

## طراحی ضمیمه الکترواستاتیک برای استفاده در پهپاد های سمپاش

امیرمحمد موسوی<sup>۱</sup>، جلال برادران مطیع<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی مقطع کارشناسی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲. عضو هیات علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد.

### چکیده

امروزه گسترش نگرانی های زیست محیطی در خصوص نحوه و میزان اعمال سموم شیمیایی در مبارزه با آفات و بیماری های گیاهی، توجه متخصصان به استفاده از روش های نوین و با بازده بالاتر را معطوف کرده است. یکی از تجهیزاتی که استفاده از آن در ایران و جهان رو به گسترش است پهپاد های سمپاش می باشد. از مشکلات سمپاشی با پهپاد مسئله بادبردگی است. در این تحقیق با هدف کنترل و کاهش بادبردگی یک سیستم جهت ایجاد میدان الکتریکی به منظور باردار کردن ذرات سم و اجرای سمپاشی الکترواستاتیکی طراحی شد. در این سیستم ملاحظات نظیر قابلیت نصب روی اغلب پهپادها، وزن کم، قیمت ارزان و ایجاد بالاترین قابلیت اطمینان از جهت باردار شدن ذرات مد نظر قرار گرفته شده است. سیستم طراحی شده شامل الکتروود های مسی مستطیل شکل با ولتاژ حدود ۲۰ کیلوولت می باشد که به کمک پایه ای از جنس PVC بر روی نوک نازل متصل می گردد. مدارات تولید ولتاژ بالا از باتری پهپاد تغذیه شده و به کمک یک ترانسفورمر افزایشدهنده سطح ولتاژ را افزایش می دهند. در بخش طراحی مدار الکتریکی با کمک شبیه سازی رایانه ای فرایند بهبود شکل موج و پالس های ولتاژ بررسی و بهترین حالت پالس ولتاژ که کمترین مقدار افت را داشته باشد انتخاب شده است.

### کلمات کلیدی:

پهپاد، سم پاش، الکترواستاتیک، مبارزه شیمیایی.

\*نویسنده مسئول، j.baradaran@um.ac.ir

## طراحی ضمیمه الکترواستاتیک برای استفاده در پهپاد های سمپاش

### مقدمه

امروزه گسترش نگرانی های زیست محیطی ناشی از استفاده بیش از حد از سموم و همچنین کاهش مصرف آب طی فرایند اعمال سموم شیمیایی در مزارع و باغات، محققان را به سوی کاربرد تجهیزات و روش های نوین سوق داده است. انتخاب روش مناسب اعمال سموم شیمیایی در مبارزه با آفات و بیماری های گیاهی در موفقیت این فرایند بسیار اثر گذار است. در این خصوص عواملی مانند نوع نازل ها، فشار، دمای هوا، سرعت باد، وضعیت گیاه، ارتفاع و غیره حائز اهمیت است (1).

یکی از روش هایی که در سالهای اخیر در اختیار کشاورزان قرار گرفته است پهپاد های سمپاش می باشد. هرچند سمپاشی هوایی امر جدیدی نیست اما بکارگیری این وسایل توانسته ضمن حفظ مزایای سمپاشی هوایی مانند ظرفیت مزرعه ای بالاتر، عیوب آنها را مانند دقت کم، برطرف کند. پهپاد یا به عبارت دیگر پرنده هدایت پذیر از راه دور، کاربرد های وسیعی در کلیه حوزه ها نظیر نظامی، نقشه برداری، اطفاء حریق، امداد و کشاورزی دارد. در بخش کشاورزی در حوزه مبارزه با آفات و بیماری ها، استفاده از پهپاد های سمپاش در سالهای اخیر معرفی شده و هم اکنون در مرحله رشد و گسترش می باشد.

یک پهپاد سمپاش علاوه بر مکانیزم های پرواز و هدایت شامل مخزن سم، پمپ، نازل ها و شیر قطع و وصل جریان می باشد. نازل ها میتوانند در دو آرایش خطی و یا حلقوی زیر موتور ها قرار گیرند (شکل 1). به دلیل جریان هوای ایجاد شده توسط موتور ها محلول سم خارج شده از نازل با جریان هوا برخورد کرده، ضمن خرد شدن قطرات، با شدت بیشتری به سمت گیاه شتاب می گیرد. معمولاً ایجاد حرکت گردبادی در قطرات سم موجب می شود این ذرات به زیر برگ ها نیز نفوذ کرده و بخش بیشتری از گیاه در مقایسه با سمپاش بوم دار یا توربولاینر با سم پوشیده شود.



شکل 1. راست: پهپاد سمپاش با آرایش نازل ها در زیر موتور ها، چپ: پهپاد سمپاش با آرایش نازل ها به صورت خطی.

استفاده از پهپاد سمپاش برای کشاورزان از جهت صحیح استفاده از سم و مصرف آب مقرون به صرفه است. پهپادها با قابلیت های مانند صرفه جویی در مصرف آب و هزینه عملیات، دقت بالای سمپاشی در مزارع، سهولت در بکارگیری آنها و تسریع در کار، این قابلیت را دارند که در مدت زمان 10 تا 15 دقیقه با مصرف حدود یک لیتر سم و 10 لیتر آب یک هکتار زمین را سمپاشی کنند؛ در حالی که برای سمپاشی یک هکتار با روش سنتی نیاز به بیش از 1000 لیتر آب وجود دارد. همچنین مصرف سم نیز حدود 30 درصد کاهش یافته که این خود هزینه های عملیات داشت محصول را کاهش می دهد (2).

عدم لهیدگی و از بین رفتن محصولات بر اثر ورود تراکتور در مزرعه، همپوشانی یکنواخت سم به تمام نقاط مزرعه، و عدم ورود نیروی انسانی در همه مراحل سم پاشی از مزایای بهره مندی از پهپادها در عرصه کشاورزی است (2).

در مقایسه با سمپاشی توسط هواپیما، عملیات حفاظت از محصول توسط پهپاد مزایایی همچون ارتفاع عملیاتی کم، سرعت پرواز قابل کنترل و سازه‌گاری بهتر در زمین، به ویژه برای مزارع کوچک، صعب‌العبور و شیب دار را ارائه می‌دهد. بنابراین، فناوری حفاظت از محصول توسط پهپاد نیازمند مطالعه بیشتری می‌باشد (3).

سمپاشی هوایی قابلیت و کاربرد آفت‌کشی بهتری نسبت به سمپاشی مکانیکی-زمینی دارد. در هنگام سمپاشی آفت‌کش‌ها، قطرات سموم دفع آفات رانش<sup>۱</sup> (بادبردگی) می‌کنند. رانش آفت‌کش‌ها به حرکتی فیزیکی اطلاق می‌شود که در آن قطرات یا ذرات سموم دفع آفات در طول دوره کاربرد یا پس از استفاده برای مدت زمانی تحت شرایط کنترل نشده از منطقه هدف به منطقه غیر هدف در هوا حرکت می‌کنند. رانش سم‌پاشی و ایمنی در استفاده از آن همیشه یکی از موضوعات کلیدی در زمینه سمپاشی هوایی بدون سرنشین (پهپاد) بوده است. رانش آفت‌کش‌ها شامل بخار و هوا است که در اثر تبخیر ماده فعال سموم دفع آفات ایجاد می‌شود (4). رانش قطرات نه تنها سموم دفع آفات را از بین می‌برد و بر اثر بخشی عملیات تاثیر منفی می‌گذارد، بلکه باعث آلودگی محیط زیست نیز می‌شود (4).

با توجه به نگرانی روزافزون در مورد حفاظت از محیط زیست، کنترل رانش آفت‌کش‌ها باعث توسعه فناوری جدید اسپری می‌شود. بنابراین، رانش قطرات به یک موضوع مهم در عملیات حفاظت از محصولات کشاورزی تبدیل شده و نیاز به توجه دارد (5).

عوامل زیادی روی رانش تاثیر می‌گذارد از جمله: ترکیب موثر و نوع آماده‌سازی مایع، اندازه قطره و نوسانات دستگاه همچنین شرایط جوی مانند سرعت و جهت باد، دما و رطوبت، پایداری جوی و تنظیمات تجهیزات سمپاشی و احساس مسئولیت و مهارت اپراتور (6). برای کنترل علفهای هرز، آفات و بیماریها به دوز مناسب آفت‌کش، مناسب‌ترین اندازه قطرات و شرایط آب و هوایی نیاز است، طوری که قطرات در سطح هدف می‌توانند پوشش، پیوستگی، پخش و جذب بهتری داشته باشند. تحت کنترل دوز مشخص، هر چه اندازه ذرات کوچکتر باشد، پوشش بهتر است، با این وجود، خطر رانش وجود دارد. تحت شرایطی که پارامترهای پهپاد نسبتاً پایدار باشد، تاثیر شرایط هواشناسی بر رسوب و رانش اسپری سموم مایع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (7).

متخصصان باید هنگام سم‌پاشی و دفع آفات، درک کاملی از شرایط آب و هوایی از جمله سرعت و جهت باد، دما، رطوبت و سایر تأثیرات شرایط آب و هوایی داشته باشند. یکی از عوامل جوی که می‌تواند در پاشش رانش ایجاد کند سرعت باد است. در سرعت‌های بالای باد، پراکندگی قطرات افزایش و غلظت رسوب بر روی زمین کاهش می‌یابد و به این ترتیب باد قطرات یا مواد کافی فعال موجود در ذرات را به منطقه غیر هدف می‌رساند. با انسداد یا پوشش گیاهی بین منطقه سم‌پاشی و منطقه غیر هدف نمی‌توان جلوی رانش را گرفت زیرا مهمترین عامل بر میزان رانش سرعت و جهت باد در هنگام عملیات سمپاشی می‌باشد (7).

اعمال سموم دفع آفات با استفاده از مقادیر مختلف آب انجام می‌شود و میزان استفاده از آن با توجه به این مقدار، نام‌های مختلفی دارد. مانند حجم زیاد، حجم کم و غیره. در سمپاشی حجم زیاد<sup>۲</sup> بیش از ۴۰۰ لیتر در هکتار مایع استفاده شده و اندازه ذرات بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ میکرومتر است. در این نوع کاربرد، اثر بیولوژیکی ضعیف بوده و میزان ضایعات شیمیایی و آلودگی محیط زیست زیاد است. در سمپاشی با حجم کم<sup>۳</sup>، میزان استفاده از مایع بین ۵۰ تا ۴۰۰ لیتر در هکتار بوده و اندازه قطرات بین ۱۲۵ تا ۲۵۰ میکرومتر متفاوت است. در این روش عموماً از سمپاش‌های کمکی هوا استفاده می‌شود. در این نوع کاربرد، اثر بیولوژیکی متوسط است، هر چند ضایعات شیمیایی و رانش اسپری قابل توجه است. در روش سمپاشی با حجم فوق‌العاده کم<sup>۴</sup> پاشش به میزان ۵ تا ۱۰ لیتر در هکتار بوده و اندازه ذرات بین ۵ تا ۵۰ میکرومتر می‌باشد. در این روش از تجهیزات ULV، سمپاش‌های الکترواستاتیک و پهپاد‌های سمپاش استفاده می‌شود (1).

به منظور بهبود بهره‌وری کار، سیستم‌های پاشش روی پهپادها باید به گونه‌ای تنظیم شوند که اسپری‌های با غلظت بالا و کم حجم را ارائه دهند. میزان پاشش برای سیستم‌های پهپاد به طور کلی ۲-۱ لیتر در هکتار است که ۵۰-۲۵ برابر کمتر از سیستم‌های کاربرد اسپری

<sup>1</sup> Drift

<sup>2</sup> High volume

<sup>3</sup> Low volume

<sup>4</sup> Ultra low volume

معمولی است. با این حال، به دلیل استفاده از اسپری های با غلظت بالاتر، کاربرها باید اطمینان حاصل کنند که همپوشانی بیش از حد یا شکافی در الگوی اسپری وجود ندارد تا از ایجاد مسمومیت شیمیایی و یا از کمبود سم جلوگیری شود. با استفاده از قطرات کوچکی که در سمپاشی آفت کش ها با حجم کم استفاده می شود، پهپادها باید در ارتفاع کم پرواز کنند تا از رانش اسپری جلوگیری شود. علاوه بر این، کنترلر پهپاد باید ثبات پرواز در ارتفاع کم و کنترل دقیق قسمت پاشش را تضمین کند. دقت کنترل پرواز از طریق بهینه سازی سیستم های هدایت خودکار بهبود یافته است (8).

یکی از روش هایی که می تواند در جهت کاهش رانش (بادبردگی) سموم در سمپاش ها علی الخصوص پهپاد های سمپاش مورد استفاده قرار گیرد، روش باردار کردن قطرات سم می باشد. تجهیزات سمپاشی که از این روش بهره می برند را به اختصار سمپاش های الکترواستاتیک می نامند. سمپاش های الکترواستاتیک با بهره گیری از تکنولوژی پیشرفته باردار کردن ذرات سم توانسته اند راندمان و بهره وری سمپاشی را به طور چشمگیری افزایش داده و ضمن بهبود کیفیت کار، موجب صرفه جویی در هزینه های کشاورزان و باغداران شوند. این تجهیزات تاکنون در انواع سمپاش های پستی، توربولاینر و بوم دار تجاری شده اند.

اساس روش سمپاشی الکترواستاتیک بر پایه اصل ایجاد نیروی دافعه بین ذرات با بار الکتریکی مشابه و ایجاد نیروی جاذبه بین ذرات با بار الکتریکی مخالف می باشد. در این روش ذرات سم توسط یک میدان الکتریکی قوی باردار شده و به سمت گیاه پرتاب می شوند. بار الکتریکی هم نام در ذرات سم موجب خرد شدگی آنها، کوچکتر شدن سایز و همچنین پخش بیشتر می شود. از طرفی گیاه به زمین اتصال داشته و در حضور ذرات باردار، بار غیر هم نام به خود می گیرد لذا ذرات سم به آن جذب می شوند. با چسبیدن اولین ذره به گیاه آن نقطه از برگ خنثی می شود در نتیجه ذره بعدی به قسمت دیگری از گیاه جذب می شود. این عمل باعث ایجاد پوشش بهتر سم بر روی برگ و حتی پشت برگ ها می شود.

در دو دهه اخیر، ایجاد بار الکترواستاتیک در محلول های سم، نتایج بسیار جالبی در جهت کاهش مصرف سم نشان داده است، بطوریکه نسبت نشست قطرات سم بر روی اهداف را ۶۸ درصد در مقایسه با سمپاش های معمول بهبود می بخشد (9). مطالعات و محاسبات انجام شده توسط محققان نشان می دهد، به طور کلی در سمپاشی با سمپاش های الکترواستاتیک حداقل حدود ۵۰ درصد در هزینه های سمپاشی و حداقل حدود ۳۰ درصد در زمان سمپاشی صرفه جویی می شود.

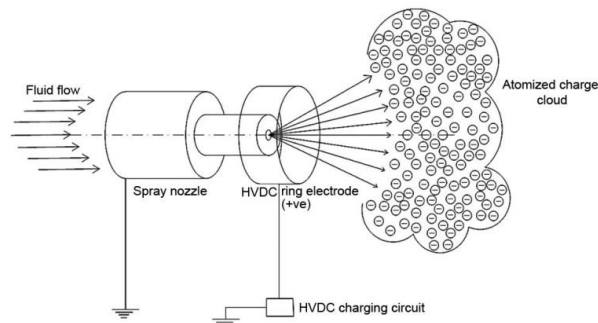
کاهش میزان مصرف سم و آب تا ۳۰ درصد نسبت به سمپاش های مرسوم پستی، کاهش آلودگی خاک و آب، نشست یکنواخت و منظم قطرات سم بر روی گیاه، پوشش خوب قسمتهای فوقانی و تحتانی برگها، کاهش اندازه قطرات، کاهش گیاه سوزی در اثر نور خورشید و افزایش ۴ برابری بازده سمپاشی از مزایای روش الکترواستاتیک می باشد. با این وجود همچنان تجهیزات الکترواستاتیک برای کشاورزان گران قیمت بوده (10) و استفاده از آنها مستلزم رعایت برخی محدودیت ها نظیر فاصله با گیاه و شدت شارژ الکتریکی است (9).

هدف از این تحقیق طراحی یک سامانه کارا و در عین حال ارزان قیمت جهت تجهیز پهپاد های سمپاش موجود به سامانه الکترواستاتیک می باشد. این امر می تواند یکی از مشکلات جدی سمپاشی با پهپاد که بادبردگی سموم می باشد را کنترل کرده و موجب بهبود عملکرد فرایند مبارزه شیمیایی شود.

## مواد و روش ها

برای پاشش الکترواستاتیک سه نوع روش شارژ وجود دارد که شامل شارژ القایی، شارژ میدان یونیزه کننده و شارژ مستقیم می باشد. در روش شارژ القایی زمانی که یک الکتروود با ولتاژ بالا، با پتانسیل مثبت، نزدیک به محل خروج مایع سم نیمه رسانا، از نازل قرار گیرد به دلیل اصل جذب بارهای هم نام و دفع بارهای غیر هم نام ذرات سم دارای بار الکتریکی منفی می شوند (1). در روش شارژ میدان یونیزه کننده، یک میدان الکتریکی قوی در نزدیکی خروجی نازل موجب یونیزه شدن مولکول های هوا و ذرات سم می شود. در روش شارژ مستقیم مخلوط ذرات سم و هوا مسیر عبور خود با الکتروود ولتاژ بالا (تا ۲۰ کیلوولت) تماس پیدا کرده و با جذب و یا رها سازی الکترون دچار بار الکتریکی می شوند.

در این تحقیق به دلیل محدودیت های پهنای سمپاش از نظر اتصال زمین و همچنین ارتباط و احتمال تاثیر گذاری سیستم های-ولتاژ با مدارات کنترلی پهنای برای بردار کردن ذرات سم از روش القای بار الکتریکی استفاده شد. این روش یکی از مناسب ترین روش ها در کاربرد های اعمال سموم شیمیایی مبارزه با آفات می باشد (11). در این روش مایع سم با الکتروود های-ولتاژ تماس نداشته و عمل بردار کردن از طریق یک فاصله هوایی کوچک انجام می شود (شکل ۲).



شکل ۲. نحوه عملکرد روش القای بار الکتریکی بر روی ذرات سم خروجی از نازل (11).

روند بردار کردن قطرات با استفاده از الکتروود القایی به شرح زیر است: هوا به عنوان محیط عایق عمل می کند، الکتروود شارژ به عنوان صفحات ولتاژ بالای خازن عمل کرده و غشای قطرات مایع در خروجی نازل به عنوان صفحه الکتروود زمین خازن رفتار می کند. بنابراین، بار القایی سطحی ذرات مایع سمپاشی با استفاده از فرمول مقدار بار خازن صفحه موازی محاسبه می شود:

$$Q = C \times U \quad (1)$$

که در آن،  $Q$  مقدار بار در دو صفحه الکتروود خازن بر حسب کولن ( $C$ ) است، و  $U$  ولتاژ شارژ بر حسب ولت می باشد.

فرمول ظرفیت خازنی  $C$  به شرح زیر است:

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d} \quad (2)$$

که در آن،  $\epsilon$  ثابت دی الکتریک هوا،  $S$  منطقه همپوشانی الکتروود و غشای مایع،  $k$  ثابت الکترواستاتیک و  $d$  فاصله بین الکتروود و غشای مایع است. معادلات (1) و (2) نشان می دهد که عمده ترین عوامل تأثیر گذار در مقدار بار قطره شامل ولتاژ شارژ  $U$ ، الکتروود شارژ با منطقه همپوشانی  $S$  و فضای بین الکتروود و غشا سمپاشی  $d$  است. بدین ترتیب با اعمال ولتاژ الکتریکی به روی صفحات الکتروودی در نزدیکی محل خروج سم می توان یک خازن الکتریکی تشکیل داد و ذرات سم را بردار کرد.

در این تحقیق مدلسازی رایانه ای مجموعه نازل و الکتروود ها به کمک نرم افزار Solidworks 2020 انجام شد. ایجاد القای الکترواستاتیکی بر روی ذرات سم و تضمین کارکرد بهینه آن در پوشش کافی سطح فوقانی و تحتانی برگ ها در ولتاژهای مختلف توسط رو و ژنگ (۲۰۰۸) بررسی شده و ولتاژ ۲۰ کیلوولت را پیشنهاد کرده اند (12). لذا در این پژوهش بخش مدارات الکتریکی بر پایه این ولتاژ طراحی شده است. به منظور تولید اختلاف پتانسیل مورد نیاز برای باردار کردن ذرات سم از یک سیستم ترانس افزایشده سوپر کوپل<sup>۵</sup> برند اکسل<sup>۶</sup> با حداکثر ولتاژ ۲۶ کیلوولت در نظر گرفته شد. مزیت این ترانس ها نسبت به کوپل های معمولی حجم و وزن کم (۲۰۰ گرم) آنها است که مناسب برای استفاده روی پهپاد می باشد (شکل ۳). این ترانس توسط دریافت تحریک پالس مربعی در محدوده ۷ تا ۱۸ ولت عمل افزایش ولتاژ را انجام می دهد.



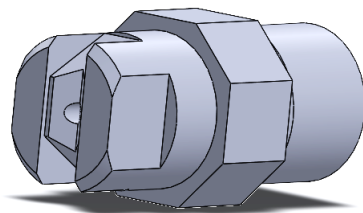
شکل ۳. ترانس سوپر کوپل جهت تولید ولتاژ بالا در مدار ایجاد میدان الکتریکی سمپاش.

مدارات تولید ولتاژ-بالا<sup>۷</sup> شامل دو بخش می باشد، بخش اول مدار تولید پالس مربعی و بخش دوم مدار شامل دریافت پالس و تولید ولتاژ-بالا. در مدار تولید ولتاژ بالا بحث ایزوله بودن از بدنه و سایر مدارات کنترلی پهپاد بسیار حائز اهمیت است. لذا بدین منظور کابل فشار قوی با کد VDE025 با روکش سیلیکون و مغزی مس در نظر گرفته شد. همچنین کلیه مدارات در یک جعبه از جنس PVC قرار می گیرند. نکته دوم در این بخش ایجاد فرکانس بهینه و همچنین ایجاد بهترین شکل موج می باشد. این فرایند با شبیه سازی مدارات در نرم افزار پروتئوس انجام شد. با دریافت پاسخ سیستم در فرکانس های مختلف و استفاده از خازن های صاف کننده شکل موج خروجی پالس ولتاژ در فرکانس مد نظر ۱۰۰ هرتز، تصحیح شد.

## نتایج و بحث

### سازه الکتروودها

امروزه اغلب پهپاد های سمپاش از جمله DJI Agrass و مدل های مشابه ساخت داخل از نازل های بادبزنی با کد XR11001VS استفاده می کنند (شکل ۴) که اندازه ذراتی بین ۱۳۰ تا ۲۵۰ میکرومتر ایجاد می کند. از آنجا که نوع نازل بادبزنی انتخاب شده است، لذا در طراحی الکتروود های القا کننده بار الکتریکی ملاحظاتی در نظر گرفته شده که ضمن ایجاد بهترین وضعیت قرار گیری نسبت به خروجی محلول، با محلول تماس پیدا نکرده و همچنین از ایجاد شوک الکتریکی پرهیز شود.



شکل ۴. طرح سه بعدی نازل XR11001VS

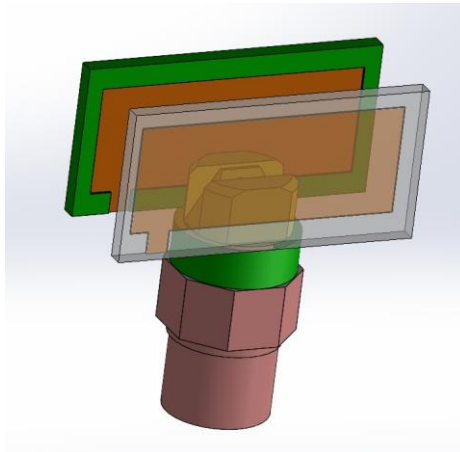
<sup>5</sup> Super ignition coil

<sup>6</sup> Accel

<sup>7</sup> High Voltage

چهار نازل مجهز به هد الکترواستاتیک برای پهپاد در نظر گرفته شد. با توجه به پرواز پهپاد در ارتفاع و عدم امکان اتصال زمین سیستم، نازل ها با الکتروود های القا کننده بار مثبت در نظر گرفته شده است. گیاه نیز چون با زمین اتصال دارد بخش خنثی بوده و در حضور هر کدام از ذرات مثبت و منفی عملکرد مشابهی خواهد داشت. در نتیجه ذرات جذب برگ گیاه می شود. به دلیل شکل بادبزی خروجی محلول از نازل، الکتروود ها به صورت صفحه ای با ابعاد  $25 \times 10$  میلیمتر از جنس ورق مس با ضخامت  $0.5$  میلیمتر در نظر گرفته شده اند. فاصله الکتروود ها به اندازه عرض نازل برابر با  $8$  میلیمتر می باشد. عرض  $10$  میلیمتر الکتروود طوری در نظر گرفته شده است (13) که ذرات سم با الکتروود برخورد نکنند و همچنین زمان کافی برای باردار شدن وجود داشته باشد (شکل ۵). دهانه نصب با تغییر شکل الاستیک نازل پلاستیکی بسته می شود. از آنجا که قطعه اتصال بار ندارد، طراحی اتصال ساده و قابل اعتماد است.

مزیت این ساختار این است که ماده عایق شده و کپسوله ای عالی برای الکتروود فراهم می کند، که باعث کاهش رسوب جذب قطرات باردار در سطح خارجی الکتروود می شود. در عین حال، به طور موثر از تداخل جریان هوا با سمپاشی در ناحیه باردار جلوگیری می کند. پایه الکتروود از مواد چاپ شده سه بعدی پی وی سی (PVC) ساخته شود که می تواند با هزینه کم به سرعت تولید شود. وزن قطعه اتصال فقط  $10$  گرم است، که وزن بسیار سبک برای قطعات پهپاد است.

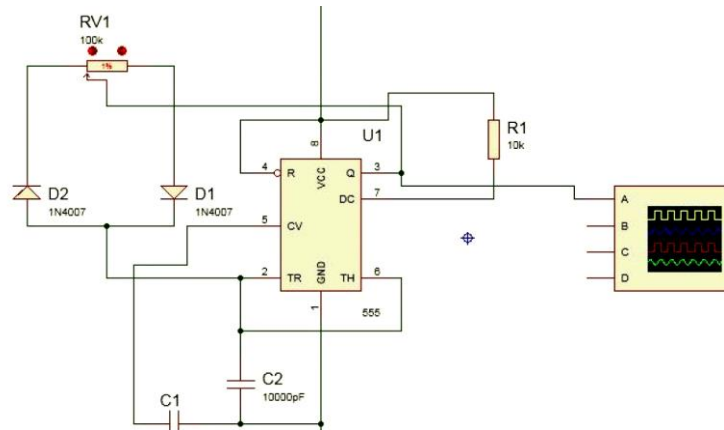


شکل ۵. نمای سه بعدی پایه نگهدارنده الکتروود و الکتروود ها در حالت نصب شده روی نازل

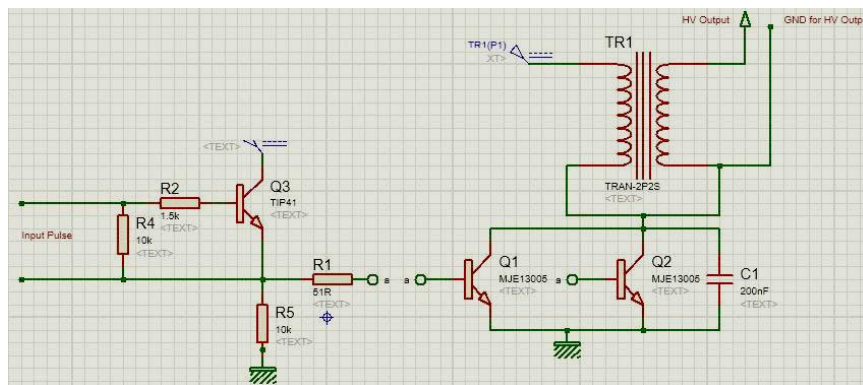
## مدارات الکترونیکی

در بخش الکترونیکی سیستم شامل باتری های تغذیه  $7$  الی  $9$  ولت (باتری های پرواز پهپاد)، مدار الکترونیکی تغذیه، مدار ایجاد پالس موج مربعی با فرکانس  $60$  هرتز، ترانسفورمر دابل های-ولتاژ<sup>۸</sup>، کابل های ایزوله شده و الکتروود های متصل بر روی نازلها می باشد. ترانسفورمر افزایشده ولتاژ نیاز به دریافت یک ولتاژ ورودی به صورت موج مربعی دارد تا بتواند در خروجی پالس های ولتاژ بالا را ایجاد کند. این ترانس دارای یک هسته آهنی بوده و در صورت کار با موج سینوسی تولید حرارت می کند. بدین منظور از مدار تولید پالس های مربعی و همچنین مدار الکترونیکی مشتمل بر آی سی  $555$  استفاده شده است. شماتیک مدارات الکترونیکی در شکل های  $6$  تا  $8$  آمده است. تحلیل اولیه رفتار مدار و خروجی سیستم به کمک نرم افزار شبیه ساز الکترونیک پروتوس انجام شده است.

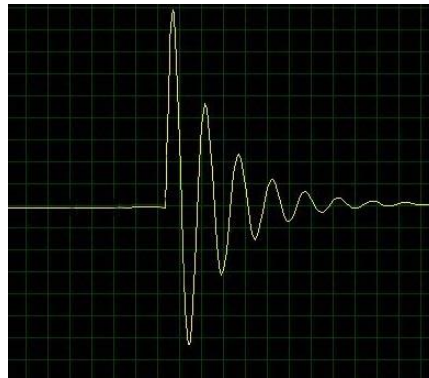
<sup>8</sup> Hi-Voltage double coil transformer



شکل ۶. شماتیک مدار تولید پالس مربعی به کمک IC 555



شکل ۷. مدار تولید ولتاژ بالا به کمک ترانس افزایشده



شکل ۸. پاسخ سیستم افزایشده ولتاژ به پالس های مربعی پس از بهبود سیگنال به کمک خازن صاف کننده.

در شکل ۶ دو ترانزیستور Q1 و Q2 منفی کوئیل یا ترانسفورمر را قطع و وصل می کنند. خازن C1 به عنوان اسنابر<sup>۹</sup> یا محافظ عمل کرده و همچنین کیفیت پالس خروجی را افزایش می دهد. این ترانزیستور ها برای راه اندازی در حالت اشباع نیاز به جریانی در حدود ۷۵ میلی آمپر دارند. جمع جریان مورد نیاز بیس دو ترانزیستور ۱۵۰ میلی آمپر می شود. برای تامین این جریان، از ترانزیستور Q3 استفاده شده است. خازن C1 یک خازن محافظ می باشد که می توان معادل آن را خازن موجود بر روی بدنه دلکو خودروهای کاربراتوری استفاده کرد. به منظور کاهش هزینه ساخت و استفاده از یک ترانس ارزان قیمت مانند کوئیل خودرو توصیه می شود. این ترانس با دریافت ولتاژ ۷ ولت

<sup>9</sup> Snubber



قادر است بین ۱۸ تا ۲۲ کیلوولت، میدان الکتریکی ایجاد کند. البته مقدار خروجی نهایی بستگی به فرکانس تشدید سیم پیچ و هسته، دما و هم چنین مقاومت مدار دارد. مشخصات فنی طراحی انجام شده در جدول ۱ آمده است. به دلیل فاصله ایمنی که بین نازل ها و بدنه پهپاد وجود دارد و همچنین استفاده از متریال های عایق در ساخت بدنه پهپاد ها مسئله ایمنی و ایجاد شوک در این سیستم منتفی می باشد. همچنین در مدار کنترل سیستم میزان جریان الکتریکی عبوری و وات مصرفی محدود شده است تا از خطرات احتمالی برای کاربر جلوگیری شود.

جدول ۱. مشخصات فنی طرح سامانه الکترواستاتیک مناسب برای پهپاد سمپاش

مشخصات		نام بخش
۷٫۶ تا ۱۲ ولت	باتری پهپاد	تغذیه
۲	تعداد	الکتروود
۲۵×۱۰ میلیمتر	ابعاد	
ورق مس ۰/۵ میلیمتر	جنس	
PVC	جنس پایه	
۵۵۵	IC	مدار تولید پالس
مربعی	شکل موج	
۶۰ هرتز	فرکانس	
۲۶ کیلو ولت	حداکثر ولتاژ	مدار افزایشده ولتاژ
۲۰۰ گرم	وزن	
متناوب ۶۰ هرتز	نوع پالس	
۲۰۰۰:۱	نسبت افزایش	

### نتیجه گیری

در این تحقیق ضمن بررسی روش های موجود و مکانیزم های بار دار کردن ذرات سم به طراحی یک سیستم کارا، ارزان قیمت و همچنین سبک مناسب برای نصب بروی پهپاد های سمپاش پرداخته شد. در این سیستم با کمک تغذیه ورودی از باتری های پهپاد توسط یک مدار افزایشده ولتاژ تا ۲۶ کیلو ولت و همچنین نصب الکتروود ها در نزدیکی خروجی سم از نازل ها فرایند ایجاد بار الکترواستاتیک صورت می گیرد. مطابق با طراحی انجام شده مجموع افزایش وزنی که سیستم الکترواستاتیک بروی پهپاد اعمال می کند مجموعاً کمتر از ۷۰۰ گرم خواهد شد که تاثیر آن بر کاهش مداومت پروازی در مقابل بهبود کیفیت سمپاشی می تواند نادیده گرفته شود. این طرح هم اکنون در دست ساخت بوده و در مراحل بعدی مورد آزمون و ارزیابی قرار خواهد گرفت.

- Applications. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* 12(4): 229–33.
- [2] N.d. Precision Agriculture 2021: Benefits of Farm Drones & UAV Tech. <https://www.businessinsider.com/agricultural-drones-precision-mapping-spraying>. [accessed June 8, 2021].
- [3] Yallappa, D., Veerangouda, M., Maski, D., Palled, V., Bheemanna, M., 2017. Development and evaluation of drone mounted sprayer for pesticide applications to crops. *GHTC 2017 - IEEE Global Humanitarian Technology Conference, Proceedings*, vol. 2017-Janua. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. p. 1–7.
- [4] Byass, J.B., Lake, J.R., 1977. Spray drift from a tractor-powered field sprayer. *Pesticide Science* 8(2): 117–26, Doi: 10.1002/ps.2780080202.
- [5] Balsari, P., Gil, E., Marucco, P., van de Zande, J.C., Nuyttens, D., Herbst, A., et al., 2017. Field-crop-sprayer potential drift measured using test bench: Effects of boom height and nozzle type. *Biosystems Engineering* 154: 3–13, Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2016.10.015.
- [6] Nuyttens, D., De Schampheleire, M., Baetens, K., Sonck, B., 2007. The influence of operator-controlled variables on spray drift from field crop sprayers. *Transactions of the ASABE* 50(4): 1129–40, Doi: 10.13031/2013.23622.
- [7] Wang, J., Lan, Y. Bin., Zhang, H.H., Zhang, Y.L., Wen, S., Yao, W.X., et al., 2018. Drift and deposition of pesticide applied by UAV on pineapple plants under different meteorological conditions. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 11(6): 5–12, Doi: 10.25165/j.ijabe.20181106.4038.
- [8] Xue, X., Lan, Y., Sun, Z., Chang, C., Hoffmann, W.C., 2016. Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying system. *Computers and Electronics in Agriculture* 128: 58–66, Doi: 10.1016/j.compag.2016.07.022.
- [9] Salcedo, R., Llop, J., Campos, J., Costas, M., Gallart, M., Ortega, P., et al., 2020. Evaluation of leaf deposit quality between electrostatic and conventional multi-row sprayers in a trellised vineyard. *Crop Protection* 127: 104964, Doi: 10.1016/j.cropro.2019.104964.
- [10] Cerqueira, D.T.R. de., Raetano, C.G., Pogetto, M.H.F. do A.D., Carvalho, M.M., Prado, E.P., Costa, S.Í. de A., et al., 2017. Optimization of spray deposition and *Tetranychus urticae* control with air assisted and electrostatic sprayer. *Scientia Agricola* 74(1): 32–40,
- [11] Khatawkar, D.S., James, S.P., Dhalin, D., 2021. Role of electrostatics in artificial pollination and future agriculture. *CURRENT SCIENCE* 120(3): 484–91.
- [12] Yanliang, Z., Qi, L., Wei, Z., 2017. Design and test of a six-rotor unmanned aerial vehicle (UAV) electrostatic spraying system for crop protection. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 10(6): 68–76, Doi: 10.25165/j.ijabe.20171006.3460.
- [13] Ru, Y., Gan, Y., Zheng, J., Zhou, H., 2008. Design and experiments on droplet charging device for high-range electrostatic sprayer. vol. 1, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*

## Design of an electrostatic attachment set for use in drone sprayers

Amir Mohammad Mousavi<sup>1</sup>, Jalal Baradaran Motie<sup>2\*</sup>

1. Undergraduate student, Department of biosystems engineering, Ferdowsi university of Mashhad
2. Faculty member, Department of biosystems engineering, Ferdowsi university of Mashhad

### Abstract

Nowadays, with the extent of environmental concerns about the application of chemical pesticides in the fight against plant pests and diseases, the attention of experts has been focused on using new methods with higher efficiency. One of the equipment that is being used in Iran and other parts of the world is the use of drone sprayers. One of the problems with unmanned aerial vehicles (UAV) spraying is the issue of wind drift. In this study, with the aim of controlling and reducing wind drift, an electric field generation system was designed to charge chemical particles and perform electrostatic spraying. In this system, considerations such as the ability to be installed on most drones, low weight, cheap price and creating the highest reliability in terms of particle charging were considered. The designed system consists of rectangular copper electrodes with a voltage of about 20 kV, which is connected to the tip of the nozzle with the help of a PVC base. Voltage-generating circuits are powered by UAV batteries and increase the voltage level with the help of a transformer. In the electrical circuit design section, with the help of computer simulation, the process of improving the waveform and voltage pulses were investigated and the best voltage pulse mode with the least amount of voltage drop was selected.

**Key words:** UAV, sprayer, electrostatic, chemical control.

\*Corresponding author, E-mail: j.baradaran@um.ac.ir