکل گیری اسپری باردار در نزدیکی یک هدف (ولتاژ صفر) در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود. مطابق این تصاویر، افزایش ولتاژ باردار سازی موجب گرایش بیشتر ابر اسپری باردار به سوی هدف می‌گردد که ازدیاد نشست را به دنبال دارد. دلیل این موضوع را می‌توان در ازدیاد بار الکتریکی قطرات در ولتاژ بالاتر و در نتیجه تقویت میدان الکتریکی میان هدف و ابر باردار در آن ولتاژ دانست که افزایش نیروی جذب را باعث می‌شود. دقت در این نمونه نتایج و نیز روش تجربی مطرحه مبین این موضوع است که بررسی مشخصه های الکتروهایدرودینامیکی در فرآیند باردار سازی و پاشش، امکان شناخت بهتر سیستم را در راستای درک پدیده های حاکم، ارتقا طراحی و ازدیاد بازده می‌تواند فراهم سازد.

سپاسگزاری

ارایه مقاله حاضر مرهون فرصت حاصل از اجرای طرح پژوهشی *EPS* در پژوهشکده مهندسی جهاد کشاورزی می‌باشد. مولف در این راستا وظیفه خود می‌داند تا قدردانی خویش را نسبت به پشتیبانی پژوهشکده مهندسی (معاونت پژوهشی) ابراز دارد.

منابع

1. *Almekinders, H., Ozkan, H.E., Reichard, D.L., Carpenter, T.G. and Brazee, R.D., 1992, "Spray deposit patterns of an electrostatic atomizer", Trans. ASAE, 35 (5), pp. 1361-1367.*
2. *Asano, K., 1986, "Electrostatic spraying of liquid pesticides", J. Electrostatics, 18, pp. 63-81.*
3. *Coates, W. and Palumbo, J., 1997, "Deposition off-target movement, and efficacy of captureTM and ThiodanTM applied to cantaloupes using five sprayers", Applied Eng. in Agriculture, 13 (2), pp. 181-188.*
4. *Smith, L. and Thomson, S., 2003, "Application technology for pest management", Pest Management Science, 59 (6-7), pp. 699-707 (9).*
5. *Brochure, 2003, "Electrostatic sprayers for greenhouses", ESS, Inc., Athens, GA.*
6. *Matthews, G.A., 1989, "Electrostatic spraying of pesticides: a review", Crop Protection, 8, pp. 3-15.*
7. *Lavernia, E.J. and Wu, Y., 1996, "Spray atomization and deposition", John Wiley & Sons, New York, p. 83.*
8. *Beckwith, T.G., Marangoni, R.D. and Lienhard, J.H., 1993, "Mechanical measurements", Addison-Wesley, New York.*