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

نشریه فنی :

مبانی و کاربرد پهپادها در کشاورزی و اصول فنی سمپاشی با آنها

محمدحسین سعیدی‌راد، امیر بهادر ولیخانی،
سعید ظریف نشاط، محمود صفری

سال انتشار: ۱۴۰۰

AERI

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، صندوق پستی: ۸۴۵ -۳۱۵۸۵، مؤسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۶۱۵۰۰۰۰(۰۲۶)
دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)، پایگاه اطلاعاتی موسسه: www.aeri.ir

بسم الله الرحمن الرحیم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

راهنمای جامع:
مبانی و کاربرد پهپادها در کشاورزی و اصول فنی سمپاشی با آنها

تهیه و تدوین:

محمدحسین سعیدی‌راد[۱]، امیر بهادر ولیخانی[۲]،

سعید ظریف نشاط[۱]، محمود صفری[۳]

۱-عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

۲-کارشناس ارشد مرکز توسعه مکانیزاسیون کشاورزی

۳- عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

سال انتشار:

۱۴۰۰

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

نوع نوشتار: نشریهٔ فنی
عنوان نوشتار: مبانی و کاربرد پهپادها در کشاورزی و اصول فنی سمپاشی با آنها
نگارنده: محمدحسین سعیدی‌راد، امیر بهادر ولیخانی، سعید ظریف نشاط، محمود صفری
ویراستار ادبی: محمدرضا داهی
صفحه‌آرا: سمیه وطن دوست
ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
شمارگان: محدود
نوبت چاپ: اول
سال انتشار: ۱۴۰۰

مسئولیت صحت مطالب با نگارنده است.

شماره ثبت ۶۰۰۸۷ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۰/۰۵/۳۱

مخاطبان نشریه:

مخاطبان این نشـریه کارشـناسـان و مروجان شـاغل در وزرات جهاد کشاورزی، کشاورزان خبره و نمونه، کارشـناسـان شـرکت‌های خدمات فنی و مهندسی کشاورزی و شرکت‌های خدمات پهپادی و دانشجویان علاقه‌مند در حوزهٔ کشاورزی دقیق هستند.

اهداف آموزشی:

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- انواع پهپادها،
- کاربرد پهپادها در کشاورزی
- اصول کاربرد پهپادهای سمپاش
- مشخصات و ویژگی‌های انواع مدل‌های پهپاد سمپاش

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
آشنایی با پهپادها	۲
– انواع پهپادها	۲
– اجزای تشکیل دهندهٔ پهپادهای بال متحرک	۴
کاربرد پهپادها در کشاورزی	۹
– پایش	۹
– پهنه‌بندی	۱۰
– تشخیص	۱۱
– سمپاشی و محلول پاشی	۱۲
اصول کار پهپادهای سمپاش	۱۴
معرفی شرکت‌های سازنده پهپادهای سمپاش	۱۹
اصول کاربرد پهپادهای سمپاش	۲۱
– مقررات قانونی	۲۱
– اصول ایمنی پروازی	۲۱
– اصول فنی سمپاشی	۲۲
– روش سمپاشی در مزرعه	۲۴
نتیجه‌گیری و پیشنهاد	۲۶
منابع	۲۶

مقدمه

امروزه استفاده از ماشین برای کشاورزی امری ضروری است. به طور واضح می‌توان گفت که این نهاده از مهمترین نهاده‌های بخش کشاورزی است. با توجه به تغییرات آب و هوایی، تولید محصولات کشاورزی با چالش‌های زیادی روبه‌رو است. بنابراین سامانه‌های کشاورزی نیازمند انطباق با شرایط جدید و انعطاف‌پذیری برای مقابله با چالش‌های پیش رو هستند تا از این راه بتوان غذای جمعیت رو به رشد جهان را تامین کرد. جهان برای تأمین جمعیت ۹ میلیاردی نیاز به افزایش تولید مواد غذایی تا سال ۲۰۵۰ دارد، درحالی که منابع تولید (زمین و آب) روبه کاهش هستند (Rao Mogili & Deepak, 2018).

استفاده از ابزارها و فناوری‌های مبتنی بر فناوری اطلاعات و ارتباطات از مهمترین و کارآترین راه حل‌ها برای تطبیق کشاورزی با تغییرات آب وهوایی و چالش‌های جدید است و باید به دنبال توسعهٔ کاربرد فناوری‌های نوظهور در کشاورزی بود.

یکی از جدیدترین فناوری‌ها، وسایل نقلیهٔ هوایی بدون سرنشین[1] است که در ایران با نام پهپاد شناخته می‌شوند؛ این واژه از حرف‌های اول "پرنده هدایت‌پذیر از دور" درست شده است. در برخی منابع از واژهٔ انگلیسی "Drone" نیز برای هواپیماهای بدون سرنشین استفاده شده است. پهپادها در زمینه‌های مختلف، نظامی، امداد رسانی، مدیریت بحران و کشاورزی کاربرد وسیعی دارند (رباطی و رضایی، ۱۳۹۸).

[1]Unmanned Aerial Vehicles(UAVs)

آشنایی با پهپادها

انواع پهپادها

به طور کلی پهپادها به دو دسته اصلی پهپادهای نظامی و غیر نظامی تقسیم‌بندی می‌شوند؛ پهپادهای غیرنظامی از نظر ساختار و عملکرد کاملاً با پهپادهای نظامی متفاوت هستند. از دیگر تفاوت‌های پهپادهای غیرنظامی با پهپادهای نظامی، سوخت‌رسانی آنهاست. پهپادهای نظامی، ساختاری شبیه جت دارند و از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند ولی پهپادهای غیرنظامی از نیروی الکتریسیتهٔ ذخیره شده در باتری خود بهره می‌برند و نمی‌توانند مانند پهپادهای نظامی مسیرهای طولانی را طی کنند و به طور معمول مدت زمان پرواز آنها کمتر از یک ساعت است.

با توجه به وسیع بودن عرصه‌های کشاورزی و واقع شدن آنها در خارج از محدوده شهری، امروزه استفاده از پهپادهای غیرنظامی در بخش کشاورزی به راحتی گسترش یافته است؛ این پهپادها عملکرد قابل قبولی به نمایش گذاشته‌اند.

پهپادهای غیرنظامی، از نظر ساختار به دو گروه پهپادهای بال ثابت[1](شکل ۱) و پهپادهای بال متحرک[2] تقسیم‌بندی می‌شوند. تفاوت این دو نوع پهپاد در ویژگی هایی مانند سرعت پرواز، مدت زمان پرواز و کاربرد آنهاست. پهپادهای بال ثابت سرعت پروازی و مدت زمان پروازی بیشتری دارند تا پهپادهای بال متحرک، و بیشتر برای شناسایی و نقشه برداری در سطوح وسیع به کار می‌روند (رباطی و رضایی، ۱۳۹۸).

1- Fixed Wing
2- Rotary Wing

شکل ۱- یک نمونه پهپاد بال ثابت

پهپادهای بال متحرک به پرنده‌های چند موتوره[1] نیز معروف‌اند که بر اساس تعداد موتورهایشان نامگذاری می‌شوند. از متداول‌ترین نوع پهپادهای بال متحرک، می‌توان به نوع چهار موتوره (کوادکوپتر[2]) اشاره کرد (شکل ۲) که شامل چهار بازو و چهار ملخ است. این نوع پرنده به دلیل داشتن قدرت مانور فوق‌العاده و پروازهایی با تعادل بالا کاربردهای بسیار گسترده‌ای دارد. از انواع دیگر این نوع پهپادها می‌توان به هگزاکوپتر[3] (شش موتوره) و اکتاکوپتر[4] (هشت موتوره) اشاره کرد.

1- Multi rotors
2- Quadcopter
3- Hexacopter
4- Octocopter

شکل ۲- پهپاد بال متحرک چهار موتوره (کوادکوپتر)

اجزای تشکیل دهندهٔ پهپادهای بال متحرک

پهپادهای بال متحرک اجزا و تجهیزات به شرح زیر دارند.

بدنه

بدنه مهم‌ترین جزء پهپاد شناخته می‌شود و سایر اجزا روی آن نصب می‌گردد. بدنهٔ پهپادها، بسته به نوع طراحی، از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده‌است. برخی از این بدنه‌ها به صورت یکپارچه ساخته شده‌اند و برخی نیز قسمت‌های مختلفی دارند که به یکدیگر متصل شده‌اند. به‌طورکلی بدنه به دو قسمت تقسیم می‌شود: بدنهٔ اصلی و بازوها. بدنهٔ اصلی به منظور نصب قطعات الکترونیکی ساخته می‌شود. این قسمت نقش پایه و قسمت اصلی پهپاد را دارد که تمام اجزای پهپاد را به یکدیگر متصل می‌کند. بازوها در پهپاد برای نصب موتورها هستند که از یک قسمت به بدنهٔ اصلی متصل می‌شوند (شکل۳). در پهپادهای سمپاش، بازوها حامل شیلنگ‌های انتقال سم و نازل‌ها هستند.

برای ساخت بدنۀ پهپاد از مواد مختلفی استفاده می‌شود که در میان آنها صفحه-های فیبرکربن به دلیل سبک بودن و استحکام بالا محبوب‌ترین ماده در ساخت بدنه به شمار می‌روند.

شکل ۳- بدنۀ یک پهپاد شش موتوره (بدنۀ اصلی و بازوها)

موتور

نیروی بالابرندگی و ایجاد قدرت برای پرواز را موتور تامین می‌کند. موتور مورد استفاده در پهپادها از نوع الکتریکی جریان مستقیم است که به موتورهای بدون جاروبک[1] معروف هستند (شکل ۴-الف). در این موتورهای الکتریکی، هستۀ موتور ثابت است و پوسته می‌چرخد. به دلیل نداشتن جاروبک، این نوع موتورها نسبت به موتورهای الکتریکی جاروبک‌دار[2] کارایی و عمر بیشتری دارند (محمدی، ۱۳۹۷).

1- Brushless
2 - Brushed Electrical Motor

ملخ[1]

ملخ در پهپاد تنها بخش آیرودینامیکی است که وظیفهٔ شناور کردن دستگاه را در هوا برعهده دارد. ملخ، با چرخش موتور، هوا را به سمت پایین هدایت می‌کند. ملخ‌ها معمولاً دارای دو جنس پلاستیکی و کربنی هستند. ملخ‌های کربنی استحکام و مقاومت بیشتری در برابر آسیب‌ها دارند ولی در مقابل، ملخ‌های پلاستیکی از نظر قیمت با صرفه‌تر هستند. گام ملخ میزان انحنای آن را نشان می‌دهد. هرچه گام بیشتر باشد مقدار هوایی که پره با هر بار چرخیدن جابه جا می‌کند بیشتر می‌شود. انتخاب گام مناسب در ملخ با توجه به موتور پرنده، باعث افزایش کارایی پهپاد می‌شود. ملخ‌ها به‌صورت چپ‌گرد و راست‌گرد هستند که معمولاً در پهپاد چند موتوره باید به‌صورت یک درمیان و متناسب با جهت چرخش موتور بسته شوند (شکل ۴-ب) (محمدی، ۱۳۹۷).

شکل ٤- الف: موتور الکتریکی جریان مستقیم بدون جاروبک ب: ملخ

1 - Propeller

سیستم کنترل پرواز [1]

این سیستم اتاق فرمان پهپاد است که وظیفهٔ حفظ و هدایت پرنده را به جهت‌های مختلف برعهده دارد. سیستم کنترل پرواز با کمک حسگرهای تعبیه شده در آن، میزان تعادل پهپاد را در پرواز تعیین می‌کند. سیستم کنترل پرواز مناسب قابلیت‌ها و امکانات بسیاری را مانند فرود خودکار، بازگشت اتوماتیک به خانه و خلبان خودکار را برای پهپاد فراهم می‌آورد. اندازه‌گیری و حفظ جهت، تنظیم ارتفاع و ثبات در ارتفاعی که پرنده پرواز می‌کند نیز از وظایف سیستم کنترل پرواز است.

سیستم کنترل سرعت [2]

این وسیله وظیفهٔ کنترل سرعت موتورهای بدون جاروبک نصب شده روی پرنده را بر عهده دارد. موتورها هر چند از یک نوع و یک مدل باشند باز هم مقداری تفاوت سرعت را در هنگام پرواز دارند و اگر با این اختلاف سرعت روشن شوند باعث سقوط پهپاد می‌شوند. علاوه بر کنترل سرعت تمام موتورها، یکی دیگر از وظایف سیستم کنترل سرعت، دریافت سیگنال از سیستم کنترل پرواز و انتقال آن به موتورهاست تا سرعت چرخش موتورها را برابر درخواست سیستم کنترل پرواز تنظیم کند (محمدی، ۱۳۹۷).

1 -Flight Controller
2 - Electronic Speed Controller

باتری

در پهپادها معمولا از باتری‌های لیتیوم پلیمری[1] به منظور تامین انرژی الکتریکی الکتریکی مورد نیاز استفاده می‌شود. این باتری‌ها از سلول‌های متصل به صورت سری ساخته‌شده‌اند. هر سلول دارای ولتاژ ۳/۷ ولت است. بنابراین ولتاژ باتری بر اساس تعداد سلول‌ها بیان می‌شود. ظرفیت هر باتری بر حسب میلی آمپرساعت اندازه گیری می‌شود که بیانگر مقدار جریانی است که می‌توان از یک باتری در یک ساعت کشید تا تخلیه شود. افزایش ظرفیت باتری زمان پرواز بیشتری را می‌دهد، اما باعث افزایش وزن و حجم اشغالی می‌شود.

استفادهٔ نادرست از باتری‌های لیتیوم پلیمری می‌تواند باعث کاهش عمر باتری‌ها یا موجب انفجار آنها شود. از این رو رعایت قواعد ایمنی برابر دستورالعمل کارخانهٔ سازنده قبل از کار با باتری ضروری خواهد بود.

دستگاه کنترل از راه دور

کنترل کنندهٔ رادیویی به خلبانان حاضر روی زمین اجازه می‌دهد کنترل پهپاد در حال پرواز را به دست گیرند. این کنترل‌کننده‌ها یک دستگاه گیرنده و یک دستگاه فرستنده دارند. دستگاه گیرنده روی پهپاد نصب می‌شود و سیگنال‌های ارسالی را دریافت می‌کند، و دستگاه فرستنده که با نام دستگاه کنترل از راه دور شناخته می‌شود ، در دست خلبان قرار می‌گیرد.

GPS و قطب نما

GPS و قطب نما هر دو به منظور تعیین موقعیت مکانی و جهت پهپاد به کار می‌روند و اطلاعات لازم را در اختیار کنترل کنندهٔ پرواز قرار می‌دهند.

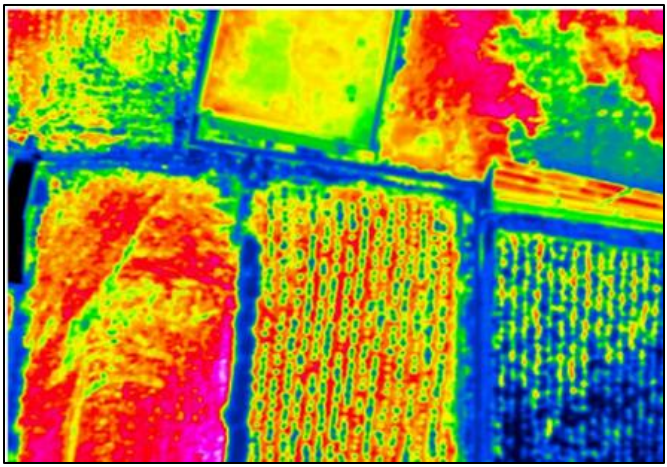
1 - LiPo

کاربرد پهپادها در کشاورزی

امروزه کاربرد پهپادهای غیر نظامی در کشاورزی گسترش یافته و این فناوری با توجه به قابلیت‌هایی که در افزایش بهره‌وری و توسعهٔ کشاورزی دقیق دارد، مورد توجه کشاورزان قرار گرفته است. کاربردهای پهپادها در بخش کشاورزی در چهار حوزهٔ زیر تعریف می‌شوند:

پایش

پهپادهای مورد استفاده در پایش، بر اساس نوع کاربرد، مجهز به دوربین‌های مرئی، طیفی یا حرارتی هستند. این پهپادها در حین پرواز، از زمین‌های کشاورزی تصویربرداری می‌کنند و با استفاده از نرم افزارهای تحلیل تصاویر، اطلاعات کامل و کاربردی را در اختیار کشاورز قرار می‌دهند (Sylvester, 2018) .

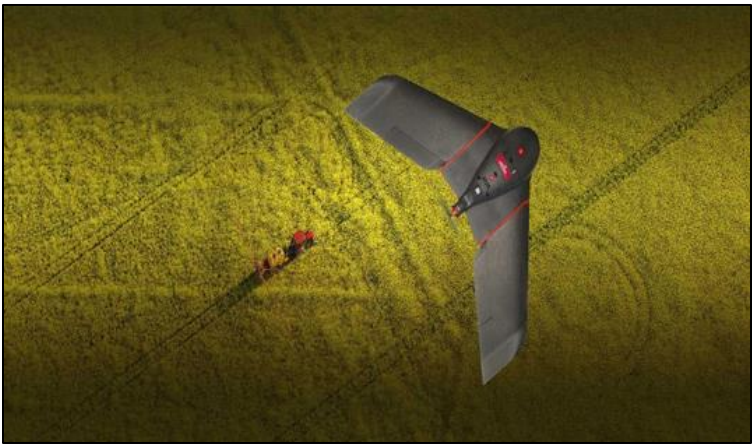


شکل ۵- نمایش شدت تنش آبی در مزرعه با استفاده از تصویرهای هوایی

پایش یا مانیتورینگ مداوم محصولات کشاورزی از مرحلهٔ آماده‌سازی زمین تا پس از برداشت، فرآیندی مرسوم در کشاورزی دقیق محسوب می‌شود. این فرآیند در مزارع کوچک به‌صورت زمینی انجام می‌شود، اما پایش زمینی در سطح مزارع بزرگ در مواقع زیادی ناممکن است. به خصوص اگر فاصله‌های زمانی پایش کوتاه و سطح زیر کشت وسیع باشد. این پایش شامل مراتع، جنگل‌ها، باغ‌ها و مزارع می‌شود که در جهت افزایش بهره‌وری و کاهش خسارات ناشی از آفات و بیماری‌های گیاهی، کمبودهای غذایی گیاهان، تنش‌ها در سطح وسیع صورت می‌گیرد (شکل ۵). از دیگر کاربرد پهپادها می‌توان به سامانه‌های پایش آتش سوزی جنگل‌ها، کاهش خطر بلایای طبیعی، شیلات و همچنین در حفاظت از جانوران وحشی و غیره اشاره کرد (بی‌نام ۱۳۹۶).

پهنه‌بندی

از دیگر کاربردهای پهپادهای غیر نظامی در کشاورزی، می‌توان به تهیهٔ نقشه‌های هوایی از مزراع به منظور پهنه‌بندی مزارع، باغ‌ها، مراتع و جنگل‌ها اشاره کرد. این نقشه‌ها اطلاعات دقیقی در خصوص کاربری زمین‌ها، برآورد حجم محصول تولیدی، محاسبه سطح باغ‌ها و جنگل‌ها، شناسایی پتانسیل هر منطقه در زمینهٔ تولید در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران بخش کشاورزی قرار می‌دهد (شکل ۶). پهپادهای بال ثابت بیشترین کاربرد را در این حوزه دارند. این پهپادها، به دلیل سرعت و مداومت پروازی بالا، قادر به تهیهٔ نقشه و شناسایی سطح وسیعی از مزارع کشاورزی در مدت زمان محدود هستند (Anon, 2020).



شکل ٦- تصویر برداری هوایی با استفاده از پهپاد بال ثابت برای پهنه بندی مزارع

تشخیص

تغییرات ایجاد شده در رنگ و شکل گیاهان می‌تواند ناشی از مراحل رشد گیاه، تنش‌ها، کمبودهای غذایی، آفات وبیماری‌ها و ... باشد. تشخیص به موقع و مکان یابی این تغییرات در سطح مزرعه، به منظور افزایش بهره‌وری و کاهش خسارت بسیار موثر است. پهپادهای مجهز به دوربین و سیستم موقعیت یاب، قادرند با تصویر برداری نقطه به نقطه از سطح مزرعه و باغ، تغییرات ایجاد شده در رنگ و شکل گیاهان را تشخیص دهند و با استفاده از نرم افزارهای پیشرفته، به‌صورت اطلاعات کاربردی در اختیار کشاورز بگذارند. استفاده از پهپادهای بال متحرک به ویژه کوادکوپترها بدلیل قابلیت مانور دهی بالاتر، بیشترین کاربرد را در این حوزه دارند (شکل ۷) (Rao Mogili & Deepak, 2018).

شکل ۷- تشخیص نقاط آلوده به آفات در مزرعه با استفاده از تصویر هوایی

سمپاشی و محلول‌پاشی

در گذشته، سمپاشی مزارع با استفاده از هواپیماهای سرنشین‌دار متداول بوده است. این هواپیماهای سمپاش رده‌ای خاص از هواپیماها بودند که در مزارع بزرگ با محصول یکنواخت و فاقد موانع به کارگرفته می‌شدند. امروزه با توسعه فناوری‌های کشاورزی دقیق و به‌دلیل محدویت‌های کاربرد هواپیماهای سمپاش، استفاده از پهپادهای سمپاش متداول شده است. فناوری سمپاشی با پهپاد، برای اولین بار در دهۀ ۱۹۸۰ در ژاپن به اجرا درآمد که بالگردهای بدون سرنشین مجهز به تجهیزات پاشش و مخازن سموم دفع آفات برای پاشش روی مزارع برنج به پرواز در آمدند. در حال حاضر بیش از ۴۰ درصد از سمپاشی‌های مزارع برنج ژاپن با به کارگیری این فناوری است (توکلی، ۱۳۹۷).

استفاده از پهپادهای سمپاش، در مقایسه با سمپاش‌های رایج، دارای مزایا و معایب زیر است:

مزایا:

- سمپاشی در شرایطی که امکان تردد در مزرعه وجود ندارد (بدلیل تراکم محصول یا رطوبت خاک)
- تخریب نشدن محصول در حین سمپاشی (گرجی شیخان، ۱۳۹۷).
- سمپاشی با حجم آب کمتر (۵۰-۵ لیتر در هکتار)
- صرفه جوئی در مصرف سم
- سمپاشی مزارع و باغ‌های مناطق شیب‌دار و کوهستانی که امکان تردد تراکتور وجود ندارد
- پاشش یکنواخت سم در تمام سطح مزرعه به‌دلیل حرکت مداوم و یکنواخت
- کاهش خطرهای ناشی از استشمام سموم توسط کاربران در حین سمپاشی
- امکان سمپاشی نقطه‌ای (نقاط آلوده در مزرعه)
- دارا بودن ظرفیت مزرعه‌ای بالاتر در مقایسه با سمپاش‌های رایج (این موضوع در شرایط اپیدمی آفات بسیار اهمیت دارد) (صفری، ۱۳۹۷).
- کاهش آلودگی زیست محیطی به دلیل استفاده نکردن از سوخت‌های فسیلی

معایب:

- نیاز به نیروی متخصص برای هدایت پهپاد
- سرمایه‌گذاری اولیه بالا
- وجود محدودیت پروازی در مزارع نزدیک فرودگاه‌ها و مناطق نظامی
- محدودیت حجم مخزن سم و نیاز به سمپاشی با دوز بالا و پرکردن مجدد مخزن
- محدودیت زمان پرواز به‌دلیل استفاده از باتری و نیاز به شارژ مجدد

اصول‌کار پهپادهای سمپاش

در پهپادهای سمپاش، مانند سایر سمپاش‌های رایج، محلول سم توسط یک یا چند پمپ از مخزن، پس از مکش، با فشار از طریق افشانک‌ها خارج می‌شود. افشانک‌ها بر اساس نوع کاربرد قابل تعویض‌اند. جریان هوای ناشی از چرخش ملخ پهپاد، ذرات محلول را به سمت پایین هدایت می‌کند و باعث نفوذ بهتر سم در سطح گیاه می‌شود و از بادبردگی آن به اطراف جلوگیری می‌کند (Yallappa *et al.*, 2017).

پهپادهای مورد استفاده در سمپاشی از نوع بال متحرک هستند که در انواع ۴، ۶، ۸، ۱۲ و ۱۸ موتوره ساخته شده‌اند. این پهپادها علاوه بر تجهیزات پروازی که در بخش ۲-۲ به آنها اشاره شد، دارای تجهیزات سمپاشی به شرح زیر هستند.

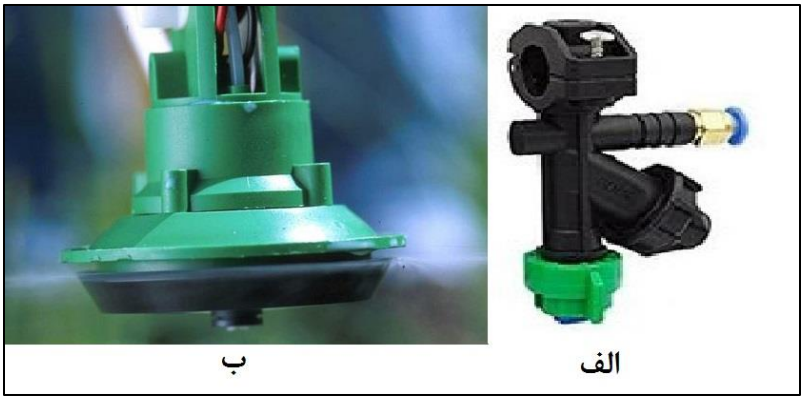
- **مخزن محلول سم**: مخزن از جنس پلی اتیلن و گنجایش آن بر اساس توان بالابرندگی پهپاد از ۵ تا ۵۰ لیتر محلول سم است.

- **پمپ** : پمپ مورد استفاده در پهپادهای سمپاش اغلب از نوع دیافراگمی فشار بالاست که با برق ۱۲ ولت مستقیم کار می‌کند. این پمپ‌ها با دبی‌های ۵-۲ لیتر دردقیقه و در فشار حداکثر ۸۰۰-۶۰۰ پاسکال، موجودند و بر اساس تعداد افشانک‌های پهپاد انتخاب می‌شوند (شکل ۸) (دخیلی و همکاران، ۱۳۹۶). پهپاد سمپاش می‌تواند دارای یک یا چندین پمپ باشد. تعدادی از شرکت‌های سازنده، به منظور تامین فشار و دبی موردنیاز و توزیع یکنواخت محلول سم بین افشانک‌ها، از چند پمپ (با توجه به تعداد افشانک‌ها و تعداد بازوهایی که افشانک‌ها روی آن‌ها نصب شده‌اند) استفاده کرده‌اند.

شکل ۸- پمپ دیافراگمی فشار بالا

– **افشانک**[1]: افشانک‌ها که وظیفهٔ ریز کردن و پخش ذرات محلول را بر عهده دارند بر اساس الگوی پاشش دارای انواع مختلفی هستند. در پهپادهای سمپاش اغلب از افشانک‌های بادبزنی[2] که به تی‌جت[3] نیز معروف هستند استفاده می‌شود. به منظور افزایش کارایی سمپاشی و افزایش میزان خردکردن قطره‌های سم، در تعدادی از پهپادها از افشانک‌های مجهز به صفحهٔ چرخان استفاده می‌شود که به میکرونر معروف هستند (شکل ۹).

1 - Nozzle
2 - Flat Fan Nozzle
3 - T-Jet

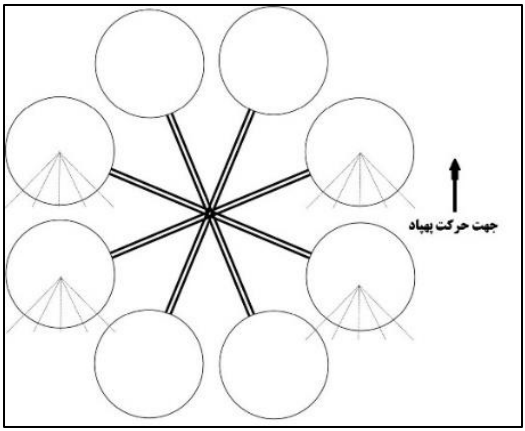


شکل ۹- الف: افشانک تی‌جت ب: افشانک میکرونر

پهپادهای سمپاش بر اساس نحوهٔ قرارگیری افشانک‌ها به دو گروه تقسیم می‌شوند: (Lou *et al*., 2018).

الف- پهپادهای سمپاش با قرارگیری افشانک زیر ملخ

در این نوع پهپادهای سمپاش، افشانک‌ها در زیر ملخ‌ها نصب شده‌اند و شیلنگ‌های انتقال محلول به سمت نازل‌ها نیز در زیر بازوی پهپاد قرار می‌گیرند (شکل ۱۰). به طور معمول در پهپادهای ۶ و ۸ موتوره، افشانک‌ها روی چهار بازوی پهپاد قرار می‌گیرند که تقریبا عمود بر جهت حرکت پهپاد هستند (شکل ۱۱). در این پهپادها عرض پاشش به ۷ متر هم می‌رسد. به منظور راحتی حمل و جابه جایی، بازوهای این پهپادها تاشونده هستند.



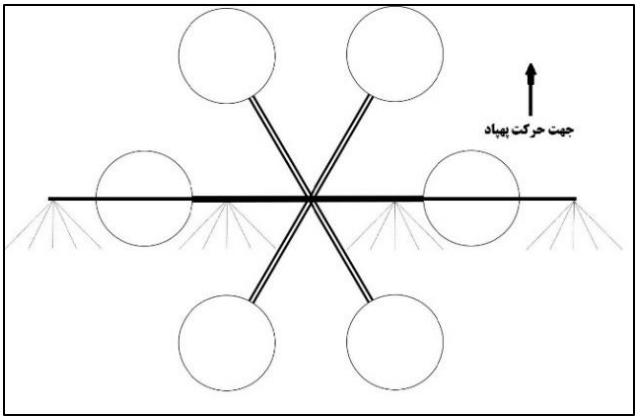
شکل ۱۰- نحوهٔ قرارگیری افشانک‌ها در زیر ملخ‌های پهپاد

شکل ۱۱- یک نمونه پهپاد سمپاش هشت موتور (اکتاکوپتر) مجهز به چهار نازل

ب- پهپادهای سمپاش بوم دار

در برخی از مدل‌های پهپاد سمپاش، شرکت‌های سازنده افشانک‌ها را روی بوم عرضی با فاصله‌های منظم نصب می‌کنند؛ این بوم به‌صورت مجزا روی شاسی پهپاد و در زیر سامانهٔ پروازی پهپاد قرار می‌گیرد (شکل‌های ۱۲ و۱۳). این

الگوی قرارگیری نازل‌ها باعث رفع محدودیت افزایش عرض‌کار سمپاش می‌شود و سازندگان می‌توانند مطابق با توان موتوری و دبی پمپ، عرض پاشش را افزایش دهند به طوری که در بعضی از مدل‌های جدید، عرض پاشش به ۱۰ متر نیز می‌رسد (شکل ۱۴).



شکل ۱۲- نحوهٔ قرارگیری افشانک‌ها در پهپاد سمپاش بوم‌دار

شکل ۱۳- نمونه ای از پهپاد سمپاش شش موتور (هگزاکوپتر) مجهز به بوم سمپاشی

شکل ١٤- پهپاد سمپاش ١٨ موتوره مجهز به بوم ٩ متری و مخزن با ظرفیت ٢٠٠ لیتر

معرفی شرکت‌های سازندۀ پهپادهای سمپاش

فنآوری استفاده از پهپادهای سمپاش به سرعت در حال گسترش است و در این میان شرکت‌های صاحب فناوری و سازنده نیز مدل‌های مختلفی از پهپادهای سمپاش را به کشاورزان عرضه کرده‌اند. از معروف ترین شرکت‌های تولید کننده پهپادهای سمپاش می‌توان به شرکت‌های چینی همانند DJI، Joyance، XAG و شرکت ژاپنی YAMAHA و شرکت آمریکایی HSE اشاره کرد. اخیراً در داخل کشور نیز شرکت‌های دانش بنیان با تولید و طراحی بدنه و واردکردن قطعات اصلی این پهپادها از خارج، به مونتاژ پهپادهای سمپاش با برند داخلی دست زده اند. ظرفیت مخزن پهپادهای سمپاش عرضه شده توسط شرکت‌های داخلی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ لیتر است، این پهپادها در انواع ۶ و ۸ موتوره طراحی شده‌اند. فهرست شرکت‌های داخلی تولید و عرضه کننده پهپادهای سمپاش مورد تأیید مرکز آزمون ماشین‌های کشاورزی، در سامانه الکترونیکی مرکز توسعه

مکانیزاسیون کشاورزی[1] در دسترس است. مشخصات فنی تعدادی از پهپادهای سمپاش موجود در کشور در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات فنی چند مدل پهپاد سمپاش

مدل پهپاد / مشخصات	AGRAS				M8A	Volodrone
	MG-1P	MG-1	T20	T16		
شرکت سازنده	DJI				HSE	John Deere & Volocopter
تعداد موتور	۸	۸	۶	۶	۸	۱۸
حجم مخزن سم (litter)	۱۰	۱۰	۲۰	۱۶	۲۰	۲۰۰
تعداد افشانک	۴	۴	۸	۸	۶	۱۸
امکان تعویض افشانک	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد
دبی هر افشانک (Litter/min)	۰/۶-۰	۰/۶-۰	۰/۶-۰	۰/۶-۰	۰/۶-۰	۰/۵-۲
دبی سمپاش (Litter/min)	۲/۴ -۰	۲/۴ -۰	۴/۸ -۰	۴/۸ -۰	۴/۲- ۰	۹
عرض کار (m)	۴	۴	۷	۶/۵	۶	۹/۲
ظرفیت مزرعه‌ای (ha/hr)	۶	۶	۱۱	۱۰	۱۱	۱۲
مداومت پروازی (min)	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۳۰
سرعت پرواز (km/hr)	۱۸-۰	۱۸-۰	۱۸-۰	۱۸-۰	۲۸-۰	۲۰-۰
سامانه کنترل زمینی	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد
سامانه تصویربرداری	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد

[1] - http://agmdc.ir/HomePage.aspx?TabID=4960&Site=AjmdcPortal&Lang=fa-IR

اصول و کاربرد پهپادهای سمپاش

مقررات قانونی

استفاده درست و ایمن از پهپادهای سمپاش مستلزم آشنایی با اصول و قوانین پروازی پهپادهای غیرنظامی است. بدین منظور سازمان هواپیمایی کشوری " مقررات وسایل پرنده هدایت‌پذیر از دور (پهپاد)" شیوه نامهٔ ۹۰۰۲، را تهیه کرده است. در این شیوه‌نامه قوانین و مقررات پروازی، محدودیت‌های منطقه‌ای، دوره‌های آموزش خلبانی، شرایط و مراحل اخذ پلاک مالکیت پهپاد شرح داده شده است (بی‌نام، ۱۳۹۷). خریداران و کاربران پهپادهای سمپاش باید قبل از هر کار، ضمن رعایت شیوه‌نامهٔ مذکور، دوره‌های آموزشی را بگذرانند و مجوزهای قانونی را اخذ کنند.

اصول ایمنی پروازی

در دوره‌های آموزش خلبانی، کلیهٔ اصول، قوانین و الزامات پرواز ایمن به خلبان آموزش داده می‌شود. با این‌حال، قبل از پرواز، رعایت نکات زیر ضروری است (بی‌نام، ۱۳۹۷).

- اخذ مجوز پرواز در منطقهٔ مورد نظر
- بررسی شرایط آب و هوایی؛ بیشتر پهپادها برای پرواز در بارش، روزهای بادی و دمای انجماد مناسب نیستند.
- بررسی دقیق چک لیست‌های پرواز برابر دستورالعمل سازنده پهپاد. شامل: سیستم ناوبری، سیستم موقعیت یاب مکانی جهانی، قطب نما، چراغ‌های هشدار، قفل‌های ماهواره‌ای، سطح گیمبال، و کنترل پرواز.
- اطمینان از شارژ کامل باتری‌ها
- کنترل و در صورت لزوم بهبود سیستم عامل پهپاد بر اساس دستورالعمل سازنده
- بررسی موقعیت و ارتفاع موانع موجود در سطح مزرعه.

اصول فنی سمپاشی

پیش از شروع سمپاشی، رعایت موارد زیر ضروری است:

- تستشو، هواگیری و رفع نشتی

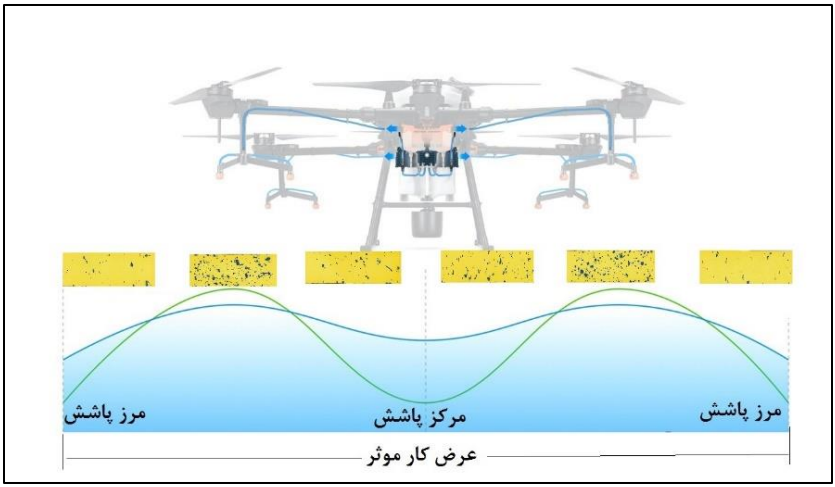
مخزن سمپاش با ۲-۱ لیتر آب پر و شیرهای روی افشانک‌ها باز شود و در حالی که پهپاد روی زمین قرار دارد، آب اسپری شود. در این حالت، نشتی‌های احتمالی بررسی و رفع عیب می‌شود. هنگامی که آب مخزن تمام شد، شیر افشانک‌ها باید بسته شود. این فرآیند باعث خروج هوا از سیستم می‌شود.

-کالیبراسیون سمپاش

به منظور کالیبراسیون سمپاش، دبی خروجی پمپ و افشانک‌ها باید با استفاده از آب اندازه گیری شود. این‌کار برابر دستورالعمل سازندهٔ پهپاد و پس از هواگیری، در حالت ثابت روی زمین و با قراردادن ظروف مدرج زیر افشانک‌ها انجام می‌شود. خروجی هر افشانک در مدت زمان مشخص (حداقل ۶۰ ثانیه) اندازه‌گیری و با مشخصات ارائه شده در دستورالعمل راهنمای سازنده کنترل می‌شود.

عرض پاشش با استفاده از کارت‌های حساس به آب اندازه‌گیری می‌شود. برای این منظور، کارت‌های حساس به آب در فاصله‌های نیم متر به صورت عمود بر مسیر حرکت پهپاد قرار داده می‌شود و محدوده‌ای که پراکنش ذرات آب، یکسان و یکنواخت باشد به عنوان عرض کار موثر در نظر گرفته خواهد شد (شکل ۱۵).

برای محاسبه میزان پاشش محلول در سطح یک هکتار، در ابتدا لازم است عرض پاشش و دبی خروجی پمپ سمپاش محاسبه شود. این دو ویژگی را شرکت سازنده در دستورالعمل راهنمای پهپاد سمپاش ارائه داده است؛ ولی برای حصول اطمینان می‌توان با روش تجربی نیز آن را اندازه‌گیری کرد.



شکل ۱۵- اندازه‌گیری عرض موثر پاشش با استفاده از کارت‌های حساس به آب

دبی پمپ با جمع‌آوری خروجی پمپ در یک ظرف مدرج در مدت زمان مشخص به صورت لیتر در دقیقه قابل اندازه‌گیری است. میزان پاشش محلول در سطح یک هکتار (لیتر بر هکتار) با استفاده از رابطهٔ زیر به دست می‌آید (رستمی، ۱۳۹۴).

$$C = \frac{600Q}{D \times V} \quad (۱)$$

که در آن:

C= میزان پاشش محلول (لیتر بر هکتار)،

Q= دبی پمپ سمپاش (لیتر بر دقیقه)،

D= عرض پاشش (متر)،

V= سرعت پرواز پهپاد (کیلومتر بر ساعت) است.

در جدول (۱) مشخصات و ویژگی‌های فنی چند مدل از انواع پهپادهای سمپاش آورده شده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

روش سمپاشی در مزرعه

پهپادهای سمپاش مجهز به نرم‌افزارهای ویژه عملیات سمپاشی هستند. با استفاده از این نرم‌افزار که روی سیستم‌های اندروید یا کامپیوتر قابل نصب‌اند، سمپاشی با دقت و به راحتی انجام می‌گیرد (شکل ۱۶). خلبان می‌تواند سمپاشی را در حالت خودکار یا نیمه خودکار اجرا کند. در حالت خودکار، پیش از سمپاشی، خلبان نقطه‌هایی را که قرار است سمپاشی شود روی نرم افزارتعیین می‌کند. در این قابلیت، خلبان نقطهٔ ابتدایی و انتهایی پرواز را برای دستگاه مشخص می کند؛ پرنده مسیر تعیین شده را به صورت کاملا خودکار و با توجه عرض پاشش محاسبه و سمپاشی را شروع می‌کند و تا خالی شدن کامل مخزن سم، کار را ادامه می‌دهد. به هر دلیلی، برای مثال اتمام شارژ باتری یا خالی شدن مخزن سمپاش، اگر سمپاشی متوقف شود، سمپاش مختصات و نقطهٔ باقی‌ماندهٔ مسیر را ذخیره می کند تا بعد از تعویض یا شارژ باتری یا پرکردن دوبارهٔ مخزن در ادامهٔ مسیر، سمپاشی را ادامه دهد.

شکل ۱۶- الگوی حرکت پهپاد سمپاش، نشان داده شده در فضای نرم افزار

در حالت نیمه خودکار، خلبان می‌تواند پهپاد را به طور موازی در مسیر رفت و برگشت کنترل کند. نرم افزار به‌گونه‌ای طراحی شده است که در صورت بروز مشکل در حین سمپاشی (اتمام محلول درون مخزن، تمام شدن ذخیره باتری، از دست دادن سیگنال و قطع شدن ارتباط) به طور خودکار پمپ آب خاموش و پاشش سم متوقف می شود و موقعیت مکانی سمپاشی در حافظهٔ دستگاه ذخیره می‌گردد. بعد از رفع مشکل، پهپاد دوباره به همان نقطهٔ ذخیره شده بازمی گردد و سمپاشی را ادامه می‌دهد.

پهپادهای سمپاش با استفاده از حسگرهای راداری و ویژگی‌های نرم‌افزاری این قابلیت را نیز برای خلبان فراهم می‌آورند که در صورت وجود ساختمان یا تاسیسات دیگر در فضای مزرعه، سمپاشی را با دقت و بدون برخورد به موانع دنبال کنند (شکل ۱۷).

شکل ۱۷- سمپاشی در فضای مزرعه همراه با موانع ساختمانی

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

- ✓ توسعهٔ استفاده از فناوری پهپادهای سمپاش نیازمند رفع نیازهای پژوهشی و آموزشی این حوزه است، از این رو کاربرد پهپادها در مراکز پژوهشی، آموزشی و کشت و صنعت‌ها به منظور ارزیابی فنی و مزرعه‌ای و برگزاری کارگاه‌های آموزشی توصیه می‌گردد.
- ✓ با در اختیار قراردادن وام‌های با بهره پایین، توانایی خرید کشاورزان به منظور تهیهٔ پهپاد سمپاش افزایش یابد.
- ✓ در قالب شرکت‌های خدمات مکانیزاسیون، برای کشاورزانی که قادر به تهیهٔ پهپاد نیستند خدمات مکانیزاسیون مانند سمپاشی (به صورت اجاره‌ای با قیمت‌های مصوب) در نظر گرفته شود.
- ✓ با توجه به مزایای پهپاد، از این فناوری برای حوزه‌های دیگر کشاورزی و در سطح وسیع استفاده شود.

منابع

بی‌نام. ۱۳۹۷. مقررات وسایل پرنده هدایت پذیر از دور (پهپادها)" شیوه نامه ۹۰۰۲. سازمان هواپیمایی کشوری جمهوری اسلامی ایران.

بی‌نام. ۱۳۹۶. معرفی جامع سامانه‌های پهپاد در کشاورزی. شرکت دانش بنیان فناوران صنعت آسمان.

توکلی، ح. ۱۳۹۷. نقش پهپادها در کشاورزی. کنفرانس ملی فن‌آوری‌ها و کاربردهای نوین ژئوماتیک.

دخیلی، ر. ، رشیدی‌پور، م. و کیانی‌نژاد، م. ۱۳۹۶. استفاده از پهبادها در جهت کنترل و مراقبت از مزارع کشاورزی (مطالعه موردی پهباد MG-1S از شرکت

dji). اولین همایش ملی فرصت‌های نوین تولید و اشتغال بخش کشاورزی در شرق کشور (در راستای تحقق اهداف اقتصاد مقاومتی).

رباطی، ج. و رضایی، م. ۱۳۹۸. کاربردهای غیرسنجشی پهپادها در کشاورزی نوین. چهارمین کنگره بین‌المللی توسعه کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و توریسم ایران. دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

رستمی، م. ۱۳۹۴. کالیبراسیون سمپاش‌ها. نشریه ترویجی، مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی، سازمان جهادکشاورزی استان کرمان.

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

گرجی شیخان، ع. ۱۳۹۷. ارزیابی پهپاد سمپاش در کنترل شیمیایی پوره سن گندم. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، شماره ثبت: ۵۵۸۷۲.

محمدی، م. ۱۳۹۷. مرجع کاربردی طراحی و ساخت کوادکوپتر (ترجمه). انتشارات نبض دانش، ۲۴۸ صفحه.

Anon. 2020. Drone manual, helping farmers grow. Croplife International, https://croplife.org.

Lou, Z., Fang X., Xiaoqiang H., Yubin L., Tianzhu D. and Wei F. 2018. Effect of unmanned aerial vehicle flight height on droplet distribution, drift and control of cotton aphids and spider mites. Agronomy Journal, 8(187, 1-13.

Rao Mogili, U.M., and Deepak, B.B.V.L. 2018. Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. Procedia Computer Science 133 (2018) pp 501-509.

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.

Yallappa, D, M. Veerangouda, D. Maski, V. Kumar Palled and M. Bheemanna. 2017. Development and evaluation of drone mounted sprayer for pesticide applications to crops. 2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC).