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

دستورالعمل فنی:

پهپادسمپاش
(آزمودن پارامترهای فنی)

نیکروز باقری

سال انتشار: ۱۴۰۵

AERI

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، کدپستی: ۳۱۳۵۹۱۳۵۳۳، مؤسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۶۱۵۰۰۰۰(۰۲۶)
دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)، آدرس دسترسی: www.aeri.ir(بخش انتشارات الکترونیکی)

بسم الله الرحمن الرحیم

مؤسسهٔ تحقیقات فنّی و مهندسی کشاورزی

دستورالعمل فنّی:
پهپادسمپاش
(آزمودن پارامترهای فنّی)

تهیه و تدوین:

نیکروز باقری

عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنّی و مهندسی کشاورزی

سال انتشار

۱۴۰۵

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسهٔ تحقیقات فنّی و مهندسی کشاورزی

نوع نوشتار: دستورالعمل فنّی
عنوان نوشتار: پهپادسمپاش (آزمودن پارامترهای فنّی)
نگارنده: نیکروز باقری
ویراستار ادبی: محمدرضا داهی
صفحه‌آرا: شبنم جباری
طراح جلد: سمیه وطن‌دوست
ناشر: مؤسسه تحقیقات فنّی و مهندسی کشاورزی
شمارگان: محدود
نوبت چاپ: اول
سال انتشار: ۱۴۰۵

مسئولیت صحت مطالب با نگارنده است.

شماره ثبت ٦٩١٩١ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ١٤٠٥/٠٢/٠٦

مخاطبان دستورالعمل

سازندگان و ارائه‌دهندگان خدمات پهپادسمپاش، آزمون‌گرها و ناظران مدیریت آزمون و کنترل کیفیت ماشین‌ها و تجهیزات کشاورزی، کارشناسان فنّی.

هدف‌های آموزشی

شما خوانندگان گرامی در این دستورالعمل فنّی با:

- اجزای اصلی پهپادسمپاش،
- روش ارزیابی کیفی و عملکرد پهپادسمپاش،
- پارامترهای مهم ارزیابی و شیوهٔ اندازه‌گیری آن‌ها،
- و الزام‌های ایمنی و ارگونومی

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- مقدمه	۱
۲- آناتومی پهپادسمپاش	۲
۲-۱ بدنه (شاسی)	۲
۲-۲ بخش بالابرنده	۲
۲-۳ بخش پاشش محلول	۲
۲-۴ بخش کنترل	۳
۲-۵ بخش پایش محلول	۳
۲-۶ سامانهٔ موقعیت‌یاب	۳
۲-۷ بخش تأمین توان	۳
۳- ارزیابی پهپادسمپاش	۴
۳-۱ شرایط خلبان	۴
۳-۲ بررسی شرایط آب و هوایی	۵
۳-۳ تجهیزات ارزیابی	۵
۳-۴ ثبت محل ارزیابی و مشخصات نمونه‌برداری	۶
۳-۵ جمع‌کننده‌ها	۷
۳-۶ مایع آزمایش	۱۰
۳-۷ پارامترهای اندازه‌گیری	۱۲
۳-۸ مداومت پروازی	۱۸
۳-۹ ایمنی پهپادسمپاش	۱۸
۳-۱۰ ارگونومی و تعمیر و نگهداری	۱۹
۴- فهرست منابع	۱۹

۱- مقدمه

سمپاشی رایج‌ترین روش مهار تنش‌های زیستی کشاورزی است. در حال حاضر انواع سمپاش‌های دستی و ماشینی برای سمپاشی محصولات کشاورزی به‌کار می‌رود. کارایی سموم شیمیایی کشاورزی به کارایی تجهیزات سمپاشی وابسته است (پاول[1] و همکاران، ۲۰۲۳؛ پاول و همکاران، ۲۰۲۴). بنابراین، انتخاب سمپاش مناسب گام مهمی در مهار سنجیدهٔ تنش‌های زیستی است.

در سال‌های اخیر، کاربرد پهپاد برای سمپاشی و محلول‌پاشی رو به گسترش است. مزایای این روش نوین، مانند کاهش مصرف آب (عبدکریم[2] و همکاران، ۲۰۱۹) و هزینه‌های سمپاشی (صفری و همکاران، ۱۴۰۱)، له نشدن محصول (باقری و همکاران، ۱۴۰۳)، افزایش بازدهٔ مزرعه‌ای (ظریف‌نشاط و همکاران، ۱۴۰۰)، افزایش کارایی سمپاشی (شیخی گرجان، ۱۳۹۷)، مناسب بودن برای محصولات زراعی با ارتفاع زیاد (باقری و صفری، ۱۳۹۹)، آسیب‌نرساندن به کارور[3] به‌دلیل تماس نداشتن با سم و... باعث استقبال کشاورزان از این فناوری شده‌است.

از اقدامات مهم پیش از کاربرد پهپادسمپاش، ارزیابی فنّی و زراعی آن است. عدهٔ زیادی متقاضی اطلاع از روش‌های علمی و استاندارد ارزیابی پهپادسمپاش برای اجرای پژوهش‌ها، و تهیهٔ اطلاعات فنّی برای تدوین دفترچهٔ مشخصات محصول هستند. همچنین، اغلب شرکت‌ها متقاضی دریافت گواهی‌نامهٔ تأییدیه مدیریت آزمون هستند. خریداران پهپادسمپاش نیز متقاضی اطلاعات فنّی محصول برای تصمیم‌گیری بهتر در انتخاب و خرید پهپاد مناسب از بین انواع موجود هستند. در همه موارد گفته‌شده داشتن دانش در مورد پارامترهای مهم ارزیابی کیفی پهپادسمپاش‌ها و چگونگی اندازه‌گیری آن‌ها ضروری است. بنابراین، با توجه به نیاز بخش کشاورزی و صنعت کشور، این دستورالعمل تهیه شده‌است.

در این نوشتار افزون‌بر معرفی سامانه‌ها و زیرسامانه‌های اصلی پهپادسمپاش، مشخصات فنّی مهم هر جزء از پهپاد معرفی شده‌است. همچنین، پارامترهای فنّی تأثیرگذار بر عملکرد

1. Paul
2. Abd Kharim
3. Operator

پهپاد و روش اندازه‌گیری هر پارامتر براساس استانداردهای ملّی و بین‌المللی و نتایج پژوهش‌ها معرفی شده‌است.

۲- آناتومی پهپادسمپاش

بیشتر پهپادسمپاش‌هایی که امروزه در ایران و جهان استفاده می‌شوند از نوع بال چرخان (روتوردار) هستند. انواعی از این پرنده‌ها به صورت چهار چرخانه (کوادکوپتر)[1]، شش چرخانه (هگزاکوپتر[2]) و هشت چرخانه (اکتاکوپتر[3]) وجود دارد. با این حال، این پهپادسمپاش‌ها دارای اجزای مشابهی هستند. اجزای پهپادسمپاش را می‌توان در چند دسته شامل بدنه، بخش بالابرنده، بخش پاشش محلول، بخش کنترل، بخش پایش و موقعیت‌یابی به شرح زیر تفکیک کرد (باقری و صفری، ۱۴۰۰):

۲-۱ بدنه (شاسی)

شاسی در واقع بدنهٔ اصلی پهپاد است که تجهیزات روی آن نصب می‌شود. بدنه افزون‌بر دارا بودن جنس مقاوم به ضربه و حمل بار، باید غیریکپارچه باشد. یعنی قطعات بدنه قابلیت جداشدن از هم داشته باشند. زیرا در صورت بروز حادثه و آسیب‌دیدگی دستگاه، قطعهٔ آسیب‌دیده سریع‌تر تعویض می‌شود و هزینه‌های تعمیر و تعویض کاهش می‌یابد.

۲-۲ بخش بالابرنده

بخش بالابرندهٔ پهپاد شامل روتورها است و روتور از اجزای اصلی مانند موتور، نگهدارندهٔ موتور، ملخ، بازوها و کنترل کنندهٔ سرعت موتور تشکیل شده است.

۲-۳ بخش پاشش محلول

شامل پمپ، دبی‌سنج، افشانک‌ها، شیلنگ‌ها، مخزن، چکه‌گیر و همزن (در برخی مدل‌ها) است.

1. Quadcopter
2. Hexacopter
3. Octocopter

۲-٤ بخش کنترل

بخش کنترل پرنده شامل بخش کنترل پرواز و کنترل پارامترهای پاشش است و دارای دو جزء اصلی کنترل‌کنندهٔ پرواز[1] و رادیوکنترل (ریموت کنترل) است. در ارزیابی این بخش، بررسی و ثبت اطلاعات زیر اهمیت دارد:

– برای کنترل‌کنندهٔ پرواز، نوع پردازنده، نوع حافظهٔ داخلی، ظرفیت حافظه، بسامد (فرکانس) و ولتاژ کاری، نوع و تعداد باتری، و واحد اندازه‌گیری اینرسی[2] (ژیروسکوپ، شتاب‌سنج، مغناطیس‌سنج) و فشارسنج بررسی شود.

– برای رادیوکنترل، محدودهٔ بسامد، نوع باتری، و مشخصات صفحه نمایش ثبت شود.

– پاسخگویی سریع بخش کنترل به دستورهای داده‌شده ضروری است.

۲-۵ بخش پایش

شامل حسگرهای راداری برای سنجش ارتفاع از سطح زمین و تشخیص مانع، دبی‌سنج برای سنجش مقدار محلول پاشش‌شده و ... است.

۲-٦ سامانهٔ موقعیت‌یاب

سامانهٔ موقعیت‌یاب شامل سامانهٔ موقعیت‌یابی جهانی است که دقت در حد یک متر دارد. در برخی از پهپادها از سامانه‌های موقعیت‌یابی زمان–واقعی[3] استفاده می‌شود که دقت موقعیت‌یابی را افزایش می‌دهد.

۲-۷ بخش تأمین توان

شامل باتری، شارژکنندهٔ باتری، و واحد مدیریت توان[4] (برای مدیریت و توزیع انرژی) است. برای ارزیابی این بخش، بررسی و ثبت اطلاعات زیر ضروری است:

– مشخصات باتری‌ها مانند ولتاژ و جریان نامی، ظرفیت، داشتن قابلیت شارژشدن سریع، مدت زمان پرواز (با مخزن پر و خالی)، و نوع فناوری ارتباطی.

– مدت زمان شارژ شدن و نوع شارژکننده.

---

1. Flight Controller
2. Inertial Measurement Unit (IMU)
3. Real-Time Kinematic GPS
4. Power Management Unit (PMU)

باتری پهپاد حتماً باید هوشمند باشد. باتری‌های هوشمند مقدار ولتاژ، جریان، دما، چرخهٔ شارژ، شارژ باقی‌مانده، سلامت سلول‌های باتری را گزارش می‌دهند و از شارژ و تخلیهٔ بیش از حد جلوگیری می‌کنند (جاداو و بوسال[1]، ۲۰۲۲). با داشتن این اطلاعات می‌توان از سلامت باتری آگاه شد و بروز حادثه را هنگام عملیات کاهش داد.

دیگر قطعات پهپادسمپاش عبارت‌است از: انواع کابل، بوم پاشش (در برخی از مدل‌ها)، باتری اضافه، پروژکتور برای کار در شب، جعبه و ....

برای هر یک از اجزای پهپادسمپاش درج موارد زیر توسط تولیدکننده ضروری است و توصیه می‌شود این اطلاعات به‌صورت برچسب روی پرنده درج شود:

- مدل دستگاه
- شمارهٔ پلاک پرنده
- شمارهٔ سریال
- کارخانه و کشور سازنده
- جنس قطعات
- مشخصات فنّی
- اندازه و وزن

۳- ارزیابی پهپادسمپاش

پیش از آزمایش بررسی شود مشخصات هویتی پهپاد و شرکت، روی پرنده نصب شده باشد. این اطلاعات شامل نام و لوگوی سازنده، مدل پهپاد، شمارهٔ سریال، سال ساخت، کشور سازنده، و برچسب مشخصات فنّی است.

۳-۱ شرایط خلبان

– خلبان مجوز خلبانی معتبر را مبنی بر مهارت کافی در کنترل پرنده داشته باشد و به رؤیت آزمون‌گر برسد.

– خلبان جلیقه با قابلیت دید از دور پوشیده باشد.

1. Jadhav and Bhosale

– هنگام آزمایش پهپادسمپاش به اندازه‌ای دور شود که محل لحظه‌ای پهپاد با چشم دیده شود.

۳-۲ بررسی شرایط آب و هوایی

شرایط آب و هوایی باید پنج دقیقه پیش و پس از شروع آزمایش و در طول آزمایش بررسی و ثبت شود. اگر شرایط در محدودهٔ زیر باشد، آزمایش‌ها اجرا شود:

- دمای محیط: ۳۵–۵ درجهٔ سلسیوس
- رطوبت نسبی هوا: ۹۰–۱۵ درصد
- میانگین سرعت باد: کمتر یا مساوی ۳ متر در ثانیه
- جهت باد: اختلاف حداکثر ۴۵± درجه از جهت میانگین اندازه‌گیری شده.

این اندازه‌گیری‌ها در فاصلهٔ ۱۵ متری از مسیر پرواز در خلاف جهت باد صورت گیرد. سرعت باد در ارتفاع ۱/۵ متر (خطای ۰/۱ ± متر) بالاتر از سطح زمین اندازه‌گیری شود (استاندارد ایزو، شمارهٔ ۲–۲۳۱۱۷، ۲۰۲۵). وارونگی دما (زمانی که لایهٔ بالایی هوا گرمتر از لایهٔ زیرین آن است) بر نشست محلول تأثیر می‌گذارد و خطر بادبردگی را افزایش می‌دهد. بنابراین، در صورت صاف بودن آسمان، هنگام غروب آفتاب، آزمایش‌ها را در مدت کوتاهی (۱ ساعت) پیش از غروب آفتاب یا پس از طلوع آفتاب انجام ندهید (استاندارد ایزو، شمارهٔ ۲–۲۳۱۱۷، ۲۰۲۵).

۳-۳ تجهیزات ارزیابی

تجهیزات لازم برای ارزیابی پهپادسمپاش‌ها عبارت‌استاز: استوانه یا ظرف‌های پلاستیکی مدرّج (به تعداد افشانک‌ها با ظرفیت حداقل یک لیتر)، ظرف مدرّج ۱۰–۵ لیتری، انواع جمع‌کننده همراه با پایهٔ نصب به تعداد موردنیاز، زمان‌سنج دیجیتال، دماسنج، رطوبت‌سنج، دستگاه سنجش سرعت و جهت باد، متر، دبی‌سنج، ترازو با دقت ۰/۰۰۱ کیلوگرم، اسکنر، نرم‌افزار تحلیل تصاویر، دستکش یکبار مصرف، کیسهٔ پلاستیک زیپ‌دار و ... (صفری و باقری، ۱۴۰۰).

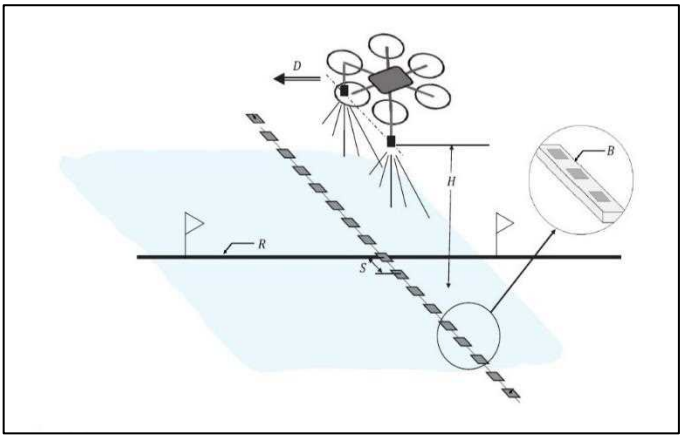
- تجهیزات الکترونیکی و حسگرهای به‌کار گرفته شده باید پیش از آزمایش واسنجی (کالیبره) شوند و طبق استاندارد دارای حداکثر خطا به شرح زیر باشند (استاندارد ایزو، شمارهٔ ۲۳۱۱۷-۲، ۲۰۲۵):
  - بادسنج: ۰/۱± متر در ثانیه
  - جهت سنج باد: ۵± درجه
  - دماسنج: ۰/۵± درجهٔ سلسیوس
  - رطوبت سنج: ۵± درصد
  - قدرت تفکیک سامانه‌های پردازش تصویر: ۶۰۰ dpi
  - دبی‌سنج و اسپکتروفوتومتر: بیشترین خطای یک درصد

۳-٤ ثبت محل آزمایش و مشخصات نمونه‌ها

مکان، تاریخ، ساعت شروع و پایان آزمایش، و مساحت منطقهٔ ارزیابی ثبت شود. آزمایش‌ها در محلی باز و بدون مانع اجرا شوند. زمین باید صاف با شیب حداکثر دو درصد در سطح خاک لخت یا چمن (با حداکثر ارتفاع ۸ سانتی‌متر) باشد. طول و عرض محل آزمایش‌ها به‌ترتیب حداقل ۶۰ و ۳۰ متر باشد.

پیش از آزمایش مسیر پرواز، محل نمونه‌برداری و محل برخاست و نشست پهپاد مشخص شود. خط مرکزی پرواز را علامت گذاری کنید (ترجیحاً با میله و پرچم). ضروری است که پرنده دقیقاً روی مسیر پرواز حرکت کند و هرگونه انحراف از مسیر ثبت شود. مسیر پرواز موازی با جهت باد باشد (حداکثر ۱۵ درجه اختلاف)، تا تأثیر جانبی باد روی الگوی پاشش به کمترین مقدار برسد. جمع‌کننده‌ها در خطی چیده شوند که در جهت عمود بر مسیر حرکت است (شکل ۱).

محل قرارگیری تجهیزات نمونه‌برداری (جمع‌کننده‌ها) از خط شروع آزمایش فاصله داشته باشد؛ تا پهپاد با توجه به سرعت و ارتفاع پروازی، فرصت کافی برای یکنواخت کردن پاشش داشته باشد. این فاصله به اندازه و سرعت پرنده بستگی دارد؛ اما به طورکلی فاصلهٔ نقطه شروع و پایان پرواز باید با محل نمونه‌برداری حداقل ۲۰ متر فاصله داشته باشد.



شکل ۱: شیوهٔ قرارگیری جمع‌کننده‌ها در ارزیابی پهپادسمپاش (استاندارد ایزو، شمارهٔ ۲-۲۳۱۱۷، ۲۰۲۵)

(B: میله برای قرارگیری جمع‌کننده‌ها، D: جهت پرواز، H: ارتفاع افشانک‌ها، R: مسیر پرواز، S: فاصلهٔ بین جمع‌کننده‌ها)

۳-۵ جمع‌کننده‌ها

جمع‌کننده‌ها[1]وسایلی هستند که برای جمع‌آوری قطره‌های محلول سم، با هدف اندازه‌گیری مقدار پاشش و توزیع آن، مقدار پوشش محلول و بادبردگی استفاده می‌شود. انواع مختلفی از جمع‌کننده برای اندازه‌گیری مقدار محلول پاشیده شده به کار می‌روند که عبارت‌است از (پریوت[2] و همکاران، ۲۰۲۴):

۳-۵-۱ جمع‌کننده‌های سطحی

رایج‌ترین جمع‌کننده‌های سطحی[3] عبارت‌است از:

- کاغذ حساس به آب[4]
- اسلاید شیشه‌ای برای مشاهدهٔ ذرات با میکروسکوپ

1. Samplers
2. Perriot
3. Surface Collectors
4. Water Sensitive Paper (WSP)

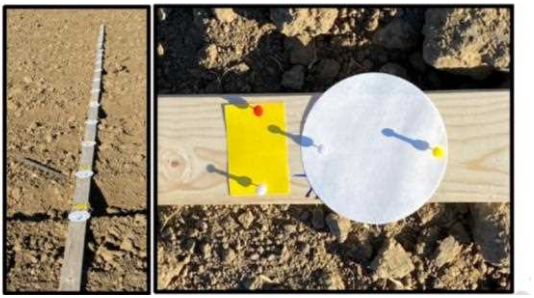
- فیلتر یا ورق آلومینیمی
- کاغذ کروماتوگرافی[1] سلولزی با جذب زیاد
- فیلتر کاغذی
- کاغذ با پوشش کروما[2]
- پوشش‌های تفلونی
- پتری دیش

جمع‌کننده‌ها باید حداقل ۱۹ سانتی‌متر مربع مساحت داشته باشند. دقت شود اندازهٔ جمع‌کننده متناسب با مقدار پاشش باشد تا جمع‌کننده اشباع نشود. جمع‌کننده‌های نمونه‌برداری باید سطحی صاف داشته باشند و به صورت افقی روی زمین قرار گیرند. جمع‌کننده‌ها طوری قرار گیرند که فاصلهٔ مرکز به مرکز بین آن‌ها حداقل ۰/۵ متر باشد. نوع و اندازهٔ جمع‌کننده در گزارش ارائه شود. جمع‌کننده‌ها روی زمین یا در ارتفاع حداکثر ۱۰ سانتی‌متری از سطح زمین قرار بگیرند و روی میله یا صفحاتی نصب شوند تا جابه‌جا نشوند. جمع‌کننده‌ها از یک نوع/جنس باشند.

برای تعیین تعداد قطره‌ها و درصد پوشش، از کاغذهای حساس به آب و کاغذهای کرومکوت استفاده شود. در تحلیل تصاویر باید اندازهٔ پیکسل و آستانه/حذف پس‌زمینه کالیبره شوند. کاغذهای حساس به آب با نرم‌افزارهای پردازش مانند ImageJ و DropScan تحلیل می‌شوند. برای استخراج اطلاعات از کاغذهای کروماتوگرافی و کروم نیاز به تحلیل شیمیایی است.

جمع‌آوری، جابه‌جایی و نگهداری جمع‌کننده‌ها با دقت انجام شود تا تغییرات در توزیع لکه روی جمع‌کننده‌ها به حداقل برسد. در شرایط استفاده از کاغذهای حساس به آب، استفاده از دستکش برای جلوگیری از تغییر رنگ کاغذها ضروری است. این کاغذها طی حداکثر ۳۰ دقیقه پس از آزمایش جمع‌آوری و در شرایط تاریک، خشک و خنک نگهداری شوند. در شکل ۲ شیوهٔ قرارگیری جمع‌کننده‌ها نشان داده شده است.

1. Chromatography paper
2. Chromcoat paper



شکل ۲: شیوهٔ نصب جمع‌کننده‌ها روی پایه (بی‌نام[1]، ۲۰۲٤)

۳-۵-۲ جمع‌کننده‌های دیجیتال

جمع‌کننده‌های دیجیتال[2] شامل ابزارهای الکترونیکی یا حسگرهایی هستند که به‌جای نمونه‌برداری فیزیکی به کار می‌روند. انواع رایج این نوع جمع‌کننده عبارت‌است از:

حسگر پراش لیزری[3]: در این روش، پرتو لیزر (معمولاً ۶۳۳ یا ۸۳۰ نانومتر) از میان جریان ذرات عبور می‌کند. هر قطره با توجه به اندازه‌اش، نور را در زاویه‌های مختلف پراکنده می‌کند. آشکارساز حلقوی[4] الگوی پراش را ثبت می‌کند و با مدل‌های فیزیکی، توزیع اندازهٔ قطره‌ها، میانگین اندازهٔ ذره، و تراکم ذرات را محاسبه می‌کند. این روش دقت زیادی دارد، اما گران‌قیمت است. هنگام ارزیابی، هوا باید تمیز باشد و در شرایط باد شدید، خطا زیاد است (استاندارد ایزو شمارهٔ ۲۵۳۵۸، ۲۰۱۸).

پروب آرایهٔ نوری[5]: قطره‌ها هنگام عبور از ناحیهٔ اندازه‌گیری، نور تابیده‌شده را قطع یا پراکنده می‌کنند. حسگر با محاسبه زمان عبور و شدت سیگنال، اندازه و سرعت هر قطره را محاسبه می‌کند. این سامانه اندازهٔ هر قطره، تعداد قطره‌های عبوری در ثانیه، سرعت لحظه‌ای قطره‌ها، و پراکندگی فضایی قطره‌ها را در میدان عبور ارائه می‌دهد. از مزایای آن می‌توان به تولید داده‌های سه بعدی اشاره کرد؛ اما این روش نیاز به تراز دقیق در مسیر

1. Anonymous
2. Digital Collectors
3. Laser Diffraction Sensor
4. Ring Detector
5. Optical Array Probe or Optical Array Droplet Sensor

پاشش محلول دارد و در شرایط تراکم زیاد قطره‌ها، اشباع می‌شود (پراساد[1] و همکاران، ۲۰۲۴).

دوربین با سرعت زیاد: در این روش تصاویر متوالی با نرخ ثبت ۵۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ فریم در ثانیه برداشت شده و با پردازش تصویرها، اندازه، مسیر، زاویه و سرعت قطرات به‌صورت دقیق محاسبه می‌شود. در این روش در طول پرواز، قُطر هر قطره، زاویهٔ پخش و الگوی توزیع، سرعت اولیهٔ قطره و تغییر اندازه به دست می‌آید. این روش دقت زیادی دارد و می‌توان رفتار ذرات را به صورت فیزیکی مشاهده کرد. اما روشی بسیار گران است و نیازمند شرایط کنترل شدهٔ نوری است (استاندارد ایزو به شمارهٔ ۲۵۳۵۸، ۲۰۱۸؛ وانگ[2] و همکاران، ۲۰۲۳).

۳-۵-۳ جمع‌کننده‌های گیاهی

از جمع‌کننده‌های گیاهی برای بررسی رسوب واقعی محلول سم روی گیاهان استفاده می‌شود. این نوع جمع‌کننده‌ها، شامل برگ‌های زنده گیاه، گیاهان مصنوعی (برای شبیه‌سازی پوشش گیاهی) یا استفاده از کاغذ یا نوار پلاستیکی روی بوته‌های زنده است.

۳-۶ مایع آزمایش

در بسیاری از موارد از آب به عنوان مایع آزمایش استفاده می‌شود. براساس استاندارد بین‌المللی منظور از مایع آزمایش[3] ترکیبی از آب با املاح کم هم‌دمای محیط، مادهٔ ردیاب[4] با غلظت صفر تا ۱/۵گرم در لیتر، افزودنی‌های افزایش‌دهندهٔ جذب و نشست سم است. آب در دمای زیاد و رطوبت کم به سرعت تبخیر می‌شود. همچنین، به دلیل کشش سطحی زیاد آن، ممکن است روی سطح جمع‌کننده به خوبی پخش نشود و قطره‌ها یا بلغزند یا به هم متصل شوند. بنابراین، بهتر است از آب به تنهایی برای آزمایش‌ها استفاده نشود.

رنگی بودن قطره‌ها در روش‌های تحلیلی تصویری و شیمیایی به دید بهتر و تحلیل راحت‌تر کمک می‌کند. در روش استفاده از کاغذهای حساس به آب، استفاده از آب خالص کافی است، مگر آنکه هدف اندازه‌گیری غلظت باشد. در این حال باید از مادهٔ رنگی استفاده

1. Prasad
2. Wang
3. Test Liquid
4. Tracer

کرد و بعد از ارزیابی کاغذها را شست و سپس غلظت را با دستگاه طیف‌سنج یا دستگاه فلوریمتر اندازه‌گیری کرد. مادهٔ ردیاب باید در شرایط واقعی و ارزیابی میدانی پایدار باشد و مقدار بازیابی آن حداقل ۹۰ درصد و ترجیحاً ۹۵ درصد باشد. در استانداردهای بین‌المللی چند گروه ردیاب به شرح زیر معرفی شده‌اند (استاندارد ایزو، ۱–۵۶۸۲، ۲۰۱۷؛ استاندارد ایزو، شمارهٔ ۲–۲۳۱۱۷، ۲۰۲۵):

الف: ردیاب‌های رنگی[1]

– مادهٔ FCF (E133) (با غلظت ۰/۵–۰/۱ گرم در لیتر) که دارای رنگ آبی و قابل حل در آب است. این ماده غیرسمّی و ارزان بوده و قابل اندازه‌گیری با دستگاه اسپکتروفتومتر را دارد. این ماده پایداری خوبی در برابر نور و دما داشته؛ ارزان قیمت و مناسب برای ارزیابی‌های میدانی است. اما در غلظت‌های پایین به راحتی دیده نمی‌شود.

– رادیوم B (با غلظت ۰/۲–۰/۰۵ گرم در لیتر) دارای رنگ قرمز مایل به صورتی با قدرت جذب نوری زیاد است. این ماده حساسیت زیادی در تشخیص داشته و برای اندازه‌گیری مقادیر بسیار کم رسوب مناسب است. اما در غلظت‌های زیاد، کمی سمّی است و باید با احتیاط استفاده شود.

– تارترازین[2] (E102) دارای رنگ زرد قابل حل در آب است. برای پس‌زمینهٔ طبیعی (مثلاً خاک یا گیاه) آبی یا سبز مفیدتر است. این ماده ارزان قیمت و ایمن است. اما نسبت به رادیوم B و FCF حساسیت کمتری دارد.

ب: ردیاب‌های فلورسنت[3]

– فلورسین سدیم[4] (با غلظت ۰/۲–۰/۰۵ گرم در لیتر) در نور مرئی سبز روشن است و در معرض پرتوهای فرابنفش به‌شدت می‌درخشد و با استفاده از فلوریمتر آشکار می‌شود. از مزایای آن می‌توان به دقت زیاد، و قابلیت آشکارسازی حتی رسوب‌های خیلی کم اشاره کرد. با این حال در نور مستقیم خورشید ناپایدار است و باید در ظرف مات نگهداری شود.

1. Color Tracers
2. Tartrazine
3. Fluorescent Tracers
4. Fluorescein Sodium (Uranine)

– رادیوم WT (با غلظت ۰/۳–۰/۰۵ گرم در لیتر) دارای رنگ نارنجی/قرمز است و از نظر ویژگی‌ها شبیه به رادیوم B است اما در نور و حرارت پایدارتر است و برای آزمایش در فضای باز بسیار مناسب است.

۳–۷ پارامترهای اندازه‌گیری

پارامترهای مهم برای ارزیابی پهپادسمپاش به شرح زیر ارائه شده است. در آزمایش‌ها مخزن سمپاش باید حداقل ۵۰ درصد ظرفیتش پر شود و تمام آزمایش‌ها سه بار تکرار شده و میانگین نتایج ثبت شود.

۳–۷–۱ بررسی مخزن

هدف از این آزمایش، ارزیابی نداشتن نشتی مخزن و لوله‌ها و اتصالات، اندازه‌گیری حجم واقعی مخزن، و مقاومت به مواد خورنده و تابش پرتوی فرابنفش است. برای مخزن پهپادسمپاش موارد زیر بررسی و ثبت شود:

– جنس مخزن اعلامی مقاوم به خوردگی سموم شیمیایی و پرتوی فرابنفش باشد (استاندارد ایزو، شمارهٔ ۲–۲۳۱۱۷، ۲۰۲۵). بررسی این موضوع به عهدهٔ آزمون‌گر است.

– مخزن به اندازه‌ای شفاف باشد که سطح مایع داخل آن دیده شود (استاندارد ایزو، شمارهٔ ۲–۲۳۱۱۷، ۲۰۲۵).

– داشتن صافی با مش ۲–۰/۵ میلی‌متر برای مخزن اجباری است (استاندارد ملّی شمارهٔ ۱–۱۰۳۴۶).

– مخزن حتماً مدرّج باشد. نشانگر محتویات مطابق با استاندارد، بادوام و به راحتی قابل خواندن باشد (استاندارد ایزو، شمارهٔ ۲–۲۳۱۱۷، ۲۰۲۵) و بیشترین عدد مدرّج، معیار اندازه‌گیری حجم باشد نه کل گنجایش مخزن.

– قطر دهانهٔ مخزن برای مخازن با حجم ۱۰۰–۵ لیتر، حداقل ۱۰۰ میلی‌متر باشد (استاندارد ملّی ایران به شمارهٔ ۵۸۹۱).

– فاصلهٔ بین درجه‌های مخزن ثبت شود.

– حجم اسمی مخزن ثبت شود (براساس دفترچهٔ راهنمای محصول).

– حجم واقعی مخزن اندازه‌گیری شود.

– حداکثر اختلاف حجم اسمی و حجم واقعی ۵ درصد باشد (استاندارد ایزو، شمارهٔ ۲۳۱۱۷–۱، ۲۰۲۳).

برای اندازه‌گیری حجم واقعی مخزن در سه تکرار، ابتدا ترازو کالیبره و وزن مخزن خالی و خشک ثبت شود. پس از آن، مخزن تا درجهٔ موردنظر با آب پر شده و وزن دوباره اندازه‌گیری شود. اختلاف بین وزن مخزن در دو حالت محاسبه شود.

برای بررسی نشتی، مخزن تا ۱۰۰ درصد ظرفیت اسمی با آب پر شود. پمپ با بیشترین فشار کاری به مدت ۱۵ دقیقه کار کند. پس از بسته‌شدن کامل درپوش‌ها و اتصالات، مخزن در دمای محیط قرار گیرد و همهٔ اتصالات بررسی شود. در هیچ قسمتی نباید نشتی وجود داشته باشد.

۳-۷-۲ دبی پمپ و افشانک‌ها

دبی تمام افشانک‌ها و پمپ جداگانه اندازه‌گیری شود. افشانک‌ها از چپ به راست در جهت پرواز شماره‌گذاری شوند. زیر هر یک از افشانک‌ها یک ظرف مدرّج با گنجایش حداقل یک لیتر قرار گیرد و به مدت یک دقیقه دبی افشانک‌ها اندازه‌گیری شود (صفری و باقری، ۱۴۰۰). برای پهپادهایی که مقدار دبی خروجی قابل تغییر است، دبی در دورهای ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد خروجی اندازه‌گیری شود.

برای اندازه‌گیری دبی پمپ، لولهٔ خروجی پمپ در ظرف مدرج حداقل ۵ لیتری قرار داده شود و مقدار خروجی در یک دقیقه ثبت شود. سپس میانگین دبی افشانک‌ها و درصد انحراف دبی هر افشانک از دبی میانگین به‌دست آید.

بیشترین اختلاف بین دبی میانگین با دبی تک تک افشانک‌ها ۵± درصد باشد (استاندارد ملّی ایران به شمارهٔ ۵۸۹۱؛ استاندارد ایزو شمارهٔ ۲–۵۶۸۲، ۲۰۱۷). در غیر این صورت، پاشش یکنواخت نیست و نمی‌توان فرآیند ارزیابی را ادامه داد. دبی پمپ نیز باید حداقل ۲۰ درصد بیش از مجموع دبی افشانک‌ها باشد (گریزنو[1] و همکاران، ۲۰۲۰).

1. Grisso

۳-۷-۳ عرض کار مؤثر

عرض کار مؤثر، بیشترین عرض عملیاتی است که در آن توزیع پاشش در محدودهٔ یکنواخت قرار دارد. این عرض از روی نقشهٔ پاشش و نمودار توزیع تعیین می‌شود. با توجه به اینکه ارتفاع پرواز و نوع افشانک بر عرض کار تأثیر می‌گذارد، بنابراین عرض کار باید در دامنهٔ پروازی استاندارد و برای همان نوع افشانک توصیه شود. برای اندازه‌گیری عرض کار مؤثر، جمع‌کننده‌ها در فاصله‌های ۰/۵ متر و عمود بر جهت حرکت پهپادسمپاش روی زمین صاف قرار داده می‌شوند. تعداد جمع‌کننده‌ها حداقل دو برابر مقدار عرض کار اسمی باشد (استاندارد ایزو شمارهٔ ۲-۵۶۸۲، ۲۰۱۷). فاصلهٔ مرکز به مرکز بین دو نقطه‌ای که جمع‌کننده‌ها در آن‌ها رسوب برابر با نصف حداکثر رسوب را دارند، عرض کار مؤثر در نظر گرفته می‌شود (بوند[1] و همکاران، ۲۰۲۳).

۳-۷-٤ مقدار محلول مصرفی

اندازه‌گیری مقدار محلول توزیع شده در هکتار، از رابطهٔ (۱) به‌دست می‌آید (گومز[2] و همکاران، ۲۰۲۲):

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

که در آن:

V: سرعت پیشروی (متر در ثانیه)،

q: دبی افشانک (لیتر در دقیقه)،

N: تعداد افشانک‌ها،

Q: مقدار محلول (لیتر درهکتار)، و

W: عرض کار مؤثر (متر) است.

1. Bond
2. Goomes

۳-۷-۵ ویژگی‌های فیزیکی قطره‌ها

این آزمایش‌ها در دو سرعت پیشروی ۳ و ۶ متر در ثانیه و ارتفاع‌های پروازی ۱، ۲ و ۳ متر و در صورت قابلیت تغییر دبی، در سه سطح ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد خروجی انجام می‌شود. پارامترهای زیر باید اندازه‌گیری شود:

- قطر کوچکترین و بزرگترین قطره.
- تراکم قطره[1] (تعداد قطره در یک سانتی‌متر مربع).
- پوشش سطح (درصد).
- قطرهای میانهٔ حجمی[2] برابر است با قطر قطره‌ای که ۵۰ درصد از قطره‌ها حجم کمتر از آن و ۵۰ درصد از قطره‌ها حجم بیشتر از آن دارند. قطر میانهٔ حجمی برای علف کش: ۲۵۰–۳۵۰ میکرومتر، برای حشره‌کش ۲۵۰–۱۵۰ میکرومتر، و برای قارچ‌کش ۳۰۰–۲۰۰ میکرومتر باشد (استاندارد ایزو شمارهٔ ۲–۵۶۸۲، ۲۰۱۷).
- قطرهای میانهٔ عددی[3] برابر است با قطر قطره‌ای که ۵۰ درصد از تعداد کل قطره‌ها کوچک‌تر و ۵۰ درصد از تعداد قطره‌ها، بزرگ‌تر از آن هستند.
- دامنهٔ اندازه قطره‌ها. ضریب تغییرات این پارامتر باید حداکثر ۲۵ درصد باشد (مارتین[4] و همکاران، ۲۰۱۹).
- ضریب کیفیت سمپاشی (از تقسیم قطر میانهٔ حجمی بر قطر میانهٔ عددی به‌دست می‌آید) (ژوا[5] و همکاران، ۲۰۱۱). این ضریب هرچه به عدد یک، نزدیک‌تر باشد کیفیت سمپاشی بیشتر است.
- یکنواختی پاشش[6]: شاخص اندازه‌گیری پراکندگی قطره‌هاست که از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

1. Droplet Density
2. Volume Median Diameter
3. Number Median Diameter
4. Martin
5. Zhua
6. Relative Span

$$RS = \frac{D_{90} - D_{10}}{D_{50}} \quad (۲)$$

که در آن:

RS یکنواختی پاشش و D_{10}، D_{50} و D_{90} قطر قطره‌ای است که به‌ترتیب ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد حجم محلول پاشیده شده را تشکیل می‌دهد.

برای ارزیابی توزیع پاشش درختان، چیدمان جمع‌کننده‌ها باید به گونه‌ای باشد که تمام تاج درخت و سطح زمین زیر آن پوشش داده شود. برای چیدمان عمودی، جمع‌کننده‌ها باید در ارتفاع‌های مختلف تاج درخت قرار گیرند. معمولاً سه تا پنج سطح ارتفاعی در پایین تاج (نزدیک به شاخه‌های پایینی)، وسط و بالای تاج (نزدیک به قله یا انتهای شاخه‌ها) توصیه می‌شود. فاصلهٔ بین سطوح بسته به ارتفاع درخت، معمولاً ۲۰ تا ۵۰ سانتی‌متر بین هر سطح توصیه می‌شود. در چیدمان افقی، جمع‌کننده‌ها در چند نقطه دور تا دور تاج قرار گیرند تا توزیع شعاعی پاشش ثبت شود. معمولاً چهار تا هشت نقطه در دور تاج انتخاب می‌شود (مثلاً هر ۴۵ یا ۹۰ درجه یک جمع‌کننده – روی شعاع دایرهٔ فرضی). سطح زمین زیر تاج درخت با جمع‌کننده‌ها پوشش داده می‌شود تا مقدار پاشش که روی زمین می‌افتد اندازه‌گیری شود (استاندارد ایزو شمارهٔ ۲۲۵۲۲، ۲۰۰۷).

۳-۷-٦ بادبردگی قطره‌ها

بادبردگی یا رانش قطره‌ها به جابه‌جایی ناخواستهٔ قطره‌های محلول از محدودهٔ هدف به خارج از ناحیهٔ پاشش گفته می‌شود که تحت تأثیر باد، ارتفاع، اندازه قطره و سرعت پهپاد قرار می‌گیرند.

هدف از اندازه‌گیری بادبردگی، ارزیابی پراکندگی قطره‌های خارج از عرض مؤثر پاشش، اثر بادبردگی روی محیط اطراف، تعیین بیشترین طول بادبردگی قطره‌ها و بررسی تأثیر شرایط محیطی (سرعت باد، دما، رطوبت نسبی) بر عملکرد سمپاشی است.

این آزمایش در دو سرعت پیشروی ۳ و ۶ متر در ثانیه و ارتفاع‌های پروازی ۱، ۲ و ۳ متر و در صورت تغییر دبی برای سه سطح ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد اجرا می‌شود. چیدمان عرضی جمع‌کننده‌ها به این صورت است که جمع‌کننده‌ها در جهت عمود بر حرکت پهپادسمپاش و خارج از عرض مؤثر پاشش قرار داده می‌شوند. فاصلهٔ بین آن‌ها بسته به

ارتفاع و سرعت پرواز ۰/۵ یا یک متر است. چیدمان طولی به این صورت است که در فاصله‌های ده متری، جمع‌کننده‌ها با همان چیدمان عرضی دوباره چیده می‌شوند. تعیین مقدار بادبردگی در روش‌های مختلف به شرح زیر است:

– در صورت استفاده از جمع‌کننده‌های سطحی، اگر تراکم قطره‌ها بیش از یک قطره در هر سانتی‌متر مربع باشد، آن جمع‌کننده نشان‌دهندهٔ وجود بادبردگی قابل‌تشخیص است.

– در صورت استفاده از روش نوری، اگر پوشش بیش از ۰/۱ درصد باشد، جمع‌کننده دارای بادبردگی قابل تشخیص است.

– در روش تحلیل شیمیایی، مقدار رسوب اگر بیش از ۰/۰۰۱ میکرولیتر در سانتی‌متر مربع باشد، بادبردگی به‌حساب می‌آید (استاندارد ایزو شمارهٔ ۲۵۳۸۵، ۲۰۰۸).

۳-۷-۷ بازدهٔ مزرعه‌ای

این آزمایش‌ها در دو سرعت پیشروی ۳ و ۶ متر در ثانیه و ارتفاع‌های پروازی ۱، ۲ و ۳ متر و در صورت تغییر دبی برای سه سطح ۴۰ درصد، ۷۰ درصد و ۱۰۰ خروجی اجرا می‌شوند.

بازده مزرعه‌ای سمپاش از نسبت ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای به ظرفیت تئوری طبق رابطه (۳) و ظرفیت مزرعه‌ای تئوری از رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$E=\frac{C_e}{C_t}*100 \qquad (۳)$$

که در آن:

E: بازده مزرعه‌ای (٪)،

C_e: ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (هکتار در ساعت)، و

C_t: ظرفیت مزرعه‌ای تئوری (هکتار در ساعت) است.

$$C_t=\frac{V*W}{10} \qquad (۴)$$

که در آن:

V: سرعت پیشروی (کیلومتر در ساعت)،

W: عرض کار (متر)، و

C_t: ظرفیت تئوری (هکتار در ساعت) است.

۳-۸ مداومت پروازی

هدف از ارزیابی مداومت پروازی به‌شرح زیر است:

- ارزیابی توان پروازی پهپادسمپاش در شرایط عملیاتی واقعی با مخزن پر و خالی.
- اطمینان از پرواز پهپاد در مسیر تعیین‌شده بدون افت عملکرد یا توقف ناخواسته.
- تعیین تأثیر شرایط محیطی (باد، دما، رطوبت‌نسبی) بر مداومت پروازی.

مداومت پروازی پهپادسمپاش طبق شرایط سرعت و ارتفاع پرواز گفته‌شده در بخش‌های قبلی، در دو حالت مخزن خالی و مخزن پر از آب، اندازه‌گیری می‌شود. پرواز باید روی مسیری مستقیم و در حالت خلبان خودکار باشد. زمان بر حسب دقیقه و ثانیه با استفاده از کرونومتر ثبت شود. سرعت باد سه بار اندازه‌گیری و ثبت شود. سرعت باد سه بار، پیش و پس از آزمایش و وسط آزمایش اندازه‌گیری و ثبت شود. حداقل زمان مداومت پروازی مورد قبول با مخزن پر، ۱۵ دقیقه است.

۳-۹ ایمنی پهپادسمپاش

در خصوص ایمنی پهپادسمپاش‌ها رعایت نکته‌های زیر لازم است:

- وجود برچسب نشانه‌های هشداردهنده شامل: هشدار ملخ در حال چرخش، خطر الکتریکی (شوک، جرقه، اتصال کوتاه و...)، خطر تماس با مواد سمّی، خطر آتش‌سوزی (استاندارد ایزو شمارهٔ ۱-۵۶۸۲، ۲۰۱۷).
- چراغ‌های هشدار مانند چراغ هشدار برای موتورها.
- وجود صافی پمپ و مخزن برای جلوگیری از ورود ذرات جامد و مواد زائد.
- اطمینان از نبود نشتی در بخش‌های مختلف پیش از سمپاشی.
- داشتن چکه‌گیر به‌منظور قطع کردن کامل جریان پاشش افشانک‌ها پس از توقف پاشش.
- داشتن قابلیت پرواز دستی خودکار، برگشت به خانه، فرود اضطراری و اعلام هشدار در صورت بروز نقص یا حادثه.

۳-۱۰ ارگونومی و تعمیر و نگهداری

در ارزیابی پهپادسمپاش از نظر ارگونومی و قابلیت‌های تعمیر و نگهداری باید موارد زیر بررسی شود:

– در دسترس بودن اجزا و قطعاتی که نیاز به تنظیم مداوم دارند.

– یکپارچه نبودن بدنه (ماژولار بودن) برای انعطاف پذیری بیشتر و قابلیت تعویض راحت‌تر قطعهٔ آسیب‌دیده و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری.

– دسترسی راحت به قطعات برای سرویس‌های دوره‌ای.

– خالی‌کردن و تمیزکردن راحت مخزن.

٤- فهرست منابع

استاندارد ملّی ایران به شمارهٔ ۵۸۹۱. تجهیزات حفظ نباتات. محلول پاش‌ها. حجم اسمی مخزن و قطر دهانه آن. چاپ اول، ۱۳۸۵. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

استاندارد ملّی ایران به شمارهٔ ۱-۱۰۳۴۶. ماشین‌های کشاورزی. سمپاش‌های پشتی: ایمنی و الزامات زیست‌محیطی. تجدیدنظر اول، ۱۳۹۳. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

باقری، ن، صفری، م. ۱۳۹۹. شناخت پهپادسمپاش. مؤسسه تحقیقات فنّی و مهندسی کشاورزی. نشریه فنّی.

باقری، ن. صفری، م. شیخی گرجان، ع. ۱۴۰۳. ارزیابی عملکرد پهپادسمپاش در کنترل آفت شته کلزا. ماشین های کشاورزی. جلد ۱۴، شماره ۲. ص۱۳۵-۱۴۶.

صفری، م. باقری، ن. ۱۴۰۰. معیارهای فنّی ارزیابی پهپادسمپاش. مؤسسه تحقیقات فنّی و مهندسی کشاورزی. دستورالعمل فنّی.

شیخی‌گرجان، ع. ۱۳۹۷. ارزیابی پهپادسمپاش در کنترل شیمیایی پوره سن گندم. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، شماره ثبت: ۵۵۸۷۲.

صفری، م. باقری، ن. شیخی گرجان، ع. و ظریف نشاط، س. ۱۴۰۱. ارزیابی و مقایسه پهپاد سمپاش برای کنترل آفت توتا در محصول گوجه فرنگی. تحقیقات سامانه ها و مکانیزاسیون کشاورزی، (۸۴)۲۳، ۱۶-۱.

ظریف نشاط، سعید، سعیدی راد، محمد حسین، ناصری، مجتبی، مظهری، محمد و باقرانی ترشیز، ناصـر.۱۴۰۰. ارزیابی فنی و اقتصـادی پهپاد سـمپاش برای مبارزه با علف های هرز گندم و مقایسه آن با روش‌های مرسوم.

Abd Kharim, M.N.A., Wayayok, A., Sharif, A.R.M., Abdullah, A.F., Husain, E.M. 2019. Droplet deposition density of organic liquid fertilizer at low altitude unmanned aerial vehicle (UAV) aerial spraying in rice cultivation. Computers and Electronics in Agriculture 167 (105045).

Anonymous, 2024. Recommendations for Conducting UAV Field Drift Trials. Proposed Field Study Protocol Guidance (Sept 2024). Available at: https://uapastf.com/wp-content/uploads/2024/09/UAV-Spray-Drift-Field-Trial-Recommendations-1.1-for-UAPASTF-Website-Posting-Sept-2024.pdf.

Bonds, J.A.S. Fritz, B., Thistle, H. 2023. Calculation of swath width displacement for Uncrewed Aerial Spray Systems. Journal of the ASABE 66(3); 523-532.

Grisso, R. 2020. Plumbing Systems of Agricultural Sprayers. Virginia Cooperative Extension, Retrieved from https://vtpp.ento.vt.edu/content/dam/vtpp_ento_vt_edu/publications/Plumbing%20Systems%20of%20Agricultural%20Sprayers.pdf

Coombes, M., Newton, S., Knowles, J., Garmory, A. 2022.

The influence of rotor downwash on spray distribution under a quadrotor unmanned aerial system. Computers and Electronics in Agriculture 196. 106807.

ISO 23117-1, 2023. Agricultural and forestry machinery. Unmanned aerial spraying systems. Part 1: Environmental requirements. First Edition.

ISO 23117-2, 2025. Agricultural and forestry machinery. Unmanned aerial spraying systems. Part 2: Test methods to assess the horizontal transverse spray distribution. First Edition.

ISO 25358, 2018. Spray deposition assessment.

ISO 5682-1, 2017. Equipment for crop protection — Spraying equipment — Part 1: Test.

ISO 5682-2, 2017. Equipment for crop protection — Spraying equipment — Part 2: Test methods to assess the horizontal transverse distribution for hydraulic sprayers.

ISO 22522, 2007. Crop protection equipment — Field measurement of spray distribution in tree and bush crops.

Jadhav, V., Bhosale, S. 2022. Battery Management System for Drones. International Journal of Electrical Electronics and Data Communication. 29: 1-6.

Martin, D.E., Wayne, E.W., Mohamed, A.L., 2019. Effect of application height and ground speed on spray pattern and droplet spectra from remotely piloted aerial application systems. Drones 3, 4–83. https://doi.org/10.3390/drones3040083.

Perriot, B., Pasquier, D., Hudebine, Y. Verpont, F., Vergès, A., Codis, S., Douzals, J., Bedos, C., Grimbuhler, S. Sellam, M., Naud, O. 2024. Spray drift in field crops: A dataset to analyse the influence of air induction nozzles, hedges, and their combination on the reduction of sedimentary drift, aerial drift and exposure of bystanders, 5. https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110366.

Paul, R.A.I., Arthanari, P.M., Pazhanivelan, S., Kavitha, R., Djanaguiraman, M. 2023. Drone-based herbicide application for energy saving, higher weed control and economics in direct-seeded rice (Oryza sativa). Indian J. Agr Sci. 93, 704–709.doi: 10.56093/ijas.v93i7.137859.

Paul, R.A.I., Arthanari, P.M., Pazhanivelan, S., Kavitha, R., Djanaguiraman, M. 2024. UAV-based herbicide application for efficient weed management in directseeded rice. Agr Sci. Dig. 44, 295–300. doi: 10.18805/ag.D-5826.

Prasad, A., Dhalin, D., Khatawkar. D.S. 2024. Sampling, quantification and mathematical modeling in agricultural spray drift: A review. Environment Conservation Journal, 25(3). https://europub.co.uk/articles/-A-745696.

Wang, C. Zeng, A., He, X., Song, J., Andreas, H., Gao, W. 2023. Optical and imaging-based evaluation of UAV spray drift. Biosystems Engineering, 226: 87–103.

Zhua, H., Salyanib, M Fox, R. 2011. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. Computers and Electronics in Agriculture. 76: 38–43.