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

نشریه فنی :

شناخت پهپادسمپاش

نیکروز باقری و محمود صفری

سال انتشار: ۱۳۹۹

AERI

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، صندوق پستی: ۸۴۵ -۳۱۵۸۵، مؤسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۲۷۰۸۳۵۹ (۰۲۶)
دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)، پایگاه اطلاعاتی موسسه: www.aeri.ir

بسم الله الرحمن الرحیم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریهٔ فنی:

شناخت پهپادسمپاش

تهیه و تدوین:

نیکروز باقری و محمود صفری

اعضای هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

سال انتشار:

۱۳۹۹

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

نوع نوشتار: نشریهٔ فنی
عنوان نوشتار: شناخت پهپادسمپاش
نگارنده: نیکروز باقری و محمود صفری
ویراستار ادبی: فؤاد تاجیک
صفحه‌آرا: سمیه وطن دوست
ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
شمارگان: محدود
نوبت چاپ: اول
سال انتشار: ۱۳۹۹

مسئولیت صحت مطالب با نگارنده است.

شماره ثبت ۵۸۹۰۹ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۳۹۹/۱۱/۰۷

مخاطبان نشریه:

سازندگان و ارائه‌دهندگان خدمات پهپادسمپاش، کارشناسان و ترویج‌گران کشاورزی، کشاورزان پیشرو.

اهداف آموزش:

شما خوانندگان گرامی در این نشریه فنّی با:

- پهپادسمپاش
- اجزاء پهپادسمپاش
- واسنجی (کالیبراسیون) پهپادسمپاش
- نکات مهم پیش از آغاز سمپاشی

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- مقدمه	۱
۲- معرفی پهپادسمپاش	۲
۳- انواع پهپادسمپاش از نظر ساختار فیزیکی	۳
۴- اجزای اصلی پهپادسمپاش	۵
۴-۱ اجزای واحد مکانیکی	۷
۴-۲ اجزای واحد الکترونیکی و کنترل	۱۱
۴-۳ اجزای واحد پاشش	۱۷
۵- واسنجی پهپادسمپاش	۲۱
۵-۱ واسنجی حسگرهای پهپادسمپاش	۲۲
۵-۲ واسنجی بده خروجی پهپادسمپاش	۲۳
۶- نکته‌های مهم پیش از آغاز سمپاشی	۲۴
۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادها	۲۵
فهرست منابع	۲۶

۱- مقدمه

امروزه مصرف زیاد سم‌های شیمیایی برای مبارزه با آفت‌ها، بیماری‌ها و علف‌های هرز به یکی از مشکلات جدّی در تولید محصول‌های کشاورزی تبدیل شده است. در صورتی که سم‌های شیمیایی به میزان لازم، و در زمان و محل موردنظر توزیع نشود، باعث آلودگی گیاه، خاک و آب‌های زیرزمینی می‌شود (باقری و صفری، ۱۳۹۷).

در حال حاضر، از انواع سمپاش‌های تراکتوری برای سمپاشی محصول‌های کشاورزی استفاده می‌شود. کاربرد این دستگاه‌ها بیشتر در عرصه‌های بزرگ است. همچنین، این دستگاه‌ها برای گیاهان کم‌ارتفاع و در شرایطی که امکان ورود تراکتور به مزرعه یا باغ وجود دارد، به کار می روند (Kharim et al., 2019). در مواقعی که امکان ورود تراکتور به مزرعه یا باغ وجود ندارد، از سمپاش‌های دستی استفاده می‌شود. کاربرد سمپاشی دستی با مصرف زیاد سم، آسیب به کارور در اثر تماس با سم، آسیب فیزیکی به محصول به‌علت حضور انسان، سرعت کم سمپاشی، و نیاز به کارگر برای حمل شیلنگ همراه است.

در سال‌های اخیر، با توسعه پهپادها و شناسایی قابلیت آن‌ها در حوزه کشاورزی، استفاده از پهپاد برای سمپاشی مزرعه‌ها و باغ‌ها رو به گسترش است. قابلیت‌های پهپادسمپاش از جمله: پرواز در ارتفاع کم، مصرف کم سم، توان مصرفی کم، هزینه کم سمپاشی، افزایش یکنواختی، و بازده سمپاشی؛ کشاورزان سراسر دنیا را به استفاده از پهپاد برای سمپاشی ترغیب کرده است (Kharim et al., 2019). برای مثال، در کنترل آفت زنجرک خرما، نتیجه مقایسه پهپادسمپاش و سمپاش لانس‌دار به‌ترتیب چنین بوده است: مقدار محلول مصرفی ۲۸/۹ و ۱۱۰۰ لیتر در هکتار، اتلاف محلول حشره‌کش ۱۱/۰۲درصد و ۴۲/۶درصد، ظرفیت مزرعه‌ای ۷/۲ و ۰/۸هکتار بر ساعت (صفری و شیخی

گرجان، ۱۳۹۹). با استفاده از پهپادسمپاش، کارور[1] به‌علت دور بودن از پهپاد، هیچ تماسی با سم ندارد و آسیبی نیز به او نمی‌رسد.

با توجه به نو بودن این فناوری و کمبود محتوا در این حوزه، این نشریه با هدف معرفی پهپادسمپاش، شناخت اجزای اصلی و نحوه واسنجی آن به بیانی ساده برای کارشناسان، ترویج‌گران و بهره‌برداران کشاورزی تهیه شده است. امید است که این نشریه فنّی مورداستفاده بهره‌برداران قرار گرفته و بتواند در توسعه سنجیده کاربرد پهپادسمپاش در کشاورزی کشور مؤثر باشد.

۲- معرفی پهپادسمپاش

پهپادسمپاش وسیله‌ای است که سمپاشی را از بالای سطح محصول در زمین‌های کشاورزی انجام می‌دهد. در این روش سمپاشی، سامانه پاشش سم (شامل پمپ، افشانک‌ها، مخزن، شیلنگ و ...) روی یک پرنده بدون سرنشین نصب می‌شود. این پرنده قادر است با پرواز در ارتفاع پایین از روی سطح محصول، سمپاشی را با دقت بالا و مصرف کم سم انجام دهد. سمپاشی معمولاً به‌صورت خودکار انجام می‌شود. پیش از آغاز سمپاشی، مختصات و نقشه منطقه، برنامه‌ریزی می‌شود و پهپادسمپاش، سمپاشی را براساس برنامه انجام می‌دهد. در شکل۱، نمونه‌ای از پهپاد در حال سمپاشی مزرعه و درختان نشان داده شده است. پهپادسمپاش با هدف سمپاشی محصولات زراعی و باغی ساخته شده است، اما از این وسیله می‌توان برای محلول‌پاشی، آبیاری، مه‌پاشی، زدودن گرد و غبار از درختان و حتی با تغییر در سامانه پاشش، برای گرده‌افشانی درختان و بذرپاشی نیز استفاده کرد (باقری، ۱۳۹۹ب).

1. Operator

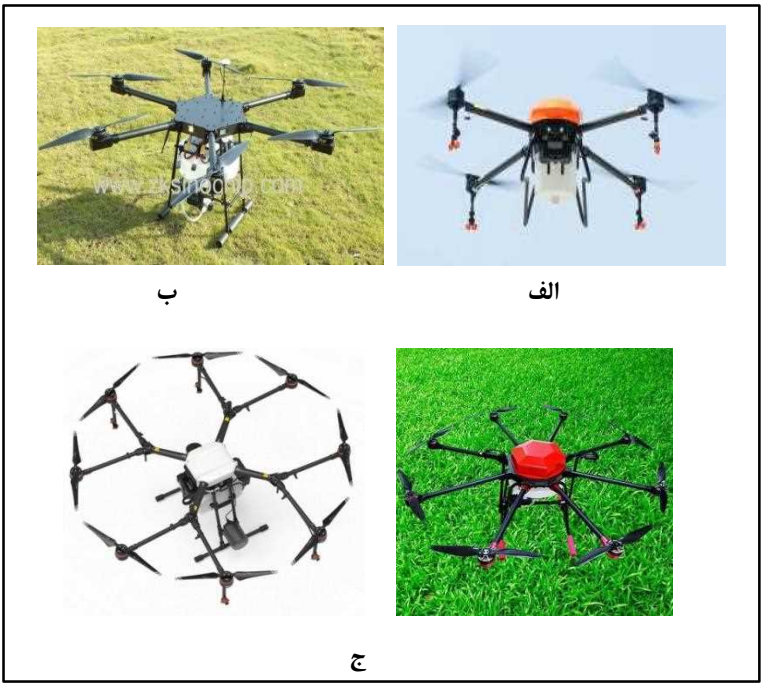
شکل۱- پهپاد در حال سمپاشی مزرعه و باغ

۳- انواع پهپادسمپاش از نظر ساختار فیزیکی

پهپادها[1] (پرنده‌های هدایت‌پذیر از دور) از نظر ساختار فیزیکی به دو دسته پهپادهای بال ثابت[2] و پهپادهای بال چرخان[3] تقسیم می‌شوند. پهپادهای بال چرخان نیز انواع گوناگونی دارند که یکی از رایج‌ترین آن‌ها، پهپادهای چند چرخانه (مولتی روتور)[4] است. پهپادسمپاش از جمله پهپادهای چند چرخانه است. پهپاد با ۴ چرخانه (کوادکوپتر)[5]، مرسوم‌ترین نوع پهپاد در بین پهپادهای چند چرخانه است. از انواع دیگر این پهپادها می‌توان به پهپادهای شش چرخانه (هگزاکوپتر[6]) و پهپادهای هشت چرخانه (اکتاکوپتر[7]) اشاره کرد (Moschetta and Namuduri, 2017).

1. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)
2. Fixed-wing UAV
3. Rotary-wing UAV
4. Multi rotors
5. Quadcopter
6. Hexacopter
7. Octocopter

پهپادهـای بـا هشـت چرخانـه، بـه دو صـورت وجـود دارنـد. در برخـی از مـدل‌هـا، هشـت چرخانـه پهپـاد بـه هشـت بـازوی اصـلی وصـل شـده اسـت. در برخـی دیگـر از مـدل‌هـا، پهپـاد دارای چهـار بـازوی اصـلی اسـت و هـر بـازوی اصـلی بـه دو بـازوی فرعی وصل شـده و چرخانـه‌هـا بـه سـر بازوهـای فرعـی متصـل شـده‌انـد. در شـکل۲، انواع پهپادسمپاش‌ها براساس تعداد چرخانه نشان‌داده‌شده است.



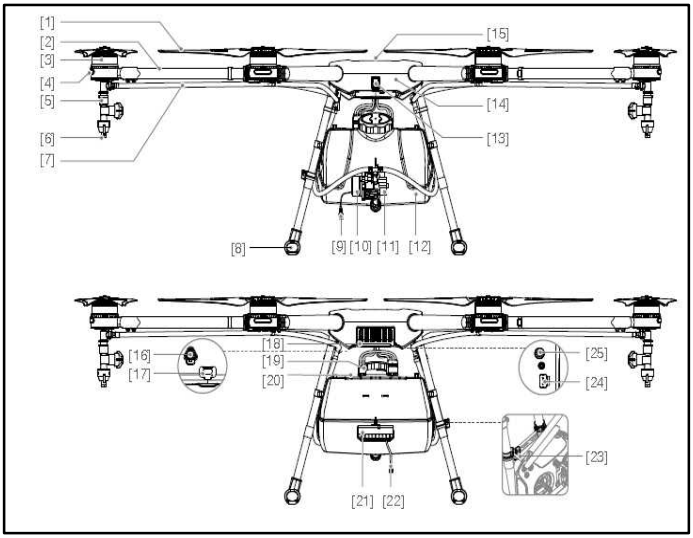
شکل۲– انواع پهپادسمپاش براساس تعداد چرخانه

(الف: چهار چرخانه، ب: شش چرخانه، ج: هشت چرخانه با ۴ و ۸ بازوی اصلی)

٤- اجزاء اصلی پهپادسمپاش

پهپادسمپاش‌های موجود، طراحی‌ها و کارایی‌های متفاوت دارند. با این حال، بیشتر پهپادسمپاش‌ها دارای اجزاء و ساختمان مشترکی هستند. در این نشریه، اجزاء مکانیکی و الکترونیکی مرسوم پهپادسمپاش‌ها معرفی و تشریح شده است. یک نمونه پهپادسمپاش در شکل۳ نشان داده شده است. همچنین اجزای اصلی یک پهپادسمپاش در شکل۴ نشان داده شده است.

شکل۳- یک نمونه پهپادسمپاش



شکل ٤- اجزای اصلی یک پهپادسمپاش

۱- ملخ
۲- بازو
۳- موتور
۴- شاخص جهت پرواز
۵- لوله
۶- افشانک
۷- شیلنگ
۸- پایه فرود
۹- کابل موتور پمپ
۱۰- موتور پمپ
۱۱- پمپ تحویل
۱۲- مخزن سم
۱۳- شاخص وضعیت پهپاد
۱۴- بدنه پهپاد
۱۵- سامانه موقعیت یاب جهانی
۱۶- درگاه موتور
۱۷- درگاه داده‌های کنترل کننده پرواز
۱۸- دریچه ورودی
۱۹- درگاه توان
۲۰- محفظه باتری
۲۱- ماژول رادار (تثبیت ارتفاع)
۲۲- کابل رادار
۲۳- نگهدارنده ریموت‌کنترل
۲۴- درگاه داده
۲۵- درگاه رادار

به‌طور کلی، هر پهپادسمپاش از سه واحد اصلی شامل واحد مکانیکی (بدنه و اجزاء آن)، واحد الکترونیکی و کنترل و واحد پاشش تشکیل شده است.

٤-١ اجزای واحد مکانیکی

٤-١-١ بدنه پهپاد (بازوها، پایه فرود، صفحه مشبک، اتصالات پلاستیکی)

بدنه پهپاد از مواد سبک، مقاوم و نرم ساخته شده است. بدنه اصلی، اسکلت پهپاد را تشکیل می‌دهد و باعث ایجاد استحکام و پروازی ایمن می‌شود. بدنه به‌گونه‌ای طراحی شده است که مرکز جرم پرنده در وسط آن قرار دارد. در صورت تقارن‌نداشتن بدنه، پرنده تعادل خود را از دست داده و به یک سمت متمایل خواهد شد. بدنه باید انعطاف‌پذیری لازم را داشته باشد تا بتواند ارتعاش‌ها و ضربه‌ها را جذب کند. جنس بدنه معمولاً از کربن است؛ این ماده افزون‌بر استحکام بالا، دارای چگالی پایین و قابلیت جذب ارتعاش‌ها است. برای حمل و نقل بهتر و راحت‌تر، بازوهای پهپاد قابل جمع شدن است. جنس بازوها از کربن بوده و یک سر آن‌ها با اتصال‌های مخصوص در سازه اصلی محکم شده و سر دیگر آن به دسته موتور متصل است. این بازوها معمولاً توخالی است و سیم‌های انتقال قدرت داخل آن‌ها قرار می‌گیرند. همچنین شیلنگ‌ها نیز داخل یا روی آن‌ها نصب می‌شوند (باقری، ۱۳۹۳).

صفحه مشبک پایه‌ای برای نصب قطعات مختلف است و از اتصال‌های پلاستیکی برای اتصال بخش‌های مختلف استفاده می‌شود (باقری، ۱۳۹۳). بخش‌های اصلی بدنه پهپاد در شکل۵ نشان‌داده‌شده است.

شکل۵- بخش‌های اصلی بدنه پهپاد

۴-۱-۲ موتور

در پهپاد، برای تبدیل انرژی الکتریکی ذخیره شده در باتری به انرژی مکانیکی (برای تولید نیروی بالابرنده) از موتورهای الکتریکی جریان‌مستقیم بدون‌جاروبک[1] استفاده می‌شود. این موتورها در مقایسه با موتورهای جریان‌مستقیم معمولی، عمر طولانی‌تر، سرعت و بازده بالاتر و همچنین تداخل الکترومغناطیسی کمتری دارند. برای راه‌اندازی هر یک از موتورها، از راه‌انداز مخصوص استفاده می‌شود. این راه‌اندازها با سوییچ‌های الکترونیک خودکار، جریان مستقیم باتری را به جریان سه‌فاز تبدیل می‌کند تا مناسب راه‌اندازی

1. Brushless Direct Current Electrical Motors

موتورهای بدون جاروبک شود (باقری، ۱۳۹۴). یک نمونه موتور پهپاد در شکل ۶ نشان داده شده است.

شکل ٦- یک نمونه موتور پهپاد

٤-١-٣ ملخ

ملخ‌های پهپاد (برخلاف پره‌های بالگرد) دارای گام ثابت بوده و تنها پارامتر کنترل آن‌ها، تنظیم سرعت چرخش است. اندازه ملخ‌های پهپاد متناسب با دور موتور، توان خروجی و وزن آن انتخاب می‌شود. از قفل‌کننده ملخ برای ثابت نگه‌داشتن آن روی محور موتور و جلوگیری از بیرون آمدن خطرآفرین ملخ در حین پرواز استفاده می‌شود. گردش ملخ‌ها دو به دو برخلاف جهت یکدیگر است (باقری، ۱۳۹۳). ملخ‌های با جنس کربن نسبت به ملخ‌های پلاستیکی استحکام بیشتری دارند. طول ملخ‌ها بسته به طراحی پرنده و کاربری آن متفاوت است. در شکل۷ ملخ‌های ساعتگرد و پادساعتگرد با قفل‌کننده ملخ نشان‌داده‌شده است. جریان گردابی ایجاد شده در اثر حرکت موتورها و ملخ‌ها باعث هدایت بهتر سم به سمت پایین و نشست بهتر آن روی محصول و حتی نفوذ بهتر آن به داخل محصول می‌شود.

شکل ۷- ملخ‌های ساعتگرد و پادساعتگرد و قفل‌کننده ملخ

٤-١-٤ واحد خنک‌کننده داخلی

واحد خنک‌کننده داخلی (شکل۸) افزون‌بر جذب گرد و غبار با صافی، هوا را خنک می‌کند و به سمت موتورها می‌فرستد.

شکل ۸- واحد خنک‌کننده داخلی پهپادسمپاش

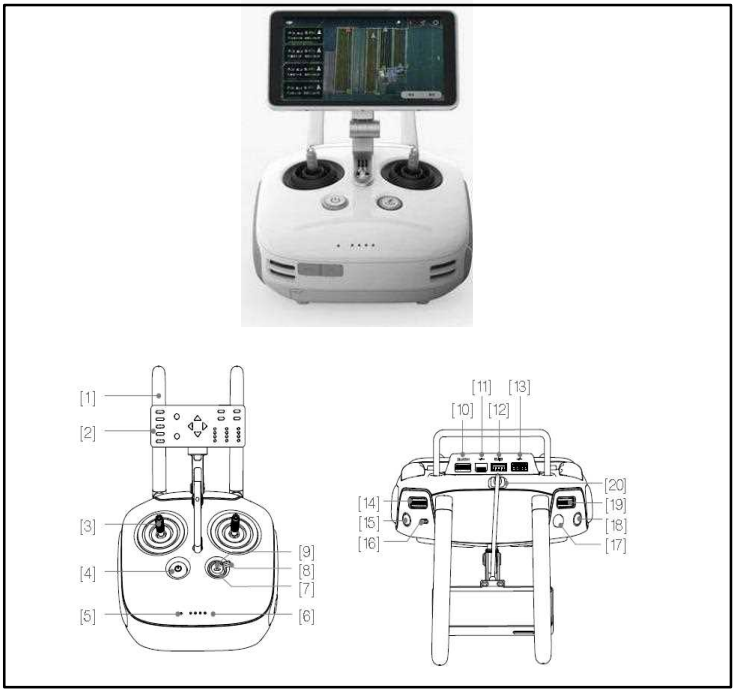
پهپادسمپاش‌ها به گونه‌ای ساخته می‌شوند که امکان شستن پرنده بعد از سمپاشی وجود داشته باشد.

٤-٢ اجزای واحد الکترونیکی و کنترل

٤-٢-١ ریموت‌کنترل (رادیوکنترل)

از ریموت‌کنترل برای هدایت پرواز از راه دور استفاده می‌شود. ارتباط بین بخش هوایی پهپاد و ریموت‌کنترل با استفاده از یک فرستنده-گیرنده رادیویی بی‌سیم برقرار می‌شود. این فرستنده-گیرنده با ارسال امواج رادیویی با بسامد مشخص (به‌طور معمول ۲/۴گیگاهرتز)، ارتباط بین ریموت‌کنترل و پهپاد را برقرار می‌کند. پهپادسمپاش‌ها معمولاً دو وضعیت کنترل دستی و خودکار دارند. در وضعیت کنترل دستی، خلبان ماهر می‌تواند با استفاده از ریموت‌کنترل، پهپاد را هدایت کند. در وضعیت کنترل خودکار، برنامه پروازی، پیش از پرواز برای پرنده تعریف می‌شود و در این وضعیت، از ریموت‌کنترل، کمتر استفاده می‌شود (باقری، ۱۳۹۳).

ریموت‌کنترل‌ها اغلب دارای صفحه نمایش هستند که با استفاده از آن می‌توان همزمان با سمپاشی، منطقه تحت سمپاشی با پهپاد را دید. روی پهپادهای مجهز به این سامانه، یک دوربین با زاویه دید وسیع نصب شده است. برخی از شرکت‌های تولید کننده، نرم‌افزار ویژه‌ای ارائه می‌دهند که با نصب آن روی گوشی‌های تلفن همراه هوشمند یا تبلت می‌توان بدون نیاز به صفحه نمایش روی ریموت‌کنترل، عملیات پروازی را مشاهد کرد و یا به‌وسیله آن، تنظیمات لازم را روی پهپاد انجام داد. بعضی از ریموت‌ها امکان کنترل چند پهپاد را به صورت همزمان دارند. توان موردنیاز ریموت‌کنترل به‌وسیله باتری‌های لیتیومی قابل شارژ تأمین می‌شود. یک نمونه ریموت‌کنترل و اجزای آن در شکل۹ نشان داده شده است.



شکل ۹- سامانه کنترل رادیویی همراه با صفحه نمایش و اجزای اصلی آن

۱- آنتن

۲- نمایش وضعیت سمپاشی

۳- کنترل حرکت پهپاد

۴- دکمه روشن/خاموش

۵- نمایشگر برقراری ارتباط ریموت با پهپاد

۶- نمایشگر سطح باتری

۷- نمایشگر وضعیت برگشت به مبدأ

۸- تعیین وضعیت کنترل دستی یا خودکار

۹- کلید فعال‌سازی وضعیت برگشت به خانه

۱۰- درگاه HTMI کوچک

۱۱- درگاه USB کوچک

۱۲- درگاه CAN (برای اتصال به صفحه نمایشگر وضعیت سمپاشی)

۱۳- درگاه USB (برای اتصال تلفن همراه به ریموت)

۱۴- تنظیم میزان پاشش

۱۵- کلید وصل/قطع سمپاشی

۱۶- تعیین وضعیت پرواز

۱۸ و ۱۷- کلید تعیین مسیر سمپاشی

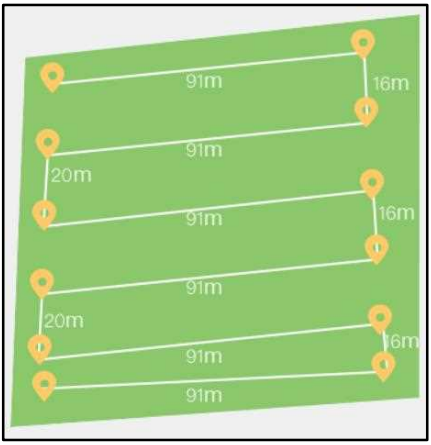
۱۹- تعیین سرعت پرواز

۲۰- کابل صفحه

۴-۲-۲ سامانه خلبان خودکار/کنترل پرواز

پهپادسمپاش‌ها دارای سامانه خلبان خودکار[1] هستند. با استفاده از این سامانه می‌توان سمپاشی را پیش از آغاز به کار، برنامه‌ریزی کرد تا سمپاشی با پهپاد به‌صورت خودکار انجام شود. به‌طور معمول، پهپادها نرم‌افزار ویژه‌ای برای برنامه‌ریزی نحوه سمپاشی دارند. در این نرم‌افزار، کارور ابتدا مختصات محل سمپاشی (مزرعه یا باغ) را از روی نقشه هوایی مشخص می‌کند. سپس، نحوه پرواز پهپاد در محدوده موردنظر و همچنین پارامترهای سرعت، ارتفاع پرواز و مقدار پاشش سم را در سامانه ثبت می‌کند. در شکل ۱۰، یک نمونه مسیر سمپاشی تعریف‌شده برای پهپادسمپاش نشان داده شده است. کارور، مناطق موردنظر برای سمپاشی را روی نقشه مشخص می‌کند. سپس، پرنده براساس اطلاعات ایستگاه زمینی و عرض دستگاه، طول مسیر موردنظر را محاسبه کرده و سمپاشی را آغاز می‌کند. در روش دیگرِ تعیین مسیر پاشش، کارور تنها نقاط ابتدایی و انتهایی پاشش را برای پهپاد تعریف می‌کند و پهپاد، مسیر تعیین شده را به‌صورت خودکار با توجه عرض دستگاه، تا زمان تمام‌شدن محلول درون مخزن طی می‌کند.

1. Auto-pilot



شکل۱۰- تعیین مسیر سمپاشی

سامانه خلبان خودکار، مجهز به سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS)[1] دقیق و حسگرهای مختلف از جمله فشارسنج، ارتفاع‌سنج، مغناطیس‌سنج، شتاب‌سنج و ژیروسکوپ است. هنگامی که به دلایلی مانند خالی‌شدن مخزن سم یا کاهش شارژ باتری، سمپاشی متوقف می‌شود، پهپاد قادر است مختصات آخرین نقطه‌ای را که سمپاشی انجام شده، در حافظه خود نگهدارد و بعد از آغاز دوباره، سمپاشی را از همان نقطه ادامه دهد. در چنین شرایطی، پهپاد می‌تواند در مختصات فرود از پیش‌تعیین شده یا به مختصاتی که پرواز را از آن شروع کرده (که به آن خانه/مبدأ می‌گویند) برگردد (Bagheri, 2016). در مناطق صعب‌العبور یا مناطق نزدیک به دکل‌های برق پرفشار و فرودگاه‌ها بهتر است سمپاشی به‌صورت دستی انجام شود.

1. Global Positioning System

٤-٢-٣ حسگرهای راداری

از چند حسگر راداری که معمولاً در قسمت جلو، عقب یا زیر پهپاد نصب می‌شود، برای تشخیص مانع و جلوگیری از برخورد پهپاد به آن، و همچنین تشخیص فاصله از سطح محصول (برای ثابت نگه‌داشتن ارتفاع پرواز) استفاده می‌شود (شکل۱۱). پرنده با استفاده از این حسگرها می‌تواند فاصله خود را از سطح تاج محصول با وجود شیب زمین و اختلاف ارتفاع سطح محصول، ثابت نگه دارد تا الگوی پاشش به هم نخورد.

شکل۱۱- حسگر راداری نصب‌شده زیر پهپادسمپاش

٤-٢-٤ سامانه‌های هشدار

پهپاد، مجهز به سامانه‌های هشدار گوناگون از جمله سامانه هشدار خالی شدن مخزن و باتری است. به‌طور معمول، هشدار از طریق تغییر رنگ لامپ LED از رنگ سبز به قرمز اعلام می‌شود.

٤-٢-٥ باتری

به‌طور معمول، برای تأمین توان موردنیاز پهپادها از باتری‌های لیتیوم-پلیمری چند سلولی استفاده می‌شود. باتری‌های لیتیوم-پلیمری چند سلولی با ظرفیت‌های متفاوت در بازار موجود است که بنابر وزن پرنده، محموله قابل حمل و مداومت پروازی موردنیاز، انتخاب می‌شود (باقری، ۱۳۹۴). در شکل۱۲ یک نمونه باتری لیتیوم-پلیمری شش سلولی با ظرفیت ۲۲۰۰۰ میلی‌آمپر ساعت و ولتاژ ۲۲/۲ ولت نشان‌داده شده است. به‌طور معمول، مداومت پروازی باتری‌ها حدود ۱۵ دقیقه است. بنابراین، هنگام سمپاشی ممکن است تعویض چندباره باتری لازم باشد. برخی از سازندگان، برای افزایش مداومت پروازی پهپاد، همزمان از دو باتری روی پرنده استفاده می‌کنند. عمر باتری‌ها کاملاً به نحوه استفاده و شرایط نگهداری آن‌ها وابسته است. برای طولانی‌تر کردن عمر باتری ها، باید طبق توصیه کارخانه سازنده باتری عمل کرد. باتری‌هایی که بدنه آن‌ها متورم شده (بادکرده) کارایی لازم را ندارند و استفاده از آن‌ها باعث آسیب به پهپاد می‌شود.

باتری‌های پهپاد با شارژکننده‌های ویژه‌ای شارژ می‌شوند. برخی از شارژکننده‌ها، قابلیت شارژ همزمان چند باتری را دارند که استفاده از آن‌ها باعث افزایش سرعت در سمپاشی می‌شود، ولی قیمت بیشتری دارد. مدت زمان شارژ باتری، بسته به نوع شارژکننده متفاوت است، اما این زمان همیشه بیش از مداومت زمانی باتری است. بنابراین، برای جلوگیری از اختلال در سمپاشی، همیشه باید حداقل دو باتری شارژ شده و آماده به کار در اختیار باشد تا در زمان شارژ باتری‌های خالی شده، سمپاشی با وقفه روبه‌رو نشود.

شکل ۱۲- یک نمونه باتری پهپاد

٤-۳- اجزای واحد پاشش

٤-۳-۱ افشانک

افشانک‌ها به دو روش روی پهپادسمپاش نصب می‌شوند. در روش اول، افشانک‌ها به صورت تکی یا دوتایی در زیر ملخ‌ها نصب می‌شود و در روش دوم، افشانک‌ها (که اغلب از نوع بادبزنی هستند) روی یک دیرک[1] نصب و دیرک به پهپاد وصل می‌شود. در حالت نصب افشانک‌ها روی دیرک، امکان نصب تعداد بیشتری افشانک وجود دارد و عرض پاشش نیز بیشتر است. در این روش، به‌دلیل رعایت الگوی پاشش مناسب، یکنواختی پاشش نیز بیشتر است.

جریان هوای ایجاد شده بر اثر گردش ملخ‌ها، باعث هدایت ذرات محلول به سمت پایین و نشست بهتر سم روی هدف می‌شود. به‌طور معمول، افشانک‌ها از نوع میکرونر دیسک چرخان مجهز به سیستم الکترواستاتیک هستند (صفری، ۱۳۹۷). در روش الکترواستاتیک، ذرات سم به‌منظور نشست بهتر روی هدف، کاهش بادبردگی، و شسته‌شدن از سطح برگ‌ها بعد از سمپاشی، باردار می‌شوند (Yanliang et al., 2017).

1. Boom

افشانک‌های مورد استفاده در پهپادسمپاش‌ها قابل تعویض و به‌طور معمول از نوع بادبزنی و صفحات چرخان هستند. در افشانک‌های صفحات چرخان (شکل۱۳)، از دو افشانک استفاده می‌شود. فاصله دو افشانک از یکدیگر ۱/۵ متر و عرض پاشش دستگاه ۳ متر است که در ارتفاع یک متر بالای محصول، عرض کار به ۴ متر هم می‌رسد. این افشانک‌ها براساس میزان سرعت چرخش فنجان‌های چرخان کار می‌کنند. داخل این فنجان‌ها دندانه‌دار است و برش محلول با چرخش فنجان صورت می‌گیرد. بنابراین، افزایش یا کاهش فشار پمپ، تأثیری بر تغییر اندازه قطرات ندارد (صفری، ۱۳۹۷).

شکل ۱۳- افشانک صفحه چرخان

در بعضی از پهپادها برای افزایش عرض کار، افشانک‌های صفحات چرخان روی بوم نصب می‌شوند (شکل۱۴).

شکل ١٤- پهپادسمپاش بوم‌دار با افشانک‌های صفحات چرخان

در پهپادسمپاش، شرایط کار برای افشانک‌های بادبزنی مشابه افشانک‌های بادبزنی در سمپاش‌های بوم‌دار است (شکل۱۵)؛ یعنی اندازه و بده قطره‌های سم تابعی از تغییرات فشار و بده محلول است. هرچه میزان فشار افزایش یابد، قطره‌های سم ریزتر می‌شوند. در این افشانک‌ها که فاصله آن‌ها از یکدیگر ۰/۵ متر است، همپوشانی دو افشانک مجاور ضروری است. بنابراین، ارتفاع پاشش روی محصول باید طوری تنظیم شود که همپوشانی لازم ایجاد شود (صفری و همکاران، ۱۳۸۸).

شکل۱۵- افشانک بادبزنی پهپادسمپاش

٤-٣-٢ مخزن سم

پهپادسمپاش‌ها دارای یک مخزن پلاستیکی برای حمل محلول هستند (شکل۱۶). این مخزن‌ها در اندازه‌های متفاوت با ظرفیت‌های گوناگون (از ۱۰ تا ۲۵ لیتر) در کشور وجود دارند. به‌طور معمول، مخزن در زیر بدنه پهپاد بین پایه‌های فرود قرار می‌گیرد ولی در برخی از مدل‌ها، برای کاهش اندازه پهپاد، باتری پرنده روی مخزن نصب می‌شود. مخزن پهپادسمپاش معمولاً دارای شبکه و فیلترهای مخصوصی برای یکنواخت نگهداشتن محلول و جلوگیری از ضربه زدن محلول به مخزن در حین حرکت است.

شکل ١٦- مخزن سم در پهپادسمپاش

٤-٣-٣ پمپ آب

محلول سم و آب به‌وسیله یک پمپ از مخزن مکیده شده و با فشار از طریق افشانک‌ها خارج می‌شود (شکل۱۷). پمپ از نوع دیافراگمی یا دنده‌ای است.

در افشانک‌های با صفحات چرخان، هر دو نوع پمپ به کار می‌رود، ولی در افشانک‌های بادبزنی، تنها از پمپ‌های دیافراگمی استفاده می‌شود. قسمت ورودی پمپ به مخزن، و قسمت خروجی آن به افشانک‌ها متصل می‌شود.

شکل۱۷- پمپ آب در پهپادسمپاش

٤-۳-٤ شیلنگ

شیلنگ‌های پلاستیکی، رابط بین پمپ و افشانک‌ها هستند. به‌طور معمول، شیلنگ‌ها زیر بازوی پهپاد قرار می‌گیرند تا مزاحم حرکت ملخ‌ها نشوند و ظاهر پهپاد نیز آراسته‌تر باشد. قطر داخلی شیلنگ‌ها دو میلی‌متر است. در برخی از مدل‌های پهپادسمپاش، برای کنترل جریان خروجی در مسیر شیلنگ‌ها، از شیرهای برقی استفاده شده است (Wang et al., 2017).

۵- واسنجی (کالیبراسیون) پهپادسمپاش

واسنجی پهپادسمپاش شامل دو مرحله اصلی به شرح زیر است:

۵-۱ واسنجی حسگرهای پهپادسمپاش

به‌منظور حفظ تعادل و پایداری پهپاد هنگام پرواز، لازم است پیش از شروع پرواز، پهپاد واسنجی شود. حفظ تعادل پهپاد به‌وسیله حسگرهای گوناگونی انجام می‌شود که برای ارائه عملکرد مناسب، لازم است این حسگرها واسنجی شوند. واسنجی حسگرهای پهپاد بسیار آسان است و در زمان کوتاهی انجام می‌شود. بعد از هر ۳ تا ۴ بار پرواز کامل، باید واسنجی انجام شود. روش واسنجی پهپاد در دفترچه راهنمای شرکت سازنده ارائه می‌شود. این روش، برای بیشتر پهپادها یکسان و به شرح زیر است:

– ابتدا پرنده روی زمین در یک سطح کاملاً صاف و بدون شیب قرار داده می‌شود.

– باتری پهپاد به‌طور کامل شارژ شده و به پرنده وصل می‌شود.

– پرنده و ریموت‌کنترل روشن می‌شود.

– پیش از واسنجی، باید پرنده و ریموت‌کنترل به هم شناسانده شوند. با روشن‌شدن پهپاد و ریموت‌کنترل، چراغ‌های چشمک‌زن آن‌ها روشن می‌شود. اهرم گاز که روی ریموت‌کنترل و معمولاً در سمت چپ قرار دارد، یک بار تا آخر به سمت بالا و بی‌درنگ، تا آخر به سمت پایین حرکت داده می‌شود. با این کار، چراغ‌های چشمک‌زن پرنده و ریموت‌کنترل، به صورت ثابت در آمده و در بیشتر پرنده‌ها بوق کوتاهی شنیده می‌شود، که به معنی برقراری ارتباط پرنده و ریموت‌کنترل با یکدیگر است. پس از این مرحله، واسنجی انجام می‌شود.

– برای واسنجی، اهرم گاز و اهرم فرمان را همزمان به سمت راست– پایین حرکت داده تا چراغ‌های پرنده به صورت چشمک‌زن در آمده و پس از چند ثانیه، نور چراغ‌ها ثابت شود که نشانه واسنجی پهپاد است.

۲-۵ واسنجی بده خروجی پهپادسمپاش

پیش از سمپاشی، پهپادسمپاش باید از نظر مقدار محلول مصرفی واسنجی شود. در واسنجی، به‌جای محلول سم، از آب استفاده می‌شود. برای این‌کار، ابتدا پهپاد روی یک سطح صاف قرار داده می‌شود. سپس یک ظرف مدرج زیر هر یک از افشانک‌ها قرار می‌گیرد و مقدار آب جمع‌شده در هر یک از ظرف‌ها در مدت زمان یک دقیقه، اندازه‌گیری می‌شود. برای افزایش دقت، این کار باید حداقل سه بار تکرار و داده‌ها میانگین‌گیری شود (شکل۱۸). در پایان، مجموع مقدار آب جمع‌شده هریک از افشانک‌ها اندازه‌گیری می‌شود. این عدد، مقدار محلول مصرفی بر حسب لیتر در دقیقه است.

شکل ۱۸- واسنجی بده خروجی پهپادسمپاش

برای اندازه‌گیری مقدار محلول مصرفی بر حسب لیتر در هکتار از رابطه (۱) استفاده می‌شود (افضلی‌گروه، ۱۳۹۷):

$$L = \frac{600Q}{V \times W} \qquad (۱)$$

که در آن:

L: محلول مصرفی در هکتار (لیتر در هکتار)

Q: بده پمپ (لیتر در دقیقه)

W: عرض پاشش (متر)

V: سرعت پرواز پهپاد (کیلومتر در ساعت) است.

مقدار محلول مصرفی به‌دست آمده از رابطه (۱) با مقدار محلول مصرفی استاندارد ذکرشده در دفتر راهنمای پهپادسمپاش مقایسه می‌شود. در صورتی که مقدار محلول مصرفی بیش از حد استاندارد تعیین‌شده باشد، باید میزان بده خروجی را کمتر یا سرعت پرواز را بیشتر کرد. در صورتی که مقدار محلول مصرفی کمتر از حد استاندارد باشد، باید میزان بده خروجی را بیشتر یا سرعت پرواز را کمتر کرد. براساس تجربه، سرعت مجاز پرواز برای پهپادسمپاش‌های مرسوم داخل کشور، ۳-۲ متر در ثانیه، ارتفاع مناسب پرواز ۱/۵-۱ متر و سرعت مجاز باد ۲-۱/۵ متر در ثانیه است (سیدین، ۱۳۹۸).

٦- نکته‌های مهم پیش از آغاز سمپاشی

باتوجه به ضرورت اجرای به‌موقع سمپاشی، به‌ویژه در زمان شیوع آفت‌ها و بیماری‌ها، و جلوگیری از وقفه در سمپاشی لازم است موارد زیر پیش از آغاز سمپاشی بررسی شود:

۱- بررسی وضعیت آب و هوایی و اطمینان از توان پهپاد برای انجام عملیات در آن وضعیت آب و هوا (به ویژه بررسی وضعیت سرعت و جهت باد)

۲- دریافت مجوزهای لازم پرواز در منطقه موردنظر

۳- اطمینان از ممنوع نبودن پرواز در منطقه از نظر موانع فنی و مسائل امنیتی
۴- اطمینان از کارکرد درست پهپادسمپاش
۵- اطمینان از واسنجی پهپاد از از نظر حرکتی و پاشش سم
۶- شارژ بودن باتری/باتری‌های پهپاد
۷- پر بودن مخزن سم
۸- اطمینان از برقرار شدن ارتباط پهپاد با ریموت‌کنترل
۹- تعریف درست منطقه و مسیر سمپاشی برای پهپاد
۱۰- همراه داشتن تجهیزات جانبی مانند شارژکننده و کابل اتصال به باتری خودرو، جعبه ابزار، قطعات یدکی برای اجزاء آسیب‌پذیر مانند موتور، ملخ و...

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

امروزه استفاده از پهپادها در سمپاشی اراضی زراعی و باغی کشور در حال افزایش است. پهپادسمپاش‌ها دارای مزایای متعددی از جمله کاهش مصرف سم‌های شیمیایی، نشست بهتر سم روی هدف، کاهش بادبردگی سم، آسیب ندیدن محصول، کاهش هزینه سمپاشی، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، و افزایش سلامت کارور هستند. همچنین، فراهم کردن امکان سمپاشی دقیق در محل‌های موردنیاز یا در زمانی که تراکتور نمی‌تواند وارد مزرعه/باغ شود، از ویژگی‌های این روش سمپاشی است. استفاده از پهپادسمپاش‌ها در زمان شیوع آفت یا بیماری بهتر نمایان می‌شود؛ زیرا سمپاشی به سرعت قابل انجام است (صفری، ۱۳۹۷).

با وجود این، پهپادها دارای محدودیت‌هایی مانند ممنوعیت استفاده در مناطق نزدیک به فرودگاه‌ها و مناطق نظامی و همچنین، تنگناهای فنی (محدود بودن مداومت پروازی و حجم مخزن) هستند که کاربرد آن‌ها را محدود کرده است (باقری، ۱۳۹۹الف). وابسته بودن عملکرد پهپاد به شرایط جوّی، قابل استفاده نبودن در سرعت‌های زیاد باد، از دیگر محدودیت‌های استفاده از پهپادسمپاش است. با این حال، این محدودیت‌ها مانع از افزایش کاربرد پهپادها در انجام عملیات کشاورزی نشده است.

گام نخست در فرهنگ‌سازی برای کاربرد پهپادسمپاش، معرفی آن به جامعه بهره‌برداران است. از این رو، نشریه حاضر با هدف معرفی پهپادسمپاش و اجزاء آن و همچنین شیوه واسنجی پهپادسمپاش با بیانی ساده برای مخاطبان تدوین شد. پیشنهاد می‌شود دوره‌های آموزش عملی برای معرفی پهپادها و آشنایی با اصول کار آن‌ها برای بهره‌برداران برگزار شود. همچنین، به‌منظور استفاده مناسب‌تر از پهپادسمپاش، افزایش دانش مخاطبان، و برآورده‌شدن خواسته‌های آنان از یک پهپاد مناسب برای سمپاشی، لازم است معیارهای فنی و اقتصادی استاندارد برای انتخاب و ارزیابی پهپادسمپاش تعیین شود.

فهرست منابع

افضلی‌گروه، ه. ۱۳۹۷. آموزش گام به گام کالیبراسیون سمپاش. بروشور. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

باقری، ن. ۱۳۹۹ الف. پهپادها: فرصت‌ها و چالش‌ها. گاهنامه خبری تحلیلی پهپادها و آینده. شرکت صنایع هوایی قدس. شماره ۸۳. تیرماه ۱۳۹۹.

باقری، ن. ۱۳۹۹ب. کاربرد پهپادها در کشاورزی. فصلنامه مروّج. شماره ۱۵۷. ص۶۴-۵۹.

باقری، ن. ۱۳۹۴. توسعه عمودپرواز بدون‌سرنشین طیف‌نگار برای تصویربرداری هوایی اراضی کشاورزی. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره ۴۷. شماره ۴.

باقری، ن. ۱۳۹۳. توسعه و ارزیابی عمودپرواز بدون‌سرنشین ویژه تصویربرداری چندطیفی از مزارع کشاورزی. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

باقری، ن. و صفری م. ۱۳۹۷. عیب‌یابی سمپاش‌های پشت تراکتوری بوم‌دار. نشریه فنی. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

سیدین، پ. ۱۳۹۸. دستورالعمل کاربرد پهپادهای سمپاش جهت کنترل آفات. سازمان حفظ نباتات، دفتر آفت‌کش‌ها.

صفری، م. چاجی، ح. لویمی، ن. امیرشقاقی، ف. ۱۳۸۸. ارزیابی سمپاش‌های رایج مورداستفاده در مزارع گندم، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۱ شماره ۴: ۱۲-۱.

صفری، م. ۱۳۹۷. استفاده از فناوری نوین پهپاد سمپاش برای سمپاشی نخیلات. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره ثبت: ۵۵۵۶۵.

صفری، م. شیخی‌گرجان، ع. ۱۳۹۹. مقایسه پهپاد با سمپاش تراکتوری لانس‌دار در کنترل زنجرک خرما. دانش گیاهپزشکی ایران. دوره ۵۱. شماره ۱. ص۲۶-۱۳.

Bagheri, N. 2016. Development of a high-resolution aerial remote sensing system for precision agriculture. International Journal of Remote Sensing: 38 (8-10): 2053-2065.

Kharim, M. N. A., Wayayok, A., Shariff, Sharif, A. R. M., Abdullah, A. F., Husin, E. M. 2019. Droplet deposition density of organic liquid fertilizer at low altitude UAV aerial spraying in rice cultivation. Computers and Electronics in Agriculture 167: 105045.

Moschetta, J. M. Namuduri, K. 2017. Introduction to UAV systems. In: UAV Networks and Communications.

Cambridge University Press, Cambridge, 1-25. ISBN 9781316335765.

Wang, S., Song, J., He, X., Song, Le., Wang, X., Wang, C., Wang, Z and Ling, Y. 2017. Performances evaluation of four typical unmanned aerial vehicles used for pesticide application in China. Int J Agric & Biol Eng 10 (4): 22-30.

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.