

چالش‌ها و راهکارهای کاربرد پهپادها در سمپاشی کشاورزی ایران

حسین پارسا^{۱*}، احمد حیدری^۲

۱- کارشناس، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۲- دانشیار، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: parsal976@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۲

چکیده

پهپادها دیگر فقط ابزارهای نظامی یا فیلم‌برداری نیستند؛ آن‌ها به یاران وفادار کشاورزان تبدیل شده‌اند. با ورود این فناوری به دنیای کشاورزی، مزایایی چون کاهش مصرف سموم، صرفه‌جویی در زمان، افزایش بهره‌وری و کمک به محیط زیست فراهم شده است. پهپادها به عنوان یکی از فناوری‌های نوین در کشاورزی دقیق، تحول چشمگیری در سمپاشی مزارع و باغات ایجاد کرده‌اند. این مقاله به بررسی مطالعه داخلی و بین‌المللی نشان می‌دهد که سمپاشی پهپادی در ایران می‌تواند تا ۶۰٪ مصرف سم را کاهش داده و در مواردی تا ۹۰٪ پوشش بهتری نسبت به روش‌های سنتی داشته باشد. مهم‌ترین چالش‌های کاربرد پهپادها، شامل محدودیت‌های قانونی کاربرد، هزینه بالای خرید و نیاز به آموزش است. راهکارهای پیشنهادی برای تسهیل بکارگیری پهپادها، شامل توسعه تعاونی‌های پهپادی، تدوین استانداردهای ملی و ادغام با سامانه‌های هوشمند کشاورزی می‌باشد. پهپادها به عنوان یکی از ارکان اصلی کشاورزی دقیق در سال‌های اخیر مطرح شده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که سیستم‌های پهپاد-محور در حوزه‌های پایش محصولات، مدیریت آفات و بیماری‌ها، بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها، ارزیابی تنش‌های محیطی و پیش‌بینی عملکرد، تحولی اساسی ایجاد کرده‌اند. با استفاده از ترکیب سنسورهای پیشرفته و الگوریتم‌های پردازش تصویر، دقت عملیات کشاورزی تا ۶۰٪ افزایش یافته است. این مقاله همچنین چالش‌های فنی، اقتصادی و قانونی این فناوری را مورد بحث قرار داده و راهکارهای عملیاتی برای غلبه بر این موانع ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پهپاد کشاورزی، سمپاشی هوایی، کشاورزی دقیق، فناوری‌های نوین کشاورزی

بیان مساله

تصور کنید کشاورزی که با تلفن همراه، از بالا بر زمین خود نظارت می‌کند. آفات را شناسایی می‌کند و حتی عملیات سم‌پاشی را از راه دور انجام می‌دهد. این آینده نیست، اکنون است و پهپادها این تحولات را ممکن کرده‌اند. با افزایش جمعیت و نیاز به تولید غذای بیشتر، استفاده از فناوری‌های پیشرفته در کشاورزی ضروری است. سمپاشی با پهپاد به عنوان یکی از روش‌های کشاورزی دقیق، در سال‌های اخیر در ایران رشد چشمگیری داشته است. بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی (۱۴۰۲)، استفاده از پهپادهای سمپاش در ایران نسبت به ۱۴۰۰ رشد ۳۰۰ درصدی داشته است. سمپاشی هوایی با پهپادها^۱ به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین روش‌های کشاورزی دقیق در سال‌های اخیر مطرح شده است. بر اساس گزارش فائو (۲۰۲۴)، استفاده از پهپادهای سمپاش تا سال ۲۰۲۴ نسبت به ۲۰۲۰ رشد ۴۰۰٪ داشته است. این فناوری با کاهش ۵۰-۷۰٪ مصرف سموم و افزایش ۹۰٪ دقت پوشش، تحولی در مدیریت آفات ایجاد کرده است (ون لی و همکاران، ۲۰۲۵). کشاورزی هوشمند در عصر حاضر با چالش‌های متعددی از جمله تغییرات اقلیمی، محدودیت منابع آبی و نیاز به افزایش بهره‌وری مواجه است. در این میان، پهپادها به عنوان یکی از مؤثرترین راهکارهای فناورانه مطرح شده‌اند (ماریتان و همکاران، ۲۰۲۵). بر اساس آمار سازمان فائو (۲۰۲۴)، استفاده از پهپادها در کشاورزی تا سال ۲۰۲۴ رشد ۳۵ درصدی داشته است.

انواع پهپادها

پهپادها را می‌توان از جنبه‌های مختلف دسته‌بندی کرد:

- **بر اساس بال :** بال ثابت که شبیه هواپیما می‌باشد (مناسب برای پروازهای طولانی و نقشه برداری)، **چند ملخه** و رایج‌ترین نوع برای کاربردهای تجاری و کشاورزی، **بالگردی** و شبیه هلیکوپتر که قدرت حمل بار بالایی دارد و **هیبریدی** که ترکیبی از بال ثابت و عمود پرواز و مناسب برای عملیات‌های پیچیده طراحی شده است.
- **بر اساس کاربرد :** **نظامی** که در عملیات‌های شناسایی، حمله، جاسوسی مورد استفاده قرار می‌گیرد، **تجاری** که جهت فیلم برداری و حمل کالا کاربرد دارد، **پهپادهای کشاورزی** که جهت عملیات‌های سمپاشی، بذرپاشی، پایش محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرد و **پهپادهای تحقیقاتی** که کاربرد آن در حوزه‌ی محیط زیست و هواشناسی می‌باشد.
- **بر اساس اندازه :** **میکرو پهپاد** که بسیار کوچک و بیشتر جنبه تحقیقاتی داشته و برای عملیات‌های خاص کاربرد دارد. نوع دیگر **مینی پهپاد** بوده که سبک و قابل حمل و مناسب عملیات کشاورزی و فیلم برداری می‌باشد. **پهپادهای سنگین** با قابلیت حمل بار بالا، بیشتر در صنایع نظامی یا کشاورزی صنعتی استفاده می‌گردد.

کاربردهای پهپادها در کشاورزی

به طور کلی پهپادها با توجه به سنسورهایی که بر روی آنها نصب می‌گردند، کارآیی متفاوتی پیدا می‌کنند.

^۱ . Unmanned aerial vehicle spraying

پایش و ارزیابی محصولات^۲، پهپادها امروزه کاربرد گسترده‌ای در تشخیص زود هنگام تنش‌های غذایی با استفاده از سنسورهای خاص، شمارش دقیق میوه‌ها و پیش بینی عملکرد با استفاده از الگوریتم یادگیری عمیق و پایش رشد محصول با دقت یک سانتی متر دارند.

مدیریت تلفیقی آفات و بیماری‌ها (IPM)، تشخیص بیماری‌های قارچی با استفاده از تصویربرداری حرارتی و فلورسنس و نانوحسگرهای زیستی برای شناسایی پاتوژن‌های هوازداد و سیستم‌های سمپاشی متغیر (VRA) با دقت ۹۵٪ در کاهش مصرف سموم، عملکرد خیره کننده‌ای دارند.

مصرف بهینه نهاده‌ها چالشی بزرگ در کشاورزی می‌باشد که با کمک پهپادها می‌توان انقلابی بزرگ در این زمینه ایجاد کرد. مواردی مانند نقشه برداری از نیتروژن برگ (NDVI) برای کوددهی دقیق، سیستم‌های آبیاری هوشمند مبتنی بر داده‌های رطوبت سنجی و کاشت دقیق بذر با دقت ± 2 سانتی متر نمونه‌هایی از این کاربرد هستند.

ارزیابی تنش‌های محیطی از دیگر کاربردهای این سیستم می‌باشد که پایش تنش آبی با استفاده از شاخص‌های چند طیفی و حرارتی، تشخیص شوری خاک از طریق تصویربرداری چند طیفی و ارزیابی خسارت سرمازدگی با لیزر اسکنرهای سه بعدی را شامل می‌شود. یکپارچه سازی با سیستم های کشاورزی هوشمند از جمله اموری می باشد که زیر ساخت آن در زمین‌هایی که در آن ایجاد شده باشد، امری قابل توجه است.

نتایج برخی از مطالعات انجام شده در خصوص پهپادها در ایران

در ایران تحقیقات مختلفی به منظور ارزیابی کارآئی پهپادها برای سمپاشی علیه آفات انجام گرفته که به مواردی از آنها اشاره می‌شود. حیدری و همکاران (۱۴۰۳) در تحقیقی سمپاش‌های مختلف را از نظر کارآئی، میزان آب مصرفی و راندمان سمپاشی روزانه برای کنترل شب پره شمشاد در جنگل‌های هیرکانی مورد ارزیابی قرار دادند. چالش اصلی کنترل آفت شب پره شمشاد در جنگل‌ها، عدم دسترسی به آفت به دلیل ارتفاع بالا می‌باشد، نتایج نشان داد در مناطق با ارتفاع بالا و دور از دسترس (کوهستان‌ها)، می‌توان از سمپاشی با پهپاد با کارآئی بالای ۸۷ درصد با میزان آب مصرفی معادل ۴۲ لیتر/هکتار با راندمان روزانه ۲۵ هکتار استفاده نمود. صفری و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیقی کارآئی پهپاد را در مقایسه با سمپاش‌های رایج جهت کنترل آفت توتا در محصول گوجه فرنگی از زوایای مختلف (میزان مصرف محلول سم، بادبردگی، کارآئی و اقتصادی) مقایسه کردند و استفاده از پهپاد را (به رغم اثربخشی پایین‌تر) برای مبارزه با آفت توتا توصیه کردند. باقری و همکاران (۱۴۰۳) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی عملکرد پهپاد سمپاش در کنترل شته کلزا بیان نمودند که استفاده از پهپاد سمپاش با توجه به کاهش مقدار محلول، انرژی مصرفی، افزایش بازده مزرعه‌ای، کیفیت پاشش و کارآئی، گزینه‌ای مناسب جهت کنترل جمعیت شته کلزا می‌باشد. همچنین نوروزیه و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی کیفیت پاشش پهپاد سمپاش در مقایسه با سمپاش‌های رایج در مزرعه پنبه علیه کرم غوزه را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق تیمارهای اصلی آزمایش شامل نوع سمپاش در سه سطح (سمپاش بوم دار پشت تراکتوری، سمپاش لانس دار پشت تراکتوری و پهپاد سمپاش) بود. نتایج نشان داد سمپاش بوم‌دار به لحاظ کیفیت پاشش وضعیت بهتری دارد اما به لحاظ سرعت

² . Crop monitoring

سمپاشی و مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب، سمپاش پهباد و از نظر تعداد کل قطرات سم در تمام سطوح پوشش گیاهی تمامی تیمارها در یک سطح بودند. ایشان تاکید کردند در صورتیکه آفت در زمان طغیان نباشد و زمان کافی جهت عملیات سمپاشی محیا باشد، سمپاش بومدار با توجه به شاخص کیفیت پاشش، بهترین گزینه است البته به شرطی که ارتفاع بوته سبب خسارت زیاد به غوزه و محصول نشود. اگر طغیان آفت در زمانی باشد که به دلیل بارندگی یا پس از آبیاری یا به دلیل ارتفاع زیاد محصول امکان تردد در مزرعه نباشد بهترین و سریع‌ترین روش پهباد سمپاش است. در صورت نبود پهباد سمپاش در این شرایط تنها گزینه، سمپاش لانس‌دار است که کمترین راندمان سمپاشی را دارد. شیخی و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیقی مشابه کارآئی پهباد سمپاش در کنترل شیمیایی پوره سن گندم را مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج استخراج شده از این مقاله حاکی از کنترل کنندگی یکسان سن گندم توسط تمامی تیمارها ولی از جنبه مقدار حشره کش مصرفی، مقدار محلول مصرفی درهکتار، بادبردگی و احتمال آلودگی کاربر برتری سمپاشی با پهباد محرز می‌باشد. در خصوص کنترل علف‌های هرز و بیماری زنگ زرد مزارع گندم، صفائی نژاد و همکاران (۱۴۰۴) شاخص‌های عملکرد، نشست سم، شاخص برداشت و هزینه‌ها را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه اینکه پهبادها با وجود هزینه اولیه بیشتر، سودآوری و کارآئی بالاتری نسبت به سم پاش‌های رایج دارند. البته در خصوص علف‌کش‌ها نظرات متفاوتی وجود دارد. کشتکار و همکاران (۱۴۰۲) عنوان می‌دارند که قطرات ریز ایجاد شده بوسیله پهبادهای سمپاش نمی‌تواند گزینه‌ی مناسبی جهت کنترل علف‌های هرز باشد. در تحقیقی ظریف نشاط و همکاران (۱۴۰۲) سمپاشی بوسیله پهباد و روش‌های مرسوم جهت مبارزه با علف‌های هرز گندم را مورد بررسی قرار دادند و بین تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نکته قابل تامل اینکه در اکثر مقالات بالا میزان لهیدگی محصول مورد ارزیابی قرار نگرفته است و این عدد حداقل ۱۰ درصد اندازه‌گیری شده است (صفری، ۱۳۸۷).

مزایای کلیدی سمپاشی با پهباد

کاهش مصرف سم تا ۷۰٪ نسبت به روش‌های سنتی، نرخ پوشش ۹۵٪ در مقایسه با ۶۰٪ سمپاش‌های پشت تراکتوری، سرعت عملیات بالاتر به میزان ۱۰ برابر، دسترسی به مناطق دشوار شامل مزارع شیب‌دار و شالیزارها، ایمنی بیشتر برای کشاورزان، صرفه‌جویی در منابع انسانی، مالی و زیست محیطی و کاهش تلفات محصول ناشی از آفات یا آبیاری نامناسب از مزایای خاص سمپاشی با پهبادها می‌باشد.

جدول ۱: چالش‌ها و راهکارهای استفاده از پهبادهای

چالش‌های فنی : - محدودیت پرواز در بادهای شدید (حداکثر ۸ متر بر ثانیه) - ظرفیت محدود مخازن سم (۱۰-۳۰ لیتر) - محدودیت‌های سخت افزاری در مدل‌های بومی	راهکار : - استفاده از پهبادهای هیبریدی برای افزایش زمان پرواز - توسعه نازل‌های ضد رانش برای کاهش اتلاف سم - تنظیم سنسورها بین ۱/۵ تا ۳ متر از سطح محصول جهت پوشش بهینه - تنظیم دبی سمپاش معمولاً بین ۱/۵ تا ۳ لیتر در هکتار (با توجه به توصیه کارشناسان) - تنظیم فاصله نازل‌ها بین ۵۰ تا ۷۰ سانتیمتر برای پوشش یکنواخت - پاشش در ساعت‌های آرام روز (صبح زود یا غروب) - استفاده از ادجوانت‌های (مواد چسبنده) مناسب برای کاهش تبخیر سم
موانع اقتصادی: - هزینه بالای خرید پهباد (از ۵۰۰ میلیون تومان به بالا برای مدل‌های حرفه‌ای) - نبود مدل‌های اجاره‌ای	راهکار : - تشکیل تعاونی‌های پهبادی برای کاهش هزینه‌ها - ارائه تسهیلات بانکی برای خرید پهباد توسط کشاورزان - سمپاشی گروهی چند مزرعه برای بهینه‌سازی زمان و هزینه - حمایت از شرکت‌های دانش بنیان داخلی
مشکلات قانونی: - فرآیند طولانی اخذ مجوز از سازمان هواپیمایی کشوری - ممنوعیت پرواز در نزدیکی مناطق نظامی - نبود قوانین جامع پروازی و بیمه‌ای در برخی استان‌ها	راهکار : - تدوین استاندارد ملی سمپاشی پهبادی - ایجاد سامانه یکپارچه صدور مجوز در وزارت جهاد کشاورزی

نازل‌های مورد استفاده در سمپاشی با پهباد

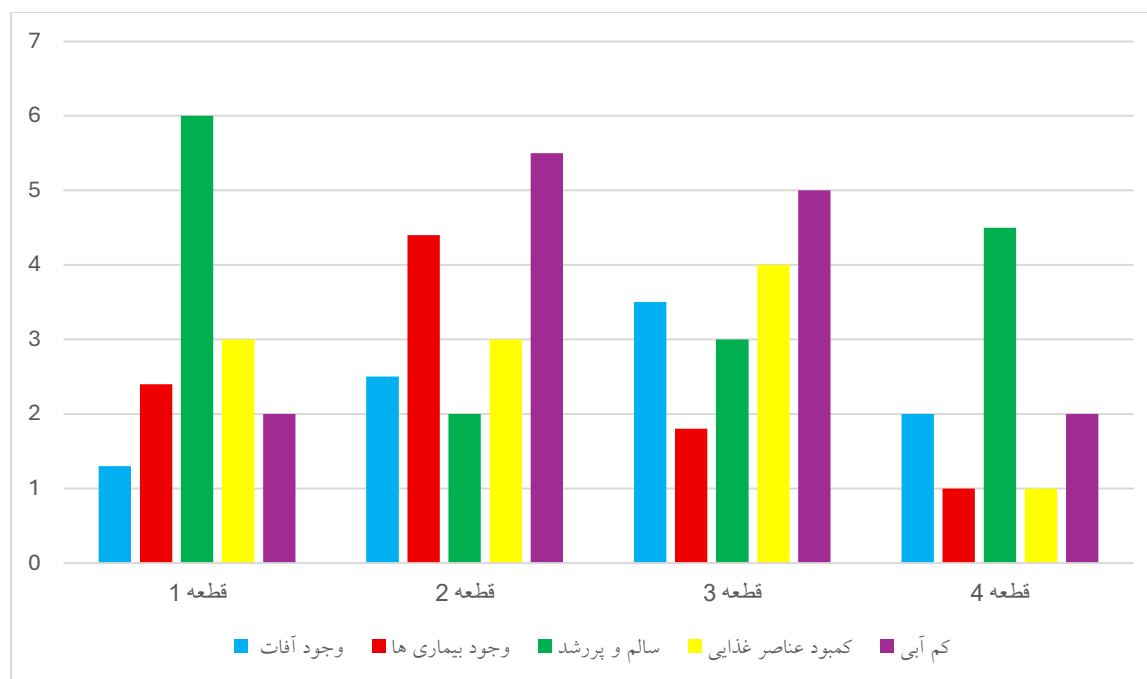
نازل‌ها یکی از اجزای بسیار حیاتی در تجهیزات سمپاشی هستند که نقش تعیین کننده‌ای در نحوه توزیع سم یا کود بر روی سطح گیاه یا زمین دارند. نازل یا افشانک قطعه‌ای است که در انتهای لانس یا بوم سمپاش قرار دارد و باعث تبدیل مایع به ذرات ریز (پاشش) با الگوی خاص می‌شود. این الگو و اندازه قطرات در کارایی سم‌پاشی بسیار مؤثر است.

جدول ۲: چند نمونه از نازل‌های مورد استفاده در پهباد

* پخش در الگوی دایره‌ای با مرکز خالی، ایجاد قطرات ریز تا متوسط (۵۰-۲۰۰ میکرون). * مناسب برای نفوذ عمیق به داخل کانوپی‌های متراکم، مانند باغات و درختان میوه؛ مخصوص کاربردهای قارچ‌کش و حشره‌کش. * احتمال پخش زیاد روی سطوح مجاور در باد بیشتر است.	 نازل مخروط توخالی
* پخش گسترده با الگوی بادبزنی و قطرات متوسط (۲۰۰-۴۰۰ میکرون). * مناسب برای علف‌کش‌ها و کشت‌های ردیفی (ذرت، سویا) با پوشش یکنواخت. * در شرایط شیب‌دار یا باد قوی باید پرواز آهسته انجام شود.	 نازل فن تخت
* قطرات درشت‌تر (۴۰۰-۶۰۰ میکرون) که با هوا ترکیب شده‌اند، باعث کاهش خطر پخش و تبخیر بیشتر می‌شود. * مناسب در شرایط باد و گرما یا مواد شیمیایی فرار. * مناسب علف‌کش و گونه‌هایی با برگ‌های ضخیم	 نازل القاء هوا کننده
* استفاده از نیروی گریز از مرکز برای ایجاد قطرات یکنواخت (۱۰۰-۵۰۰ میکرون). * مناسب برای کودها، با مقاومت بالا در برابر گرفتگی. * جریان کم فشار؛ برای پهپادهای با فشار پایین ایده آل است.	 نازل میکرونر
* دارای دو خروجی مجزا که پوشش گسترده‌تری ایجاد می‌کنند. * ساختار قابل اتصال سریع و قابلیت تنظیم اندازه جریان دارد؛ معمولاً در قاب‌هایی مانند EFT استفاده می‌شود	 نازل ۲ شاخه

سنسورهای مورد استفاده در پهپادهای کشاورزی

سنسورها ابزارهای هوشمندی هستند که برای پایش دقیق وضعیت مزارع و بهینه سازی فرآیندهای کشاورزی به کار می‌روند. این سنسورها با جمع‌آوری داده‌های محیطی و گیاهی، به کشاورزان کمک می‌کنند تا تصمیم‌گیری‌های بهتری در زمینه آبیاری، کوددهی، سم‌پاشی و برداشت محصول داشته باشند. فرض کنیم یک کشاورز در حال کشت گندم در زمینی به وسعت ۵۰ هکتار که به ۴ قطعه ۱۲/۵ هکتاری تقسیم کرده است. او برای بررسی سلامت گیاهان از پهپادی استفاده می‌کند که به سنسور NDVI مجهز است. این سنسور با تصویربرداری در طیف مادون قرمز و مرئی، نقشه‌ای از وضعیت پوشش گیاهی تهیه می‌کند. نتیجه تصویربرداری چنین نموداری را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمودار پایش شده وضعیت مزرعه بوسیله سنسورهای تعبیه شده در پهپاد

بخش‌هایی از مزرعه که رنگ سبز دارند، نشان دهنده گیاهان سالم و پررشد هستند و نواحی با رنگ قرمز، نشان دهنده وجود بیماری‌ها، رنگ زرد نمایانگر کمبود مواد مغذی و رنگ آبی نشانه آفات، رنگ بنفش بیان گر کم آبی می‌باشند. با استفاده از این نقشه، کشاورز فقط همان نواحی مشکل دار را آبیاری یا کوددهی یا سمپاشی می‌کند و این کار باعث صرفه‌جویی در منابع، کاهش هزینه‌ها و افزایش بازده محصول می‌شود و اگر پهپاد به سنسور حرارتی هم مجهز باشد، می‌توان دمای سطح گیاهان را اندازه‌گیری کرد و

نواحی دچار تنش گرمایی یا کم آبی را سریع تر شناسایی کرد. سنسورهای پیشرفته ترکیبی (چندطیفی + حرارتی) که تحلیل چندجانبه تری از وضعیت گیاه را ارائه می دهد.



شکل ۱: نحوه قرارگیری سنسورها بر روی پهپاد و چند سنسور مورد استفاده

توصیه ترویجی

- برگزاری دوره های عملی سمپاشی با پهپاد برای کشاورزان
- استفاده از پهپادهای نمایشی در نمایشگاه های کشاورزی
- تهیه محتوای ویدئویی از مزایای سمپاشی هوایی
- آموزش اپراتور ماهر و دارای مجوز پرواز
- تدوین چارچوب قانونی ملی برای به کارگیری پهپادها در کشاورزی
- توسعه مدل های بومی و کم هزینه پهپاد
- آموزش کشاورزان و اپراتورها در مراکز آموزش فنی حرفه ای
- حمایت مالی دولت و صندوق های نوآوری از شرکت های فعال در این حوزه

نتیجه گیری

بکارگیری پهپادهای سمپاش برای کنترل آفات دارای مزایای زیادی است که می تواند استفاده از آنها را توجیه کند. اما بکارگیری این تکنولوژی مانند هر ابزار دیگر نیازمند فراهم کردن امکانات و بسترهای لازم می باشد. قطعا چنانچه این کار در قالب شرکت های مرتبط به همراه آموزش های لازم باشد میتواند اثر بخشی این تکنولوژی را بیشتر و مخاطرات احتمالی را کاهش دهد.

فهرست منابع

- باقری، ن.، صفری، م. و شیخی گرجان ع. ۱۴۰۳. ارزیابی عملکرد پهپاد سمپاش در کنترل شته کلزا. دو فصلنامه ماشین های کشاورزی، دوره: ۱۴، شماره: ۲
- حیدری، ا.، معزی پور، م.، مرزبان، ر.، و پارسا ح. ۱۴۰۳. معرفی تکنیک مناسب سم پاشی برای کنترل شب پره شمشاد. مجله ترویجی آفت کش ها در علوم گیاه پزشکی. شماره اول، صفحه ۳۹-۴۶.
- شیخی، ع.، منصور قاضی، م.، زرنگار، ع.؛ صفری، م.، سیدین، پ.، معین، س.، و شاهرخی خانقاه ش. ۱۴۰۱. ارزیابی کارایی پهپاد سمپاش در کنترل شیمیایی پوره سن گندم. مجموعه مقالات بیست و چهارمین کنگره گیاه پزشکی کشور. شهر یور ۱۴۰۱. تهران.
- صفایی نژاد، م.، قاسمی نژاد، م.، و تاکی م. ۱۴۰۴. ارزیابی مزرعه ای و اقتصادی استفاده از پهپاد سم پاش در مقایسه با سم پاش بوم دار به منظور کنترل علف های هرز و بیماری زنگ زرد در مزارع گندم. نشریه ماشین های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. اردیبهشت ۱۴۰۴. مشهد.
- صفری، م. ۱۳۸۷. ارزیابی فنی سمپاش های رایج مورد استفاده در مزارع گندم و تعیین روش ها و ماشین های مناسب در مناطق مختلف کشور. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون.
- صفری، م.، باقری، ن.، شیخی گرجان، ع.، و ظریف نشاط، س. ۱۴۰۱. ارزیابی و مقایسه پهپاد سمپاش جهت کنترل آفت توتا در محصول گوجه فرنگی. نشریه تحقیقات مهندسی سامانه ها و مکانیزاسیون کشاورزی « دوره ۲۳، شماره ۸۴.
- ظریف نشاط، س.، سعیدی راد، م. ح.، صفری، م.، و ناصری م. ۱۴۰۲. ارزیابی فنی پهپاد سمپاش برای مبارزه با علف های هرز گندم و مقایسه ی آن با روش های مرسوم. فصلنامه تحقیقات سامانه ها و مکانیزاسیون کشاورزی، دوره: ۲۳، شماره: ۸۲
- کشتکار، ا.، ساسانفر، ح.، ر.، علیوردی، ا.، و زند ا. ۱۴۰۲. کاربرد سراسری علف کش ها از طریق پهپادها: بله یا خیر؟ مجموعه مقالات دهمین همایش ملی علوم علف های هرز ایران ۵ و ۶ شهریور ۱۴۰۲ - همدان.
- نوروزیه، ش.، رضائی اصل، ع.، جوکار، م.، و شفیع پور ا. م. ۱۴۰۱. ارزیابی کیفیت پاشش پهپاد سمپاش در مقایسه با سمپاش های رایج در مزرعه پنبه. فصلنامه تحقیقات پژوهش های پنبه ایران، دوره: ۱۰، شماره ۱.

Anonymus, 2024. "Agricultural Drones Market Forecast 2027." Market Research Report, 1-120.

Li, W., Luo, Y., Jiang, P., Dong, X., Tang, K., Liang, Z. and Shi, Y. 2025. A sustainable crop protection through integrated technologies: UAV-based detection, real-time

Maritan, E., Anastasiou, E., Psiroukis, V., Lowenberg-DeBoer, J., Fountas, S. and K., Behrendt. 2025. Smart Agricultural Technology (Elsevier), Volume 10, Article Number 100837.