مجله دانش کشاورزی/ جلد 18 شماره 1/ سال 1387/ صفحه‌های 242-229

طراحي و ساخت سمپاش الکترواستاتيك گلخانه‌اي و ارزيابي ميزان بارداري قطرات

بیوک مصطفايي مينق[1*]، برات قباديان[2] و محمدرضا جهان نما[3]

تاريخ پذيرش:86/9/24

1- کارشناسي ارشد مکانيک ماشين هاي کشاورزي دانشگاه تربيت مدرس
2- گروه مکانيک ماشين هاي کشاورزي دانشگاه تربيت مدرس
3- وزارت جهاد کشاورزي پژوهشکده مهندسي ايران- تهران
*مسئول مکاتبه E-mail:Bouck58@yahoo.com

چكيده

سمپاشي الکترواستاتيکي روشي است که براي بهبود بازده سمپاشي و نشست بهتر قطرات بر روي گياه مورد توجه قرار گرفته است. مزيت اين روش به ايجاد جاذبه‌ي ديناميکي ميان قطرات باردار سم و گياه مربوط مي‌شود که امکان پوشش پيراموني گياه را در مقايسه با روش‌هاي مرسوم سمپاشي فراهم مي‌سازد. در اين تحقيق طرح و ارزيابي يک سمپاش الکترواستاتيک تشريح شده است که در آن از روش القايي براي باردارسازي الکتريکي قطرات افشانه استفاده مي‌شود. گسست و قطره‌سازي جريان افشانه به روش فراصوتي و رانش و هدايت قطرات توليد شده با استفاده از جريان هواي يک دمنده صورت مي‌گيرد. براي ارزيابي تاثير ولتاژ، سرعت جريان باد و دبي مايع بر روي ميزان بارداري قطرات، آزمايش‌هايي در داخل فضاي بسته انجام گرفت. نتايج حاصل حاکي از تاثير مثبت ولتاژ القايي در توليد قطرات باردار مي‌باشد. افزايش دور دمنده و دبي جريان هوا موجب بهبود بارداري قطرات شد. با اين حال افزايش دبي افشانه به دليل پديده‌ي خيس‌شدگي الکترود از نقشي منفي در باردارسازي برخوردار گرديد. حداکثر بارداري قطرات در دبي 25 ميلي ليتر در دقيقه، ولتاژ 7 کيلو ولت و سرعت باد 23 متر در ثانيه اتفاق افتاده و جريان الکتريکي حاصل از آن در حدود 0/42 ميکرو آمپر برآورد گرديد.

واژه هاي كليدي: افشانك فراصوتي، سمپاش الكترواستاتيك، قطرات باردار

Design and Development of a Greenhouse Electrostatic Sprayer and Evaluation of the Droplets Charging

B Mostafayi Meinagh[1*], B Ghobadian[2] and MR Jahan Nema[3]

[1]MSc, Dept of Agricultural Machinery, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran
[2]Dept of Agricultural Machinery, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran
[3]Ministry of Jahad-Keshavarzi, Engineering Institute, Tehran, Iran
*Corresponding author: E-mail:Bouck58@yahoo.com

Abstract

Electrostatic spraying is the method that is noted for improving the spraying efficiency and droplet deposition on plant. The merit of this method is related to the generation of dynamic attraction between the charged pesticide droplets and plant which obtains plant peripheral coating ability against usual spraying methods. In this research design and evaluation of an electrostatic sprayer was described. In this sprayer, electric charging of droplets is performed through the induction method. Atomization of nozzle flow is accomplished by ultrasonic method and the generated droplets buoyancy and guiding them is achieved by airflow of a fan. To evaluate voltage effect, air speed and liquid flow rate on quantity of droplet charging, the tests were conducted in a closed environment. The results showed the positive effect of inductive voltage on charged droplets creation. Increasing of fan speed improves the droplet charging by increasing of passed air flow rate. However, because of wetting phenomenon, increasing of spray flow rate has a negative role during charging process. The maximum charging is occurred at 25 ml/min flow rate, voltage of 7 kV and air flow speed of 23 m/s and the resulting current is about 0.42 µA.

Key Words: Charged droplets, Electrostatic sprayer, Ultrasonic nozzle

مقدمه

علل عمده عدم استفاده از سمپاش‌هاي هيدروليكي مرسوم در محصولات متراكم، بازده كم سمپاشي و توزيع غير يكنواخت نشست قطرات مي‌باشد (جهان نما و همكاران 2005). پاشش قطرات باردار سم از جمله روش‌هاي موثري است كه با بهره‌گيري از ويژگي پتانسيل صفر گياه، موجب شكل‌گيري ميدان جاذبه‌ي الكتريكي ميان ابر افشانه و سطح گياه شده و به افزايش جذب و نشست سم بر روي هدف گياهي منجر مي‌شود. سمپاشي به روش الكترواستاتيكي در حدود دهه‌ي 1940 به طور آزمايشي مورد استفاده قرار گرفت و از آن به بعد سمپاش‌هاي مختلف توسعه داده شدند. روش‌هاي باردارى قطرات سم به سه دسته اصلي هاله‌اي، تماسي و القايي تقسيم مي‌شود كه بين آنها روش القايي از كارآيي بهتر و ايمن تري برخوردار مي‌باشد (لاو 2001). در ايران سازمان‌ها و دستگاه‌هاي مختلفي از جمله دانشكده‌هاي كشاورزي دانشگاه تهران، دانشگاه اروميه و نيز مركز تحقيقات

مهندسي جهاد كشاورزي تبريز بر روي سيستم سمپاش الكترواستاتيكي كار كرده‌اند. ولي متاسفانه اشكال اساسي چنين تحقيقاتي عدم استفاده از نتايج پژوهشهاي قبلي و دوباره كاري مي‌باشد. در دانشگاه تهران پايان‌نامه كارشناسي ارشد جلال خدايي به بررسي عوامل موثر در طراحي سمپاش الكترواستاتيكي هوا كمكي طرح لاو منجر شد. در اين ميان تنها نمونه ساخته شده در داخل كشور، در مركز تحقيقات مهندسي جهاد كشاورزي تبريز مي‌باشد كه طي آن هد سمپاش الكترواستاتيك موتوري پشتي طراحي و ساخته شد. البته هيچكدام از اين تحقيقات مربوط به گلخانه نبوده و بيشتر براي مزارع توصيه مي‌گردند. در افشانه‌هاي باردار هر چند ميزان بار قطرات سم كوچك مي‌باشد ولي نيروي الكتريكي كه ذرات را به طرف گياه مي‌كشد، خيلي بزرگتر از نيروي ثقل است بدين معني كه هنگام رسيدن قطرات سم به اطراف گياه، جهت حركت آن‌ها بر عكس شده و بر ضد نيروي ثقل به طرف بالا حركت كرده و تشكيل كمربند الكترواستاتيكي مي‌دهند(شكل1). اين موضوع در سمپاشي حائز اهميت است، زيرا سطح زير برگ‌ها كه حشرات و قارچ‌ها در آن‌ها يافت مي‌شوند، تقريباً به اندازه‌ي سطح بالايي پوشش داده مي‌شوند (شكل2). سمپاش‌هاي مرسوم مورد استفاده در گلخانه‌ها داراي مشكلات عمده‌ي عدم پوشش كامل و يكنواخت سطح مورد سمپاشي، آلودگي محيط زيست، گياه سوزي، ضايعات زياد محصول و تلفات زياد محلول سم هستند (دانته و گوپتا 1991، ماتئوس 1992 و كوپر و لاو 2000). به منظور برطرف كردن معايب مذكور، نوعي سمپاش با قابليت قطره سازي به روش فراصوتي و بارداري به روش القايي طراحي و ساخته شد. هدف از تحقيق حاضر، تشريح طرح و ارزيابي اين نوع سمپاش الكترواستاتيك گلخانه‌اي است. اين پژوهش به منظور ارزيابي تاثير مقادير ولتاژ، سرعت جريان باد و دبي مايع روي ميزان بارداري قطرات حاصل انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور پاشش الكترواستاتيكي قطرات سم و افزايش بازده سمپاشي، دستگاهي با قابليت‌هاي زير طراحي و ساخته شد (مصطفايي مينق 1384):

- ايجاد ذرات كوچك سم به كمك افشانك فراصوتي[1].
- بارداري ذرات توليد شده به روش القايي.
- پيش‌راني قطرات به سمت هدف با كمك جريان هوا.

منبع تغذيه‌ي الكتريكي طراحي شده براي كل سيستم، قابليت اتصال به برق شهر و در صورت نبود برق، قابليت استفاده از باطري قابل جابجايي و شارژ مجدد را داراست. ظرفيت باطري انتخاب شده 12 آمپر- ساعت بوده كه در صورت استفاده، بر اساس كل جريان مصرفي سيستم (پنج آمپر) مي‌توان به مدت دو ساعت سمپاشي نمود.

پاشش فراصوتي نوع خاص از ذره‌پاشي است كه در آن انرژي لازم جهت خرد كردن لايه‌ي مايع از طريق انرژي نوساني تامين مي‌شود. دليل استفاده از اين نوع افشانك توليد قطرات با اندازه‌هاي كوچك، توزيع يكنواخت، دبي و فشار بسيار پايين مي‌باشد (راجان و پنديت 2001). توزيع يكنواخت و كوچك اندازه‌ي قطرات در افزايش بازده سمپاشي مهم بوده و دبي پايين مورد استفاده، منطبق بر نياز سمپاشي گلخانه مي‌باشد.

افشانك چنان طراحي شده است كه طول آن مضربي از طول موج توليد شده باشد. با اين كار تشديد موج در هر دو طرف انتهايي افشانك صورت مي‌گيرد و باعث به وجود آمدن يك موج دائمي مي‌شود كه از شرايط لازم براي ذره‌پاشي است. شكل 3 دامنه‌ي چنين موج دائمي را نشان مي‌دهد. استفاده از بدنه‌ي پله‌اي شكل و در نتيجه كاهش

[1] Ultrasonic

سطح مقطع به عنوان يك روش شناخته شده جهت افـزايش دامنه نوسان مي‌باشد. براي به دست آوردن دامنـه‌ي مـوج بيشينه (با توان ورودي قابل دسترس) كمترين نسبت مـورد نياز براي سطح مقطع بزرگتر به كوچكتر در محدوده‌ي 8 - 6 مي‌باشد (لفور 1989):

$$\frac{A_0}{A_1}=\frac{d_0^2}{d_1^2} = 6 \text{ تا } 8 \qquad [1]$$

كه d_0 قطر مربوط به سطح مقطع بزرگتر و d_1 قطر مربـوط به سطح مقطع كوچكتر مي‌باشد.

براي طراحي بدنه افشانك از آلياژ $Al\ 7020$ بـه دليـل در دسـترس بـودن، ارزان بـودن، ويژگـي‌هـاي آكوسـتيكي خوب و استحكام مكـانيكي بـالا اسـتفاده شـد و محاسـبات مهندسي براساس آن انجام گرفـت. بـراي بـه دسـت آوردن طـول مـوج انتقـال يافتـه در افـشانك نيـز از رابطـه‌ي زيـر استفاده مي‌شود (لفور 1989):

$$\lambda=\frac{c}{f} \qquad [2]$$

كـه در آن c سـرعت انتقـال صـوت در محـيط معـين (بدنـه افشانك) و f فركانس ارتعاش است.

افشانك طراحي شده از چهـار قـسمت جلـويي، عقبـي، سـطح پاشـش و مجموعـه‌ي كريـستال (پيـزو الكتريـک) و الكترودها تشكيل يافته است (شكل 4).

با حل معادله‌ي موج در حالت عملكرد پايـدار (مـستقل از زمان) و در نظر گرفتن شرايط مرزي، ابعاد قـسمت‌هـاي مذكور به دست مي‌آيد. براي امـواج طـولي ايـن معادلـه بـه صورت زير بيان مي‌شود (برگر و همكاران 1985):

$$\frac{d}{dx}\left(A_i(x)\frac{d\eta_i}{dx}\right)+K^2\, A_i(x)\,\eta_i\,(x)=0 \qquad [3]$$

كه در آن،

η_i = ميزان جابجايي موج از حالت تعادل (هـم‌ارز بـا دامنه نوسان) در i مين ناحيه ($i=0,1,2$)

$A_i(x)$ = مساحت جانبي در هر ناحيه كه بـه صـورت تابعي از x مي‌باشد.

K = به عنوان عدد موج بوده كه به صورت زير بيان مي‌شود.

$$K=\frac{2\pi f}{c} \qquad [4]$$

مجموعه‌ي الكترودها و كريـستال‌هـا بـر روي قسمت عقبي افشانک سوار شده و با پـيچ كـردن بـه قسمت جلويي، تحت فشار قرار مـي‌گيـرد (شـكل 4). ميزان فشردگي كريستال‌ها بسيار حساس بوده و با تغيير جزئي آن، سيگنال مـوج الكتريكـي خروجـي از مدار تغيير كرده و بـر روي كيفيـت ذره‌پاشـي تـاثير مي‌گذارد.

جهت باردار كـردن قطـرات خروجـي، از روش القايي استفاده شده است. وقتي محلـول سـم متـصل به پتانسيل زمين، در نزديكي الكتـرود بـا ولتـاژ بـالا ذره‌پاشي شود، بار الكتريكي در حين تشكيل قطـرات بر روي آن قطرات القـا مـي‌شـود. اگـر بـار الكتـرود مثبت باشد، قطرات با جـذب الكتـرون از زمـين، بـار منفي مي‌گيرند. چنانچه بار الكترود منفي باشد، عمـل عكس اتفاق افتاده و الكترون‌هاي دفع شده از محلول سم به زمين انتقال يافته و قطـرات داراي بـار مثبـت مي‌شوند (شكل 5). شعاع و ضخامت سيم مربوط به حلقه بارداركننده به منظور جلوگيري از جرقه زني و نيز يونيزه كردن هواي اطـراف حلقـه در محـدوده‌ي ولتـاژ كـاري بـه ترتيـب برابـر 15 و 0/5 ميليمتـر انتخاب مي‌شود. اين حلقه در داخل شـياري واقـع در بدنه‌ي پلاستيكي محاط بر افشانک و نزديک نوک آن قرار مي‌گيرد (شكل 6).

تعيين محل الكترود و ميزان ولتـاژ اعمـالي بـه آن در سمپاش‌هـاي الكترواسـتاتيك يكـي از مـسائل اساسـي و قابـل توجـه مـي‌باشـد. بـا حـل معادلـه‌ي پواسون، توزيع پتانسيل الكتريكي در فضاي اطـراف حلقــه را بــه دســت آورده و ســپس مــي‌تــوان بــا محاسبه‌ي گراديان پتانسيل، توزيع ميـدان الكتريكـي را به دست آورد (جليليان و عابديني 1379). حلقه‌اي

با شعاع داخلي a را طوري روي محور Z قرار مي‌دهيم كه فاصله مركز حلقه از مبدا برابر b و فاصله‌ي حاشيه‌ي حلقه از مبدأ برابر c باشد. در اين حالت زاويه‌ي بين b و c برابر α مي‌باشد (شكل 7). اگر حلقه را به پتانسيل V_0 متصل كنيم؛ بار الكتريكي q روي آن ايجاد مي‌شود.

پتانسيل الكتريكي با افزايش فاصله از حلقه به سرعت كاهش مي‌يابد. همچنين شدت ميدان الكتريكي در فضاي قبل و بعد از حلقه، با آهنگي بيشتر از كاهش پتانسيل الكتريكي افت مي‌نمايد. از طرف ديگر مطابق قانون فاراده ميدان الكتريكي در سطح محصور در داخل حلقه صفر مي‌باشد لذا محل خروج مايع از نوك افشانك بايد خارج از سطح داخلي الكترود بوده و فاصله‌ي چنداني نيز از آن نداشته باشد. به همين منظور با رزوه‌دار كردن سطح داخلي حامل حلقه‌ي باردارکننده و جابجايي طولي آن نسبت به نوک افشانک در حالت‌هاي مختلف ميزان باردراي قطرات مورد بررسي قرار مي‌گيرد (شكل 5).

حداكثر ولتاژ اعمالي با توجه به ضريب استفاده ميدان، تابعي از شعاع و ضخامت الكترود مي‌باشد. شدت ميدان الكتريكي همگن، با تقسيم كردن ولتاژ V_0 به نزديك‌ترين فاصله‌ي دو الكترود d به دست مي‌آيد. يعني:

$$E_h=\frac{V_0}{d} \qquad [5]$$

به كمك ضريب استفاده‌ي (بهره) ميدان، η، حداكثر شدت ميدان برابر است با (محسني 1373):

$$E_{\max}=\frac{V_0}{\eta\cdot d} \qquad [6]$$

ضريب استفاده‌ي ميدان براي يك الكترود حلقوي و فيلم استوانه‌اي مايع كه در شكل 8 آورده شده است با مفروضات زير قابل محاسبه است (محسني 1373):

$$p=\frac{R_a-R_i+r}{r} \qquad [7]$$

$$q=\frac{R_a}{R_i} \qquad [8]$$

$$\eta_A=\frac{\ln\left(\frac{\sqrt{p^2-1}+(p-1)}{\sqrt{p^2-1}-(p-1)}\right)\cdot\ln q}{\sqrt{\frac{p-1}{p+1}}\cdot 2(q-1)} \qquad [9]$$

[10]

$$\eta_B=\frac{\ln\left(\frac{\sqrt{p^2-1}+(p-1)}{\sqrt{p^2-1}-(p-1)}\right)\cdot\ln q}{\sqrt{p^2-1}\cdot\left(1-\frac{1}{q}\right)}$$

جهت محاسبه‌ي ميزان جريان هواي لازم بايد حدود نفوذ قطرات و حدود نفوذ جريان هوا را به دست آورد. در روش مورد تحقيق، مطلوب رساندن قطرات در حدود 40 ميكروني به سطوح هدف در فاصله‌ي 50 تا 80 سانتي‌متر است. منبع تامين هوا يک موتور الكتريكي كوچک 12 ولتي است كه حداكثر دوران آن نزديک به 15000 دور در دقيقه مي‌باشد. پروانه‌اي كه پره‌هاي آن به كمک مفتول سيمي تقويت شده است، به موتور متصل مي‌باشد (شكل 9). حالت‌هاي مختلف سرعت دوراني موتور و جريان باد در جدول 1 آورده شده است.

سرعت v_x براي پروانه‌هاي باد فاقد پره‌هاي هادي از رابطه‌ي زير محاسبه مي‌شود (عليزاده 1362):

$$\frac{v_x}{v_0}=\frac{0.48}{\frac{0.24x}{d_0}+0.145} \qquad [11]$$

كه v_0 سرعت خروجي متوسط بوده و تمام ابعاد بر حسب متر مي‌باشند.

مجموعه‌ي افشانک، موتور و پروانه به صورت هم‌راستا در داخل يک محفظه‌ي پلاستيكي از جنس PVC جاي گرفته و به كمک مواد چسبي به قسمت داخلي آن متصل مي‌شود. براي راحتي باز و بسته كردن مجموعه، محفظه‌ي پلاستيكي از سه قسمت مجزا كه به صورت كشويي به همديگر وصل مي‌شوند تراشكاري شده است. وزن كل مجموعه‌ي

فوق حدود يك كيلوگرم و قيمت ساخت نمونـه اوليـه حـدود 3500000 ريال مي‌باشد.

جدول 1- حالت‌هاي مختلف دور موتور

سرعت دوراني (دور در دقيقه)	9300	10300	11350	12100	13200	14050
سرعت خطي (متر بر ثانيه)	14	14/9	17	20/2	21/6	23

جدول 2- نتايج كمي پارامترها با استفاده از روابط مطروحه در بخش مواد و روش‌ها

رديف	پارامتر	رابطه	مقدار	واحد
1	طول موج (λ)	[2]	**17/1**	سانتيمتر
2	سرعت صوت (**c**)	[2]	**$5/13 \times 10^3$**	متر بر ثانيه
3	عدد موج (**k**)	[4]	**36/74**	یک بر متر
4	ضريب استفاده ميدان (η_A)	[9]	**0/663**	-
5	ضريب استفاده ميدان (η_B)	[10]	**0/381**	-
6	فاصله الكترود (**d**)	[6]	**$R_a - R_i=7$**	ميليمتر
7	ضريب استفاده مجاز (η)	[6]	$\eta=\eta_B$=**0/381**	-
8	حداكثر شدت ميدان (**E_{max}**)	[6]	**$E_{max}=E_{bd}$=15/26**	كيلو ولت بر سانتيمتر
9	ولتاژ مجاز (**V_0**)	[6]	**4/56**	كيلو ولت

علاوه بر ايـن، بـراي بدسـت آوردن ميـزان بـارداري قطـرات از صـفحه‌ي آلومينيـومي بـه ابعـاد $30\times40\ cm^2$ استفاده شد. صفحه‌ي مزبور به عنوان هـدف سمپاشـي در مقابل جريان افشانه قـرار گرفتـه و از طريـق يـک دسـتگاه ميكروآمپرمتر بـا مشخـصات *Digital Multimeter SC-7403* به پتانسيل صـفر زمـين وصـل مـي‌شـود. برخـورد مداوم قطرات باردار به صفحه‌ي آلومينيـومي و انتقـال بـار آن‌ها به زمين از طريق دستگاه، يک جريان الكتريكي را در مـسير موجـب مـي‌شـود كـه توسـط ميكـرو آمپرمتـر آشكارسازي مي‌شود (شكل10).

همچنين آزمون ميزان يكنواختي توزيـع قطـرات بـا استفاده از كارتهاي حساس به آب نيز انجام گرفت. تعداد قطرات روي كاغذها به اين صورت بررسي مي‌شـود كـه ابتدا روي يک كاغذ A_5 معمولي كليشه‌اي به ابعـاد $1\ cm \times 1\ cm$ جدا شده و پس از انجـام آزمـون بـا قـرار دادن تصادفي كليشه بر روي كاغذهاي حـساس بـه آب تعـداد قطرات در واحد سطح شمرده مي‌شوند.

نتايج و بحث

نتيجـه‌ي محاسـبات حاصـل از روابـط 1 تـا 11 در جدول 2 آمده است. با توجه به اين جدول مقـادير عـددي مربوط به پارامترهاي مختلف، جهـت طراحـي افـشانك و نيز حداكثر ولتاژ اعمالي به الكترود بدست مي‌آيد.

شـكل 11 تـاثير ولتـاژ را بـر جريـان الكتريكـي افـشانه‌ي قطـرات بـاردار بـه ازاي مقـادير مختلـف دور پروانه نشان مـي‌دهـد. نتـايج بـه دسـت آمـده، حـاكي از افزايش ميـزان بـارداري قطـرات بـه ازاي افـزايش ولتـاژ اعمالي مي‌باشد. چنانكه در شكل 11 مـشاهده مـي‌شـود، تمامي نمودارها از شيبي صـعودي برخـوردار هـستند و اين شيب در محدوده‌ي 3 - 1/5 كيلو ولت بيشتر از ساير قسمت‌ها است. اين موضوع بر نقش مثبت افـزايش ولتـاژ بر تقويـت القـاي بـار الكتريكـي بـر قطـرات افـشانه و در

نتيجه ازدياد جريان الكتريكي صفحه مي‌گـذارد. در نتـايج   مربوط به ساير تحقيقات انجام يافته نيـز نـسبت بـار بـه

جرم با افزايش ولتاژ براي تمام سطوح دبـي مـايع ابتـدا افـزايش و بعـد از ولتـاژ تقريبـا چهـار كيلـوولـت كـاهش مييابد(مارچانت 1985، دانته و گوپتا 1991 و جهان نمـا و همكاران 2005). دليل اين امر به تناسب مـستقيم ميـان ولتاژ و شدت ميـدان الكتريكـي مربـوط مـيشـود كـه در ولتاژهاي بالاتر با ايجـاد ميـدان قـويتـر موجـب بهبـود انتقال بار الكتريكي به قطرات ميشود. با اينحال افـزايش ولتاژ به مقاديري بالاتر از سه كيلو ولت، هـر چنـد رونـد صعودي جريان الكتريكي افشانه را حفـظ مـيكنـد، ولـي همزمـان موجـب كـاهش شـيب مثبـت جريـان الكتريكـي ميشود. اين رفتـار ناشـي از ماهيـت شكـست الكتريكـي جريـان هـوا مـيباشـد كـه بـه عنـوان مـادهاي عـايق (ديالكتريک) ميان قطرات افشانه و سـطح الكتـرود عمـل ميكند. هوا همچون هر مـادهي عـايق از تـوان محـدودي معادل 3×10^6 ولـت بـر متـر بـراي تحمـل ولتـاژ اعمـالي برخوردار است. اين بدين معناست كه براي لايهاي از هوا به ضخامت يك ميليمتر حداكثر ميتوان ولتـاژي معـادل سه كيلو ولت اعمال نمود به طوري كه افزايش ولتـاژ بـه مقــاديري بــيش از ايــن ولتــاژ موجــب يونيزاســيون مولكولهاي هوا ميشود. لذا در نتايج مندرج در شكل11، افزايش ولتـاژ زمينـهي يونيزاسـيون و توليـد يـونهـايي همنام با قطبيت الكترود را فراهم ميسازد. در ايـن حالـت مكانيزم اصلي باردارسازي كه باري الكتريكي با قطبيتـي مخالف الكترود را به قطرات افشانه القا ميكنـد، بـا ورود يونهايي همنام با قطبيت الكترود تضعيف ميشـود. ايـن تضعيف ناشـي از خنثـي شـدن بخـشي از بـار الكتريكـي قطرات افشانه، توسط يونهاي هـوا بـوده و نتيجـهي آن در كاهش شيب جريان الكتريكي بروز مييابد.

شكل 11 همچنين نـشان مـيدهـد كـه افـزايش دور پروانـه در ولتـاژ ثابـت، بـه سـطوح بـالاتري از جريـان الكتريكي افشانه مـيانجامـد. دورهـاي بـالاتر پروانـه بـا ازدياد سرعت جريـان هـواي عبـوري، سـطح الكتـرود را خشک نگاهداشته و از سويي روند قطره سـازي و توليـد قطرات كوچكتر را بهبود ميبخشد. از اينرو در دورهـاي پايين پروانه احتمال خـيسشـدگي الكتـرود در اثـر نفـوذ قطـرات، بيـشتر بـوده و نتيجـه آن در تـضعيف بـاردار سازي القايي اين قطرات ظاهر ميشود. بـه عبـارت ديگـر سرعت كمتـر جريـان هـواي عبـوري در دورهـاي پـايين پروانه مترادف بـا دبـي كمتـر هـوا و نفوذپـذيري بـالاتر قطرات افشانه به جريان هـوا مـيباشـد. ايـن موضـوع از نقطه نظر الكتريكي به معناي افزايش هدايت الكتريكـي در لايـهي ديالكتريـک هـوا مـيباشـد. از آنجـايي كـه بـار الكتريكي انتقـال يافتـه بـه قطـرات در مكـانيزم القـايي در تناسب معكوس با هـدايت الكتريكـي مـادهي ديالكتريـک است، لذا افزايش هدايت الكتريكي هوا بـه كـاهش جريـان الكتريكـي قطـرات در دورهـاي پـايينتـر پروانـه منجـر ميشود (شكل 11).

تقويـت قطـره سـازي افـشانه در دورهـاي بـالاتر پروانه دليل ديگري است كه ميتوان براي افزايش جريان الكتريكـي قطـرات افـشانه در اثـر ازديـاد دور پروانـه در شكل 11 مطرح نمود. ازدياد دور پروانه با انتقـال انـرژي جنبشي بيشتر به قطرات و افزايش نيروي پساي سـطحي موجب تقويت گسـست قطـرات و توليـد قطـرات كـوچكتر ميشود (شكل 12). با توليد قطرات كوچكتر به ازاي دبـي ثابــت ، سـطح بيـشتري از قطـرات در معـرض مكـانيزم باردارسازي القايي قرار ميگيرند. بنا به تناسـب مـستقيم ميان ميانگين سطح محيطي قطـرات و جريـان الكتريكـي القايي، افزايش سـطح كـل قطـرات در دور بـالاتر پروانـه همانند شكل 11 به افزايش جريان الكتريكي افشانه منتهي ميشود. اگر سرعت دوراني ديـسك و نيـز فـشار هـواي بكارگرفته شـده در تحقيقـات ديگـران را معـادل سـرعت جريان هواي اعمالي در تحقيق حاضـر فـرض كنـيم؛ مـي توان به تاثير مثبت سرعت جريان هوا در ميزان باردار ي قطرات صحه گذاشت(گوپتا و دانته 1991 و جهـاننمـا و همكاران 2005).

شكل 13 تاثير تغيير دبي افشانه را بر بار الكتريكي ويژه (بار در واحد جرم) قطرات در مقادير مختلف ولتـاژ نشان ميدهد. مطابق اين شكل، افزايش دبي در يک ولتاژ

ثابت سبب كاهش بار الكتريكي ويژه افشانه مي‌شود. دليل اين روند نزولي را مي‌توان به كاهش هدايت الكتريكي جريان هوا در دبي بالاتر افشانه مرتبط دانست. از آنجايي كه دبي جريان هواي عبوري از سمپاش در یک دور ثابت پروانه تغيير نمي‌كند، افزايش دبي افشانه در دبي ثابت هوا موجب ورود جرم بيشتري از قطرات مايع به درون سمپاش مي‌گردد. در اين حالت، هندسه‌ي معين و در نتيجه ابعاد ثابت فضاي دروني سمپاش باعث مي‌شود تا امكان نفوذ قطرات مايع به لايه‌ي دي‌الكتريک هوا افزايش يابد. نتيجه‌ي اين موضوع از یک طرف به افزايش هدايت الكتريكي جريان هوا و از طرف ديگر به امكان خيس شدگي سطح الكترود توسط قطرات افشانه منجر مي‌شود. با توجه با تاثير منفي اين دو پديده (هدايت الكتريكي و خيس‌شدگي) بر مكانيزم باردارسازي القايي، سطح بار الكتريكي القا شده به قطرات افشانه تقليل يافته و روندي نزولي را بر حسب دبي افشانه همانند شكل 13 به نمايش مي‌گذارد. البته در شكل 13 مي‌توان نقش مثبت افزايش ولتاژ را بر افزايش بار الكتريكي ويژه به ازاي مقدار ثابتي از دبي افشانه مشاهده نمود. اين موضوع در تاييد نتايج مندرج در شكل11، حاكي از تقويت شدت ميدان الكتريكي در اثر افزايش ولتاژ مي‌باشد كه زمينه‌ي انتقال بار الكتريكي بيشتر را بر قطرات مهيا مي‌سازد.

آزمون‌هاي نمونه‌برداري شده با كاغذهاي حساس به آب براي دبي 25 ميلي‌ليتر در دقيقه ، با اعمال ولتاژهاي صفر، 1/5، 3، 5 و 7 كيلو ولت و سرعت جريان باد20 متر در ثانيه انجام گرفت. تعداد قطرات در واحد سطح در حالت بدون بارداري (ولتاژ صفر) قطرات تقريبا 25 مي‌باشد. با افزايش سطوح ولتاژ به 1/5، 3، 5 و 7 كيلوولت تعداد قطرات در واحد سطح نيز افزايش يافته و به ترتيب 38، 55، 60 و 62 قطره در یک سانتي‌متر مربع رسيد (شكل 14). نتايج مشابهي را گوپتا و همكاران (1992) با استفاده از نوعي سمپاش الكترواستاتيك با افشانك ديسك دوراني روي برگ هاي پاييني ذرت بدست آورده‌اند. طوري كه تعداد قطرات باردار نشست كرده برابر 51 عدد در واحد سطح (سانتيمتر مربع) و تعداد قطرات بدون بار الكتريكي 25 عدد در واحد سطح مي‌باشد.

تراكم قطرات در واحد سطح، براي ولتاژهاي بالاتر تفاوت چنداني با حالت قبل نداشت كه به احتمال زياد به دليل انبساط افشانه و نيروي دافعه‌ي بارهاي فضايي افشانه، شدت ميزان نشست كاهش مي‌يابد. همچنين با افزايش ولتاژ تعداد قطرات برگشتي بر روي سطح حامل حلقه بيشتر شده و تاثير منفي بر روي نشست قطرات به جاي مي‌گذارد.

نتيجه‌گيري

1- نتايج حاصل، حاكي از افزايش ميزان بارداري قطرات به ازاي افزايش ولتاژ اعمالي مي‌باشد. البته شيب در فاصله‌ي 1/5 تا 3 كيلو ولت بيشتر از ساير سطوح ولتاژ (3 تا 5 و 5 تا 7 كيلو ولت) است.

2- به ازاي ولتاژهاي ثابت، با افزايش سرعت باد، جريان الكتريكي افشانه افزايش مي‌يابد.

3- افزايش دبي در یک ولتاژ ثابت سبب كاهش بار الكتريكي ويژه افشانه مي‌شود. دليل اين روند نزولي را مي‌توان به كاهش هدايت الكتريكي جريان هوا در دبي بالاتر افشانه مرتبط دانست.

4- با توجه به توليد قطرات كوچك (حدود 40 ميكرون) كه به شدت قابليت باد بردگي (drift) را دارند و نتايج نمودارهاي 11 و 12 و توان كاري منبع تغذيه (2 ساعت در هر شارژ)، سمپاش الكترواستاتيكي ساخته شده قابليت استفاده در مكان سر بسته و كشت‌هاي گلخانه‌اي را دارا مي‌باشد.

5- افزايش سطوح ولتاژ از صفر به 1/5، 3، 5 و 7 كيلوولت، تعداد قطرات در واحد سطح نيز افزايش يافته و از 25 به ترتيب به 38، 55، 60 و 62 قطره در یک سانتي‌متر مربع رسيد.

منابع مورد استفاده

جليليان م و عابديني م، 1379. الكتريسيته و مغناطيس (ترجمه). انتشارات صفار تهران.

عليزاده ح،1362. تئوري و ساختمان ماشين‌هاي كشاورزي (ترجمه). انتشارات ذوقي تبريز.

محسني ح، 1373. مهندسي فشار قوي الكتريكي پيشرفته. انتشارات دانشگاه تهران.

مصطفايي مينق ب، 1384. طراحي، ساخت و ارزيابي سمپاش الكترواستاتيک گلخانه‌اي. پايان‌نامه كارشناسي ارشد مكانيک ماشين‌هاي كشاورزي، دانشكده‌ي كشاوزي دانشگاه تربيت مدرس.

Berger LH, Ericson E and Levin C, 1985. Ultrasonic liquid atomizer particularly for high volume flow rates. United States Patent 4: 541,564.

Cooper SC and Law SE, 2000. Novel applications for electrostatic spraying technology, Proceedings of 28th Annual Conference of Electrostatics Soc. of America: 23-32. St. Catherines, Ontario. ISBN No. 1-885540-12-4.

Dante T and Gupta CP, 1991. Deposition studies of an electrostatic spraying disk sprayer. Trans of ASAE 34, 5: 1927-1934.

Gupta CP, Singh G, Muhaemin M and Dante ET, 1992. Field performance of a hand-held electrostatic spinning- disk sprayer. Trans of ASAE 35, 6: 1753- 1759.

Jahannama MR, Watkins AP and Yule AJ, 2005. Electrostatic effects on agricultural air-atomized sprays and deposition. Part I: An Experimental Study. J of Atomization and Sprays 15: 603-628.

Law SE, 2001. Agricultural electrostatic spray application: A review of significant research and development during the 20th century. J of Electrostatics 51-52: 25-42.

Lefebvre H, 1989. Atomization and sprays. Hemisphere Publishing Corporation. Printed in the United States of America.

Rajan R and Pandit AB, 2001. Correlation to predict droplet size in ultrasonic atomization. Ultrasonics 39: 235-255.

Marchant JA, 1985. An electrostatic spinning disk atomizer. Trans of ASAE 28, 2: 386-392.

Matthews GA, 1992. Pesticide application methods, 2nd Ed., Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd.