

کاربرد پهپادسمپاش میزان - متغیر در کشاورزی هوشمند

نیکروز باقری

عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
رایانامه: n.bagheri@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۱/۱۲ تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۰۶/۱۸ صص: ۹-۱

چکیده

در سال‌های اخیر از پهپادسمپاش‌ها برای پاشش انواع کود و سموم شیمیایی و مواد مغذی استفاده می‌شود. در زمینه پاشش سموم شیمیایی با پهپاد که در حال حاضر بیشتر کاربرد دارد، پژوهش‌ها نشان‌دهنده مفیدبودن این روش نسبت به روش‌های سمپاشی ماشینی یا دستی است. گرچه پهپادسمپاش‌ها مصرف آب و سموم را کاهش می‌دهند، اما به دلیل پاشش یکنواخت، امکان تنظیم مقدار محلول متناسب با نیاز گیاه را ندارد. این محدودیت موجب پاشش محلول به مقدار بیشتر یا کمتر از حد نیاز شده، منابع آب و خاک را آلوده می‌کند و کیفیت و سلامتی محصول را نیز به خطر می‌اندازد. بنابراین، نسل جدید پهپادسمپاش‌ها با قابلیت پاشش موضعی محلول به مقدار کافی و در مکان مناسب، که به آنها پهپاد سمپاش میزان - متغیر گفته می‌شود، در حال توسعه است. از این‌رو، در این مقاله تلاش شده است تا این فناوری نوین، به‌عنوان الفبای کاربرد هوش مصنوعی در عملیات داشت محصولات کشاورزی، معرفی شود. همچنین، تجربه‌های موجود جهانی در این زمینه ارائه شده و اجزای اصلی این فناوری تشریح شده است. امید است در آینده نزدیک پهپادهای داخل کشور به این فناوری مجهز شوند تا در مصرف بهینه‌ای نهاده‌های شیمیایی و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی گام موثری برداشته شود.

کلیدواژه‌ها: پهپاد، سمپاشی موضعی، کشاورزی دقیق، سمپاش، میزان-متغیر، هوش مصنوعی.

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت و تأمین غذای سالم و با کیفیت برای این جمعیت، از چالش‌های اصلی بخش کشاورزی هر کشور است. آفات و بیماری‌های گیاهی یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر مقدار کمّی و کیفی محصولات کشاورزی است (ون^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین، مدیریت آفات و بیماری‌ها یکی از اجزای اساسی چرخه کشت محصولات کشاورزی برای افزایش عملکرد به‌شمار می‌آید (تواری^۲ و همکاران، ۲۰۲۰).

درحال‌حاضر، روش مرسوم محافظت از محصولات کشاورزی در برابر آفات و بیماری‌ها کاربرد نهاده‌های شیمیایی با استفاده از انواع سمپاش‌های دستی و تراکتوری است (ون و همکاران، ۲۰۱۸؛ ایریتی و ویتالینی^۳، ۲۰۲۰). این سمپاش‌ها معمولاً سموم را یکنواخت می‌پاشند که باعث هدررفت سم، افزایش هزینه، آلودگی محیط‌زیست، خطر سلامتی کاروران دستگاه، مقاومت آفات نسبت به آفت‌کش‌ها و کاهش بهره‌وری می‌شود (تواری و همکاران، ۲۰۲۰؛ چواری^۴ و همکاران، ۲۰۰۴). برای مثال، نرخ بهره‌وری توزیع سموم در چین حدود ۳۷ درصد گزارش شده است. (ون و همکاران، ۲۰۱۸).

اخیراً سمپاشی با پهپاد به‌عنوان ابزاری مهم برای کاربرد دقیق سموم مطرح شده است (جائو^۵ و همکاران، ۲۰۱۹؛ ساشو^۶ و همکاران، ۲۰۲۳). مصرف کمتر سم، بازده مزرعه‌ای بیشتر، انعطاف‌پذیری در برنامه‌ریزی عملیات (لیان^۷ و همکاران، ۲۰۱۹) و هزینه عملیاتی کمتر در مقایسه با سمپاش‌های زمینی، از ویژگی‌های استفاده از پهپادسمپاش برای سمپاشی است (تنگ^۸ و همکاران، ۲۰۱۶).
بالین‌حال، پهپادسمپاش‌های فعلی، شبیه سمپاش‌های مرسوم، محلول را یکسان توزیع می‌کنند و مشکل نرسیدن مقدار سم یا کود کافی به یک نقطه و دریافت مقدار سم یا کود بیشتر از حد لازم در نقطهٔ دیگر همچنان باقی است (ون و همکاران، ۲۰۱۸؛ وانگ^۹ و همکاران، ۲۰۱۹؛ دی برتولی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۲). برای جبران این معضل و با هدف سمپاشی هدفمند و دقیق براساس مقدار آلودگی و در محل‌های موردنیاز

و به مقدار لازم، نسل جدید پهپادسمپاش‌ها در حال توسعه است. به این فناوری که مقدار پاشش براساس نیاز هر قسمت از مزرعه تنظیم می‌شود، سمپاشی میزان - متغیر^{۱۱} گفته می‌شود (تواری و همکاران، ۲۰۲۰). استفاده از روش سمپاشی میزان - متغیر برای افزایش بهره‌وری استفاده از سموم، چشم‌انداز روشنی برای کاهش باقیمانده‌های سموم، بهبود محیط زیست (ون و همکاران، ۲۰۱۸؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ دی برتولی و همکاران، ۲۰۲۲)، و بهبود دقت و کارایی پاشش هوایی آفت‌کش‌ها است. (لن^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۰؛ لن و همکاران، ۲۰۱۷) .

براساس نتایج برخی پژوهش‌ها، پاشش موضعی می‌تواند هزینه‌های سمپاشی را تا ۵۰ درصد کاهش دهد (ادان و برنتین^{۱۳}، ۲۰۱۷). براساس گزارش ابرتی^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۶)، یک آدمواره^{۱۵} کشاورزی میزان - متغیر مجهز به سامانه شناسایی بیماری، نسبت به روش‌های یکنواخت، مقدار مصرف سم را بین ۶۵ تا ۸۵ درصد کاهش داده است.

سامسیمونگ^{۱۶} و همکاران (۲۰۱۷) سامانه‌ای مبتنی بر پردازش تصویر و مجهز به قابلیت پایش از راه دور را برای پاشش میزان - متغیر باغ‌های نارگیل آلوده به آفات و بیماری‌ها توسعه دادند. ون و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای، یک سامانه سم‌پاشی میزان - متغیر نقشه - مبنا برای پهپاد طراحی کردند. این سامانه با بهره‌گیری از فناوری حسگر و ازطریق تفسیر آئی نقشه در حین عملیات، مقدار موردنیاز سم را تعیین و استخراج می‌کرد. خطای توزیع این سامانه ۲/۲ درصد بود. این سامانه می‌تواند مقدار دبی را به‌سرعت

- Wen
- Tewari
- Iriti and Vitalini
- Chavarri
- Gao
- Sassu
- Lian
- Tang
- Wang
- De Bortoli
- Variable-Rate Application (VRA)
- Lan
- Edan and Berenstein
- Oberti
- Robot
- Samseemoung

بر اساس مقدار تعیین‌شده در نقشه تنظیم کند. جائو و همکاران (۲۰۱۹) با هدف تهیهٔ نقشه توزیع سم در مزرعه و باغ، یک سامانه یادگیری ماشینی برای تحلیل تصاویر جمع‌آوری‌شده از پهپاد تهیه کردند. این سامانه تشخیص، از دو بخش تشخیص برون‌خط^۱ و برخط^۲ تشکیل شده بود. در سامانه برون‌خط، طبقه‌بندها توانستند دقتی معادل ۷۴/۴ درصد در تشخیص نواحی پاشش و غیرپاشش برای مزارع زراعی، و میانگین دقت طبقه‌بندی ۷۷ درصد برای باغ‌ها به‌دست آورند. همچنین، دقت تشخیص برخط برای مزرعه و باغ به‌ترتیب ۶۵/۱ درصد و ۷۵/۱ درصد بود. زمان تشخیص طبقه‌بند نیز ۰/۰۰۳۱ ثانیه برآورد شد. استفاده از این روش برای کاربردهای آئی و بلادرنگ^۳ توصیه شده است. برای بهبود پایداری و یکنواختی سمپاشی پهپادها در شرایط عملیاتی متغیر، لیان و همکاران (۲۰۱۹) روش کنترل لحظه‌ای دبی را پیشنهاد کردند و یک سامانه سمپاشی دقیق (میزان - متغیر) را توسعه دادند. میانگین زمان پاسخ نظارتی سامانه ۰/۱۸ ثانیه و میانگین زمان تثبیت تغییر دبی پمپ ۰/۷۵ ثانیه بود. نتایج آزمایش نشان داد که باتوجه به وضعیت کاری، این سامانه واکنش سریعی دارد و تنظیم دبی پمپ به سرعت انجام شده است تا سمپاشی میزان - متغیر تحقق یابد. وانگ و همکاران (۲۰۱۹) یک سامانهٔ پاشش مبتنی بر بینایی ماشین^۴ پیشنهاد دادند که می‌تواند به‌طور خودکار مناطق خالی را شناسایی کرده و مقدار دقیق سموم را روی مناطق هدف بپاشد. آن‌ها الگویی فازی برای جبران غیرخطی بودن و تأخیر سامانهٔ پاشش میزان - متغیر ارائه کردند. نتایج آزمایش نشان داد که برای کاهش مقدار سموم در سمپاشی با پهپاد، این رویکرد قابل اجراست و می‌تواند مرجعی برای کشاورزی دقیق هوایی در آینده باشد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۹). تواری و همکاران (۲۰۲۰)، سامانهٔ پاشش متغیر سم به‌صورت بلادرنگ و مبتنی بر پردازش تصویر توسعه دادند تا بتواند سم را با دقت زیاد و براساس شدت بیماری در شالیزار و در مکان‌های آلوده توزیع کند. این سامانه شامل دوربین برای تصویربرداری، لپ‌تاپ برای پردازش تصاویر، ریزناظر^۵ برای نظارت بر عملکرد سامانه، و افشانک‌های مجهز به

شیر برقی بود. پس از تشخیص شدت آلودگی گیاه به بیماری، مدت زمان باز بودن شیر برقی تنظیم شده تا مقدار لازم سم بر روی نواحی آلوده پاشیده شود. کارایی این دستگاه در دو حالت کاربرد یکنواخت و میزان - متغیر در مزرعه ارزیابی شد. نتایج نشان داد که سمپاشی میزان - متغیر نسبت به سمپاشی یکنواخت حداقل ۳۴ درصد در مصرف سم کاهش داشته است. آن‌ها نتیجه گرفتند که این سامانه می‌تواند به‌طور گسترده برای نظارت آلودگی محیط‌زیست ناشی از مصرف سموم شیمیایی و کاهش هزینه‌های سمپاشی استفاده شود. ساشو و همکاران (۲۰۲۳) یک سامانهٔ سمپاشی هوایی مجهز به دوربین مرئی را برای سمپاشی موضعی مزرعهٔ کنگر فرنگی توسعه دادند. آن‌ها برای پایش محصول و برنامه‌ریزی مسیر پرواز یک روش یادگیری ماشینی را توسعه دادند. دقت تشخیص در این روش حدود ۹۰ درصد بود. براساس جمع‌بندی نتایج پژوهش‌های اجراشده، کاربرد پهپادسمپاش می‌تواند کیفیت سمپاشی را بهبود بخشیده و از مصرف سم بکاهد. با این حال، به دلیل مشکل پاشش یکسان پهپادسمپاش‌های فعلی، نسل جدید پهپادسمپاش‌ها با قابلیت توزیع مقدار محلول تجویزی براساس شدت و سطح آلودگی در حال توسعه است. بنابراین، هدف از این مقاله معرفی این فناوری، و بررسی اجزا و کارکرد اصلی و مزایای این سامانه است.

انواع سمپاش‌های میزان - متغیر

سمپاش‌های میزان - متغیر از دو بخش اصلی تشکیل شده‌اند: بخش تعیین مقدار سم موردنیاز و بخش توزیع سم (ون و همکاران، ۲۰۱۸). تعیین مقدار سم با دو روش نقشه - مبنا^۱ و حسگر - مبنا^۲ قابل انجام است. در روش نقشه - مبنا، پیش از سمپاشی، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای یا هوایی، نقشه کشت و محل‌های آلوده تعیین و اطلاعات این نقشه به سمپاش وارد

- Off line
- Online

- Real-Time

- Machine Vision
- Microcontroler

می‌شود. سمپاش با استفاده از نقشه از پیش تهیه‌شده، سمپاشی را انجام می‌دهد. این روش برخلاف نیست و بین دریافت تصاویر تا تهیه نقشه و سمپاشی به زمان نیاز دارد. در روش حسگرمبنا، از حسگرهای مختلف یا دوربین روی سمپاش استفاده می‌شود. در این روش، ابتدا تصویربرداری انجام شده و تصاویر برخلاف به سرعت پردازش و به بخش توزیع سم منتقل می‌شود (ون و همکاران، ۲۰۱۸؛ تواری و همکاران، ۲۰۲۰). در شکل ۱، یک سمپاش زمینی مجهز به سامانه تصویربرداری برخلاف نشان داده شده است. همچنین در شکل ۲، پهپادسمپاش میزان - متغیر بوم‌دار نشان داده شده است.



شکل ۱. سمپاش زمینی حسگر - مبنا (تواری و همکاران، ۲۰۲۰)

شکل ۱. سمپاش زمینی حسگر - مبنا (تواری و همکاران، ۲۰۲۰)

شکل ۱. سمپاش زمینی حسگر - مبنا (تواری و همکاران، ۲۰۲۰)



شکل ۲. پهپادسمپاش میزان - متغیر حسگر- مبنا (ون و همکاران، ۲۰۱۸)

پیش‌تر سامانه‌های پاشش میزان - متغیر تنها روی سمپاش‌های زمینی (پشت تراکتوری) نصب می‌شدند. اما امروزه کاربرد این فناوری روی پهپادسمپاش‌ها به سرعت در حال افزایش است.

انتخاب هر یک از این روش‌های نقشه - مبنا و حسگر - مبنا به ویژگی‌ها و اهداف خاص کاربری کشاورزی در یک منطقه وابسته است. معمولاً روش نقشه - مبنا برای تشخیص ویژگی‌هایی مانند ماده آلی یا بافت خاک که در طول زمان پایدارتر هستند مناسب است، درحالی‌که برای تشخیص ویژگی‌های با تغییرات سریع مانند خصوصیات متغیر خاک، وضعیت آب یا وضعیت زراعی گیاه، و شیوع آفات و بیماری‌های گیاهی، استفاده از روش حسگرمبنا برتری دارد (تواری و همکاران، ۲۰۲۰). چراکه در این وضعیت، نقشه‌ها به سرعت اعتبار خود را از دست می‌دهند (دمر و همکاران^۳، ۲۰۰۸). دقت عملکرد روش نقشه - مبنا به مقدار دقت موقعیت‌یاب‌های مکانی وابسته است، درحالی‌که در روش حسگرمبنا این مشکل وجود ندارد. همچنین، در روش حسگرمبنا، هزینه‌های اضافی مربوط به داده‌برداری‌های زمینی برای توسعه الگوهای تشخیصی حذف می‌شود، اما هزینه خرید تجهیزات و دوربین اضافه می‌شود. همچنین، افزایش تعداد تجهیزات، پیچیدگی سامانه و امکان خرابی و لنگی کار را افزایش می‌دهد. تاکنبرگ^۴ و همکاران (۲۰۱۸) تأکید کردند که تشخیص بیماری گیاه و عملیات پاشش باید هم‌زمان و بلادرنگ انجام شود، زیرا عوامل بیماری‌زا به سرعت گسترش می‌یابند. از این رو، کاربرد روش حسگر - مبنا برای نظارت بر بیماری‌های گیاهی مناسب‌تر به نظر می‌رسد. تهیه نقشه‌های برخلاف برای شناسایی هدف در حال حرکت با استفاده از تصویرهای بلادرنگ، به دلیل دقت زیاد، پاسخ سریع و هزینه کم، پرکاربرد و محبوب است (تواری و همکاران، ۲۰۲۰). پیش‌تر سامانه‌های پایش میزان متغیر تنها روی سمپاش‌های زمینی (پشت تراکتوری) نصب می‌شدند، اما امروزه کاربرد این فناوری بر روی پهپادسمپاش‌ها به سرعت در حال افزایش است.

اجزای اصلی سامانه پاشش میزان - متغیر پهپادسمپاش

1. Map-based
2. Sensor-based
3. Dammer
4. Tackenberg

سامانه پاشش میزان - متغیر چهار وظیفه دارد: تشخیص ناحیه هدف، تصمیم‌گیری درمورد مقدار سم موردنیاز، پایش دقیق و مداوم، ثبت داده‌ها و گزارش‌گیری (در قالب اعداد رقمی یا استخراج نقشه پاشش). در شکل ۳، اجزای پهپادسمپاش میزان - متغیر نشان داده شده است.



شکل ۳. پهپادسمپاش میزان - متغیر (۱: سامانه بینایی و کنترل گر مرکزی، ۲: مخزن، ۳: دبی‌سنج، ۴: پمپ دیافراگمی، ۵: افشانک میزان - متغیر) (ون و همکاران، ۲۰۱۸).

سمپاش‌های میزان - متغیر دارای اجزای اصلی نرم‌افزاری و سخت‌افزاری شامل سامانه بینایی (دوربین/حسگر نوری یا لیزری و سامانه پردازش تصاویر)، نظارتگر مرکزی (پردازنده مرکزی و نرم‌افزار نظارتی)، سامانه مکان‌یابی دقیق، مخزن، پمپ، شیر تناسبی^۱ (یا افشانک میزان - متغیر)، دبی‌سنج، افشانک‌ها، واحد ثبت داده و گزارش، و منبع تغذیه هستند.

سامانه بینایی می‌تواند از انواع حسگرهای نوری و لیزری یا انواع دوربین (دوربین مرئی، دوربین چندطیفی، دوربین حرارتی) تشکیل شود. این دوربین/ حسگر، داده‌ها را از منطقه هدف برداشت می‌کند. سپس، سامانه پردازش تصاویر، این اطلاعات را پردازش می‌کند. در سمپاش‌های میزان - متغیر از حداقل یک دوربین مرئی در جلوی سمپاش برای تصویربرداری بلادرنگ استفاده می‌شود. در صورت امکان، دوربین روی بدنه سمپاش نصب می‌شود. در صورتی که قابلیت نصب دوربین وجود نداشته باشد، شاسی جداگانه‌ای برای آن تعبیه می‌شود. در برخی از

الگوها، برای هر ردیف کشت دوربین جداگانه‌ای نصب می‌شود. دوربین‌های نصب‌شده در هر ردیف، تصاویر مرئی از گیاهان را با وضوح حداقل ۶۴۰ × ۴۸۰ پیکسل ثبت می‌کنند. برای محافظت از صحنه تصویربرداری در برابر نور مستقیم خورشید و کاهش تغییرات رنگی کروماتیک، دستگاه با پارچه‌ای سبز پوشانده می‌شوند. برای تشخیص هدف، روی تصاویر ثبت‌شده پردازش‌های گوناگونی انجام می‌شوند (تواری و همکاران، ۲۰۲۰). در هر سمپاشی، هدف می‌تواند متفاوت باشد. گاهی جداکردن زمین‌های خالی از زمین‌های دارای پوشش گیاهی، برای جلوگیری از سمپاشی روی نواحی غیررویشی، کافی است. اما در سطحی پیشرفته‌تر، هدف تشخیص شدت آلودگی و تغییر مقدار سم پاششی است.

تصاویر پس از برداشت، پردازش شده تا اطلاعات لازم از آن‌ها به دست آید. نرم‌افزار براساس الگوریتم‌های از قبل تعریف‌شده‌ای مانند یادگیری ماشین، ابتدا منطقه هدف را از پس‌زمینه جدا کرده و ویژگی‌ها را استخراج می‌کند. سپس، براساس ویژگی‌ها، نقشه دیجیتال از سطح تهیه کرده و پس از اختصاص مقدار سم به هر پیکسل یا مجموعه‌ای از پیکسل‌های تصویر، مقدار سموم را تجویز می‌کند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

براساس شرایط مختلف، پردازش‌ها متفاوت است. به عنوان مثال در پژوهش تواری و همکاران (۲۰۲۰)، پردازش‌ها شامل بخش‌بندی تصویر، استخراج مؤلفه‌های رنگی و تحلیل آن‌ها، انتخاب الگوریتم مناسب برای تفکیک نواحی، تعیین آستانه و غیره است. امروزه روش‌های هوش مصنوعی مانند یادگیری عمیق^۲ راه‌حلی مؤثر برای شناسایی لحظه‌ای و اجرای دقیق سمپاشی میزان - متغیر است (خان^۳ و همکاران، ۲۰۲۱؛ چن^۴ و همکاران، ۲۰۲۱). سپس، اطلاعات پردازش‌شده به واحد نظارت وارد می‌شود. این واحد براساس الگوریتم‌های تعریف شده برای اطلاعات توصیفی و

1. Proportional Valve
2. Deep Learning
3. Khan
4. Chen

مکانی، مقدار سم توزیعی و محل توزیع آن را مشخص می‌کند. به دلیل اهمیت پاشش سم در نقطه موردنظر و نیاز به دقت در حد سانتی‌متر، بهتر است از مکان‌یاب‌های دقیق استفاده شود.

برای تأمین فشار لازم در رساندن مایع از مخزن به افشانک‌ها از انواع مختلف پمپ (دنده‌ای، دیافراگمی، سانتریفوژی)، و از دبی‌سنج (حسگر جریان) برای تعیین مقدار دبی به‌صورت لحظه‌ای استفاده می‌شود. واحد نظارت براساس مقدار خروجی دبی‌سنج، مقدار محلول خروجی را پایش می‌کند. همچنین، اگر افشانک‌ها تنظیم نباشند، هشدار صادر می‌شود. به‌طور هم‌زمان، نرخ جریان لحظه‌ای، موقعیت مکانی، شاخص‌های پروازی و مقادیر تجویزی روی صفحه‌نمایش نشان داده می‌شود (ون و همکاران، ۲۰۱۸). شیرهای سلونوئیدی^۱ بین پمپ و افشانک‌ها قرار می‌گیرند تا ازطریق باز ماندن در بازه زمانی مشخص با استفاده از بخش تعدیل‌گر عرض پالس^۲، بر مقدار محلول خروجی نظارت کنند (تواری و همکاران، ۲۰۲۰). در صورتی که شیرها فقط امکان بسته و باز شدن داشته و قابلیت تغییر مقدار محلول را نداشته باشند، عرض پالس خروجی پمپ تغییر داده می‌شود. البته این روش سطح نظارتی پاشش ضعیف‌تری ایجاد می‌کند. واحد ثبت داده‌ها و گزارش، همه اطلاعات مربوط به زمان، مکان سمپاشی، مقدار سم توزیع‌شده و غیره را ذخیره می‌کند. همچنین می‌تواند همراه با اطلاعات مکانی، نقشه‌های دوبعدی ارائه دهد. منبع تغذیه از باتری‌های پهیاد تأمین می‌شود تا برای کارکردن پمپ، شیرها و حسگرها انرژی لازم را تأمین کند.

با این حال، در کاربرد این فناوری چالش‌هایی وجود دارد. ازجمله محدودیت باتری و مداومت پروازی پهیاد است که با وجود افزودن دوربین و ملحقات آن، این محدودیت بیشتر می‌شود. برای رفع این مشکل، استفاده از فناوری انتقال انرژی لیزری و افزایش تعداد یا ظرفیت باتری، پیشنهاد شده‌است. موضوع بعدی، خطای تشخیص ایجاد شده در تصویر است که این خطا می‌تواند با ترکیب تصاویر چندزمانه، و افزایش قدرت تفکیک زمینی، کاهش یابد. موضوع دیگر کاهش دقت تشخیص با افزایش

رشد محصول است. برای رفع این مشکل کاربرد الگوریتم‌های نوین یادگیری ماشین توصیه می‌شود. موضوع بعدی کم بودن سرعت تشخیص است که راه‌حل آن انتخاب سخت‌افزار مناسب و الگوریتم‌های قوی تشخیصی است. به‌طورکلی، با پیشرفت‌های روزافزون در زمینه نرم‌افزار، هوش مصنوعی و الکترونیک، انتظار می‌رود در سال‌های آتی قابلیت دوربین‌ها و باتری‌ها افزایش یافته و روش‌های پردازش تصویر بهبود یابد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، نسل جدیدی از پهیادهای محلول‌پاش با عنوان پهیادهای میزان - متغیر معرفی شده است. همچنین، پژوهش‌های اجراشده در این زمینه مرور و اجزای اصلی یک پهیادسمپاش میزان - متغیر بررسی شده است. اگرچه از نظر بسیاری از کارشناسان و متخصصان، پهیادها از اجزای کشاورزی دقیق هستند، اما پهیادسمپاش‌ها زمانی اهداف کشاورزی دقیق را محقق می‌کنند که بتوانند مدیریت موضعی داشته باشند. با درک اهمیت موضوع، در سال‌های اخیر تغییراتی در طراحی پهیادها ایجاد شده تا بتوانند ضمن تصویربرداری از مزرعه، نقشه توزیع سم/کود را تهیه کرده و محلول را به مقدار لازم و در مکان مناسب توزیع کنند. این سامانه با کاهش مصرف سم، کاهش آلودگی‌های خاک و آب، افزایش سلامت محصول و افزایش دقت پاشش را به همراه خواهند داشت. بنابراین، این فناوری به‌دلیل کاهش مصرف نهاده‌ها، دارای مزیت اقتصادی و به دلیل کاهش توزیع سم در مناطق غیرهدف، دارای مزایای زیست‌محیطی است و می‌تواند به پیشرفت کشاورزی پایدار در بلندمدت کمک کند.

بنابراین، با توجه به مزایای فناوری میزان - متغیر و نبود این فناوری در سمپاش‌های زمینی و هوایی بخش کشاورزی، توصیه می‌شود پهیادسمپاش‌های تولیدشده در داخل کشور به این فناوری مجهز شوند.

1. Solenoid Valves
2. Pulse Width Modulation (PWM)

منابع

- Marinello, F., Pezzuolo, A., Chiumenti, A., Sartori, L. 2016. Technical analysis of unmanned aerial vehicles (drones) for agricultural applications. *Engineering for Rural Development*, vol. 15.
- Mogili, U.M.R., Deepak, B.B.V.L. 2018. Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. International Conference on Robotics and Smart Manufacturing. *Procedia Computer Science*. 133: 502–509. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.063>
- Oberti, R., Marchi, M., Tirelli, P., Calcante, A., Iriti, M., Tona, E., Hočevár, M., Baur, J., Pfaff, J., Schütz, C., Ulbrich, H., 2016. Selective spraying of grapevines for disease control using a modular agricultural robot. *Bio-syst. Eng.* 146, 203–215.
- Gao, P., Zhang, Y., Zhang, L., Noguchi, R. Ahamed, T. 2019. Development of a Recognition System for Spraying Areas from Unmanned Aerial Vehicles Using a Machine Learning Approach Sensors. 19, 313. <https://doi.org/10.3390/s19020313>
- Samseemoung, G., Soni, P., Suwan, P. 2017. Development of a variable rate chemical sprayer for monitoring diseases and pests infestation in coconut plantations. *Agriculture* 7 (10), 89.
- Sanri, D., Martelloni, L., Rimediotti, M., Lisci, R., Lombardo, S., Vieri, M., 2019. Testing a multi-rotor unmanned aerial vehicle for spray application in high slope terraced vineyard. *J. Agric. Eng.* 50, 38–47. <https://doi.org/10.4081/jae.2019.853>.
- Sassu, A., Motta, J., Deidda, A., Ghiani, L., Carlevaro, A., Garibotto, G., Gambella, F. 2023. Artichoke deep learning detection network for site-specific agrochemicals UAV spraying. *Computers and Electronics in Agriculture*. 213: 108185. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108185>
- Tackenberg, M., Volkmar, C., Schirrmann, M., Giebel, A., Dammer, K.H. 2018. Impact of sensor-controlled variable-rate fungicide application on yield, senescence and disease occurrence in winter wheat fields. *Pest Manag. Sci.* 74 (6), 1251–1258.
- Tang, Q., Zhang, R.R., Chen, L.P., Xu, M., Yi, T.C., Zhang, B., et al. 2016. Droplets movement and deposition of an eight-rotor agricultural in downwash flow field. *Int J Agric & Biol Eng*, 9(5): 24–32.
- Tewari, V.K., Pareek, C.M., Lal, G., Dhruw, L.K., Sin-
- Berenstein, R., Edan, Y., 2017. Human-robot collaborative site-specific sprayer. *J. Field Robotics*. 34 (8), 1519–1530.
- Chavarri, M.J., Herrera, A., Ariño, A., 2004. Pesticide residues in field-sprayed and processed fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 84, 1253–1259.
- De Bortoli, L., Marsi, S., Marinello, F., Carrato, S., Ramponi, G., Gallina, P., 2022. Structure from Linear Motion (SfLM): An On-the-Go Canopy Profiling System Based on Off-the-Shelf RGB Cameras for Effective Sprayers Control. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061276>.
- Chen, C., Huang, Y., Li, Y., Chen, Y., Chang, C., Huang, Y., 2021. Identification of fruit tree pests with deep learning on embedded drone to achieve accurate pesticide spraying. *IEEE Access* 9, 21986–21997. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3056082>.
- Dammer, K.H., Ehlert, D., 2006. Variable-rate fungicide spraying in cereals using a plant cover sensor. *Precis. Agric.* 7 (2), 137–148.
- Dammer, K.H., Wollny, J., Giebel, A. 2008. Estimation of the Leaf Area Index in cereal crops for variable rate fungicide spraying. *Eur. J. Agron.* 28 (3), 351–360.
- Khan, S., Tufail, M., Khan, M.T., Khan, Z.A., Iqbal, J., Wasim, A., 2021. Real-time recognition of spraying area for sprayers using a deep learning approach. *PLoS One* 16, 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249436>.
- Iriti, M., Vitalini, S., 2020. Sustainable crop protection, global climate change, food security and safety—*Plant Immunity at the Crossroads*. *Vaccines* 8.
- Lan, Y.B., Chen, S.D., Fritz, B.K., 2017. Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 10 (3), 1–17. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171003.3088>.
- Lan, Y., Thomson, S.J., Huang, Y.B., Hoffmann, W.C., Zhang, H.H. 2010. Current status and future directions of precision aerial application for site-specific crop management in the USA. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74(1): 34–38.
- Lian, Q., Tan, F., Fu, X.M., Zhang, P., Liu, X., Zhang, W. 2019. Design of precision variable-rate spray system for unmanned aerial vehicle using automatic control method. *Int J Agric & Biol Eng*, 12(2): 29–35. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171003.3088>.

Application of variable-rate UAV sprayers in intelligent agriculture

Nikrooz Bagheri

Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. **Email:** n.bagheri@areeo.ac.ir

Abstract

In recent years, Unmanned aerial vehicle (UAV)s have been used to spray various fertilizers, chemical pesticides, and nutrients. In the field of spraying chemical pesticides with UAVs, which is currently more widely used, research shows that this method is more useful than mechanical or manual spraying methods. Although UAVs reduce water and pesticide consumption, due to uniform spraying, there is a possibility of receiving a solution in a smaller or larger amount than necessary. This leads to insufficient protection of the crop or contamination of water and soil resources, and compromises the quality and health of the crop. Therefore, a new generation of UAVs with the ability to site-specific spraying in sufficient amounts and in the right place, which are called variable rate UAV sprayers, is being developed. Therefore, this paper attempts to introduce this new technology as the alphabet of the application of artificial intelligence in agricultural crop production operations. It also presents existing global experiences in this field and describes the main components of this technology. It is hoped that in the near future, UAVs within the country will be equipped with this technology, so that we will witness a revolution in reducing the consumption of chemical inputs and environmental pollution

Keywords: Artificial Intelligence, Precision Agriculture, Site-specific Spraying, Unmanned Aerial Vehicle, Variable Rate

gh, N. 2020. Image processing based real-time variable-rate chemical spraying system for disease control in paddy crop. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 4: 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.01.002>

Wang, L.H., Lan, Y.B., Yue, X.J., Ling, K.J., Cen, Z.Z., Cheng, Z.Y, et al. 2019. Vision-based adaptive variable rate spraying approach for unmanned aerial vehicles. *Int J Agric & Biol Eng*, 12(3): 18–26. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191203.4358>

Wen, S., Zhang, Q., Deng, J., Lan, Y., Yin, X., Shan, J. 2018. Design and Experiment of a Variable Spray System for Unmanned Aerial Vehicles Based on PID and PWM Control. *Appl. Sci*. 8: 2482. <https://doi.org/10.3390/app8122482>

Xiongui, H., Aijun, Z., Yajia, L., Jianli, S. 2011. Precision orchard sprayer based on automatically infrared target detecting and electrostatic spraying techniques. *Int J Agric & Biol Eng*. 4(1): 35-40. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.2011.04.01.035-040>

Xue, X., Lan, Y., Sun, Z., Chang, C., & Hoffmann, W. C. 2016. Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying system. *Computers and electronics in agriculture*, 128, pp.58-66.

Yang, F.B., Xue, X.Y., Zhang, L., Sun, Z. 2017. Numerical simulation and experimental verification on downwash air flow of six-rotor agricultural unmanned aerial vehicle in hover. *Int J Agric & Biol Eng*, 10(4): 41–53.