وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریه فنی:

معرفی برخی فناوری‌های پیشرفته برای سمپاشی محصولات زراعی

الیاس دهقان و محمود صفری

AERI

سال انتشار: ۱۴۰۳

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، کدپستی: ۳۱۳۵۹۱۳۵۳۳، مؤسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۴۲ و ۳۶۱۵۰۰۰۰(۰۲۶)
دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)، آدرس دسترسی: www.aeri.ir(بخش انتشارات الکترونیکی)

بسم الله الرحمن الرحیم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریهٔ فنی
معرفی برخی فناوری‌های پیشرفته برای سمپاشی محصولات زراعی

تهیه و تدوین

الیاس دهقان و محمود صفری

اعضای هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

سال انتشار

۱۴۰۳

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نوع نوشتار: نشریهٔ فنی

عنوان نوشتار: معرفی برخی فناوری‌های پیشرفته برای سمپاشی محصولات زراعی

نگارندگان: الیاس دهقان و محمود صفری

ویراستار ادبی: محمدرضا داهی

صفحه‌آرا: شبنم جباری

طراح جلد: سمیه وطن‌دوست

ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

شمارگان: محدود

نوبت چاپ: اول

سال انتشار: ۱۴۰۳

مسئولیت صحت مطالب با نگارندگان است.

شماره ثبت ٦٦١٥٦ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۳/۰۷/۲۲

مخاطبان نشریه

تولیدکنندگان ماشین‌های کشاورزی، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان مکانیزاسیون کشاورزی، کشاورزان، کارشناسان و مروجان سازمان‌های جهاد کشاورزی استان‌ها

هدف‌های آموزشی

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- فناوری‌های پیشرفتهٔ دنیا و پیش‌نیازهای استفاده از آنها در ماشین‌ها و تجهیزات کشاورزی مورد استفاده در عملیات داشت محصولات زراعی

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱
سمپاش‌های پیشرفته و نوین ۲
سمپاش‌های بسیار کم حجم (ULV) ۶
سمپاشی با پهپاد ۷
پایش (نظارت) توسط پهپاد ۸
محلول‌پاشی (سمپاشی) توسط پهپاد ۹
سمپاش مجهز به سامانهٔ هوا کمک ۱۱
سمپاش یا نازل الکترواستاتیک ۱۳
پایش و کنترل خودکار و هوشمند سمپاش‌ها ۱۶
فهرست منابع ۱۹

مقدمه

فناوری مجموعه‌ای از ابزارها، دانش‌ها، محصولات، فرایندها، روش‌ها و سیستم‌های به کار گرفته شده برای تولید و کاربرد کالاها و تأمین خدمات است. بررسی روند دگرگونی فناوری‌ها در دنیا نشان می‌دهد که در کمتر از یک دهۀ آینده، فناوری‌های پیشرفته جهان را دستخوش تغییرات قابل توجهی خواهند کرد و بازیگرانی که با این تغییرات همگام نیستند و از دوراندیشی لازم برای درک آینده برخوردار نباشند، از میدان رقابت حذف می‌شوند. در چنین شرایطی کشورهایی که از دستیابی به فناوری‌های پیشرفته و به‌روز غافل می‌مانند، همواره کشورهایی وابسته، نیازمند، مصرف کننده و در معرض تلاطم‌های اقتصادی و اجتماعی خواهند بود.

آخرین انقلاب در فناوری در سال ۲۰۱۱ معرفی شد و به نام انقلاب صنعتی چهارم یا صنعت چهار[1] شناخته می‌شود. مهم‌ترین ویژگی این انقلاب صنعتی به‌کارگیری گسترده و یکپارچۀ اینترنت اشیاء، داده‌های بزرگ، هوش مصنوعی، فناوری ربوتیک و سنسور، فناوری چاپ سه‌بعدی و سیستم‌های سایبری–فیزیکی است. صنعت چهار با ایجاد پیوند بین فناوری‌های دنیای واقعی و مجازی از طریق شبکه‌های هوشمند، سامانۀ یکپارچه‌ای را در اختیار قرار می‌دهد که می‌تواند مستقل از انسان‌ها و به طور خودکار ارتباط میان ماشین‌ها را فراهم آورد، اجزای زنجیرۀ ارزش را به هم متصل و خودش و دیگر اجزا را کنترل کند (هافمن[2] و همکاران، ۲۰۱۷). انقلاب صنعتی چهارم طیف وسیعی از صنایع و بخش‌های مختلف را پوشش می‌دهد، اما به نظر می‌رسد صنایع خودروسازی، هوایی و کشاورزی بیشترین میزان مشارکت را در توسعۀ این فناوری‌ها و به کارگیری آنها دارند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸).

در بسیاری موارد، به کارگیری ماشین‌ها و تجهیزات پیشرفتۀ وارداتی، یا توسعۀ فناوری آنها در ماشین‌های داخلی، قیمت تمام شدۀ آنها را بسیار بالا می‌برد. افزون بر این، حتی اگر قیمت ماشین‌های پیشرفته و پیچیده از نظر کشاورزان قابل قبول باشد، چگونگی کاربرد این ماشین‌ها در مزرعه، سرویس و نگهداری و تعمیرات آنها به مهارت‌های ویژه و ارائۀ خدمات پس از فروش به موقع نیاز دارد که ممکن است پذیرش آنها توسط کشاورزان را با چالش روبه‌رو کند. بنابراین، هر ماشین و هر سطح پیچیدگی فناوری نمی‌تواند برای هر کشور و منطقه‌ای مناسب و قابل پذیرش باشد و توسعه و به‌کارگیری آنها باید مبتنی بر ارزیابی همه جانبۀ فنی، زراعی، اجتماعی، اقتصادی و ایجاد زیرساخت‌ها و الزامات مربوطه باشد (دهقان، ۱۴۰۰). به عقیدۀ لی[3] و همکاران (۲۰۱۶)، کشورهای مختلف ناچار هستند ماشین‌های دقیق را با توجه به شرایط محلی توسعه دهند.

1 - Industry 04
2 - Hofmann
3- Li *et. al.*

در این راستا، برای تهیهٔ پروژه‌های تحقیقاتی و تشویق محققان محلی به مطالعهٔ فناوری‌های پیشرفته و توسعهٔ آنها به‌منظور پاسخگویی به نیازهای منطقه‌ای و ملی باید حمایت‌های سیاسی و بودجهٔ کافی درنظر گرفته شود.

سمپاش‌های معمولی به نیروی انسانی وابستگی زیادی دارند و به ماشین‌های سنگین‌تری نیازمند هستند. این سمپاش‌ها به دلیل ناتوانی در تشخیص شاخ و برگ گیاهان، در نظر نگرفتن شرایط آب و هوایی و استفاده از روش نامناسب برای پاشش محلول توسط نازل، میزان کاربرد سم را افزایش می‌دهند. پوشش و شاخ و برگ گیاه از بوته‌ای به بوته دیگر و یک محصول به محصول دیگر متفاوت است. از بین رفتن محلول به صورت ریزش در سطوح خارج از هدف[۴] و بادبردگی[۵] موضوعات بسیار جدی هستند که در سمپاشی با سمپاش‌های معمولی مانند سمپاش‌های کوله‌پشتی و پشت تراکتوری بوم‌دار اندازه‌گیری نمی‌شوند (احمد و همکاران[۶]، ۲۰۱۸).

فناوری‌های پیشرفته و از جمله سمپاش‌ها، برای مناطق مختلف و مزارع با اندازهٔ کوچک، متوسط و بزرگ دارای تفاوت‌هایی هستند. در مزارع کوچک باید از ماشین‌هایی استفاده کرد که وزن سبک و اندازهٔ کوچک داشته و قابل اتصال به تیلر یا تراکتورهای با توان (اسب بخار) کم باشند. در این مزارع، دقیق بودن عملیات یک عامل اصلی حساس و تعیین کننده است، در حالی که در مزارع متوسط، علاوه بر دقت ماشین در عملیات، سرعت عملیات (بازده زمانی ماشین) نیز عاملی اصلی و تعیین کننده است. در ادامه به چند مورد از این فناوری‌های پیشرفته در زمینهٔ عملیات سمپاشی اشاره می‌شود:

سمپاش‌های پیشرفته و نوین

از دیدگاه فناوری‌های کشاورزی، سمپاش‌ها بعد از ماشین‌های کارنده و کمباین‌ها، در درجهٔ سوم اهمیت قرار دارند. هدف از فناوری پاشش، استفادهٔ موثر و اقتصادی از مقدار دقیق مادهٔ شیمیایی، برای هدف تعیین شده، با کمترین آلودگی محیط زیست است (بائیو[۷] و همکاران، ۲۰۱۸). پاشش مواد شیمیایی نقش و اهمیت بسیار زیادی در عملکرد محصولات کشاورزی، هزینه‌های تولید و سلامت و بهداشت انسان و محیط زیست دارد.

4- Off-target
5- Drift
6 - Ahmad *et. al.*
7- Baio *et. al.*

کاربرد موثر سموم به انتخاب درست زمان کاربرد، تجهیزات، نوع سم و کالیبراسیون بستگی دارد (جادوف[8] و همکاران، ۲۰۱۹).

روش‌ها، ماشین‌ها و تجهیزات رایج در سمپاشی محصولات کشاورزی باعث ناسازگاری بین رشد اقتصادی و حفاظت از محیط زیست شده است. سمپاش‌های لانس‌دار پشتی (شکل ۱)، بوم‌دار پشتی (شکل ۲) و بوم‌دار تراکتوری با افشانک بادبزنی (شکل ۳) محلول سم را اغلب روی سطوح و برگ‌های بالایی گیاه می‌پاشند و آفات و قارچ‌های قرار گرفته در سطوح بالایی را از بین می‌برند. این در حالی است که آفات و حشرات مختلف به تعداد قطرات متفاوتی در واحد سطح نیاز دارند و بیشتر حشرات مکنده (مانند شته‌ها، تریپس‌ها و غیره) در سمت ریزین برگ‌ها یا سطوح میانی بوته‌ها زندگی و تغذیه می‌کنند. بنابراین، مواد شیمیایی پاشیده شده توسط سمپاش معمولی به هدف واقعی برخورد نمی‌کنند و بدین ترتیب محلول سم در هوا و روی زمین هدر می‌رود (محمد[9] و همکاران، ۲۰۱۱).

شکل ۱- سمپاش لانس‌دار پشتی

8 - Jadav *et. al.*
9 - Muhammad *et. al.*

شکل ۲- سمپاش بوم‌دار پشتی

شکل ۳- سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری بادبزنی

کاربرد موثر سموم دفع آفات در طول فصل رشد، برای کاهش پاشش در خارج از سطوح هدف، به ماشین‌ها و تجهیزات کارآمد و کالیبراسیون و تنظیمات مناسب نیاز دارد (بهلول و همکاران[۱۰]، ۲۰۲۰). سمپاش‌های معمولی با اینکه مزیت‌هایی مانند سادگی، ارزانی و در دسترس بودن دارند، اما دشواری‌های زیادی نیز به شرح زیر دارند (برزگر، ۱۳۸۶):

- بادبردگی و آلودگی محیط زیست.
- پوشش‌ندادن کامل و غیریکنواختی در سطوح مورد سمپاشی.

10- Bahlol *et. al*.

- گیاه‌سوزی در اثر تجمع قطره‌های سم در یک نقطه.
- هدر رفتن مقدار زیادی از سم (افزایش آلودگی زیست محیطی، تهدید سلامتی انسان و افزایش هزینهٔ کنترل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز).
- کاهش عملکرد گیاه در مزرعه یا باغ.

در دهه‌های اخیر، روش‌ها و ماشین‌های سمپاشی پیوسته بهبود یافته‌اند. برای استفادهٔ مؤثر از سموم و دستیابی به نتایج بهتر، وجود ماشین‌ها و تجهیزات سمپاشی به تنهایی کافی نیست، بلکه عوامل دیگری مانند نوع و سطح سایبان گیاه، سطح برگ گیاه، ارتفاع محصول و حجم بوته‌ها نیز بسیار مهم هستند.

مهم‌ترین اجزای سمپاش‌ها عبارت‌اند از مخزن مواد شیمیایی، هم‌زن محلول، پمپ، فیلتر محلول، مخزن شستشوی دست و رابط کاربری و کنترل انسانی. سمپاش‌های امروزی اجزا و پیچیدگی‌های زیادی دارند و پیشرفت‌های زیادی در آنها ایجاد شده است. برای نمونه، نازل‌های سمپاش از نظر نوع، طراحی و ساختار تنوع بسیار زیادی دارند که تصمیم‌گیری برای کاربران را بسیار دشوار می‌کند. انتخاب و کنترل درست و دقیق نوع نازل، ظرفیت و فشار پمپ، ثبات بوم و کنترل ارتفاع بوم در دقت و کیفیت سمپاشی بسیار مؤثر هستند. انتخاب نوع نازل‌ها، کنترل و تنظیمات نازل‌ها، اندازهٔ قطره‌های محلول، جهت و زاویهٔ پاشش، فشار پمپ، فعال یا غیر فعال شدن همه یا برخی نازل‌ها بسته به سطوح هدف، می‌تواند به صورت دستی یا توسط تجهیزات الکترونیک و هوشمند باشد (دهقان، ۱۴۰۰).

در سمپاش‌های با مقدار پاشش متغیر[11] مقدار پاشش سموم و قطع و وصل آن به صورت لحظه‌ای و دقیقاً بر اساس شرایط هر نقطه از مزرعه (ویژگی‌های خاص مکانی و پوشش گیاهی) تعیین می‌شود. در این سمپاش‌ها، برای تشخیص ویژگی منطقهٔ هدف از سنسورهای اولتراسونیک، فروسرخ، لیدار[12] (دئو[13] و همکاران، ۲۰۱۸) و لیزری (ژو[14] و بوهر، ۲۰۲۱) استفاده می‌شود. واحد کنترل الکترونیک، در هر لحظه آغاز و پایان پاشش و میزان پاشش محلول را تعیین می‌کند تا محلول به میزان مورد نیاز روی پوشش گیاهی پاشیده شود.

11 -Variable rate Sprayer
12- Lidar (Light Detection and Ranging)
13- Dou *et. al.*
14 -Zhu & Booher

سمپاش‌های بسیار کم‌حجم (ULV)[15]

سمپاش‌های بسیار کم‌حجم برای ایجاد قطره‌های بسیار کوچک و کاربرد محلول سم در حجم کمتر از ۵ لیتر در هکتار برای محصولات زراعی یا کمتر از ۵۰ لیتر در هکتار برای محصولات درختی یا بوته‌ای طراحی شده‌اند. این سمپاش‌ها پوشش یکنواختی ایجاد می‌کنند و ضمن اینکه کنترل حشرات و بیماری‌ها را افزایش می‌دهند، تلفات سموم را کاهش می‌دهند. سمپاش‌های مجهز به نازل الکترواستاتیک[16]، میکرونر[17] و پهپاد[18] سمپاش نمونه‌ای از فناوری سمپاش‌های کم حجم هستند (شکل ۴).

شکل ٤- سمپاش بسیار کم‌حجم، برای ایجاد قطره‌های بسیار کوچک و کاربرد محلول سم در حجم کمتر از ۵ لیتر در هکتار

این سمپاش‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که سم را بدون نیاز به رقیق کردن مرسوم بپاشند و از این رو باید با دقت زیاد و تجهیزات تخصصی استفاده شوند. سم هر چند ترکیبی از مادهٔ مؤثر و حلال است، اما بیشتر سموم مورد استفاده با سمپاش‌های کم حجم دارای عوامل فعال سطحی و مواد کنترل کنندهٔ رانش هستند.

کاهش حمل و نقل به دلیل کاربرد سم در غلظت بالا و بی‌نیازی از رقیق سازی، نفوذ خوب در سطوح کمتر در دسترس پوشش گیاهی و فعالیت بیولوژیکی بهینه برای مادهٔ مؤثر سم از مزایای ویژهٔ سمپاش‌های

15- Ultra-low volume (ULV)
16 - Electrostatic nozzle
17 - Microner sprayer

۱۸- پرنده هدایت پذیر از دور (پهپاد)

کم حجم هستند. از معایب ویژهٔ سمپاش‌های کم حجم می‌توان به این موارد اشاره کرد: نیاز به تجهیزات کاربردی تخصصی که ممکن است به طور جهانی در دسترس نباشند، هزینهٔ بالاتر برای تأمین مواد حلال قوی، نیاز به استفاده از وسیلهٔ نقلیه بسیار متمرکز و شرایط آب و هوایی تقریباً عالی برای حصول اطمینان از سمپاشی دقیق همهٔ سطوح مورد نظر، و خطرهای که کاربرد مواد بسیار سمی (به دلیل غلظت بالای سم) برای انسان دارد (بروکس و روبرتس[19]، ۱۹۹۹).

سمپاشی با پهپاد

اگر چه سمپاشی هوایی از اواسط قرن بیستم آغاز شده است، اما به تازگی سمپاشی با پهپاد یا هواپیمای بدون سرنشین (شکل ۵) مورد توجه قرار گرفته است و به دلیل مزایای زیاد نسبت به سمپاش‌های زمینی معمولی، یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌ها در زمینهٔ مهندسی حفاظت از گیاه و سمپاش‌های کشاورزی است (احمد و همکاران، ۲۰۲۱). ایدهٔ سمپاشی هوایی با استفاده از پهپاد، ابتدا بر اساس فناوری هلیکوپترهای بدون سرنشین ایجاد شد که توسط شرکت یاماها (ژاپن) برای کشت برنج ساخته شده بود (جایلس و بیلینگ[20]، ۲۰۱۵).

استفاده از پهپادها در کشاورزی ابتدا برای سنجش از دور، بررسی شرایط محصول یا مزرعه و ردیابی ماشین‌های کشاورزی، کارگران یا محصولات کشاورزی بود. این فناوری هم اکنون برای بذرپاشی و پخش مواد شیمیایی کشاورزی مانند کودها و آفت‌کش‌ها به کارگرفته می‌شود (جایلس و بیلینگ، ۲۰۱۵). هم‌اکنون در کشورهای پیشرفته پهپادها به طور گسترده در کشاورزی دقیق استفاده می‌شوند. دو حوزهٔ مهم کاربرد پهپادها در بخش کشاورزی عبارت‌اند از پایش (نظارت) و محلول پاشی.

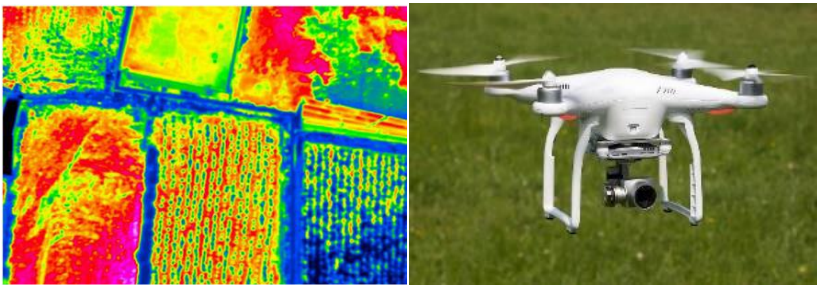
19 - Brooks & Robert
20 - Giles & Billing

شکل ٥-استفاده از پهپاد در عملیات کشاورزی

پایش (نظارت) توسط پهپاد

نظارت و تشخیص شرایط مرتع، جنگل و مزرعه در مراحل مختلف (آماده‌سازی بستر تا برداشت محصول، شناسایی و تعیین سطوح تحت پوشش ویژه) و کنترل منطقهٔ هدف (رهگیری و شمارش دام‌ها، آتش‌سوزی مراتع و جنگل‌ها، آسیب‌های ناشی از بلایای طبیعی، تغییرات اقلیمی، شناسایی و تعیین سطوح با ویژگی‌های مورد نظر و ...) معمولاً به صورت پیمایشی توسط انسان یا تصویربرداری توسط هواپیماست. پایش و نظارت زمینی کاری است سخت، وقت‌گیر و پرهزینه و ممکن است باعث تاخیر زیاد در اجرای عملیات شود.

با استفاده از فناوری پهپاد و دوربین‌های مرئی، طیفی یا حرارتی، از مناطق و مزارع هدف تصویربرداری می‌شود و تصویرها به کمک نرم افزارهای ویژه (مانند ENVI و Pix4D) تحلیل خواهد شد و اطلاعات تشخیصی و کاربردی مورد نیاز در اختیار کاربران قرار می‌گیرد (شکل ۶) (سیلوستر[۲۱]، ۲۰۱۸).



شکل ٦- بررسی شرایط مزرعه با استفاده از تصویربرداری هوایی با پهپاد

21 -Sylvester

محلول‌پاشی (سمپاشی) با پهپاد

پهپادها پیشرفته‌ترین فناوری پاشش محلول شناخته می‌شوند. در سال‌های اخیر، با توسعهٔ فناوری پهپادها استفاده از این ماشین‌ها برای سمپاشی مزرعه‌ها (شکل ۷) و باغ‌ها (شکل ۸) رو به گسترش است. توانایی‌های پهپاد سمپاش مانند پرواز در ارتفاع کم، مصرف کم سم، توان مصرفی کم، هزینهٔ اندک سمپاشی، یکنواختی پاشش و بازده سمپاشی بالا کشاورزان سراسر دنیا را به استفاده از پهپاد تشویق کرده است (خاریم و همکاران[۲۲]، ۲۰۱۹).

شکل ۷- سمپاشی مزرعه با پهپاد

شکل ۸- محلول‌پاشی باغ با پهپاد

22 - Kharim *et. al.*

مزایای محلول پاشی با پهپاد به شرح زیر است:

- امکان‌پذیر شدن محلول‌پاشی در شرایطی که به دلیل شیب زیاد، رطوبت بالای خاک، تراکم و ارتفاع زیاد درختان باغ یا محصولات زراعی (شکل ۹ و شکل ۱۰)، رفت و آمد تراکتور و ماشین‌های محلول‌پاش زمینی در مزرعه یا باغ مقدور نیست.
- تخریب نشدن محصول و پیشگیری از فشرده شدن خاک با حذف عبور چرخ‌های تراکتور و ماشین‌ها در سطح مزرعه.
- صرفه‌جویی در مصرف سم به دلیل افزایش راندمان سمپاشی.
- حذف یا کاهش خطر آلودگی کارگران به ذرات سم.
- امکان سمپاشی نقطه‌ای در سطوح آلوده در مزرعه.
- احرای سریع و بهنگام محلول‌پاشی به دلیل بیشتر بودن ظرفیت مزرعه‌ای پهپادهای محلول پاش نسبت به سمپاش‌های رایج.
- کاهش آلودگی زیست محیطی به دلیل کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی (کاهش استفاده از تراکتور).

شکل ۹- سمپاشی باغ‌های شیب‌دار و متراکم با پهپاد

شکل ۱۰- سمپاشی مزرعه با پهپاد در مراحل پیشرفتهٔ رشد

در پهپادهای سمپاش، اجزای پاشش سم (پمپ، افشانک‌ها، مخزن و شیلنگ) روی پرندهٔ بدون سرنشین نصب می‌شوند. این پرنده با پرواز در ارتفاع پایین، سمپاشی را با دقت بالا و مصرف کم سم به‌انجام می‌رساند. پیش از آغاز سمپاشی، مختصات و نقشهٔ منطقه برنامه‌ریزی می‌شود و پهپاد سمپاشی را بر اساس برنامه و معمولاً به صورت خودکار اجرا می‌کند (باقری و صفری، ۱۳۹۹).

پروانهٔ پهپاد سمپاش جریان هوای رو به پایینی ایجاد می‌کند که به شکل گرداب مخروطی در گیاه نفوذ می‌کند، اما ریزش و رسوب قطره‌های محلول سم یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها در سمپاشی با پهپاد است. در هنگام سمپاشی با سمپاش پهپاد، قطره‌های محلول به درون محصول نفوذ می‌کنند، اما باد بردگی و ریزش برخی از قطره‌ها روی زمین در اثر جریان باد پروانه‌ها، دقت و کنترل بر سمپاشی کاهش می‌یابد و افزون بر هدر رفتن سموم، باعث آلودگی محیطی و مسمومیت می‌شود (دو و همکاران[۲۳] ، ۲۰۱۸). در محلول‌پاشی با پهپاد، اندازهٔ قطره‌ها، شرایط آب و هوایی (دما، جهت باد، سرعت باد و رطوبت) روی پوشش یا برخورد قطره‌های سم به هدف و جذب سم توسط گیاه تأثیر می‌گذارند (کین و همکاران[۲۴]، ۲۰۱۶).

سمپاش مجهز به سامانهٔ هواکمک[۲۵]

نازل‌های مرسوم هیدرولیک به دلیل سادگی به طور گسترده برای کنترل علف‌های هرز، حشرات و قارچ‌ها در مزارع استفاده می‌شوند، اما در پوشش گیاهی کوتاه و متراکم، یکنواختی توزیع قطره‌های محلول

23- Dou *et. al.*
24- Qin *et. al.*
25- Air-assisted sprayer

در آنها بسیار ضعیف است (زو و همکاران[۲۶]، ۲۰۰۴). سمپاش‌های معمولی نمی‌توانند سم کافی به قسمت‌های داخلی یا زیرین بوته‌ها برسانند که محل زندگی و خسارت بیشتر حشرات و بیماری‌هاست. در بسیاری از موارد، کشاورزان برای افزایش نفوذ محلول سم در سایبان‌های متراکم گیاه، مقدار مصرف سم را بالا می‌برند. اما قطره‌های محلول سم اغلب در سطوح بالایی گیاهان باقی می‌مانند.

فناوری هواکمک پیشرفت جدیدی است که با نصب روی ماشین‌های سمپاش کارایی آنها افزایش می‌یابد. در این سامانه، هوای تحت فشار از نازل‌های ویژه‌ای که در بالای سر نازل‌های محلول سم نصب شده‌اند، با فشار و زاویهٔ مناسب به سمت پایین دمیده می‌شود. این جریان هوای فشرده با به هم زدن پوشش گیاهی، کج کردن و جداکردن بوته‌ها و انشعاب‌های آنها، محلول سم را به درون تودهٔ گیاهان نفوذ می‌دهد (شکل ۱۱).

سمپاش‌های مجهز به سامانهٔ هواکمک می‌توانند بدون نیاز به ماشین‌های مرسوم، هزینهٔ بیشتر و نیروی کار بیشتر، عوامل کنترل آفات و بیماری‌ها را به طور اقتصادی و موثر در تودهٔ گیاهی متراکم نفوذ دهند. عوامل گوناگونی مانند سرعت هوای خروجی سامانه، حجم هوای خروجی سامانه، ارتفاع نازل خروجی هوا، زاویهٔ برخورد هوای خروجی به پوشش گیاهی، فشار سمپاش و سرعت پیشروی می‌توانند بر کارایی سمپاش مجهز به سامانهٔ هواکمک اثر گذارند. سرعت هوای خروجی دمنده، نسبت به زاویهٔ ورود هوا به پوشش گیاهی، با شدت بیشتری باعث تلفات سم و نایکنواختی در نفوذ قطره‌های محلول به درون پوشش گیاهی می‌شود. اگر زاویهٔ دمیدن هوا توسط سامانهٔ هواکمک به درستی انتخاب نشود، نتیجهٔ دلخواه به‌دست نمی‌آید و نفوذ حداکثری محلول سم به لایه‌های درونی پوشش گیاهی اتفاق نمی‌افتد.

26 - Zhu *et. al.*

شکل ۱۱- سمپاش میکرونر هواکمک پشت تراکتوری

سمپاش یا نازل الکترواستاتیک

سمپاش مجهز به نازل الکترواستاتیک در اوایل دهۀ ۱۹۳۰ طراحی شد، اما ترویج و توسعۀ آن در سال‌های اخیر به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌های سمپاشی و دوست‌دار محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است. هدف کاربرد نازل‌های الکترواستاتیک، افزایش نفوذ محلول سم در پوشش گیاهی است. فناوری نازل‌های الکترواستاتیک شامل ایجاد بار الکتریکی ساکن در هر قطره از محلول است که از نازل خارج می‌شود و با ایجاد نیروی جاذبه بین قطرۀ محلول و اندام‌های گیاه (با بار خنثی) باعث چسبندگی بین ذرات محلول و اندام‌های گیاه می‌شود (شکل ۱۲). قلب سمپاش الکترواستاتیک هواکمک، نازل با توانایی شارژ القایی اتمیزه کنندۀ هواست که در دانشگاه جورجیا با نام تجاری MaxCharge™ ثبت اختراع شد.

شکل ۱۲- سمپاش الکترواستاتیک پشت تراکتوری

هد سمپاش الکترواستاتیک محلول سم را ابتدا با استفاده از مکانیزم ویژه‌ای به ذرات بسیار ریز (۵۰ میکرون) تبدیل می‌کند، پس از آن بار الکتریکی مثبت را در میدان مغناطیسی به ذرات محلول سم القا می‌کند و قطره‌های محلول را با ایجاد جریان هوا توسط سامانهٔ هواکمک به سمت پوشش گیاهی باغی (شکل ۱۳) یا گیاهان زراعی (شکل ۱۴) می‌فرستد.

در این سیستم پاشش، تزریق هوا با فشار زیاد به داخل نازل سمپاش باعث می‌شود که قطره‌های محلول خیلی سریع و پیش از تبخیر شدن به گیاه برسند. ذرات محلول سم به دلیل داشتن بار همنام مثبت از یکدیگر دور می‌شوند و به هم نمی‌چسبند، اما اندام‌های گیاه که دارای بار منفی هستند، همهٔ ذرات سم را به سوی خود می‌کشند و باعث نشستن کامل ذرات محلول روی سطوح زیر و روی برگ‌ها می‌شوند.

در برگ‌های مومی که قطره‌های به سرعت از روی آنها جدا می‌شوند و بر زمین می‌ریزند، استفاده از قطره‌های ریز باردار باعث چسبیدن محلول سم به همهٔ سطوح برگ‌ها می‌شود (احمد و همکاران، ۲۰۲۱).

در سمپاشی با این فناوری، حتی در سطوح متراکم و پنهان بوته‌ها، قطره‌های محلول به طور یکنواخت به برگ‌های گیاهان می‌رسند. نازل‌های الکترواستاتیک به دلیل عدم بادبردگی و ریزش کمتر، راندمان پاشش بالایی دارند و با صرفه‌جویی در مصرف سموم، خطرهای بهداشتی و آلودگی محیط زیست را کاهش می‌دهند.

شکل ۱۳- نازل و سمپاش الکترواستاتیک پشت تراکتوری برای سمپاشی باغ (منبع: شرکت بادله)

شکل ١٤- نازل و سمپاش الکترواستاتیک پشت تراکتوری برای سمپاشی مزارع

سمپاش‌های الکترواستاتیک را سمپاش‌های بسیار کم‌حجم نیز می‌نامند، زیرا می‌توانند سمپاشی را با تولید قطره‌های ریز با قطر بین ۵۰ تا ۱۲۰ میکرون و مصرف محلول ۵ لیتر بر هکتار به‌انجام برسانند در حالی که سمپاش‌های معمولی سمپاشی را با تولید قطره‌هایی با قطر بین ۱۲۵ تا ۵۰۰ میکرون و مصرف محلول ۵۰ تا ۴۰۰ لیتر در هکتار به‌انجام می‌رسانند (گیلس[۲۷] و بیلینگ، ۲۰۱۵).

ویژگی‌های سمپاش مجهز به نازل الکترواستاتیک در زیر آورده شده است:

- کاهش مصرف سم تا ۸۰ درصد.
- کاهش مصرف آب از ۶۰ تا ۸۰ درصد.
- کارایی زیستی بالاتر با پوشش یکنواخت سطوح هدف، رسوب در پشت برگ‌ها، کاهش بادبردگی و کاهش ریزش سم روی زمین (شکل ۱۵).
- پوشش‌دهی گسترده‌تر.
- نیاز به فشار معمولی.
- کاهش آلودگی محیط زیست.
- ساختمان ساده و کاربرد آسان.

خوشبختانه با افزودن نازل الکترواستاتیک و سامانهٔ هواکمک می‌توان سمپاش‌های معمولی موتوری تولید داخل کشور را به سمپاش الکترواستاتیک تبدیل کرد. برق مورد نیاز برای این سمپاش‌ها نیز به آسانی می‌تواند از سر شمع موتور سمپاش یا برق تراکتور تامین شود.

27- Giles & Billing

فناوری نازل الکترواستاتیک انقلابی در کاهش باد بردگی و ریزش سم توسط سمپاش ایجاد کرده است اما استفاده از سامانهٔ هواکمک در این سمپاش‌ها می‌تواند با کاهش اثر دما و وزش باد بر نوسان‌ها و حرکات نابجا و باد بردگی قطره‌ها کارایی آنها را افزایش دهد (فیکر[۲۸]، ۲۰۰۶).

شکل ۱۵-شماتیک پراکنش محلول سم روی محصول. پراکنش نایکنواخت در سمپاش معمولی (راست) و پراکنش یکنواخت در سمپاش مجهز به نازل الکترواستاتیک (چپ).

پایش و کنترل خودکار و هوشمند سمپاش‌ها

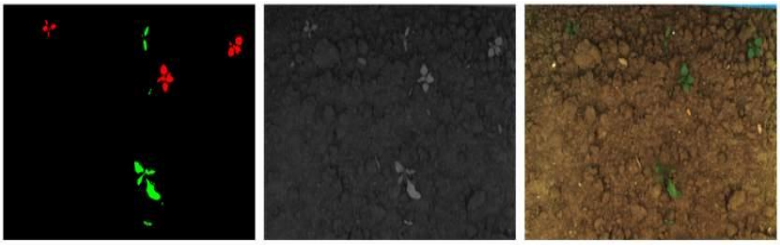
در گذشتهٔ نه چندان دور، فناوری‌های پاشش هوشمند (سمپاش با مقدار پاشش متغیر و پهپاد سمپاش) معرفی شده‌اند که در آنها از سنسورها و فناوری هوش مصنوعی استفاده شده است. این فناوری‌ها مزایای زیادی دارند مانند توان تشخیص آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و سپس پاشیدن انتخابی مواد شیمیایی در نقاط مورد نیاز (احمد و همکاران، ۲۰۲۱).

در سامانه‌های سمپاشی خودکار و هوشمند، ابتدا گیاه با استفاده از حسگر یا دوربین تصویربرداری شناسایی و پس از آن از الگوریتم‌های یادگیری عمیق برای شناسایی دقیق گیاهان و بیماری‌های مختلف استفاده می‌شود که به تصمیم‌گیری سیستم پشتیبانی برای تعیین هدف کمک می‌کند. الگوریتم‌ها گیاه و علف‌کش را به طور خودکار برای سمپاشی انتخاب می‌کنند (شکل ۱۶).

پیشرفت‌های تازه در فناوری سمپاش‌ها و استفاده از ربوتیک و فناوری‌های خودکار مانند سمپاش با مقدار پاشش متغیر، پهپاد سمپاش و سمپاش الکترواستاتیک (زیر چتر کشاورزی دقیق) باعث شده تا سموم

28- Ficker

کشاورزی با دقت بسیار زیاد در زمان و نقاط درست استفاده شوند، میزان استفاده از سموم و مقدار باقیماندهٔ آنها کاهش یابد، در هزینه‌ها صرفه‌جویی گردد و از محیط زیست محافظت شود.



(پ) (ب) (الف)

شکل ۱۶- تشخیص گیاهان با استفاده از تصویربرداری. الف: تصویر RGB، ب: تصویر NIR و پ: طبقه بندی گیاهان (سبز: محصول، قرمز: علف هرز) (منبع : لوتس[۲۹] و همکاران، ۲۰۱۸)

این فناوری‌ها با استفاده از سنسورها و اینترنت اشیا برای تشخیص آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، اندازه‌گیری سایبان و شاخ و برگ گیاهان (پوشش گیاهی)، محاسبهٔ ساختار برگ و سنجش پارامترهای آب و هوا، سم را به مقدار مورد نیاز روی نقاط هدف می‌پاشد. سمپاش‌های پیشرفته با نازل‌های پاشندهٔ کنترل شده و تشخیص سریع ساختار و شکل هندسی محصولات، که باعث کاهش بادبردگی و جلوگیری از مصرف بیش از حد سموم کشاورزی می‌شوند، تأثیر سموم را افزایش و آلودگی آب و خاک را کاهش می‌دهند (احمد و همکاران، ۲۰۲۱).

در سال‌های اخیر سرویس تحقیقات داخلی وزارت کشاورزی امریکا[۳۰] یک سیستم جهانی کنترل اتوماتیک و هوشمند پاشش با قابلیت متصل شدن به سمپاش‌های موجود را به صورت تجاری توسعه داده است (شکل ۱۷). این سامانهٔ کنترل هوشمند می‌تواند بود یا نبود گیاه، اندازه، شکل و تراکم شاخ و برگ گیاهان هدف را تعیین کند و سپس به طور خودکار مقدار محلول را طبق برنامهٔ تعیین شده و در زمان واقعی به کار ببرد. با استفاده از این سامانه، تولید کنندگان سمپاش می‌توانند به جای تولید سمپاش‌های جدید، سمپاش‌های فعلی خود را بدون نیاز به تغییر در طرح آنها، به ماشین‌های دقیق با عملکردهای هوشمند ارتقا دهند. شرط اولیه برای بهسازی سمپاش‌های موجود، اتصال شیر برقی با جریان متغیر به هر نازل است و همهٔ اجزای دیگر بدون تغییر در ساختار سمپاش به بدنهٔ سمپاش متصل می‌شوند.

29- Lottes

30- United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service USDA-ARS

شکل ۱۷- اجزای سامانهٔ کنترل اتوماتیک و هوشمند پاشش با قابلیت متصل شدن به سمپاش‌های موجود، ارائه شده توسط سرویس تحقیقات کشاورزی آژانس تحقیقات داخلی وزارت کشاورزی امریکا.

ژو و بوهر[۳۱] (۲۰۲۱) گزارش کردند که آزمایش‌های میدانی روشن کرده است که این سامانه می‌تواند میزان استفاده از آفت‌کش‌ها را ۳۰ تا ۹۰ درصد و میزان بادبردگی را بین ۶۰ تا ۹۰ درصد کاهش دهد و از میزان ریزش محلول روی زمین ۴۰ تا ۸۰ درصد بکاهد. این سامانهٔ جدید کنترل هوشمند پاشش، شامل یک سنسور لیزری جدید، یک تبلت اندروئیدی، یک واحد ناوبری با کمک GPS، یک کنترل کنندهٔ خودکار سرعت جریان محلول، واحد تصفیهٔ هوا، یک جعبه سوئیچ و یک کیت ارتباط جهانی است.

سنسورهای لیزری بین تراکتور و سمپاش نصب می‌شوند تا گیاهان را در دو طرف سمپاش مشاهده کنند. سنسور لیزری ۵۴۰۰۰ سیگنال در ثانیه با محدودهٔ تشخیص شعاعی ۲۷۰ درجه منتشر می‌کند. سیگنال‌های لیزری که از پوشش گیاه باز می‌گردند برای تعیین وجود تاج گیاه، اندازه‌گیری ارتفاع، عرض، تراکم شاخ و برگ و حجم شاخ و برگ درختان استفاده می‌شود. رادار ناوبری به همراه GPS یا سنسور سرعت که در انتهای سمپاش نصب شده است، سرعت حرکت سمپاش و موقعیت ماشین را در مزرعه اندازه‌گیری می‌کند. جعبهٔ کنترل سامانه بر اساس حجم شاخ و برگ گیاهان و سرعت پیشروی سمپاش، میزان پاشش محلول را برای هر نازل تعیین می‌کند و پس از آن محلول سم در زمان واقعی به قسمت‌های مختلف هر گیاه پاشیده می‌شود. هر نازل به یک شیر برقی متصل است و میزان جریان نازل و زمان فعال یا

31 -Zhu & Booher

غیر فعال شدن آن توسط واحد کنترل کنندهٔ جریان اعمال می‌شود. کنترل کنندهٔ جریان متشکل از ریزپردازنده‌هایی است که فرمان پاشش را برای هر نازل تولید و ارسال می‌کنند.

فهرست منابع

باقری، ن و صفری، م. ۱۳۹۹. شناخت پهپاد سمپاش. نشریهٔ فنی شماره ۵۸۹۰۹. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۲۸ صفحه.

برزگر، ص. ۱۳۸۶. آشنایی با سمپاش الکترواستاتیک. سازمان جهاد کشاورزی آذربایجان شرقی. حوزهٔ ترویج و نظام بهره برداری.

دهقان، ا. ۱۴۰۰. شناسایی و معرفی فناوری‌های مناسب و پیشرفته برای تولید کینوا در کشور. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. شماره ثبت ۶۰۸۲۹ ۷۰ صفحه.

محمدی، م.، الیاسی، م. و روشنی، س. ۱۳۹۸. انقلاب صنعتی نسل چهارم: پارادایم نوین صنعتی مبتنی بر هوشمندسازی و دیجیتالی شدن. انتشارات دانش بنیان فناور. معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری. ۱۲۰ صفحه.

Ahmad, F., Khaliq, A., Qiu, B., Sultan, M., and Ma, J. 2021. Technology in Agriculture. Advancements of Spraying Technology in Agriculture. Web of Science. Chapter 2.

Bahlol, H.Y., Chandel, A.K., Hoheisel, G.A. and Khot, L.R. 2020. The smart spray analytical system: Developing understanding of output air-assist and spray patterns from orchard sprayers. Crop Protection, 127: 104977.

Baio, F.H.R., Silva, E.E., Vrech, M.A., Souza, F.H.Q., Zanin, A.R. and Teodoro, P.E. 2018. Vegetation indices to estimate spray application rates of crop protection products in corn. Agronomy Journal: 110: 1254-1259.

Brooks, G. T. and Roberts, T. 1999. Pesticide Chemistry and Bioscience, The Food-Environment Challenge. 1st Edition. Woodhead Publishing. 438 p.

Dou, H., Zhang, C., Li, L., Hao, G., Ding, B., Gong, W. and Huang, P. 2018. Application of variable spray technology in agriculture. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.186.

Ficker, T. 2006. Electrification of human body by walking. J. Electrostat. 64: 10-16.

Giles, D. and Billing, R. 2015. Deployment and performance of a uav for crop spraying. Chemical Engineering Transactions. 44: 307-312.

Hofmann, E. and Rüsch, M. 2017. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. Computers in Industry. 89: 23–34.

Jadav, C. V., Jain, k. K. and Khodifad, b. C. 2019. Spray of chemicals as affected by different parameters of air assisted sprayer: A review. Current Agriculture Research Journal. 7(3): 289-295.

Karimi, H., Navid, H., Besharati, B. and Eskandari, I., 2019. Assessing an infrared-based seed drill monitoring system under field operating conditions. Computers and Electronics in Agriculture, 162: 543-551.

Li, Y., Bingxin, Y., Tao, C., Yiming, Y., Xiantao, H., Quanwei, L., Zhijie, L., Xiaowei, Y. and Dongxing, Z. 2016. Global overview of research progress and development of precision maize planters. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 9 (19):9-26.

Muhammad, A., Abdul Nasir, A., Khan, F.H. and Khan, M.A. 2011. Fabrication of Ultra Low Volume (ULV) pesticide sprayer test bench. Pakistan Journal of Agricultural Sciences. 48(2): 135-140.

Qin, W.C., Qiu, B.J., Xue, X.Y., Chen, C., Xu, Z.F. and Zhou, Q.Q. 2016. Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. Crop Protection. 85: 79-88.

Sylvester, G. 2018. E-agriculture in Action: Drones for Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)& International Telecommunication Union (ITU). 126 P.

Zhu, H. and Booher, S. 2021. A New Generation of Precision Spray Technology. United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service (USDA-ARS). http://progressivecrop.com/2021/03/a-new-generation-of-precision-spray-technology/.

Zhu, H., Brazee, R.D., Derksen, R.C., Fox, C.R., Krause, C.R., Ozkan, H.E. and Losely, K. 2004. A specially designed air-assisted sprayer to improve spray penetration and air jet velocity distribution inside dense nursery crops. Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers). 49(5): 1285−1294.