علم‌سنجی پژوهش‌های پذیرش کاربرد پهپاد در کشاورزی

ذوالفقار احمدی[1]، موسی اعظمی[2]، عاطفه ملکیان[3]

۱- دانشجوی دکتری توسعه کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران،

۲- دانشیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا ، همدان، ایران،

۳- استادیار گروه گیاهان دارویی و کشاورزی ، مجتمع آموزش عالی فاطمیه نهاوند، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران،

چکیده

فناوری پهپاد به‌عنوان یکی از ابزارهای نوین کشاورزی دقیق و هوشمند، در سال‌های اخیر توجه پژوهشگران را جلب کرد. این مطالعه روند رشد و جهت‌گیری‌های علمی پژوهش‌های مرتبط با پذیرش پهپاد در کشاورزی را بررسی کرد و الگوهای همکاری علمی و محورهای غالب پژوهشی را شناسایی نمود. این پژوهش با رویکرد علم‌سنجی/کتاب‌سنجی توصیفی ـ تحلیلی با تحلیل شبکه‌ای (همکاری علمی و هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها) انجام شد. داده‌ها از پایگاه Scopus استخراج گردید و مقالات مرتبط در بازه ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵ بر اساس عنوان، چکیده و کلیدواژه‌ها گردآوری شد. پس از پالایش، ۷۱۲ مقاله به‌عنوان مجموعه داده نهایی انتخاب گردید. تحلیل‌ها با استفاده از شاخص‌های علم‌سنجی و نرم‌افزار VOSviewer شامل؛ بررسی روند انتشار، توزیع جغرافیایی، مجلات فعال، شبکه همکاری کشورها (و شبکه هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها انجام گرفت. نتایج نشان داد که تولیدات علمی این حوزه طی دو دهه اخیر افزایشی بود و پس از ۲۰۱۶ رشد شتابان‌تری یافت. از نظر جغرافیایی، چین و ایالات متحده بیشترین سهم تولید علمی را داشتند و در شبکه همکاری‌ها نقش مرکزی ایفا کردند. تحلیل کلیدواژه‌ها نیز چهار محور غالب را آشکار کرد: کاربردهای پهپاد در کشاورزی، سنجش از دور و تحلیل داده، عوامل انسانی/رفتاری مؤثر بر پذیرش و چالش‌های اقتصادی و مقرراتی، در مجموع، یافته‌ها نشان داد که پذیرش پهپاد در کشاورزی حاصل تعامل پیشرفت‌های فناورانه، زیرساخت‌های داده‌ای، چارچوب‌های سیاستی و عوامل انسانی بود. این نتایج می‌تواند برای جهت‌دهی پژوهش‌های آینده و بهبود تصمیم‌گیری در توسعه فناوری‌های نوین کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد.

نمایه واژگان: فناوری پهپادی، پهپادهای کشاورزی، پذیرش فنآوری پهپادی، کشاورزی دقیق، علم‌سنجی

نویسنده مسئول: موسی اعظمی

رایانامه: m.aazami@basu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۲ **تاریخ پذیرش**: ۱۴۰۵/۰۲/۳۰

مقدمه

بخش کشاورزی در دهه‌های اخیر و بخصوص از ابتدای قرن ۲۱ با چالش‌های متعددی از جمله افزایش تقاضای جهانی برای غذا، محدودیت منابع طبیعی، تغییرات اقلیمی و ضرورت افزایش بهره‌وری روبه‌رو بوده است (باقری و همکاران، ۱۳۹۹). در چنین شرایطی، ضرورت استفاده از فناوری‌های نوین به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر برای ارتقای کارایی و پایداری نظام‌های کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. در این میان، پهپادها یا هواپیماهای بدون سرنشین به دلیل ظرفیت و توانایی بالا در امور مختلف از جمله: جمع‌آوری داده‌های دقیق، پایش مزارع و پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، به یکی از ابزارهای کلیدی در توسعه کشاورزی دقیق و کشاورزی هوشمند تبدیل شده‌اند (دینگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ جو و سان، ۲۰۱۸). این پهپادها امکان پایش سریع و دقیق وضعیت محصولات، ارزیابی شرایط خاک و آب، مدیریت آفات و بیماری‌ها و همچنین بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها را فراهم می‌کنند (شکربیگی و همکاران، ۱۳۹۹). به‌کارگیری این فناوری‌های نوظهور می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های تولید و بهبود مدیریت مزرعه شود. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که ترکیب پهپادها با روش‌های پیشرفته کنترل، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین می‌تواند دقت و کارایی عملیات کشاورزی را به طور قابل توجهی افزایش دهد (منبو و همکاران، ۲۰۲۳؛ کارتال، ۲۰۲۴؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۳). در سال‌های اخیر پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه کنترل، هدایت و هماهنگی پهپادها صورت گرفته است که امکان استفاده مؤثرتر از آن‌ها در محیط‌های کشاورزی را فراهم کرده است (کاویانی راد و همکاران، ۱۴۰۰). برای مثال، توسعه الگوریتم‌های کنترل پیشرفته مانند کنترل تطبیقی، کنترل پیش‌بین مدل و کنترل مبتنی بر نظریه مرتبه کسری نقش مهمی در بهبود پایداری و عملکرد پهپادها در کاربردهای کشاورزی ایفا کرده است (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ دینگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ گرونل و بوئنو، ۲۰۲۴). همچنین استفاده از شبکه‌های عصبی و روش‌های یادگیری تقویتی برای برنامه‌ریزی مسیر و کنترل پرواز می‌تواند دقت عملیات پایش و مدیریت مزرعه را افزایش دهد (منبو و همکاران، ۲۰۲۳؛ استوز و همکاران، ۲۰۲۴). علاوه بر این، توسعه سامانه‌های چندپهپادی و همکاری بین پهپادها امکان انجام عملیات پیچیده‌تر در مقیاس‌های بزرگ کشاورزی را فراهم کرده است. در چنین سامانه‌هایی، چندین پهپاد می‌توانند به صورت هماهنگ برای انجام وظایفی مانند پایش مزارع، انتقال بار یا جمع‌آوری داده‌ها عمل کنند که این امر کارایی عملیات کشاورزی را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد (جو و سان، ۲۰۱۸؛ چائومت، ۲۰۱۷؛ ژو و چن، ۲۰۲۲). همچنین ترکیب فناوری پهپاد با سامانه‌های رباتیک و اتوماسیون مبتنی بر سرور می‌تواند به توسعه سیستم‌های کشاورزی هوشمند و خودکار کمک کند (سیدیک و همکاران، ۲۰۱۸). با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در زمینه توسعه فناوری پهپادها، بررسی روند توسعه دانش و ساختار علمی پژوهش‌های مرتبط با این فناوری از اهمیت بالایی برخوردار است. افزایش سریع شمار مقاله‌های علمی در این حوزه نشان‌دهنده رشد قابل توجه توجه پژوهشگران به کاربردهای پهپاد در کشاورزی است. در چنین شرایطی، تحلیل نظام‌مند ادبیات علمی می‌تواند به شناسایی روندهای پژوهشی، حوزه‌های نوظهور، بازیگران اصلی علمی و شکاف‌های تحقیقاتی کمک کند.

در مطالعات آکادمیک یکی از روش‌های مناسب برای بررسی نظام‌مند ادبیات علمی، تحلیل علم‌سنجی است. این رویکرد با استفاده از داده‌های کتابشناختی مقاله‌های علمی امکان تحلیل روند انتشار پژوهش‌ها، شبکه‌های همکاری علمی، منابع تأثیرگذار و ساختار مفهومی یک حوزه پژوهشی را فراهم می‌کند. مطالعات علم‌سنجی می‌توانند با تصویرسازی نقشه‌های علمی، مسیر تحول دانش را مشخص کرده و جهت‌گیری‌های آینده پژوهش را روشن سازند.

با توجه به گسترش سریع پژوهش‌ها در زمینه فناوری پهپاد در کشاورزی و نقش کلیدی آنها در تحقق اهداف توسعه، شناخت روندهای علمی و ساختار دانش در این حوزه اهمیت زیادی

دارد. از این رو، هدف اصلی پژوهش حاضر تصویرسازی نقشه علمی مطالعات مرتبط با کاربرد و توسعه پهپادها در کشاورزی با استفاده از روش علم‌سنجی است. در این راستا، داده‌های کتابشناختی استخراج‌شده از پایگاه Scopus مورد تحلیل قرار گرفته‌اند تا روند انتشار مقاله‌های، مجله‌ها و کشورهای پیشرو و همچنین ساختار مفهومی پژوهش‌های این حوزه شناسایی شود. نتایج این پژوهش می‌تواند تصویری جامع از وضعیت کنونی دانش در حوزه پهپادهای کشاورزی ارائه داده و به پژوهشگران و سیاست‌گذاران در جهت‌دهی بهتر مطالعات آینده و توسعه کاربردهای عملی این فناوری کمک کند.

همان گونه که ذکر شد، در سال‌های اخیر، استفاده از فناوری‌های نوین به‌ویژه پهپادها و فناوری‌های سنجش از دور در بخش کشاورزی به‌طور قابل توجهی گسترش یافته است. این فناوری‌ها امکان جمع‌آوری سریع و دقیق داده‌های مکانی از مزارع را فراهم کرده و نقش مهمی در توسعه کشاورزی دقیق، پایش وضعیت محصولات و مدیریت بهینه نهاده‌های کشاورزی ایفا می‌کنند. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که کاربرد پهپادها در کشاورزی می‌تواند به بهبود پایش سلامت گیاهان، شناسایی تنش‌های زیستی و غیرزیستی و افزایش کارایی مدیریت مزرعه کمک کند (تسوروس و همکاران، ۲۰۱۹؛ خانال و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین پژوهش‌های مرتبط نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های سنجش از دور طی چند دهه گذشته تحولات مهمی در کشاورزی دقیق ایجاد کرده و ابزارهای نوینی برای تحلیل شرایط مزارع و تصمیم‌گیری مدیریتی فراهم آورده است (مولا، ۲۰۱۳).

پیشرفت در فناوری‌های تصویربرداری و حسگرهای پیشرفته نیز نقش مهمی در توسعه کاربرد پهپادها در کشاورزی داشته است. برای مثال، استفاده از تصویربرداری فراطیفی و چندطیفی امکان ارزیابی دقیق ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاهان، وضعیت تغذیه‌ای و تشخیص بیماری‌های گیاهی را فراهم کرده است (لیو و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که توسعه سامانه‌های پهپادی مقرون‌به‌صرفه می‌تواند کاربرد این فناوری را در فعالیت‌هایی مانند اصلاح نباتات و ارزیابی ویژگی‌های زراعی در مقیاس مزرعه تسهیل کند (جانگ و همکاران، ۲۰۲۰).

بدیهی است، کاربرد پهپادها در کشاورزی تنها به جمع‌آوری داده محدود نمی‌شود، بلکه این فناوری در عملیات اجرایی مهم بخش کشاورزی مانند سم‌پاشی دقیق، رصد و پایش سطح مزرعه و مدیریت حفاظت گیاه و حتی آب نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این زمینه، ایوزیچ و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که پهپادهای کشاورزی می‌توانند نقش مهمی در اجرای عملیات حفاظت دقیق گیاهان ایفا کنند، اگرچه محدودیت‌های قانونی و مقرراتی همچنان از چالش‌های توسعه این فناوری به شمار می‌رود. همچنین برخی پژوهش‌ها به بررسی چالش‌های فنی استفاده از پهپادهای سم‌پاش در کشاورزی پرداخته‌اند. برای مثال، کارتال و همکاران (۲۰۲۴) در یک مطالعه مروری جامع به بررسی چالش‌ها و پیشرفت‌های مرتبط با مدل‌سازی و کنترل پهپادهای سم‌پاش کشاورزی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که عواملی مانند تغییر مرکز ثقل ناشی از جابه‌جایی محموله، نوسانات مایع در مخازن سم، و شرایط محیطی مانند باد می‌تواند بر پایداری پرواز و دقت عملیات پهپاد تأثیر بگذارد. این مطالعه همچنین بر اهمیت استفاده از روش‌های کنترلی پیشرفته مانند الگوریتم‌های تطبیقی، کنترل بک‌استپینگ و سیستم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین برای افزایش پایداری و دقت عملکرد پهپادها در محیط‌های کشاورزی تأکید می‌کند (کارتال و همکاران، ۲۰۲۴).

علاوه بر این، پژوهش‌هایی نیز به ترکیب پهپادها با روش‌های تحلیل داده و یادگیری ماشین پرداخته‌اند که نتایج آن‌ها نشان می‌دهد این فناوری‌ها می‌توانند دقت پایش محیطی و تحلیل داده‌های کشاورزی را افزایش دهند (زبوب و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین توسعه فناوری‌های ارتباطی و دیجیتال مانند اینترنت اشیا و شبکه‌های ارتباطی پیشرفته بستر لازم برای گسترش کشاورزی هوشمند را فراهم کرده است. این فناوری‌ها امکان انتقال سریع داده‌ها، پایش لحظه‌ای مزارع

و مدیریت هوشمند عملیات کشاورزی را فراهم کرده و در ترکیب با سامانه‌های پهپادی می‌توانند کارایی سیستم‌های کشاورزی را افزایش دهند (موکارجی و همکاران، ۲۰۲۱). در همین راستا، برخی پژوهش‌ها از تصاویر هوایی پهپاد برای بررسی تعامل میان ماشین، خاک و گیاه در مزارع استفاده کرده‌اند که نتایج آن‌ها نشان‌دهنده توانایی بالای این فناوری در تحلیل شرایط مزرعه و بهبود مدیریت تولید است (آبروگوی و همکاران، ۲۰۲۲).

هم راستا با فعالیتهای جهانی، در مطالعات داخلی نیز توجه به فناوری‌های نوین در کشاورزی به‌ویژه در حوزه سنجش از دور و پهپادها رو به افزایش است. باقری (۱۳۹۹) در پژوهشی به بررسی نقش فناوری سنجش از دور در توسعه کشاورزی هوشمند پرداخته و بر اهمیت استفاده از داده‌های مکانی در مدیریت منابع کشاورزی تأکید کرده است. همچنین کاویانی‌راد و همکاران (۱۴۰۰) توسعه پهپادها را یکی از ابزارهای مهم در تحقق کشاورزی پایدار دانسته و بر نقش آن در افزایش بهره‌وری و کاهش مصرف نهاده‌ها تأکید کرده‌اند. از سوی دیگر، مطالعاتی در حوزه پذیرش فناوری‌های نوین کشاورزی نیز انجام شده است. شاه‌ولی و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی الگوهای پذیرش فناوری‌های نوین کشاورزی نشان دادند که عوامل ادراکی، اقتصادی و اجتماعی نقش مهمی در پذیرش فناوری توسط بهره‌برداران دارند. همچنین شکربیگی و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی با استفاده از مدل لوجیت، عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری پهپاد در میان کشاورزان سیب‌زمینی‌کار شهرستان کرمانشاه را بررسی کرده و نشان دادند که عواملی مانند سطح آگاهی، دسترسی به آموزش و مزایای اقتصادی فناوری تأثیر قابل توجهی بر تمایل کشاورزان به استفاده از فناوری دارند.

با وجود گسترش قابل توجه مطالعات در زمینه کاربردهای فنی پهپادها، سنجش از دور و فناوری‌های دیجیتال در کشاورزی، بررسی جامع و نظام‌مند روند توسعه علمی این حوزه همچنان محدود است. بنابراین، تحلیل علم‌سنجی مطالعات منتشرشده در حوزه پهپادهای کشاورزی می‌تواند به شناسایی روندهای پژوهشی، حوزه‌های اصلی تحقیق، پژوهشگران و مجله‌های تأثیرگذار و همچنین شکاف‌های موجود در ادبیات علمی کمک کند و مسیرهای آینده پژوهش در این حوزه را روشن سازد.

نوآوری علمی پژوهش حاضر در ارائه یک تصویر جامع از ساختار دانشی و روندهای پژوهشی مرتبط با پذیرش کاربرد فناوری پهپاد در کشاورزی با استفاده از رویکرد علم‌سنجی نهفته است. برخلاف بسیاری از تحقیقات پیشین که صرفاً بر جنبه‌های فنی کاربرد پهپادها تمرکز داشته‌اند، این پژوهش با تحلیل هم‌زمان ابعاد فناورانه، رفتاری، اقتصادی و سیاستی تلاش می‌کند چارچوبی یکپارچه از عوامل مؤثر بر توسعه و پذیرش این فناوری ارائه دهد. بر اساس یافته‌های به‌دست‌آمده، راهکارهایی برای بهینه‌سازی کاربرد فناوری پهپادی در کشاورزی پیشنهاد می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به توسعه زیرساخت‌های داده‌ای و سنجش از دور، گسترش آموزش‌های دیجیتال برای کشاورزان، کاهش هزینه‌های دسترسی به فناوری، و تدوین چارچوب‌های سیاستی و مقرراتی حمایتی اشاره کرد. چنین رویکردی می‌تواند زمینه گسترش کاربرد عملی پهپادها در کشاورزی دقیق و تسریع گذار به کشاورزی هوشمند را فراهم سازد.

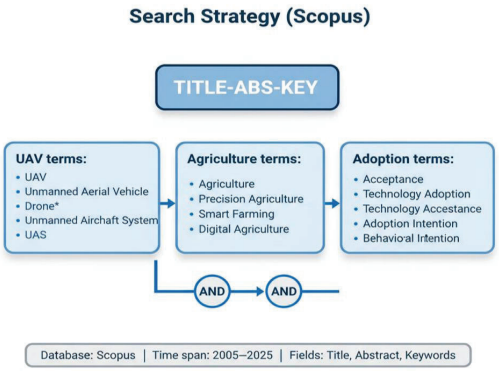
روش‌شناسی

این پژوهش با هدف بررسی و روند علمی مطالعات مرتبط با پذیرش پهپاد در کشاورزی با رویکرد علم‌سنجی انجام شده است. روش تحقیق از نوع مطالعات توصیفی ـ تحلیلی بوده که با بهره‌گیری از شاخص‌های علم‌سنجی تلاش نموده روند توسعه دانش، بازیگران اصلی علمی و ساختار مفهومی پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه را شناسایی کند. تحلیل علم‌سنجی یکی از روش‌های رایج برای بررسی الگوهای تولید دانش، شبکه‌های همکاری علمی و روندهای موضوعی در یک حوزه پژوهشی است و امکان بررسی نقشه‌های علمی و شناسایی جهت‌گیری‌های پژوهشی را فراهم می‌کند.

برای گردآوری داده‌ها، پایگاه Scopus انتخاب شد زیرا (الف)

پوشش گسترده‌تری از مجلات و حوزه‌های میان‌رشته‌ای مرتبط با کشاورزی، محیط‌زیست، سنجش از دور و فناوری دارد، (ب) داده‌های کتاب‌سنجی ساختاریافته و سازگار برای تحلیل‌های شبکه‌ای (نویسندگان، کشورها، کلیدواژه‌ها و ارجاعات) ارائه می‌دهد، و (ج) امکان استخراج و یکپارچه‌سازی داده‌ها برای نرم‌افزارهای علم‌سنجی مانند VOSviewer را تسهیل می‌کند. با توجه به هدف مطالعه (ترسیم نقشه علمی و تحلیل شبکه‌ها) و نیز به‌منظور جلوگیری از همپوشانی و دوباره‌شماری ناشی از ادغام پایگاه‌ها، داده‌ها از یک پایگاه مرجع واحد استخراج شد.

راهبرد جستجو به‌منظور تضمین تکرارپذیری، به‌صورت نظام‌مند در پایگاه Scopus و در فیلدهای TITLE ABS KEY (عنوان، چکیده و کلید واژه‌ها) اجرا شد. در این جستجو، سه خوشه مفهومی اصلی شامل واژگان مرتبط با پهپاد (UAV، Unmanned Aerial Vehicle(s)، Drone*، Unmanned Aircraft System(s)، UAS)، واژگان مرتبط با حوزه کشاورزی (agricultur*، Precision Agriculture، Smart Farming، Digital Agriculture) و واژگان مرتبط با پذیرش فناوری (Acceptance، Technology Adoption، Technology Acceptance، Adoption Intention، Behavioral Intention) تعریف و سپس با عملگر بولی AND ترکیب شدند تا تنها اسنادی بازیابی شوند که هم‌زمان هر سه بُعد مفهومی پژوهش را پوشش می‌دادند. افزون بر این، برای تمرکز بر دوره مورد مطالعه، محدوده زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵ اعمال شد؛ به‌گونه‌ای که در Scopus شرط PUBYEAR > 2004 و PUBYEAR < 2026 لحاظ گردید. همچنین در طراحی عبارت جستجو، از علامت نقل‌قول برای عبارات چندکلمه‌ای و از کاراکتر به عنوان wildcard برای پوشش شکل‌های مختلف واژه‌ها (مانند Drone* و agricultur*) استفاده شد. بازیابی شوند که به‌طور هم‌زمان هر سه بعد مفهومی پژوهش را در بر داشته باشند. بطور خلاصه راهبرد جستجو در این تحقیق در نگاره (۱) قابل مشاهده است.



نگاره ۱-استراتژی جستجو (نویسندگان، ۱۴۰۵)

پس از اجرای راهبرد جستجو در پایگاه Scopus، نتایج اولیه مورد پالایش قرار گرفت تا مجموعه نهایی اسناد متناسب با هدف پژوهش استخراج شود. در این مرحله، تنها مقالات پژوهشی منتشرشده در مجلات علمی وارد تحلیل شدند و سایر انواع مدارک از جمله مقالات کنفرانسی، فصل‌های کتاب، کتاب‌ها، یادداشت‌ها، سرمقاله‌ها، نامه‌ها از فرایند بررسی حذف شدند. همچنین، با توجه به هدف پژوهش و به‌منظور حفظ یکپارچگی در تحلیل محتوایی و کتاب‌سنجی، مقالات غیرانگلیسی نیز کنار گذاشته شدند. پس از اعمال این معیارها و بررسی نهایی، تعداد ۷۱۲ مقاله برای تحلیل علم‌سنجی انتخاب شد. فرایند پالایش و بازبینی اسناد توسط پژوهشگران مطالعه انجام شد و مجموعه نهایی پس از کنترل انطباق موضوعی با محور پذیرش پهپاد در کشاورزی نهایی گردید.

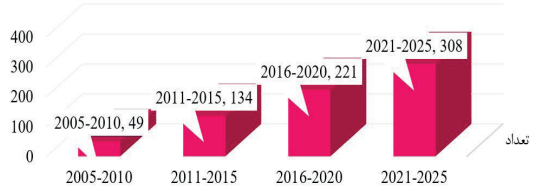
همان طوری که قبلا بیان شد، در این پژوهش برای تحلیل داده‌های کسب شده از روش علم‌سنجی استفاده شد. در ابتدا شاخص‌های توصیفی شامل روند انتشار سالانه مقاله‌ها، توزیع جغرافیایی، مجله‌های فعال و میزان استنادها بررسی شد تا تصویری کلی از وضعیت تحقیقات علمی در حوزه پذیرش پهپاد در کشاورزی ارائه شود. سپس برای شناسایی الگوهای همکاری علمی و ساختار مفهومی پژوهش‌ها از تحلیل‌های شبکه‌ای بهره گرفته شد. به این منظور داده‌های کتابشناختی استخراج‌شده از پایگاه Scopus با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer تحلیل و نقشه‌های علمی تصویرسازی شد. در این مرحله سه نوع

تحلیل شامل تحلیل همکاری کشورها به منظور بررسی شبکه همکاری علمی میان کشورها، تحلیل هم‌وقوعی کلیدواژه‌ها برای شناسایی موضوعات و خوشه‌های اصلی پژوهشی، و تحلیل هم‌استنادی منابع برای تعیین منابع و آثار علمی تأثیرگذار در این حوزه انجام شد. نتایج این تحلیل‌ها به شناسایی ساختار دانشی، روندهای پژوهشی و بازیگران اصلی علمی در حوزه پذیرش فناوری پهپاد در کشاورزی کمک می‌کند.

یافته‌ها

بررسی های عمیق انجام شده نشان داد که روند انتشار مقاله‌ها در حوزه پذیرش پهپاد در کشاورزی (نگاره ۲) طی بازه‌ی زمانی سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵ نشان‌دهنده‌ی رشد قابل‌توجه و شتاب‌دار توجه پژوهشگران به این موضوع است. در این رابطه، در دوره‌ی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ تنها ۴۹ مقاله منتشر شده که بیانگر مرحله‌ی اولیه و نوظهور بودن این حوزه پژوهشی است. در بازه‌ی ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ شمار مقاله‌ها به ۱۳۴ مورد افزایش یافته که نشان‌دهنده‌ی آغاز توجه بیشتر جامعه علمی به کاربردهای فناوری پهپاد در کشاورزی و مسائل مرتبط با پذیرش آن است. این روند در دوره‌ی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ با انتشار ۲۲۱ مقاله سرعت بیشتری گرفته که می‌تواند ناشی از پیشرفت فناوری پهپاد، کاهش هزینه‌ها و افزایش کاربردهای عملی آن در مدیریت مزارع باشد. در نهایت، در بازه‌ی ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۵ با انتشار ۳۰۸ مقاله، بیشترین میزان تولید علمی مشاهده می‌شود. این افزایش چشمگیر نشان می‌دهد که موضوع پذیرش پهپاد در کشاورزی از مرحله نوظهور عبور کرده و به یکی از محورهای مهم پژوهش در حوزه کشاورزی هوشمند تبدیل شده است؛ به‌گونه‌ای که هم‌زمان با گسترش فناوری‌های دیجیتال، اینترنت اشیا و تحلیل داده‌های کشاورزی، توجه پژوهشگران، سیاست‌گذاران و فعالان بخش کشاورزی به ابعاد اجتماعی، اقتصادی و مدیریتی پذیرش این فناوری به طور فزاینده‌ای افزایش یافته است.

روند انتشارمقاله



نگاره ۲- شمار مقاله‌های منتشر شده در حوزه تحقیقات پذیرش پهپاد درکشاورزی در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵

یکی از ابعاد مهم در این پژوهش، بررسی کشورهایی بود که در تولید و انتشار مقاله‌های مرتبط با پذیرش پهپاد در کشاورزی نقش فعال‌تری داشته‌اند. همان‌گونه که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، چین با ۱۲۷ سند در رتبه نخست از نظر تعداد انتشارات قرار داشت و از این نظر فعال‌ترین کشور در این حوزه محسوب می‌شد. با این حال، قدرت کل پیوند این کشور برابر با ۵ بود که در مقایسه با ایالات متحده، با وجود تعداد اسناد کمتر (۹۹ سند) اما قدرت پیوند بالاتر (۸)، نشان می‌دهد حجم بیشتر تولید علمی لزوماً به معنای همکاری بین‌المللی گسترده‌تر نیست. به بیان دیگر، ایالات متحده از جایگاه محوری‌تری در شبکه همکاری‌های علمی برخوردار بوده و توانسته است ارتباطات پژوهشی بین‌المللی قوی‌تری نسبت به چین برقرار کند. این تفاوت را می‌توان ناشی از مشارکت گسترده‌تر پژوهشگران و نهادهای علمی آمریکایی در پروژه‌های مشترک، شبکه‌های بین‌المللی و انتشارات هم‌نویسنده با سایر کشورها دانست.

در میان کشورهای اروپایی نیز الگوی قابل توجهی از فعالیت علمی و همکاری پژوهشی مشاهده شد. برای مثال، بریتانیا با ۴۱ سند و قدرت پیوند ۶ و آلمان با ۳۶ سند و قدرت پیوند ۷، در مقایسه با برخی کشورهایی که تعداد اسناد بیشتری داشتند، از موقعیت قوی‌تری در شبکه همکاری علمی برخوردار بودند. این یافته نشان می‌دهد که برخی کشورها، فراتر از حجم تولید علمی، نقش پیونددهنده و اثرگذارتری در تعاملات بین‌المللی ایفا کرده‌اند. حضور کشورهایی مانند ایتالیا، فرانسه، هلند و کانادا نیز بیانگر آن است که بخش قابل توجهی از تولید دانش

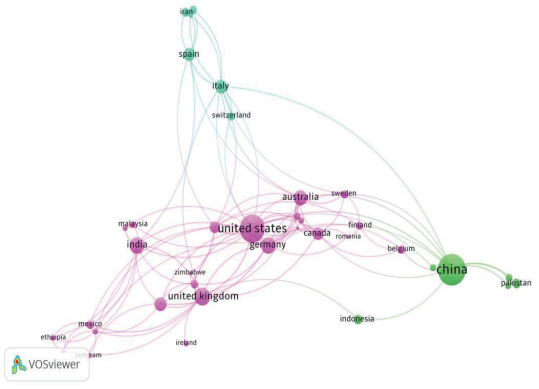
در این حوزه در بستر همکاری‌های علمی فرامرزی شکل گرفته است.

از سوی دیگر، برخی کشورها با وجود داشتن تعداد نسبتاً بالای اسناد، از قدرت پیوند پایین یا حتی صفر برخوردار بودند. نمونه برجسته در این میان، برزیل است که با ۲۸ سند، از نظر تولید علمی جایگاه قابل توجهی داشت، اما قدرت پیوند آن صفر گزارش شد. این وضعیت نشان می‌دهد که تولیدات علمی برزیل در این حوزه عمدتاً در چارچوب داخلی و با مشارکت محدود در شبکه‌های همکاری بین‌المللی انجام شده است. چنین الگویی ممکن است ناشی از تمرکز پژوهش‌ها بر مسائل بومی، محدود بودن همکاری‌های برون‌مرزی، یا ضعف در ادغام با شبکه جهانی پژوهش باشد. بنابراین، اگرچه برزیل از نظر کمی در زمره کشورهای فعال قرار می‌گیرد، اما از منظر تعاملات علمی بین‌المللی نقش کمرنگ‌تری دارد.

جدول ۱-کشورهای منتشرکننده مقاله در حوزه پذیرش کاربرد پهپاد در کشاورزی در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵

کشور	شمار اسناد	استنادها	قدرت کل پیوند
چین	۱۲۷	۴۲	۵
ایالات متحده	۹۹	۳۴	۸
آلمان	۳۶	۱۵	۷
هند	۲۵	۱۵	۴
ایتالیا	۳۵	۱۴	۴
استرالیا	۲۹	۱۳	۴
اسپانیا	۲۴	۱۳	۲
بریتانیا	۴۱	۱۰	۶
برزیل	۲۸	۹	۰
پاکستان	۱۳	۸	۰
هلند	۱۹	۸	۳
فرانسه	۲۶	۷	۳
کانادا	۲۲	۵	۴
سوئیس	۹	۵	۰
بلژیک	۱۰	۴	۱
سوئد	۱۰	۴	۱
کره جنوبی	۷	۴	۰
فنلاند	۸	۳	۱
عربستان سعودی	۵	۳	۱
مصر	۶	۳	۰

شبکه همکاری کشورهای منتشرکننده مقاله در حوزه پذیرش پهپاد نیز موضوعی حائز اهمیت و مورد نظر در این بررسی علمی بود. در نگاره (۳) نیز شبکه همکاری کشورهای منتشرکننده مقاله در حوزه پذیرش پهپاد در کشاورزی نشان می دهد. همان گونه که ملاحظه می شود طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵ را نشان می‌دهد. در این شبکه، اندازه گره‌ها بیانگر است میزان تولید علمی کشورها و خطوط ارتباطی نشان‌دهنده همکاری‌های پژوهشی میان آن‌ها است. بر اساس این شکل، ایالات متحده و چین به عنوان دو گروه مرکزی شبکه شناخته می‌شوند که ارتباطات علمی گسترده‌ای با سایر کشورها دارند. ایالات متحده با داشتن پیوندهای متعدد با کشورهایی مانند آلمان، بریتانیا، کانادا، هند و استرالیا نقش مهمی در شکل‌گیری همکاری‌های بین‌المللی ایفا می‌کند. همچنین چین نیز با کشورهایی مانند پاکستان، بلژیک و اندونزی ارتباط پژوهشی دارد و به عنوان یکی از قطب‌های مهم تولید علم در این حوزه مطرح است. در بخش دیگر شبکه، کشورهای اروپایی مانند ایتالیا، اسپانیا و سوئیس نیز با یکدیگر و با سایر کشورها پیوندهای پژوهشی برقرار کرده‌اند که نشان‌دهنده نقش فعال اروپا در توسعه تحقیقات مرتبط با فناوری پهپاد در کشاورزی است.



نگاره ۳-شبکه کشورهای منتشرکننده مقاله در حوزه پذیرش پهپاد در کشاورزی در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵

جدول (۲) مجله‌های منتشرکننده مقاله‌ها در حوزه پذیرش کاربرد پهپاد در کشاورزی را در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵ نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT با ۹۸ سند بیشترین سهم

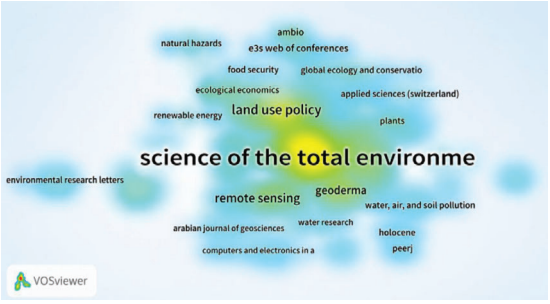
را در انتشار مقاله‌های این حوزه داشته است، اما تعداد استنادهای ثبت‌شده برای آن ۴۰ مورد بوده که در مقایسه با حجم انتشارات، نسبتاً پایین به نظر می‌رسد. وضعیت مشابهی در سایر مجله‌ها نیز مشاهده می‌شود؛ برای مثال، JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT با ۳۳ سند تنها ۵ استناد و SUStAINABILITY (SWITZERLAND) با ۳۷ سند تنها ۱ استناد دریافت کرده‌اند. این الگو نشان می‌دهد که اگرچه حجم تولید علمی در این حوزه در حال افزایش است، اما میزان استنادپذیری بسیاری از مقاله‌ها هنوز محدود است.

این وضعیت را می‌توان تا حد زیادی با نوظهور بودن حوزه پژوهش و تازگی نسبی بخش قابل توجهی از مقالات منتشرشده تبیین کرد. همان‌گونه که در نگاره (۲) نیز مشاهده می‌شود، بخش عمده‌ای از تولیدات علمی این حوزه در سال‌های اخیر منتشر شده است؛ به‌گونه‌ای که تنها در بازه ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۵ تعداد ۳۰۸ مقاله منتشر شده که بیشترین سهم از کل تولیدات را تشکیل می‌دهد. از آنجاکه استناددهی فرایندی زمان‌بر است و معمولاً چند سال پس از انتشار مقاله‌ها به‌طور معنادار افزایش می‌یابد، پایین بودن تعداد استنادها در بسیاری از مجله‌ها لزوماً به معنای کیفیت پایین یا اثرگذاری محدود پژوهش‌ها نیست، بلکه بیشتر بازتاب کوتاه بودن پنجره زمانی استنادگیری در این حوزه است.

از منظر روند زمانی نیز، تعداد مقاله‌های منتشرشده در حوزه پذیرش پهپاد در کشاورزی طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵ رشد قابل توجهی داشته است. در دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ تنها ۴۹ مقاله منتشر شد که بیانگر مرحله اولیه و نوظهور بودن این حوزه پژوهشی بود. در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ این تعداد به ۱۳۴ مقاله افزایش یافت که نشان‌دهنده آغاز توجه بیشتر جامعه علمی به کاربردهای پهپاد در کشاورزی و موضوع پذیرش این فناوری بود. این روند در فاصله ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ با انتشار ۲۲۱ مقاله شتاب بیشتری گرفت که می‌تواند ناشی از پیشرفت فناوری پهپاد، کاهش هزینه‌های استفاده و گسترش کاربردهای عملی آن در مدیریت مزارع باشد. در نهایت، در بازه ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۵ با انتشار ۳۰۸ مقاله، بیشترین میزان تولید علمی ثبت شد. این رشد نشان می‌دهد که موضوع پذیرش پهپاد در کشاورزی از یک حوزه نوظهور عبور کرده و به یکی از محورهای مهم پژوهشی در کشاورزی هوشمند تبدیل شده است. بنابراین، پایین بودن نسبی میزان استنادها را باید در پرتو رشد سریع و بودن ادبیات این حوزه تفسیر کرد.

جدول ۲- مجله‌های منتشرکننده مقاله‌ها در حوزه پذیرش کاربرد پهپاد در کشاورزی (۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵)

مجله (Source)	شمار اسناد	استنادها
SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	۹۸	۴۰
LAND USE POLICY	۲۱	۱۲
SOIL AND TILLAGE RESEARCH	۱۶	۹
ENVIRONMENT, DEVELOPMENT AND SUStAINABILITY	۱۰	۹
ECOLOGICAL INDICATORS	۱۶	۷
CHEMOSPHERE	۱۲	۶
JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	۳۳	۵
AGRICULTURE, ECOSYStEMS AND ENVIRONMENT	۱۱	۵
AGRICULTURAL SYStEMS	۱۴	۴
AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT	۱۱	۴
JOURNAL OF HYDROLOGY	۱۲	۳
AGRICULTURE (SWITZERLAND)	۱۲	۳
ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS	۱۴	۲
SCIENTIFIC REPORTS	۹	۲
CATENA	۹	۲
SUStAINABILITY (SWITZERLAND)	۳۷	۱
E3S WEB OF CONFERENCES	۵	۰
WATER (SWITZERLAND)	۱۲	۰
CLIMATIC CHANGE	۵	۰



نگاره ۴- شبکه پراکنش مجله‌های منتشرکننده مقاله‌ها در حوزه پذیرش کاربرد پهپاد در کشاورزی در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵

موضوع قابل توجه دیگر در این بررسی اسنادی میزان واژگان پرتکرار علمی بود که می تواند لایه دیگری از اهمیت عنایت به این فناوری علمی را در کشورهای مختلف تبیین کند. دراین باره، در جدول (۳)، واژگان پرتکرار مرتبط با مطالعات پذیرش پهپاد در کشاورزی نشان می‌دهد که تمرکز پژوهش‌ها عمدتاً بر ابعاد فناورانه، رفتاری و نهادی قرار دارد. پرکاربردترین واژه «هواپیماهای بدون سرنشین (UAVs)» با بالاترین شمار تکرار و مجموع قدرت پیوند، بیانگر محوریت پهپادها به‌عنوان فناوری کلیدی در تحول کشاورزی است. پس از آن، «پذیرش پهپاد» و «کشاورزی دقیق» به‌عنوان موضوعات اصلی مطرح هستند که نشان می‌دهد بیشتر پژوهش‌ها به بررسی نقش پهپادها در افزایش دقت، بهره‌وری و تصمیم‌گیری کشاورزی پرداخته‌اند. همچنین حضور مدل‌های نظری مانند «مدل پذیرش فناوری (TAM)» «نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده» و «مدل» UTAUT نشانگر اهمیت چارچوب‌های رفتاری در تبیین عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری توسط کاربران، به‌ویژه کشاورزان است. مفاهیمی همچون «سودمندی ادراک‌شده»، «سهولت ادراک‌شده در استفاده» و «پذیرش اجتماعی» نیز بیان می‌کنند که ادراک کاربران نسبت به کاربردی بودن و سهولت استفاده از فناوری، نقش مهمی در پذیرش آن ایفا می‌کند. از سوی دیگر، واژه‌هایی مانند «موانع اقتصادی»، «موانع نهادی» و «چالش‌های مقرراتی» نشان می‌دهند که محدودیت‌های ساختاری و هزینه‌ای همچنان از عوامل بازدارنده در استفاده از پهپادها در بخش کشاورزی هستند. در مجموع، این واژگان تصویری جامع از روند پژوهش‌ها ارائه می‌دهند: تمرکز هم‌زمان بر کارکردهای فناورانه، مدل‌های رفتاری پذیرش فناوری و موانع اقتصادی و نهادی مؤثر بر پیاده‌سازی پهپاد در کشاورزی.

موضوع قابل توجه دیگر در این بررسی، تحلیل واژگان پرتکرار علمی بود که می‌تواند لایه دیگری از جهت‌گیری پژوهش‌ها در حوزه پهپادهای کشاورزی را آشکار سازد. همان‌گونه که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، پرکاربردترین واژه «هواپیماهای بدون سرنشین (UAVs)» با ۷۹ بار تکرار و ۱۴۵ واحد مجموع قدرت پیوند، در مرکز ادبیات این حوزه قرار دارد. پس از آن، واژه «پذیرش پهپاد» با ۵۰ بار تکرار و ۱۴۲ واحد قدرت پیوند قرار گرفته است. این تفاوت نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از مطالعات منتشرشده، بیش از آنکه مستقیماً بر پذیرش پهپاد متمرکز باشند، بر خود فناوری پهپاد، قابلیت‌های فنی و کاربردهای آن در کشاورزی تأکید داشته‌اند. از این رو، ادبیات موجود هنوز تا اندازه‌ای تحت غلبه رویکرد فناورانه قرار دارد و بعد رفتاری و پذیرشی، هرچند مهم و رو به رشد، سهم کمتری نسبت به مطالعات فنی داشته است.

این یافته در واقع با عنوان و هدف پژوهش حاضر در تعارض نیست، بلکه یکی از نتایج مهم این مطالعه را آشکار می‌کند؛ بدین معنا که حوزه پذیرش پهپاد در کشاورزی هنوز به‌صورت کامل به یک جریان مستقل و غالب در ادبیات علمی تبدیل نشده و بخش زیادی از پژوهش‌ها همچنان پذیرش را در حاشیه مطالعات مربوط به کاربردهای فنی پهپادها بررسی کرده‌اند. به بیان دیگر، پژوهش‌های این حوزه اغلب از بستر کشاورزی دقیق، سنجش از دور، پایش محصول و کشاورزی هوشمند شکل گرفته‌اند و سپس به ابعاد رفتاری و تصمیم‌گیری کاربران پرداخته‌اند. بنابراین، غلبه واژه UAVs بر واژه پذیرش پهپاد را می‌توان نشانه‌ای از مرحله گذار این حوزه دانست؛ مرحله‌ای که در آن ادبیات از تمرکز صرف بر قابلیت‌های فناورانه به سمت توجه بیشتر به عوامل انسانی، اجتماعی و نهادی مؤثر بر پذیرش در حال حرکت است.

علاوه بر این، حضور واژگانی مانند «کشاورزی دقیق»، «سنجش از دور»، «حسگرهای چندطیفی»، «هوش مصنوعی» و «اینترنت اشیا» نشان می‌دهد که پهپادها در چارچوب اکوسیستم فناوری‌های کشاورزی هوشمند مطالعه شده‌اند. در مقابل، واژه‌هایی مانند «مدل پذیرش فناوری (TAM)»، «نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده»، «مدل UTAUT»، «سودمندی ادراک‌شده» و «سهولت ادراک‌شده در استفاده» بیانگر آن است که بخش دیگری از مطالعات کوشیده‌اند با استفاده از چارچوب‌های رفتاری، عوامل تعیین‌کننده پذیرش این فناوری را تحلیل کنند. همچنین، واژگان مرتبط با موانع اقتصادی، موانع نهادی و چالش‌های مقرراتی نیز نشان‌دهنده آن است که ادبیات این حوزه به‌تدریج از سطح صرفاً فنی فراتر رفته و به محدودیت‌های ساختاری و سیاستی پذیرش نیز توجه کرده است.

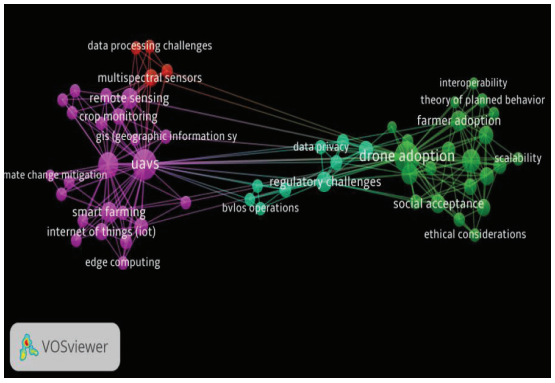
شبکه هم‌رخدادی واژگان نیز این الگو را تأیید می‌کند. همان‌گونه که در نگاره (۵) مشاهده می‌شود، واژه UAVs در مرکز شبکه قرار داشته و با مفاهیمی مانند سنجش از دور، حسگرهای چندطیفی، پایش محصول، GIS، هوش مصنوعی و کشاورزی هوشمند پیوند نزدیک دارد. این امر نشان می‌دهد که بخش بزرگی از پژوهش‌ها پیرامون ظرفیت‌های فنی و

عملیاتی پهپادها شکل گرفته است. در کنار آن، خوشه‌ای دیگر از واژگان مرتبط با پذیرش فناوری شامل پذیرش پهپاد، پذیرش کشاورزان، سودمندی ادراک‌شده، مدل UTAUT و نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده مشاهده می‌شود که بیانگر رشد مطالعات رفتاری در این زمینه است. در نتیجه، می‌توان گفت که ادبیات موجود دارای دو هسته اصلی است: نخست، هسته فناورانه که بر کاربردهای فنی پهپادها تمرکز دارد، و دوم، هسته رفتاری ـ نهادی که به تبیین عوامل مؤثر بر پذیرش این فناوری می‌پردازد. این ساختار دوگانه نشان می‌دهد که حوزه پذیرش پهپاد در کشاورزی هنوز در حال بلوغ مفهومی است و نیازمند پژوهش‌های بیشتری است که به‌طور مستقیم و متمرکز بر فرایند پذیرش، تصمیم‌گیری کاربران و شرایط نهادی و اجتماعی اثرگذار بر آن بپردازند.

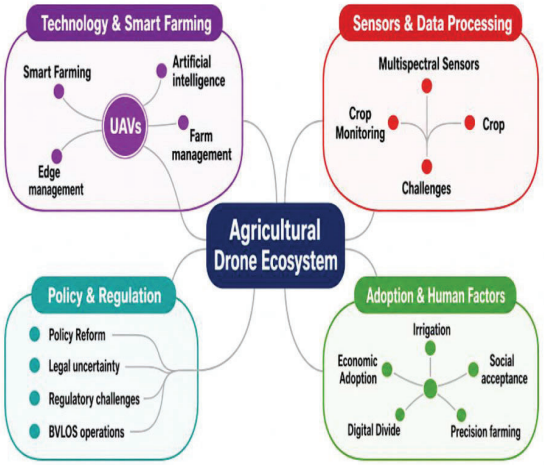
جدول ۳- واژگان پرتکرار در مطالعات پذیرش پهپاد در کشاورزی

کلیدواژه	شمار تکرار	مجموع قدرت پیوند
هواپیماهای بدون سرنشین (UAVs)	۷۹	۱۴۵
پذیرش پهپاد	۵۰	۱۴۲
کشاورزی دقیق	۳۴	۹۸
مدل پذیرش فناوری (TAM)	۲۰	۶۰
سنجش از دور	۱۷	۵۱
نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده	۱۷	۴۸
مانع های اقتصادی	۱۳	۳۵
کشاورزی هوشمند	۱۱	۳۵
چالش‌های مقرراتی	۱۱	۳۱
هوش مصنوعی	۱۰	۳۰
سودمندی ادراک‌شده	۹	۲۶
اینترنت اشیا (IoT)	۹	۲۴
پذیرش اجتماعی	۸	۲۳
مدل UTAUT	۸	۲۳
پذیرش کشاورزان	۷	۲۰
پایش محصول	۶	۱۹
مانع های نهادی	۵	۱۷
سهولت ادراک‌شده در استفاده	۵	۱۶
حسگرهای چندطیفی	۵	۱۵
نظریه عمل منطقی	۵	۱۴

شبکه هم‌رخدادی واژگان نیز با عنایت به اهمیت علمی آن نیز در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. (نگاره ۵) نشان می‌دهد که مطالعات مربوط به پذیرش پهپاد در کشاورزی در چند محور اصلی متمرکز شده‌اند. در مرکز این شبکه، واژه «UAVs» به‌عنوان هسته اصلی قرار دارد که با مفاهیمی مانند سنجش از دور، حسگرهای چندطیفی، پایش محصول، GIS، هوش مصنوعی و کشاورزی هوشمند ارتباط نزدیک دارد. این موضوع بیانگر آن است که بخش قابل توجهی از پژوهش‌ها بر کاربردهای فنی پهپادها در کشاورزی، به‌ویژه در زمینه جمع‌آوری و تحلیل داده‌های مزرعه، تمرکز داشته‌اند. در بخش دیگری از شبکه، خوشه‌ای از واژگان مرتبط با پذیرش فناوری مشاهده می‌شود که شامل مفاهیمی مانند پذیرش پهپاد، پذیرش کشاورزان، سودمندی ادراک‌شده، مدل ۹ و نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده است. حضور این مفاهیم نشان می‌دهد که بسیاری از پژوهش‌ها تلاش کرده‌اند با استفاده از مدل‌های رفتاری و پذیرش فناوری، عوامل مؤثر بر تمایل کشاورزان به استفاده از پهپادها را تبیین کنند. علاوه بر این، واژگانی مانند موانع اقتصادی، چالش‌های مقرراتی، شکاف دیجیتال، تحلیل هزینه ـ فایده و آموزش کشاورزان نشان‌دهنده توجه پژوهشگران به موانع و محدودیت‌های اقتصادی، نهادی و سیاستی در پذیرش این فناوری است. همچنین مفاهیمی مانند اصلاح سیاست‌ها، عدم قطعیت قانونی و عملیات پروازی فراتر از خط دید به اهمیت چارچوب‌های قانونی و مقرراتی در توسعه کاربرد پهپادها اشاره دارند.



نگاره ۵- شبکه هم رخدادی واژگان در مطالعات پذیرش پهپاد در کشاورزی



نگاره ۶- خوشه‌های اصلی در شبکه هم رخدادی واژگان مطالعات پذیرش پهپاد در کشاورزی

ارتباط میان خوشه‌های شناسایی‌شده در شبکه هم‌رخدادی واژگان نشان می‌دهد (نگاره ۶) که اکوسیستم پهپادهای کشاورزی یک ساختار به‌شدت به‌هم‌پیوسته است و هر خوشه نقش مکملی در توسعه و پذیرش این فناوری ایفا می‌کند. در مرکز این شبکه، مفهوم پهپادهای کشاورزی (UAVs) به‌عنوان هسته مشترک میان خوشه‌ها عمل می‌کند و میان ابعاد فناورانه، داده‌محور، نهادی و انسانی پیوند برقرار می‌سازد. به بیان دیگر، توسعه و کاربرد موفق پهپادها در کشاورزی نتیجه تعامل هم‌زمان میان پیشرفت‌های فنی، زیرساخت‌های داده‌ای، چارچوب‌های سیاستی و میزان پذیرش کاربران است.

همچنین، ارتباط میان خوشه فناوری و کشاورزی هوشمند با خوشه حسگرها و پردازش داده بسیار مستقیم و ساختاری است. در واقع فناوری‌های مرتبط با پهپاد، هوش مصنوعی و مدیریت مزرعه زمانی کارآمد خواهند بود که بتوانند داده‌های دقیق و قابل‌اعتماد از محیط مزرعه جمع‌آوری و تحلیل کنند. حسگرهای چندطیفی و سامانه‌های پایش محصول، داده‌های خام مربوط به وضعیت گیاه، خاک و تنش‌های زراعی را فراهم می‌کنند و سپس این داده‌ها از طریق الگوریتم‌های هوش مصنوعی و سیستم‌های مدیریت مزرعه تحلیل می‌شوند. بنابراین خوشه حسگرها و داده‌ها نقش زیرساخت اطلاعاتی را برای تحقق کشاورزی هوشمند ایفا می‌کند، در حالی که خوشه فناوری بستر عملیاتی برای استفاده از این داده‌ها در تصمیم‌گیری مدیریتی را فراهم می‌سازد.

از سوی دیگر، ارتباط میان خوشه فناوری و کشاورزی هوشمند با خوشه پذیرش و عوامل انسانی نشان می‌دهد که توسعه فناوری به‌تنهایی برای گسترش استفاده از پهپادها کافی نیست. حتی اگر فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند هوش مصنوعی یا سامانه‌های مدیریت مزرعه در دسترس باشند، میزان پذیرش آن‌ها توسط کشاورزان به عواملی مانند سودمندی ادراک‌شده، هزینه‌های اقتصادی، سهولت استفاده و سطح دانش دیجیتال کاربران بستگی دارد. در اینجا مفاهیمی مانند شکاف دیجیتال، پذیرش اجتماعی و پذیرش اقتصادی اهمیت پیدا می‌کنند. این ارتباط بیانگر آن است که هرچه فناوری‌ها ساده‌تر، مقرون‌به‌صرفه‌تر و متناسب با نیازهای واقعی کشاورزان طراحی شوند، احتمال پذیرش و استفاده گسترده از آن‌ها افزایش خواهد یافت.

ارتباط خوشه حسگرها و پردازش داده با خوشه پذیرش و عوامل انسانی نیز قابل‌توجه است. کیفیت و کاربردپذیری داده‌هایی که توسط حسگرها و سامانه‌های پایش جمع‌آوری می‌شوند، می‌تواند نقش مهمی در اعتماد کاربران به فناوری ایفا کند. اگر داده‌های حاصل از پایش محصول بتوانند به‌صورت قابل فهم و کاربردی به کشاورزان ارائه شوند و منجر به تصمیمات مدیریتی بهتر، کاهش هزینه‌ها یا افزایش عملکرد محصول شوند، در این صورت پذیرش فناوری به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. به همین دلیل، بسیاری از پژوهش‌ها بر توسعه سامانه‌های تصمیم‌یار و تحلیل داده متمرکز شده‌اند تا فاصله میان داده‌های پیچیده و کاربرد عملی آن‌ها در مزرعه کاهش یابد.

در این میان، خوشه سیاست و مقررات نقش یک چارچوب تنظیم‌کننده و تسهیل‌کننده برای سایر خوشه‌ها دارد. سیاست‌ها و قوانین می‌توانند مسیر توسعه فناوری، نحوه استفاده از حسگرها و داده‌ها، و حتی سطح پذیرش کاربران را تحت تأثیر قرار دهند. برای مثال، محدودیت‌های قانونی در پرواز پهپادها، عدم شفافیت مقرراتی یا نبود استانداردهای ایمنی ممکن است مانع از توسعه کاربردهای عملی پهپادها در کشاورزی شود. در مقابل، اصلاح سیاست‌ها، تدوین مقررات حمایتی و فراهم‌سازی زیرساخت‌های

قانونی مناسب می‌تواند زمینه گسترش استفاده از این فناوری را فراهم کند. به همین دلیل، این خوشه به‌طور غیرمستقیم اما قدرتمند با هر سه خوشه دیگر در ارتباط است.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش بررسی عمیق و تصویرسازی نقشه علمی مطالعات مرتبط با پذیرش فناوری پهپاد در کشاورزی با استفاده از رویکرد علم‌سنجی بود تا روند توسعه دانش، بازیگران اصلی علمی، ساختار مفهومی پژوهش‌ها و جهت‌گیری‌های آینده این حوزه شناسایی شود. برای این منظور، داده‌های کتابشناختی ۷۱۲ مقاله نمایه‌شده در پایگاه Scopus طی دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵ مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که مطالعات مربوط به پذیرش پهپاد در کشاورزی در دو دهه اخیر رشد قابل توجهی داشته و به یک حوزه میان‌رشته‌ای در تقاطع فناوری‌های دیجیتال، کشاورزی دقیق و علوم اجتماعی تبدیل شده است.

بررسی روند انتشار مقاله‌ها نشان داد که تحقیقات در این حوزه از یک مرحله اولیه در سال‌های ابتدایی به مرحله رشد سریع در سال‌های اخیر رسیده است. افزایش قابل توجه شمار مقاله‌ها به‌ویژه پس از سال ۲۰۱۶ بیانگر افزایش توجه جامعه علمی به کاربردهای پهپاد در کشاورزی و همچنین اهمیت موضوع پذیرش فناوری در میان کاربران نهایی، به‌ویژه کشاورزان، است. این روند با نتایج مطالعات مروری پیشین همسو است که نشان می‌دهند پیشرفت فناوری‌های سنجش از دور، کاهش هزینه تجهیزات و توسعه کشاورزی هوشمند موجب گسترش کاربرد پهپادها در مدیریت مزرعه شده است (خانال و همکاران، ۲۰۲۰؛ تسوروس و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین رشد مطالعات در سال‌های اخیر را می‌توان با افزایش استفاده از فناوری‌های دیجیتال، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در کشاورزی مرتبط دانست که بستر لازم برای توسعه کاربردهای پهپاد را فراهم کرده‌اند (موکارجی و همکاران، ۲۰۲۱).

نتایج تحلیل توزیع جغرافیایی پژوهش‌ها نشان داد که کشورهای چین و ایالات متحده بیشترین سهم را در تولید علمی این حوزه دارند و نقش مهمی در شکل‌گیری شبکه‌های همکاری بین‌المللی ایفا می‌کنند. حضور فعال کشورهای اروپایی مانند آلمان، بریتانیا، ایتالیا و اسپانیا نیز نشان‌دهنده توجه گسترده پژوهشی به فناوری‌های دیجیتال در کشاورزی در این منطقه است. این یافته با نتایج برخی مطالعات علم‌سنجی در حوزه کشاورزی دقیق همخوانی دارد که نشان می‌دهند کشورهای توسعه‌یافته به دلیل دسترسی به زیرساخت‌های فناورانه، سرمایه‌گذاری تحقیقاتی و سیاست‌های حمایتی، سهم بیشتری در تولید دانش در این حوزه دارند (لیو و همکاران، ۲۰۲۰). در مقابل، برخی کشورهای در حال توسعه با وجود مشارکت در تولید مقاله‌ها، از سطح همکاری علمی پایین‌تری برخوردارند که می‌تواند به محدودیت منابع پژوهشی، زیرساخت‌های فناورانه یا همکاری‌های بین‌المللی مربوط باشد.

بررسی مجله‌های منتشرکننده مقاله‌ها نشان داد که پژوهش‌های مرتبط با پذیرش پهپاد در کشاورزی در طیف متنوعی از مجله‌های حوزه‌های محیط‌زیست، مدیریت منابع طبیعی، علوم کشاورزی و توسعه پایدار منتشر شده‌اند. این پراکندگی نشان‌دهنده ماهیت میان‌رشته‌ای این حوزه است. تمرکز انتشار مقاله‌ها در مجله‌هایی مانند SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT، LAND USE POLICY بیانگر آن است که موضوع پهپادهای کشاورزی نه تنها از منظر فناوری، بلکه از دیدگاه‌های محیط‌زیستی، مدیریتی و سیاست‌گذاری نیز مورد توجه قرار گرفته است. این موضوع با دیدگاه مولا (۲۰۱۳) نیز همسو است که تأکید می‌کند توسعه کشاورزی دقیق و فناوری‌های سنجش از دور نیازمند تلفیق دانش در حوزه‌های مختلف علمی است.

تحلیل واژگان پرتکرار و شبکه هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها نشان داد که مطالعات این حوزه در چند محور اصلی متمرکز شده‌اند. نخست، محور فناوری که شامل کاربرد پهپادها، سنجش از دور، حسگرهای چندطیفی، هوش مصنوعی و کشاورزی هوشمند است و به جنبه‌های فنی و عملیاتی استفاده از پهپادها در مدیریت مزارع می‌پردازد. دوم، محور پذیرش فناوری که شامل مفاهیمی

مانند مدل پذیرش فناوری (TAM)، نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده و مدل UTAUT است و به بررسی عوامل رفتاری و ادراکی مؤثر بر پذیرش فناوری توسط کاربران می‌پردازد. سوم، محور موانع و چالش‌ها که شامل مفاهیمی مانند موانع اقتصادی، چالش‌های مقرراتی و محدودیت‌های نهادی است و نشان‌دهنده توجه پژوهشگران به عوامل ساختاری مؤثر بر گسترش استفاده از این فناوری است. این یافته‌ها با نتایج مطالعات پیشین درباره پذیرش فناوری‌های کشاورزی همخوانی دارد که نشان می‌دهند عوامل ادراکی، اقتصادی و اجتماعی نقش مهمی در پذیرش فناوری توسط کشاورزان دارند (شاه‌ولی و همکاران، ۱۳۹۸؛ شکربیگی و همکاران، ۱۴۰۲).

همچنین تحلیل خوشه‌های شبکه واژگان نشان داد که اکوسیستم پهپادهای کشاورزی از تعامل میان چهار بعد اصلی شامل فناوری، داده و حسگرها، عوامل انسانی و چارچوب‌های سیاستی شکل گرفته است. این یافته نشان می‌دهد که توسعه موفق پهپادها در کشاورزی تنها به پیشرفت‌های فناورانه وابسته نیست، بلکه نیازمند پذیرش کاربران، دسترسی به زیرساخت‌های داده‌ای و وجود سیاست‌ها و مقررات حمایتی نیز هست. چنین نتیجه‌ای با دیدگاه برخی پژوهشگران همسو است که توسعه فناوری‌های کشاورزی دیجیتال را یک فرایند چندبعدی می‌دانند که در آن عوامل فنی، اقتصادی و اجتماعی به‌طور همزمان نقش دارند (موکارجی و همکاران، ۲۰۲۱؛ زبوب و همکاران، ۲۰۲۳).

نتایج این پژوهش نشان داد که ادبیات «پذیرش پهپاد در کشاورزی» در عمل در قالب یک اکوسیستم به‌هم‌پیوسته شکل گرفته است و چهار خوشه شناسایی‌شده در نگاره (۶) را نمی‌توان حوزه‌هایی مستقل تلقی کرد. بر اساس ساختار شبکه هم‌رخدادی، روابط میان خوشه‌ها بیانگر آن بود که پذیرش پهپاد خروجیِ تعامل هم‌زمان میان «توانمندی فناورانه»، «زیرساخت داده و حسگر»، «عوامل انسانی و رفتاری»، و «چارچوب‌های سیاستی و مقرراتی» بوده است. بنابراین، نتیجه‌گیری اصلی پژوهش این بود که توسعه و به‌کارگیری موفق پهپاد در کشاورزی صرفاً با بهبود سخت‌افزار یا افزایش کاربردهای فنی محقق نشده، بلکه به هم‌ترازی نهادی، آمادگی کاربران و فراهم بودن زنجیره داده نیز وابسته بوده است.

از منظر تبیینی، خوشه TECHNOLOGY & SMART FARMINGنقش «پیشران عرضه فناوری» را ایفا کرده است؛ یعنی پیشرفت‌های فنی پهپاد، کاهش هزینه‌ها، و کاربردهای مدیریتی در مزرعه، امکان‌پذیری و جذابیت اولیه فناوری را برای بخش کشاورزی افزایش داده است. با این حال، شبکه نشان داد که این پیشران فنی به‌تنهایی برای پذیرش کافی نبوده است، زیرا کارکردهای پهپاد در ادبیات به‌شدت به خوشه SENSORS & DATA PROCESSING متصل بوده است. این اتصال بیانگر آن بود که ارزش واقعی پهپادها عمدتاً از طریق «تولید، پردازش و تفسیر داده» (برای مثال پایش محصول و حسگرهای چندطیفی) محقق شده است. در نتیجه، هر جا که زیرساخت داده، مهارت تحلیل، یا یکپارچگی با سامانه‌های تصمیم‌یار ضعیف‌تر بوده، مزیت نسبی پهپاد نیز کمتر ادراک شده و پذیرش کندتر پیش رفته است.

در گام بعد، خوشه ADOPTION & HUMAN FACTORS به‌عنوان «مکانیسم تبدیل ظرفیت فنی به پذیرش واقعی» تفسیر شد. پیوند مفاهیمی مانند پذیرش اجتماعی، شکاف دیجیتال، و مؤلفه‌های اقتصادی پذیرش نشان داد که حتی در صورت وجود قابلیت‌های فنی و داده‌ای، تصمیم به استفاده از پهپاد تابع ادراک کاربران از سودمندی، سهولت، هزینه ـ فایده، ریسک، و دسترسی به مهارت و خدمات پشتیبان بوده است. بر این اساس، پذیرش پهپاد بیشتر یک مسئله «فناوری-انسان» بود تا صرفاً «فناوری».

در نهایت، خوشه POLICY & REGULATION نقش «شرط توانمندساز / محدودکننده» را در اکوسیستم ایفا کرده است. مفاهیمی مانند اصلاح سیاست‌ها، چالش‌های مقرراتی، عدم قطعیت قانونی و عملیات فراتر از خط دید (BVLOS) نشان داد که محیط مقرراتی می‌توانست مسیر پذیرش را تسهیل یا مسدود کند. به بیان دیگر، حتی اگر سه خوشه نخست (فناوری، داده، عوامل انسانی) در وضعیت مطلوب قرار می‌گرفتند، نبود چارچوب حقوقی روشن، محدودیت‌های پروازی، یا سیاست‌های حمایتی

ناکافی می‌توانست به کاهش سرمایه‌گذاری، محدود شدن خدمات‌دهندگان، و در نتیجه افت انگیزه پذیرش در سطح مزرعه منجر شود.

بر مبنای این تفسیر، نگاره (۶) به یک مدل مفهومی یکپارچه قابل تبدیل بود: (۱) «فناوری و کشاورزی هوشمند» و (۲) «داده و حسگرها» ظرفیت ارزش‌آفرینی را ایجاد کرده‌اند؛ سپس (۳) «عوامل انسانی و پذیرش» این ظرفیت را به رفتار استفاده و پذیرش واقعی تبدیل کرده است؛ و (۴) «سیاست و مقررات» به‌صورت بین‌بخشی بر هر سه بُعد اثر گذاشته و سرعت و دامنه پذیرش را تعیین کرده است. بنابراین، استنتاج کلیدی پژوهش این بود که شکاف اصلی در ادبیات و اجرا، نه در شناسایی کاربردهای فنی، بلکه در یکپارچه‌سازی چهار بُعد (فنی ـ داده‌ای ـ انسانی ـ نهادی) و طراحی راهبردهایی بوده است که بتواند هم‌زمان موانع اقتصادی، مهارتی و مقرراتی را کاهش دهد.

از منظر پیامدهای کاربردی و سیاستی، یافته‌ها نشان می‌دهد مداخلات برای توسعه پهپاد در کشاورزی باید چندسطحی طراحی شوند: (الف) در سطح فناوری و داده، تمرکز بر قابلیت اطمینان داده، یکپارچگی با سامانه‌های تصمیم‌یار، و توسعه خدمات پردازش/تحلیل برای کاربران غیرمتخصص ضروری است؛ (ب) در سطح انسانی، آموزش، کاهش ریسک ادراک‌شده، مدل‌های اقتصادی قابل دسترس (مانند خدمات‌دهندگان پهپادی به‌جای مالکیت)، و تقویت اعتماد و تجربه کاربری اهمیت دارد؛ (ج) در سطح نهادی، شفافیت مقررات، استانداردهای ایمنی، و سیاست‌های حمایتی می‌توانند هزینه مبادله و عدم قطعیت را کاهش دهد و محیط پذیرش را تسهیل کند. در نهایت، پیام اصلی این پژوهش آن است که حتی پیشرفته‌ترین کاربردهای فنی زمانی به ارزش اجتماعی/اقتصادی تبدیل می‌شوند که سه حلقه «داده قابل استفاده»، «پذیرش کاربر»، و «حکمرانی/مقررات» هم‌زمان تقویت شوند.

پی‌نوشت:

1- Unmanned Aerial Vehicles: UAVs
2- Ding
3- Ju & Son
4- Menebo
5- Kartal
6- Zhang
7- Geronel & Bueno
8- Estevez
9- Chaumette
10- Xu & Chen
11- Siddik
12- Bibliometric Analysis
13- Tsouros
14- Khanal
15- Mulla
16- Lu
17- Jang
18- Ivezić
19- Zaaboub
20- Mukherjee
21- Abrougui
22- co-authorship
23- keyword co-occurrence
24- co-citation

منبع‌ها

باقری، نیکروز. (۱۳۹۹). نقش فناوری سنجش از دور در پیشرفت کشاورزی هوشمند. مجله ترویجی علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی، ۳(۶)، ۱ـ۱۳.

شاه‌ولی، منصور.، عاطفت‌دوست، آوا.، و فاطمی، مهسا. (۱۳۹۸). روش‌شناسی متعالی الگوی پذیرش فناوری‌های نوین کشاورزی. فصلنامه سیاست‌نامه علم و فناوری، ۹(۳)، ۱۲ـ۲۴.

شکربیگی، مجتبی.، گراوندی، شهپر.، و رستمی، فرحناز. (۱۴۰۲). مدل‌سازی عوامل تأثیرگذار بر پذیرش تکنولوژی پهپاد در بین کشاورزان سیب‌زمینی‌کار شهرستان کرمانشاه (کاربست مدل لوجیت). پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی، ۱۶(۱)، ۳۱ـ۴۸.

کاویانی‌راد، عبداله.، زارعی، مهدی.، و گلکار، فروغ. (۱۴۰۰). نقش توسعه پهپادها در کشاورزی پایدار. ششمین کنگره ملی سالانه یافته‌های نوین در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری، تهران. https://civilica.com/doc/1313986

Abrougui, K., Guebsi, R., Ouni, A., Boughattas, N. E., Habel, F., Barkaoui, Y., Amami, R., Khemis, C., Abdou, B., & Chehaibi, S. (2022). Contribution of UAV-airborne imagery in the study of machine-soil-plant interaction in potato cultivation. Journal of Oasis Agriculture and Sustainable Development, 4, 71–78.

Chaumette, S. (2017). Collaboration between autonomous drones and swarming. In UAV Networks and Communications. Cambridge University Press.

Ding, Y., Wang, L., Li, Y., & Li, D. (2018). Model predictive control and its application in agriculture: A review. Computers and Electronics in Agriculture, 151, 104–117.

Estevez, J., Lopez-Guede, J. M., del Valle-Echavarri, J., & Graña, M. (2024). Reinforcement learning based trajectory planning for multi-UAV load transportation. IEEE Access, 12, 144009–144016.

Geronel, R. S., & Bueno, D. D. (2024). Adaptive sliding mode control for vibration reduction on UAV carrying a payload. Journal of Vibration and Control.

Ivezić, A., Trudić, B., Stamenković, Z., Kuzmanović, B., Perić, S., Ivošević, B., & Petrović, K. (2023). Drone-related agro-technologies for precise plant protection in Western Balkans: Applications, possibilities, and legal framework limitations. Agronomy, 13(10), 2615.

Jang, G., Kim, J., Yu, J. K., Kim, H. J., Kim, Y., Kim, D. W., Kim, K. H., Lee, C. W., & Chung, Y. S. (2020). Cost-effective unmanned aerial vehicle (UAV) platform for field plant breeding application. Remote Sensing, 12, 998.

Ju, C., & Son, H. I. (2018). Multiple UAV systems for agricultural applications: Control, implementation, and evaluation. Electronics, 7(9), 162.

Kartal, M. (2024). Sparse online Gaussian process with backstepping integration for sloshing disturbance rejection in agricultural UAVs. Journal of Aerospace Engineering, 31(3), 450–460.

Kartal, M. R., Ignatyev, D., & Zolotas, A. (2024). Comprehensive review of agriculture spraying UAVs challenges and advances: Modelling and control. Centre for Autonomous and Cyber Physical Systems, Cranfield University.

Khanal, S., KC, K., Fulton, J. P., Shearer, S., & Ozkan, E. (2020). Remote sensing in agriculture—Accomplishments, limitations, and opportunities. Remote Sensing, 12, 3783.

Lu, B., Dao, P. D., Liu, J., He, Y., & Shang, J. (2020). Recent advances of hyperspectral imaging technology and applications in agriculture. Remote Sensing, 12, 2659.

Menebo, M., Negash, L., & Shiferaw, D. (2023). Neural network based model reference adaptive control of quadrotor UAV for precision agriculture. In Pan African Conference on Artificial Intelligence. Springer.

Mukherjee, K., Mukhopadhyay, S., Roy, S., & Biswas, A. (2021). Application of IoT-enabled 5G network in the agricultural sector. In Smart Agriculture Automation Using Advanced Technologies. Springer, Singapore.

Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. Biosystems Engineering, 114, 358–371.

Siddik, M. A. B., Deb, M., Pinki, P. D., Dhar, M. K., & Faruk, M. O. (2018). Modern agricultural farming based on robotics and server synced automation system. International Conference on Recent Innovations in Electrical, Electronics & Communication Engineering.

Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. Information, 10, 349.

Xu, D., & Chen, G. (2022). Autonomous and cooperative control of UAV cluster with multi-agent reinforcement learning. The Aeronautical Journal, 126(1300), 932–951.

Zaaboub, N., Guebsi, R., Chaouachi, R. S., Brik, B., Rotini, A., Chiesa, S., Rende, S. F., Makhloufi, M., Hamza, A., & Galgani, F. (2023). Using unmanned aerial vehicles (UAVs) and machine learning techniques for the assessment of Posidonia debris and marine (plastic) litter on coastal ecosystems. Regional Studies in Marine Science, 67, 103185.

Scientometric Analysis of Research on Drone Adoption in Agriculture

Zolfaqar Ahmadi[1], Mousa Aazami[2], Atefeh Malekian[3]

1- PhD student of Agricultural Development, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Associate Professor of Rural Development, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Assistant Professor , Departmant of Agriculture and Medical Plant , Bu-Ali Sina University , Hamedan , Iran

Abstract

Drone technology, as one of the novel tools for precision and smart agriculture, has attracted researchers' attention in recent years. This study investigated the growth trend and scientific orientations of research related to drone adoption in agriculture, identifying scientific collaboration patterns and dominant research themes. This study was conducted using a descriptive-analytical scientometric/bibliometric approach with network analysis (scientific collaboration and keyword co-occurrence). Data were extracted from the Scopus database, and relevant articles published between 2005 and 2025 were collected based on their titles, abstracts, and keywords. After refinement, 712 articles were selected as the final dataset. Analyses were performed using scientometric indicators and VOSviewer software, including an examination of publication trends, geographical distribution, active journals, the network of country collaborations, and the keyword co-occurrence network. The results indicated an increase in scientific output in this field over the last two decades, with a more rapid growth observed after 2016. Geographically, China and the United States held the largest share of scientific production and played central roles in the collaboration network. Keyword analysis also revealed four dominant themes: drone applications in agriculture, remote sensing and data analysis, human/behavioral factors influencing adoption, and economic and regulatory challenges. Overall, the findings suggest that drone adoption in agriculture is a result of the interaction between technological advancements, data infrastructures, policy frameworks, and human factors. These results can be utilized to guide future research and improve decision-making in the development of novel agricultural technologies.

Index Terms: Drone Technology, Agricultural Drones, Drone Technology Adoption, Precision Agriculture, Scientometrics

Corresponding Author: Mousa Aazami

Email: m.aazami@basu.ac.ir

Received: 2026/05/02 **Accepted:** 2026/05/20