



Scientometric Analysis of Recent Advances in Artificial Intelligence and Machine Learning in Precision Agriculture: Trends, Challenges, and Opportunities

Yaser Mohammadi¹✉, Freshteh Avatefi Akmal²

1. Associate Professor. Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran (corresponding author). E-mail: y.mohammadi@basu.ac.ir
2. PhD Student of Agricultural Development, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. E-mail: F.avatefi28@gmail.com

Article Info

Article type:
Research

Article history:

Received: 2025/09/21

Received in revised:

2025/10/24

Accepted: 2025/12/03

Available online: 2026/01/27

Keywords:

Artificial Intelligence, Precision Agriculture, Machine Learning, Internet of Things, Smart Agriculture, Systems Learning, Data Mining, Weather Forecasting, Agricultural Automation..

ABSTRACT

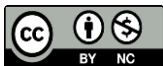
Objective: This study analyzes the recent progress in artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) in precision agriculture to demonstrate how these technologies contribute to optimizing agricultural processes, increasing productivity, and addressing environmental challenges and the food demands of a growing population. Given the rising demand for precision agriculture and reliance on innovative technologies, the research seeks to identify trends, challenges, and opportunities in this field.

Research Methodology: The study adopts an analytic, scientometrics (literature-based) approach. The statistical population comprises studies related to AI and ML in precision agriculture indexed in Scopus from 2000 to 2025. For article retrieval, keywords "artificial intelligence," "machine learning," "precision agriculture," and "emerging agricultural technologies" were used. Ultimately, 750 articles were selected as the study sample for analysis. To map the semantic networks of the studies, VOSviewer was employed. Additionally, Pearson correlation analysis was used to examine relationships among data to assess the validity and direction of associations between variables.

Findings: According to the analysis, the keyword "precision agriculture" emerged as the central axis of research with a frequency of 231, indicating researchers' increasing focus on optimizing processes and improving efficiency through novel technologies. The keywords "artificial intelligence" (AI) and "machine learning" (ML) occurred 195 and 176 times, respectively, reflecting researchers' efforts to address agricultural challenges through big data analytics and weather-pattern forecasting. Temporal trend analysis shows that from 2000–2005 only 27 articles were published, rising to 387 articles in 2020–2025. This upward trajectory, especially since 2015, accelerates, evidencing broader adoption of these technologies for productivity optimization and cost reduction. Lexical clustering reveals a cluster around "precision agriculture" with terms such as "farms," "food security," and "agricultural technology," pointing to process optimization and productivity gains driven by data-based decisions. The cluster "machine learning" includes terms like "deep learning" and "support vector machines," underscoring ML techniques and their applications in agricultural data analysis. The cluster "Internet of Things" (IoT) includes terms like "sensors" and "remote sensing," highlighting data collection from devices and their use in field environments. The cluster "systems learning" centers on terms such as "decision making" and "automation," emphasizing the use of learning algorithms and systems to automate agricultural processes and optimize product performance. Pearson correlation results indicate a positive and significant relationship ($P < 0.01$) between the number of published articles and publication year, confirming increasing attention to AI and ML in precision agriculture in recent years and the impact of emerging technologies and data access on research trends.

Conclusion: The results indicate a growing trajectory and thematic diversity in future research on precision agriculture, which is promising. These findings provide a robust foundation for future studies and for developing effective policies in precision agriculture, contributing to improved performance, productivity, and resource management in the face of environmental changes and population growth. Recognizing the importance of aligning scientific research with practical farm needs, establishing cohesive research frameworks, upgrading data infrastructure, and encouraging active participation from farmers and related industries are identified as key priorities for the future. Consequently, the future of precision agriculture could, through enhanced efficiency, reduced costs, improved environmental sustainability, and mitigated risks from climate variability and limited resources, play a pivotal role in ensuring food security.

Cite this article: Mohammadi, Yaser; Avatefi Akmal, Freshteh (2026). Scientometric Analysis of Recent Advances in Artificial Intelligence and Machine Learning in Precision Agriculture: Trends, Challenges, and Opportunities, *Applied Scientometric Studies*, 2(4), 85 - 107. <https://doi.org/10.22091/apss.2026.13945.1061>



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: University of Qom.

DOI: <http://doi.org/10.22091/apss.2026.13945.1061>

تحلیل پیشرفت‌های اخیر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق با رویکرد علم‌سنجی: روندها، چالش‌ها، و فرصت‌ها

یاسر محمدی^۱ و فرشته عوافی اکمل^۲

۱. دانشیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: Y.mohammadi@basu.ac.ir
 ۲. دانشجوی دکتری توسعه کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: F.avatefi28@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی.</p> <p>تاریخچه مقاله:</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۰۲</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۲</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۱/۰۷</p>	<p>هدف: این مطالعه تحلیل پیشرفت‌های اخیر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق است تا نشان دهد این فناوری‌ها چگونه به بهینه‌سازی فرایندهای کشاورزی، افزایش بهره‌وری، و پاسخ به چالش‌های زیست‌محیطی و نیاز به تأمین غذای جمعیت روبه‌رشد کمک می‌کنند. با توجه به افزایش تقاضا برای کشاورزی دقیق و اتکا به فناوری‌های نوین، پژوهش به دنبال شناسایی روندها، چالش‌ها، و فرصت‌های موجود در این حوزه است.</p> <p>روش پژوهش: این پژوهش با رویکرد تحلیلی و بر مبنای علم‌سنجی انجام شده است. جامعه آماری شامل مطالعات مرتبط با هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق است که در پایگاه اسکوپوس در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ نمایه شده‌اند. برای جست‌وجوی مقالات، از کلمات کلیدی «هوش مصنوعی»، «یادگیری ماشین»، «کشاورزی دقیق»، و «تکنولوژی‌های نوین کشاورزی» استفاده شد. در نهایت، ۷۵۰ مقاله برای جامعه آماری انتخاب و تحلیل شدند. برای ترسیم شبکه موضوعی مطالعات، از نرم‌افزار وی‌اس‌اس بهره‌گیری شد. همچنین، برای بررسی روابط بین داده‌ها، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.</p> <p>یافته‌ها: براساس تحلیل انجام‌شده، کلیدواژه «کشاورزی دقیق» با ۲۳۱ بار وقوع، محور اصلی پژوهش‌های شناسایی شده است و این تأکید نشان‌دهنده تمایل فزاینده محققان به بهینه‌سازی فرایندها و بهبود کارایی بافناوری‌های نوین است. همچنین، کلیدواژه‌های «هوش مصنوعی» و «یادگیری ماشین» به ترتیب با ۱۹۵ و ۱۷۶ بار تکرار، گویای تلاش پژوهشگران برای حل چالش‌های کشاورزی با تحلیل داده‌های بزرگ و پیش‌بینی الگوهای آب‌وهوایی است. تحلیل روند انتشار در بازه‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد که از ۲۰۰۵-۲۰۰۰ تنها ۲۷ مقاله وجود داشته و این عدد به ۳۸۷ مقاله در بازه ۲۰۲۰-۲۰۲۵ رسیده است. این روند صعودی به‌ویژه از سال ۲۰۱۵ به بعد با شتاب بیشتری دنبال شده است که گواهی آن است دال بر پذیرش گسترده‌تری از این فناوری‌ها برای بهینه‌سازی تولیدات و کاهش هزینه‌ها. بررسی خوشه‌های واژگانی نیز نشان داد که خوشه «کشاورزی دقیق» با واژگانی مانند «مزارع»، «تأمین غذا»، و «فناوری کشاورزی» به بهینه‌سازی فرایندها و افزایش بهره‌وری اشاره دارد و ارتباطات میان این عناصر به تصمیم‌گیری و پیش‌بینی‌های مبتنی بر داده مربوط می‌شود. خوشه «یادگیری ماشین» با واژگانی مانند «یادگیری عمیق» و «ماشین‌های بردار پشتیبان» به تکنیک‌های یادگیری ماشین و کاربردهای آن‌ها در تحلیل داده‌های کشاورزی می‌پردازد. خوشه «اینترنت اشیاء» با واژگانی همچون «حسگرها»، و «سنجش از دور» به جمع‌آوری داده‌ها از دستگاه‌ها و به‌کارگیری داده‌ها در محیط‌های زراعی اشاره دارد. همچنین، خوشه «یادگیری سیستم‌ها» با واژگانی مانند «تصمیم‌گیری» و «اتوما سیونم بر استفاده از الگوریتم‌ها و سیستم‌های یادگیری برای اتوما سیون کشاورزی متمرکز است و اهمیت ویژه‌ای در تحلیل داده و بهینه‌سازی عملکرد محصولات دارد. نتایج تحلیل همبستگی پیرسون نیز به‌طور خاص نشان‌دهنده رابطه مثبت و معنادار ($P < 0.01$)، بین تعداد مقالات منتشر شده و سال انتشار است که گواهی بر افزایش توجه به هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق در سال‌های اخیر است و بیانگر تأثیر فناوری‌های نوین و دسترسی به داده‌ها بر روند پژوهش‌هاست.</p> <p>نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که روند روبه‌رشد و تنوع موضوعی در آینده پژوهش‌های کشاورزی دقیق روشن و امیدوارکننده است. این یافته‌ها می‌تواند مبنای محکمی برای پژوهش‌های آتی و توسعه سیاست‌های مؤثر در کشاورزی دقیق باشد و به بهبود عملکرد و بهره‌وری، همچنین مدیریت منابع در رویارویی با تغییرات زیست‌محیطی و رشد جمعیت</p>

کمک شایانی کند. با توجه به اهمیت هم‌سو شدن پژوهش‌های علمی با نیازهای عملی مزرعه‌ها، استقرار چارچوب‌های پژوهشی منسجم، ارتقای زیرساخت‌های داده‌ای، و تشویق مشارکت فعال کشاورزان، و صنایع مرتبط از اولویت‌های کلیدی آینده محسوب می‌شود. به این ترتیب، آینده کشاورزی دقیق می‌تواند با افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها، بهبود پایداری زیست‌محیطی، و کاهش خطرات ناشی از نوسانات اقلیمی و منابع محدود، نقشی کلیدی در تأمین امنیت غذایی ایفا کند.

استناد: محمدی، یاسر؛ عوافی اکمل، فرشته (۱۴۰۴). تحلیل پیشرفت‌های اخیر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق با رویکرد علم‌سنجی: روندها، چالش‌ها، و فرصت‌ها. *مطالعات کاربردی علم‌سنجی*، ۲ (۴)، ۸۵-۱۰۷. <https://doi.org/10.22091/apss.2026.13945.1061>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه قم.

۱. مقدمه

ظهور هوش مصنوعی تطبیقی در کشاورزی مدرن، عصر تحولی را در نحوه کشت، برداشت، و مدیریت غذا در سراسر جهان رقم می‌زند. این تغییر به سمت کشاورزی دقیق، که با الگوریتم‌های خودآموز و تحلیل داده‌های واقعی پشتیبانی می‌شود، نه تنها یک ارتقاء تکنولوژیکی بلکه یک ضرورت برای پاسخ‌گویی به تقاضای فزاینده غذا در جمعیت روبه‌رشد جهانی و همچنین رسیدگی به نگرانی‌های زیست‌محیطی است (آدوو سی^۱ و دیگران، ۲۰۲۴). هوش مصنوعی تطبیقی در کشاورزی نمایانگر یک تغییر پارادایمی از شیوه‌های سنتی کشاورزی است که بیشتر واکنشی و مبتنی بر داده‌های تاریخی بودند، به یک رویکرد پیشگیرانه و مبتنی بر داده‌های واقعی. ساروانان^۲ و همکاران (۲۰۲۳) به نقش رایانش ابری در پیشرفت‌های کشاورزی اشاره می‌کنند و بر ادغام الگوریتم‌های اینترنت اشیا^۳، یادگیری جمعی و هوش مصنوعی قابل توضیح^۴ در چارچوب یادگیری تقویتی تأکید می‌کنند. این ادغام امکان سازگاری پویا و واقعی با تغییرات محیطی را فراهم می‌آورد و به‌طور قابل توجهی تولید را افزایش و مصرف منابع را کاهش می‌دهد. سیر تاریخی کشاورزی هوشمند، همان‌طور که آناند^۵ و همکاران (۲۰۲۳) بیان کرده‌اند، به معرفی فناوری GPS برمی‌گردد که شیوه‌های کوددهی، کنترل آفات، و آبیاری را متحول کرد. ادغام بعدی اتوماسیون و فناوری حسگر، نظارت مداوم بر سلامت محصولات، سطح رطوبت و شرایط محیطی را ممکن ساخت و زمینه‌ساز تصمیم‌گیری‌های تجربی و مبتنی بر داده در کشاورزی شد. ظهور فناوری‌های شبکه‌ای، به‌ویژه اینترنت اشیا، کشاورزی هوشمند را متحول کرد و امکان جمع‌آوری، تحلیل، و کاربرد داده‌های واقعی را با پهلوهای متصل، تصاویر ماهواره‌ای، و نرم‌افزارهای مدیریت مزرعه فراهم کرد. این تحول، نقش محوری تجزیه و تحلیل داده‌های کلان و هوش مصنوعی در استفاده از مجموعه داده‌های وسیع برای نظارت بر سلامت محصولات، پیش‌بینی تولید، و مدیریت منابع را برجسته می‌کند (آراجو^۶ و دیگران، ۲۰۲۱).

پی‌یر^۷ و دیگران (۲۰۲۳) همچنین کاربرد عملی هوش مصنوعی در کشاورزی را با توسعه یک سیستم هوش مصنوعی و اینترنت اشیا مبتنی بر داده‌های واقعی از آب‌وهوای لحظه‌ای و زمین‌های کشاورزی نشان می‌دهند. این سیستم زمان‌بندی‌های آبیاری و کوددهی را براساس پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت آب‌وهوا و شرایط خاک بهینه‌سازی می‌کند و کاهش قابل توجهی در مصرف آب، انرژی، و کود را در حالی که محصول را افزایش می‌دهد، نشان می‌دهد. چنین نوآوری‌هایی پتانسیل هوش مصنوعی تطبیقی را برای بهبود کارایی و تولید در کشاورزی و همچنین کمک به پایداری زیست‌محیطی با بهینه‌سازی مصرف منابع به تصویر می‌کشد. ظهور هوش مصنوعی تطبیقی در کشاورزی به‌طور کلی با ادغام فناوری‌های پیشرفته‌ای که امکان نظارت و تحلیل واقعی از نقاط داده‌های مختلف، از رطوبت خاک و محتوای مواد مغذی تا الگوهای آب‌وهوا و سلامت محصولات را فراهم می‌آورد، مشخص می‌شود (فرهات^۸ و دیگران، ۲۰۲۳). این رویکرد مبتنی بر داده، مداخلات دقیق و به‌موقع را تسهیل می‌کند که باعث افزایش محصول، کاهش اتلاف منابع، و کاهش تأثیرات چالش‌های زیست‌محیطی می‌شود (کاتیایان^۹ و دیگران، ۲۰۲۱). انتقال از شیوه‌های سنتی کشاورزی به

1. Adewusi
2. Saravanan
3. Internet Of Things (IoT)
4. XAI
5. Anand
6. Araújo
7. Pierre
8. Farhat
9. Katyayan

کشاورزی دقیق که با هوش مصنوعی تطبیقی پشتیبانی می‌شود، نه تنها یک تحوّل تکنولوژیکی بلکه یک سازگاری ضروری برای اطمینان از امنیت غذایی، پایداری زیست‌محیطی، و قابلیت اقتصادی در برابر چالش‌های جهانی است (نیماد^۱ و دیگران، ۲۰۲۳). به‌طور خلاصه، ظهور هوش مصنوعی تطبیقی در کشاورزی مدرن نشان‌دهنده یک تغییر اساسی به سمت شیوه‌های کشاورزی پایدارتر، کارآمدتر، و تولیدی‌تر است. با بهره‌گیری از قدرت الگوریتم‌های خودآموز و تحلیل داده‌های واقعی، کشاورزی مدرن آماده است تا به تقاضای فزاینده غذا در سطح جهانی پاسخ دهد و در عین حال به نگرانی‌های زیست‌محیطی حیاتی رسیدگی کند (ردی و سورشبابو^۲، ۲۰۱۹). ادغام فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیاء، رایانش ابری، و یادگیری ماشین در عملیات کشاورزی نه تنها مدیریت مزرعه را بهینه می‌کند بلکه راه را برای آینده‌ای هموار می‌کند که در آن کشاورزی مقاوم‌تر، تطبیقی، و پایدارتر است (رانسینگ^۳ و دیگران، ۲۰۲۳).

با وجود حجم روزافزون مطالعات مروری و مفهومی در این حوزه (مانند آثار آدووسی و دیگران، ۲۰۲۴ و آراجو و همکاران، ۲۰۲۱) که به معرفی فناوری‌ها و روندهای کلی می‌پردازند، و همچنین پژوهش‌های کاربردی موردی (مانند پی‌یر و دیگران، ۲۰۲۳ و العباسی^۴ و دیگران، ۲۰۲۳) که موفقیت یک روش خاص را نشان می‌دهند، شکاف چشمگیری در درک منظری کلی، نظام‌مند، و کمی از ساختار دانش در حال تکامل این حوزه وجود دارد. بیشتر مطالعات پیشین بدون تحلیل عینی و داده‌محوری هستند که بتواند: ۱. کانون‌های اصلی توجه پژوهشی را به‌طور عینی و بر اساس شواهد آماری (و نه برداشت‌های ذهنی) شناسایی کند. ۲. روند تکامل موضوعات داغ، مشارکت کشورها، و ظهور کانون‌های جدید دانش را در طول زمان ترسیم کند. ۳. شبکه همکاری‌های علمی بین‌المللی و تأثیرگذارترین مجلات و نویسندگان را کاوش کند.

این پژوهش با برگزیدن رویکرد علم‌سنجی، مستقیماً به پُر کردن این شکاف می‌پردازد. با تحلیل کمی مجموعه‌ای گسترده از انتشارات علمی (همانند آنچه در جدول ۱ خلاصه شده است)، این پژوهش از ارائه یک مرور کیفی یا یک مطالعه موردی فراتر می‌رود و نقشه‌ای عینی و پویا از جغرافیای دانش حوزه «هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق» ترسیم می‌کند. پاسخ‌های کمی به سوالاتی مانند «چه موضوعاتی بیشترین توجه را جلب کرده‌اند؟» یا «روند مشارکت کشورها چگونه است؟»، مبنای استواری برای پژوهشگران (برای شناسایی زمینه‌های پژوهشی امیدبخش)، سیاست‌گذاران (برای تخصیص هوشمندانه منابع پژوهشی)، و فعالان صنعت (برای درک جهت‌گیری فناوری) فراهم می‌آورد.

مسئله اصلی این پژوهش، شناسایی و تحلیل پیشرفت‌های اخیر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق است. با بهره‌گیری از روش‌های علم‌سنجی، این پژوهش به دنبال پاسخ به سؤالات زیر خواهد بود:

- چه موضوعاتی در این حوزه بیشترین توجه را جلب کرده‌اند؟

- روند رشد انتشارات علمی و مشارکت کشورهای مختلف چگونه است؟

- معتبرترین منابع و مجلات در این زمینه کدام‌اند؟

پاسخ به این سؤالات می‌تواند به پژوهشگران، سیاست‌گذاران، و فعالان حوزه کشاورزی دقیق کمک کند تا رویکردهای مؤثرتری برای استفاده از هوش مصنوعی در کشاورزی دقیق تدوین کنند و از نوآوری‌های آینده بهره‌برداری بهینه‌تری داشته باشند.

۱-۱. بهره‌برداری از الگوریتم‌های خودآموز برای بهینه‌سازی عملیات کشاورزی

ادغام الگوریتم‌های خودآموز در کشاورزی دقیق، یک پیشرفت قابل توجه در بهینه‌سازی عملیات کشاورزی به شمار می‌آید. این رویکرد از قدرت یادگیری ماشین (ML) و هوش مصنوعی (AI) برای تحلیل مقادیر زیادی از داده‌های واقعی استفاده می‌کند و به کشاورزان این امکان را می‌دهد که تصمیمات آگاهانه‌ای بگیرند که بهره‌وری، کارایی، و پایداری را افزایش می‌دهد.

العباسیو دیگران (۲۰۲۳) به پتانسیل تحوّل آفرین کاربردهای یادگیری ماشین در کشاورزی پرداخته و بر بهینه‌سازی تولید محصولات و کاهش ضایعات تمرکز می‌کنند. با تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از منابع مختلف، از جمله حسگرهای اینترنت اشیا در زمان واقعی، الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند به‌طور قابل توجهی فرایندهای تصمیم‌گیری مرتبط با کاشت، آبیاری، و برداشت را بهبود بخشند. مطالعه آن‌ها یک مدل پیش‌بینی محصول را ارائه می‌دهد که از ۱۵ الگوریتم مختلف استفاده می‌کند و نشان می‌دهد که الگوریتم‌هایی مانند شبکه بیزی^۱ می‌توانند دقت طبقه‌بندی تا ۹۹/۵۹ درصد را به دست آورند.

رانسینگ و دیگران (۲۰۲۳) یک سیستم هوشمند طراحی کرده‌اند که برای بهینه‌سازی چرخش محصولات ارگانیک از داده‌های کشاورزی دقیق استفاده می‌کند. این سیستم با ادغام فناوری اینترنت اشیا، الگوریتم‌های یادگیری ماشین، و رایانش ابری، به بهبود تصمیم‌گیری و بهره‌وری در کشاورزی ارگانیک کمک می‌کند. با جمع‌آوری داده‌ها در مورد سلامت خاک و تحلیل آن با استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی چندهدفه، این سیستم می‌تواند بهترین محصولات را برای نمونه‌های خاص خاک تعیین کند.

۱-۲. از شیوه‌های سنتی کشاورزی به کشاورزی مبتنی بر داده‌های واقعی

انتقال از شیوه‌های سنتی کشاورزی به کشاورزی مبتنی بر داده‌های واقعی، یک تحوّل قابل توجه در بخش کشاورزی را نمایان می‌سازد که نشان‌دهنده ادغام پیشرفت‌های فناوری برای پاسخ‌گویی به تقاضاهای فزاینده برای تولید غذا و شیوه‌های کشاورزی پایدار است. این مرور تاریخی سفر از روش‌های ابتدایی عصر معاصر کشاورزی دقیق را بررسی می‌کند که با استفاده از هوش مصنوعی، تحلیل داده‌های کلان، و اینترنت اشیا مشخص می‌شود.

نیماد و دیگران (۲۰۲۳) تحلیلی جامع از تکامل شیوه‌های زراعی ارائه می‌دهند و بر تغییر از روش‌های سنتی به رویکردهای مبتنی بر فناوری تأکید می‌کنند. شیوه‌های سنتی کشاورزی، درحالی‌که پایدار بودند، بیشتر با محدودیت‌هایی در مقیاس‌پذیری و کارایی روبه‌رو بودند. انقلاب سبز یک نقطه عطف مهم بود که انواع محصولات با عملکرد بالا و ورودی‌های مصنوعی را برای افزایش تولید غذا معرفی کرد.

کاتیان و دیگران (۲۰۲۱) به طراحی سیستم‌های کشاورزی هوشمند با استفاده از هوش مصنوعی و تحلیل داده‌های کلان پرداخته و بر نیاز به بهره‌برداری از داده‌ها به شیوه‌های جدید برای ارائه بینش‌ها و مشاوره‌های بهتر تأکید می‌کنند. مقاله آن‌ها استفاده از حسگرهای زمینی برای جمع‌آوری داده‌های شخصی‌سازی شده و در زمان واقعی از راه دور را شرح می‌دهد که با استفاده از تحلیل داده‌ها مدیریت می‌شود تا راه‌حل‌های دقیق، مرتبط، و فوری ارائه دهد. ادغام پردازش زبان طبیعی^۲ و بینایی کامپیوتری امکان تحلیل تصاویر محصولات در زمان واقعی را با الگوریتم‌های یادگیری ماشین فراهم می‌کند و راه‌حل‌های مربوط به کشاورزی را در تمام ساعات شبانه‌روز ارائه می‌دهد.

1. Bayes Net

2. NLP

گومعا^۱ (۲۰۲۳) به بررسی روندهای مدرن در توسعه پروژه‌های کشاورزی هوشمند پرداخته و بر نقش محوری اینترنت اشیا و فناوری حسگر تأکید می‌کند. حسگرهای مستقر در محیط‌های کشاورزی داده‌های واقعی را در مورد پارامترهای حیاتی مانند دما، رطوبت، و رطوبت خاک جمع‌آوری می‌کنند. این داده‌ها که با استفاده از شبکه‌های اینترنت اشیا منتقل می‌شوند، امکان نظارت و مدیریت از راه دور عملیات کشاورزی را فراهم می‌آورند. فناوری‌های کشاورزی دقیق، از جمله GPS، پهپادها، و سنسجش از دور، به کشاورزان در تحلیل تنوع میدانی و ارائه ورودی‌ها به طور دقیق کمک می‌کنند.

در زمینه کاربرد هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق مطالعاتی انجام گرفته است که خلاصه آن در جدول ۱ قابل مشاهده است. این مطالعات نشان‌دهنده تنوع و گستردگی این حوزه هستند و می‌توانند به بهبود کارایی و پایداری در کشاورزی کمک کنند.

جدول ۱. خلاصه پیشینه‌های پژوهش

عنوان مقاله	نویسندگان	سال انتشار	خلاصه نتایج
AI in precision agriculture : A review of technologies for sustainable farming practices	آدوسی و همکاران ^۲	۲۰۲۴	بررسی فناوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق و تأثیر آن‌ها بر کشاورزی پایدار.
Enhancing Precision of Crop Farming towards Smart Cities : An Application of Artificial Intelligence	اداس و همکاران ^۳	۲۰۲۳	بهبودسازی کشاورزی با استفاده از هوش مصنوعی برای ایجاد شهرهای هوشمند و افزایش بهره‌وری کشاورزی.
Technological Applications in Smart Farming : A Bibliometric Analysis	آناند و همکاران ^۴	۲۰۲۳	تحلیل کتاب‌سنجی از کاربردهای فناوری‌های هوشمند در کشاورزی و شناسایی روندهای پژوهشی.
Characterising the agriculture 4.0 landscape—emerging trends, challenges and opportunities	آرانوژو و همکاران ^۵	۲۰۲۱	شناسایی روندها و چالش‌های کشاورزی ۴٫۰ و فرصت‌های موجود برای بهبود بهره‌وری.
Machine and Deep Learning–based Techniques for Precision Agriculture with Comparative Analysis	بهاوانا و رانو ^۶	۲۰۲۳	مقایسه تکنیک‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق در کشاورزی دقیق و تأثیر آن‌ها بر تولید محصولات.
Crop Prediction Model Using Machine Learning Algorithms	الباسی و همکاران ^۷	۲۰۲۳	توسعه مدل‌های پیش‌بینی تولید محصولات با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین.
Detection of Pathogens : A Comprehensive Study to Improve the Precision Agriculture	فرهات و همکاران ^۸	۲۰۲۳	بررسی و شناسایی عوامل بیماری‌زا در محصولات کشاورزی و تأثیر آن بر بهبود دقت کشاورزی.

1. Gomaa
2. Adewusi et al
3. Addas et al.
4. Anand et al.
5. Araújo et al.
6. Bhavana & Rao
7. Elbasi et al.
8. Farhat et al.

Artificial Neural Networks in Membrane Bioreactors : A Comprehensive Review	فروتیستیس و همکاران ^۱	۲۰۲۳	بررسی کاربرد شبکه‌های عصبی در بیوراکتورها و چالش‌های پیش‌رو در کشاورزی.
Modern Trends in the Development of Smart Agriculture Projects	گوما ^۲	۲۰۲۲	بررسی روندهای جدید در توسعه پروژه‌های کشاورزی هوشمند و تأثیر آن‌ها بر امنیت غذایی.
AI for &Big Data Analytics, Data Science, ML Connected, Data-driven Precision Agriculture	هان ^۳	۲۰۲۳	بررسی چالش‌ها و آینده‌نگری در استفاده از داده‌های کلان و هوش مصنوعی در کشاورزی دقیق.
Farming through Technology Driven Solutions for Agriculture Industry	ایمالکا و همکاران ^۴	۲۰۲۲	ارائه راه‌حل‌های تکنولوژیک برای مشکلات کشاورزی و بهبود کارایی.
Farming in the Digital Age : Smart Agriculture with AI and IoT	عیسی و همکاران ^۵	۲۰۲۴	بررسی نقش هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در کشاورزی هوشمند و تأثیر آن بر بهینه‌سازی منابع.
D Colour vision for machine automation and safety - AI Sensor Fusion	جردن و همکاران ^۶	۲۰۲۰	بررسی تکنولوژی‌های حسگر و ادغام آن‌ها با هوش مصنوعی برای بهبود اتوماسیون در کشاورزی.
Design of Smart Agriculture Systems using Artificial Intelligence and Big Data Analytics	کاتیایان و همکاران ^۷	۲۰۲۱	طراحی سیستم‌های کشاورزی هوشمند با استفاده از هوش مصنوعی و تحلیل داده‌های کلان.
Predictive Classification Model of Crop Yield Data Using Artificial Neural Network	کاناگراج و همکاران ^۸	۲۰۲۳	توسعه مدل‌های پیش‌بینی عملکرد محصولات با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی.
Real Time Crop Prediction based on Soil Analysis using IoT and Machine Learning	کوشال و همکاران ^۹	۲۰۲۲	پیش‌بینی تولید محصولات به صورت آنی بر اساس تحلیل خاک با استفاده از اینترنت اشیا و یادگیری ماشین.
Transforming Agriculture : Navigating the Challenges and Embracing the Opportunities of Artificial Intelligence of Things	لئونگ و همکاران ^{۱۰}	۲۰۲۳	بررسی چالش‌ها و فرصت‌های ناشی از ادغام هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در کشاورزی.
Data visualization for designing F2C IoT agricultural system	لیو و همکاران ^{۱۱}	۲۰۲۳	طراحی سیستم‌های کشاورزی مبتنی بر اینترنت اشیا با استفاده از داده‌های بصری و تحلیل داده‌ها.
Internet of Things, Big Data Analytics, and Deep Learning for Sustainable Precision Agriculture	میچنی و همکاران ^{۱۲}	۲۰۲۲	بررسی نقش اینترنت اشیا و داده‌های کلان در کشاورزی دقیق و پایدار.

1. Frontistis et al.
2. Goma
3. Han
4. Imalka et al.
5. Issa et al.
6. Jordan et al.
7. Katyayan et al.
8. Kanagaraj et al.
9. Kushal et al.
10. Leong et al.
11. Liu et al.
12. Micheni et al.

مطالعه علم‌سنجی حاضر، علی‌رغم وجود پژوهش‌های پیشین، از اهمیت و ضرورت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا حوزه‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین با سرعتی بی‌سابقه در حال تحول هستند و رویکردهای قبلی قادر به پوشش آخرین نوآوری‌ها و روندهای پدیدار شده نخواهند بود / این پژوهش با برگزیدن یک رویکرد مسئله‌محور علم‌سنجی، به‌طور خاص به دنبال شناسایی چگونگی هم‌سویی پژوهش‌ها با چالش‌های واقعی کشاورزی مانند امنیت غذایی، تغییر اقلیم، و بهره‌وری منابع است و نه تنها به تحلیل روندهای کلی می‌پردازد، بلکه با انجام تحلیل شکاف پژوهشی در خوشه‌ها، نقاط ضعف، حوزه‌های کمتر پوشش داده شده و فرصت‌های آتی را شناسایی می‌کند. این مطالعه همچنین با نگاهی جامع به یکپارچگی سیستمی فناوری‌ها، از بررسی هر جزء به‌صورت منفرد فراتر عمل کرده و در نهایت، نتایج آن می‌تواند راهنمای ارزشمندی برای سیاست‌گذاران و محققان در تصمیم‌گیری‌های استراتژیک برای به‌حداکثر رساندن تأثیر هوش مصنوعی در پایداری و بهره‌وری کشاورزی باشد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر با هدف کاربردی و با رویکرد تحلیلی در حوزه علم‌سنجی انجام شده است. علم‌سنجی یک روش پژوهش است که به مطالعه و تحلیل کمی تولیدات علمی، روندهای پژوهشی، و ارتباطات علمی می‌پردازد. این رویکرد به محققان کمک می‌کند تا الگوهای پژوهشی، تأثیرگذاری مقالات، و ارتباطات بین موضوعات مختلف را شناسایی کنند. جامعه آماری این پژوهش شامل مطالعات مرتبط با هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در حوزه کشاورزی دقیق است که در پایگاه داده اسکوپوس^۱ در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ نمایه شده‌اند. برای جست‌وجوی مقالات مرتبط، از کلمات کلیدی شامل «هوش مصنوعی»، «یادگیری ماشین»، «کشاورزی دقیق»، و «تکنولوژی‌های نوین کشاورزی» استفاده شده است.

برای جست‌وجوی مقالات مرتبط با «هوش مصنوعی»، «یادگیری ماشین»، و «کشاورزی دقیق» در پایگاه داده اسکوپوس، از فرمول جست‌وجوی زیر استفاده شد:

("Artificial Intelligence" OR "Machine Learning") AND ("Precision Agriculture" OR "Smart Agriculture" OR "Innovative Agricultural Technologies")

معیارهای ورود و خروج

برای انتخاب مقالات از میان نتایج اولیه، معیارهای زیر به کار گرفته شد:

- زبان: تنها مقالات به زبان انگلیسی در نظر گرفته شدند.
- بازه زمانی: مقالات منتشر شده در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ وارد تحلیل شدند.
- نوع مدرک: تنها مقالات علمی^۲ بررسی شدند و از کتاب‌ها و کنفرانس‌ها صرف‌نظر شد.
- موضوعات مرتبط: تنها مقالات مرتبط با موضوعات «هوش مصنوعی»، «یادگیری ماشین»، «کشاورزی دقیق»، و «تکنولوژی‌های نوین کشاورزی» انتخاب شدند.

و در صورتی که مقالات شرایط زیر را داشتند، از فرایند انتخاب خارج شدند:

- موضوعات غیرمرتبط: مقالات غیرمرتبط با موضوعات هوش مصنوعی و کشاورزی دقیق از تحلیل خارج شدند.
- نبود دسترسی به متن کامل: مقالاتی که بدون متن کامل بودند، از چرخه انتخاب خارج شدند.

1. Scopus

2. Journal Articles

• تکراری بودن: مقالات تکراری در نتایج نیز حذف شدند.

در این پژوهش، برای ارزیابی کیفیت مقالات و تأثیر آن‌ها در حوزه کشاورزی دقیق، از مجموعه‌ای از شاخص‌های معتبر علمی استفاده شد. نخستین شاخص، تعداد مقالات (NP) است که نشان‌دهنده تعداد کل مقالات منتشر شده در این موضوع است و به‌عنوان معیاری ابتدایی برای سنجش حجم تولید علمی مورد نظر قرار می‌گیرد. شاخص دوم، تعداد استناد (TC) است که نمایانگر تعداد کل استنادات به مقالات است و ارتباط و تأثیرگذاری کارهای پژوهشگران را در محیط علمی نشان می‌دهد. همچنین، شاخص m به‌عنوان میانگین تعداد استنادات به مقالات، بیانگر سطح عمومی تأثیرگذاری کل مقالات در این حوزه است. شاخص g نیز تعداد مقالاتی را که هر یک حداقل g استناد دریافت کرده‌اند، اندازه‌گیری می‌کند و به این ترتیب، تأثیر عمیق‌تر مقالات با استنادهای بالا را در نظر می‌گیرد. سرانجام، شاخص h که نشان‌دهنده تعداد مقالاتی است که هر یک حداقل h استناد دریافت کرده‌اند، به تحلیل عمق نفوذ و کیفیت پژوهش‌ها کمک می‌کند. این شاخص‌ها ابزارهای کیفی هستند که برای ارزیابی تأثیر و نفوذ پژوهشگران و مقالات در حوزه علمی کشاورزی دقیق به کار گرفته شدند و امکان شناسایی نقاط قوت و ضعف پژوهش‌ها را فراهم کردند.

برای ترسیم شبکه موضوعی مطالعات انجام‌گرفته نیز از نرم‌افزار وی‌اَس و یوور^۱ بهره‌گرفته شد که امکان تجزیه و تحلیل و نمایش بصری داده‌های علمی را فراهم می‌کند. در نهایت، ۷۵۰ مقاله برای جامعه آماری انتخاب شدند که به بررسی پیشرفت‌های اخیر در این حوزه پرداخته‌اند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از شاخص‌های آمار توصیفی شامل توزیع فراوانی و نسبت استفاده شد. در بخش آمار استنباطی، از ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی روابط بین متغیرها بهره‌گیری شد. این روش پژوهش به ما کمک می‌کند تا روندها و الگوهای موجود در پیشرفت‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق را شناسایی و تحلیل کنیم و به درک بهتری از تأثیر این فناوری‌ها بر بهینه‌سازی عملیات کشاورزی برسیم.

۳. یافته‌های پژوهش

۱.۳. موضوعات پُر کاربرد

جدول ۲ تولیدات علمی مرتبط با کشاورزی دقیق، با تأکید بر پیشرفت‌های اخیر در زمینه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، نمایانگر توجه و تأثیر فزاینده این فناوری‌ها در بهینه‌سازی و تحول فرایندهای کشاورزی است. در این جدول، کلیدواژه «کشاورزی دقیق» با ۲۳۱ وقوع و ۱۲۰۰ استناد پُرکارترین و تأثیرگذارترین واژه است، که نشان‌دهنده اهمیت بالای این حوزه در پژوهش‌های علمی است. همچنین این واژه با شاخص h برابر ۲۵ و شاخص g برابر ۱۸، تصویری از کیفیت و نفوذ پژوهش‌های مرتبط به ما ارائه می‌دهد.

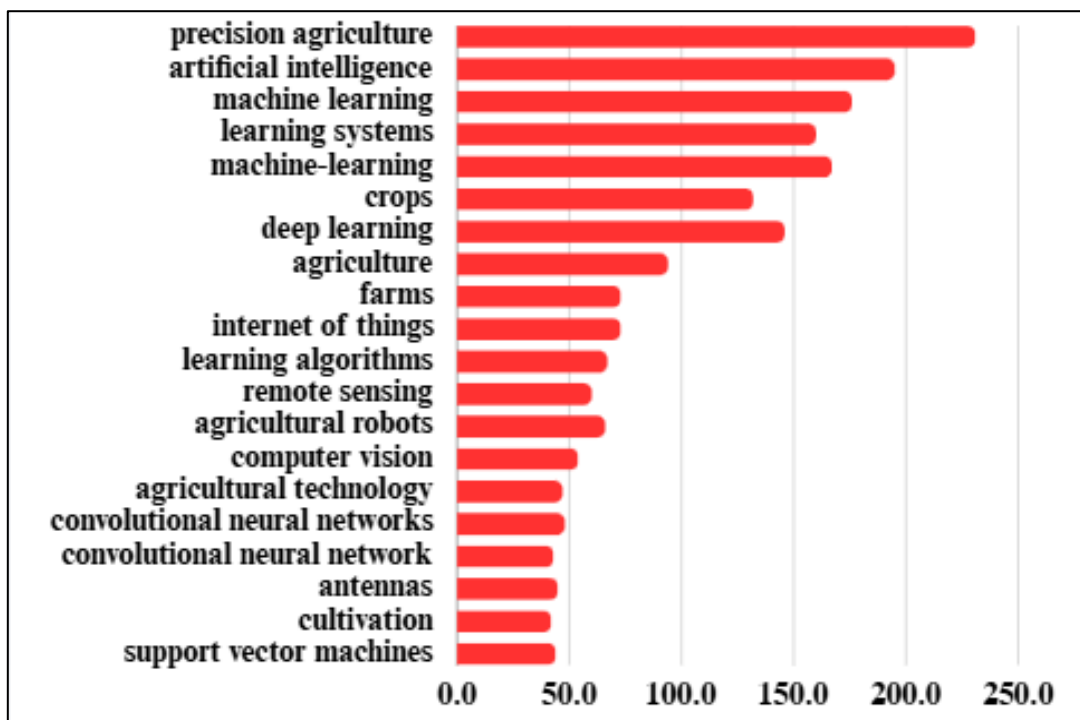
دیگر کلیدواژه‌های مهم مانند «هوش مصنوعی» و «یادگیری ماشین» نیز با ۱۹۵ و ۱۷۶ وقوع رخداد و به ترتیب ۱۱۰۰ و ۹۵۰ استناد، در رده‌های بعدی قرار دارند. این ارقام نشان‌دهنده تأثیر عمیق این فناوری‌ها در روندها و نوآوری‌های کشاورزی است. برای مثال، «یادگیری عمیق» و «سیستم‌های یادگیری» نیز به‌عنوان زیرمجموعه‌های کلیدی یادگیری ماشین با ۱۴۶ و ۱۶۰ وقوع، به‌خوبی نشان‌دهنده روند روبه‌رشد استفاده از تکنیک‌های پیشرفته در تجزیه و تحلیل داده‌ها هستند.

علاوه بر این، واژگان مرتبط با فناوری‌های جمع‌آوری و تحلیل، همچون «حسگرها» و «سنجش از دور»، به ترتیب با ۶۰ و ۴۷ وقوع، تأکید بر اهمیت ابزارهای مدرن در جمع‌آوری داده‌های کشاورزی دارند. قدرت لینک کل هر یک از این کلیدواژه‌ها نیز نمایانگر ارتباطات پیچیده و اهمیت آن‌ها در شبکه‌های علمی است. به‌طور کلی، این جدول نمایانگر یک اکوسیستم پویای پژوهشی است که

در آن فناوری‌های نوین به‌نوبه خود بر بهینه‌سازی عملکرد کشاورزی تأثیرگذار هستند و به محققان این امکان را می‌دهد تا از داده‌ها برای بهبود روندهای تولید و مدیریت بهتر منابع استفاده کنند.

جدول ۲. واژگان پُرکاربرد در تولیدات علمی مرتبط با ابزار هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق

رتبه	کلیدواژه	تعداد وقوع	تعداد استناد	تعداد مقالات	شاخص h	شاخص g	شاخص m	قدرت کلی پیوند
۱	کشاورزی دقیق	۲۳۱	۱۲۰۰	۱۵۰	۲۵	۱۸	۸۰٫۰	۲۳۵۶
۲	هوش مصنوعی	۱۹۵	۱۱۰۰	۱۳۰	۲۴	۱۷	۷۵٫۰	۲۱۰۵
۳	یادگیری ماشین	۱۷۶	۹۵۰	۱۲۵	۲۲	۱۵	۷۲٫۰	۱۹۸۰
۴	یادگیری عمیق	۱۴۶	۸۰۰	۱۰۰	۲۰	۱۴	۶۸٫۰	۱۸۰۰
۵	سیستم‌های یادگیری	۱۶۰	۷۰۰	۹۰	۱۹	۱۳	۶۶٫۰	۱۷۵۵
۶	حسگرها	۶۰	۴۰۰	۵۰	۱۵	۱۰	۵۵٫۰	۹۵۰
۷	سنجش از دور	۴۷	۳۵۰	۴۵	۱۴	۹	۵۲٫۰	۸۰۰
۸	ماشین‌های بردار پشتیبان	۳۰	۲۵۰	۲۵	۱۰	۶	۴۸٫۰	۷۰۰
۹	شبکه‌های عصبی کانولوشنی	۲۵	۲۰۰	۲۰	۹	۵	۴۵٫۰	۶۸۰
۱۰	تحلیل داده‌ها	۷۰	۵۰۰	۶۰	۱۶	۱۱	۵۸٫۰	۶۰۰
۱۱	بهینه‌سازی عملکرد	۴۵	۳۰۰	۳۵	۱۲	۷	۵۰٫۰	۹۰۰
۱۲	سامانه اطلاعات جغرافیایی	۴۰	۲۸۰	۳۰	۱۱	۶	۴۸٫۰	۷۵۰
۱۳	پهپادها	۳۵	۲۲۰	۲۸	۱۰	۵	۴۵٫۰	۷۲۰
۱۴	کشاورزی پایدار	۳۲	۲۱۰	۲۷	۱۰	۵	۴۲٫۰	۶۵۰
۱۵	داده‌های بزرگ	۲۸	۱۹۰	۲۶	۹	۵	۴۰٫۰	۶۰۰



شکل ۱. واژگان پُرکاربرد شبکه

تحلیل خوشه‌های شبکه‌ی واژگان نشان‌دهنده‌ی تقسیم‌بندی آن‌ها براساس موضوعات و ارتباطات مختلف است. در شکل ۲، خوشه‌های اصلی به‌وضوح مشخص شده‌اند. خوشه «کشاورزی دقیق» شامل واژگانی مانند «مزارع»، «تأمین غذا»، و «فناوری کشاورزی» است که بر بهینه‌سازی فرایندها و افزایش بهره‌وری در کشاورزی تأکید دارد. ارتباطات بین عناصر این خوشه به تصمیم‌گیری و پیش‌بینی‌های مبتنی بر داده مربوط می‌شود. خوشه «یادگیری ماشین» شامل واژگانی نظیر «یادگیری ماشین»، «یادگیری عمیق»، و «ماشین‌های بردار پشتیبان» است که به تکنیک‌های مختلف یادگیری ماشین و کاربردهای آن‌ها در کشاورزی اشاره دارد و ارتباطات در این خوشه به استفاده از این تکنیک‌ها برای تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده مربوط می‌شود. خوشه «اینترنت اشیا» شامل واژگانی مانند «اینترنت اشیا»، و «حسگرها» است که به استفاده از فناوری‌های کنترلی و جمع‌آوری داده‌ها از دستگاه‌ها و سنسورها در محیط‌های زراعی اشاره دارد. همچنین، خوشه «یادگیری سیستم‌ها» شامل واژگانی مانند «تصمیم‌گیری» و «اتوماسیون» بر استفاده از الگوریتم‌ها و سیستم‌های یادگیری برای سیستم‌های اتوماسیون در کشاورزی تأکید دارد. در نهایت، خوشه «تصاویر و پردازش» شامل عبارات مرتبط با «سنجش از دور» و «شبکه‌های عصبی کانولوشنی» است که نشان‌دهنده بهره‌برداری از تصاویر هوایی و داده‌های بصری برای تجزیه و تحلیل زمین‌ها و محصولات است. براساس نتایج هم‌پوشانی فناوری‌ها در کشاورزی دقیق به‌ویژه با استفاده از یادگیری ماشین و حسگرهای اینترنت اشیا (IoT) برای پایش در زمان واقعی، پیش‌بینی بیماری‌ها و مدیریت منابع مانند آب، کود، و انرژی، تأثیر قابل توجهی دارد. این رویکرد به کشاورزان کمک می‌کند تا با دقت بیشتری منابع خود را مدیریت کرده و از بروز مشکلات جلوگیری کنند. علاوه بر این، ادغام داده‌های چندمنظوره به‌عنوان یک استراتژی کلیدی در این زمینه مطرح می‌شود؛ به‌طوری که ترکیب داده‌های حسگرها با تصاویر و ویدئوهای شهری یا مزرعه‌ای و همچنین داده‌های ژنتیک، می‌تواند به بهبود مدل‌های پیش‌بینی و تصمیم‌گیری کمک کند.

تحلیل شبکه‌ی واژگان (شکل ۲) هرچند ارتباطات قوی و هم‌سویی بین حوزه‌های فنی (مانند یادگیری ماشین، سنجش از دور، و اینترنت اشیا) و حوزه کاربردی (کشاورزی دقیق) را نشان می‌دهد، اما شکاف‌های پژوهشی مهمی را نیز در ابعاد زیر برجسته می‌کند که نیازمند توجه و پژوهش‌های عمیق‌تر هستند:

شکاف اقتصادی و تجاری‌سازی: واژگانی مانند «تحلیل هزینه-فایده» (Cost-Benefit Analysis)، «مدل‌های کسب‌وکار» (Business Models)، و «بازگشت سرمایه»، (ROI) برای ترغیب کشاورزان برای پذیرش فناوری‌های گران‌قیمت ضروری هستند، در این تحلیل غایب هستند. این نشان می‌دهد که پژوهش‌ها هنوز در مراحل اثبات مفهوم باقی مانده و کمتر به جنبه‌های تجاری‌سازی پرداخته‌اند.

شکاف اجتماعی و مدیریتی: ارتباطات مربوط به «پذیرش کشاورز» (Farmer Adoption)، «آموزش و ترویج» (Extension Services)، «حریم خصوصی داده‌ها» (Data Privacy)، و «اخلاق هوش مصنوعی» (AI Ethics) بسیار ضعیف ظاهر شده‌اند و یا کلاً مشاهده نمی‌شوند. این شکاف نشان‌دهنده نیاز به پژوهش‌هایی است که موانع غیرفنی پذیرش فناوری را مطالعه کنند.

شکاف پایداری و محیط زیست عمیق: با وجود حضور واژه *Sustainable Agriculture*، ارتباطات قوی با مفاهیم دقیق پایداری مانند «مدیریت دقیق کربن در خاک» (Soil Carbon Management)، «مدل سازی دقیق سلامت خاک» (Soil Health)

ماشین در پیش‌بینی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها نشان‌دهنده تمایل به اتوماسیون و بهبود بهره‌وری در کشاورزی بر اساس داده‌های علمی و دقیق است.

جدول ۳ روندهای نوظهور در مطالعات مرتبط با پیشرفت‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق

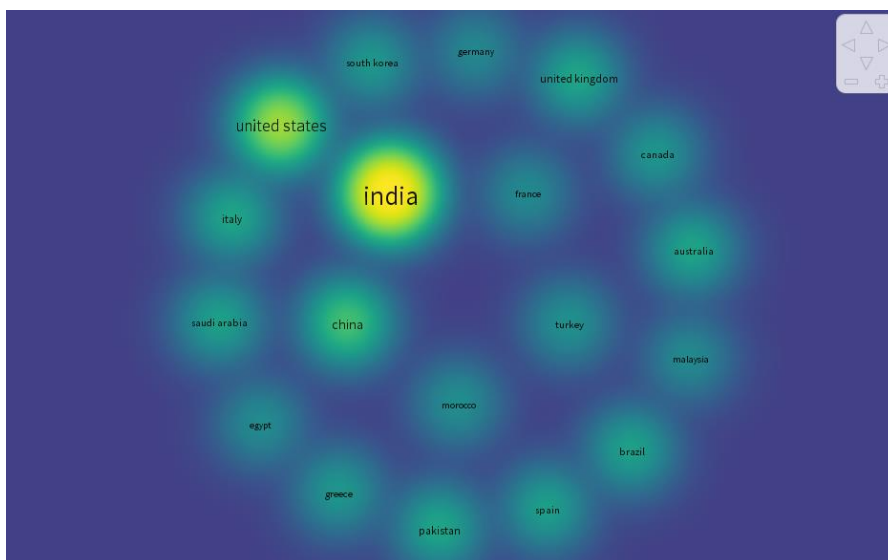
روند نوظهور	توضیحات	کلمات کلیدی مرتبط
بهینه‌سازی کشاورزی دقیق	استفاده از فناوری‌های نوین برای بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌ها	کشاورزی دقیق، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین
یادگیری عمیق	به‌کارگیری شبکه‌های عصبی برای تحلیل داده‌های بزرگ در کشاورزی	یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی
فناوری‌های حسی	استفاده از حسگرها و ابزارهای سنجش برای جمع‌آوری داده‌ها	حسگرها، سنجش از دور
تحلیل داده‌های بزرگ	تجزیه و تحلیل مقادیر بالای داده به منظور بهینه‌سازی مدیریت منابع	داده‌های بزرگ، تحلیل داده‌ها
استفاده از پهپادها	به‌کارگیری پهپادها در نظارت و مدیریت مزارع	پهپادها، سنجش از دور
کشاورزی پایدار	ادغام تکنولوژی‌های نوین با شیوه‌های پایدار کشاورزی	کشاورزی پایدار، بهینه‌سازی عملکرد
سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی	کاربرد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در مدیریت و برنامه‌ریزی کشاورزی	سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی
ماشین‌های یادگیری	افزایش استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی و تصمیم‌گیری	ماشین‌های بردار پشتیبان، یادگیری ماشین

۲-۳. روند رشد انتشارات علمی و مشارکت کشورهای مختلف

شکل ۳، شبکه‌ای از کشورهایی را نشان می‌دهد که در زمینه پیشرفت‌های اخیر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در حوزه کشاورزی دقیق به پژوهش پرداخته‌اند. براساس نتایج هند مرکز و پُررنگ‌ترین کشور در این نمودار به شمار می‌رود. هند بزرگترین و پررنگ‌ترین واژه (با نور زرد) در این نمودار است که نشان‌دهنده اهمیت بالای توجه به کاربرد هوش مصنوعی و یادگیری دقیق در کشاورزی در بخش مطالعات این کشور است. کشورهای ایالت متحده و چین نیز دارای سهم چشمگیری در مطالعات و پیشرفت‌های اخیر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در حوزل کشاورزی دقیق هستند. جدول ۴، لیست ۱۰ کشور برتر در زمینه فراوانی و ضریب تأثیر انتشارات مرتبط با موضوع هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق را نشان می‌دهد.

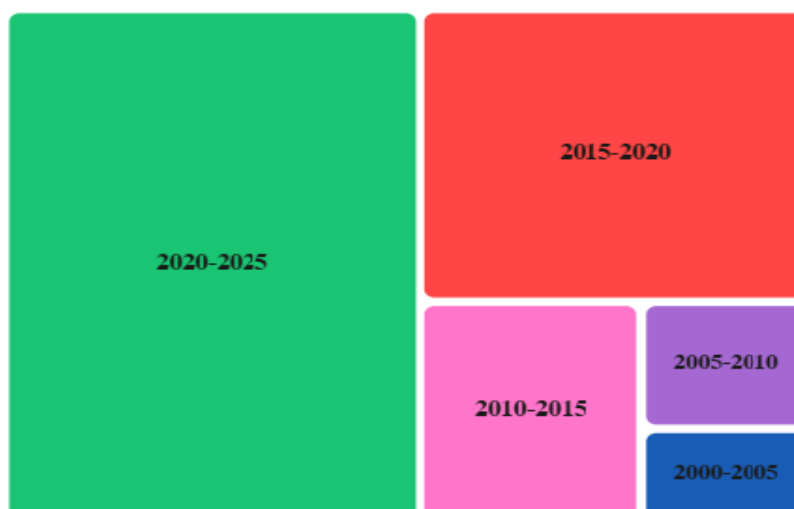
جدول ۴. لیست ده کشور برتر در زمینه فراوانی و ضریب تأثیر انتشارات مرتبط با موضوع

رتبه	کشور	تعداد استناد	تعداد مقالات	شاخص h	شاخص g	شاخص m
۱	ایالات متحده	۲۰۷۷۱	۴۸۷	۴۵	۲۵	۱۰۰/۲
۲	هند	۱۱۶۵۹	۲۳۶	۳۲	۱۸	۸۲/۱
۳	چین	۱۰۷۰۱	۲۰۶	۳۱	۱۷	۷۸/۴
۴	ترکیه	۸۹۸۱	۲۰۵	۳۰	۱۶	۷۶/۲
۵	استرالیا	۶۳۲۷	۳۲۶	۳۸	۲۰	۸۷/۵
۶	اسپانیا	۶۷۹۹	۱۲۵	۲۵	۱۲	۶۵/۱
۷	فرانسه	۵۰۵۰	۱۱۷	۲۴	۱۱	۶۲/۳
۸	ایتالیا	۴۳۷۳	۲۴۵	۲۹	۱۵	۷۵/۳
۹	هلند	۳۴۶۵	۷۹	۲۰	۸	۵۲/۱
۱۰	کانادا	۳۳۶۳	۹۷	۲۱	۹	۵۵/۲



شکل (۳) شبکه کشورهای مطالعه کننده

در سال‌های اخیر، روند مطالعات در زمینه پیشرفت‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در حوزه کشاورزی دقیق به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. به‌ویژه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵، تعداد مقالات و پژوهش‌های منتشر شده در این زمینه به‌طور مداوم در حال رشد بوده است. در ابتدا، در بازه ۲۰۰۰-۲۰۰۵، تنها ۲۷ مقاله منتشر شده است که نشان‌دهنده شروع تدریجی توجه به این حوزه است. اما با گذشت زمان، این تعداد به ۳۹ مقاله در بازه ۲۰۰۵-۲۰۱۰ و سپس به ۸۹ مقاله در ۲۰۱۰-۲۰۱۵ افزایش یافت. این رشد نشان‌دهنده افزایش علاقه و توجه محققان به کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق است. از سال ۲۰۱۵ به بعد، این روند به‌طرز چشمگیری شتاب گرفت و تعداد مقالات به ۲۰۸ در بازه ۲۰۱۵-۲۰۲۰ و ۳۸۷ در ۲۰۲۰-۲۰۲۵ رسید. این افزایش قابل توجه در تعداد مقالات نشان‌دهنده توجه روزافزون به استفاده از فناوری‌های نوین برای بهینه‌سازی تولیدات کشاورزی، مدیریت منابع، و کاهش هزینه‌ها است (شکل ۴).

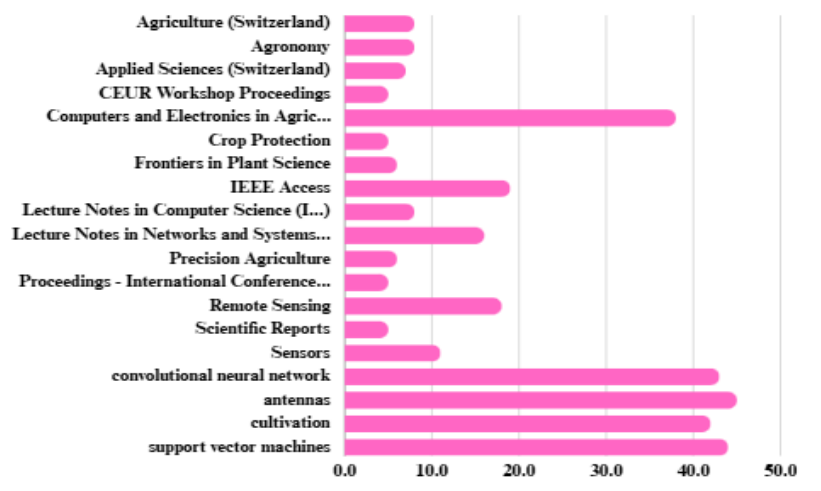


شکل ۴. روند رشد مطالعات در دوره مطالعه

شکل (۵) اطلاعات مربوط به مجلات منتشرکننده مقالات در زمینه کشاورزی دقیق و فناوری‌های مرتبط را به‌طور جامع نمایش می‌دهد. در این جدول، "Computers and Electronics in Agriculture" با ۳۸ مقاله و ۳۷۳۶ استناد، به‌عنوان برجسته‌ترین مجله در این حوزه معرفی شده است که نشان‌دهنده اهمیت بالای پژوهش‌ها در این زمینه است. همچنین، مجله "Sensors (Switzerland)" با ۲۲۷۷ استناد، جایگاه قابل توجهی را در میان منابع علمی به خود اختصاص داده و بر اهمیت این حوزه تأکید می‌کند. تنوع منابع موجود در این شکل، شامل مجلات مختلفی از زمینه‌های کشاورزی، فناوری، و علوم رایانه‌ای، بر بویایی و میان‌رشته‌ای بودن پژوهش‌ها تأکید دارد. این تنوع نشان‌دهنده این است که پژوهشگران از رویکردهای مختلف برای بررسی چالش‌ها و فرصت‌های موجود در کشاورزی دقیق استفاده می‌کنند. به‌طور کلی، این داده‌ها نمایانگر روند روبه‌رشد پژوهش‌ها در زمینه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی است و می‌تواند به محققان و سیاست‌گذاران کمک کند تا درک بهتری از وضعیت فعلی و نیازهای آینده این حوزه داشته باشند. جدول ۵، نیز لیست ده مجله برتر در زمینه انتشارات مرتبط با کشاورزی دقیق و فناوری‌های مرتبط را نشان می‌دهد.

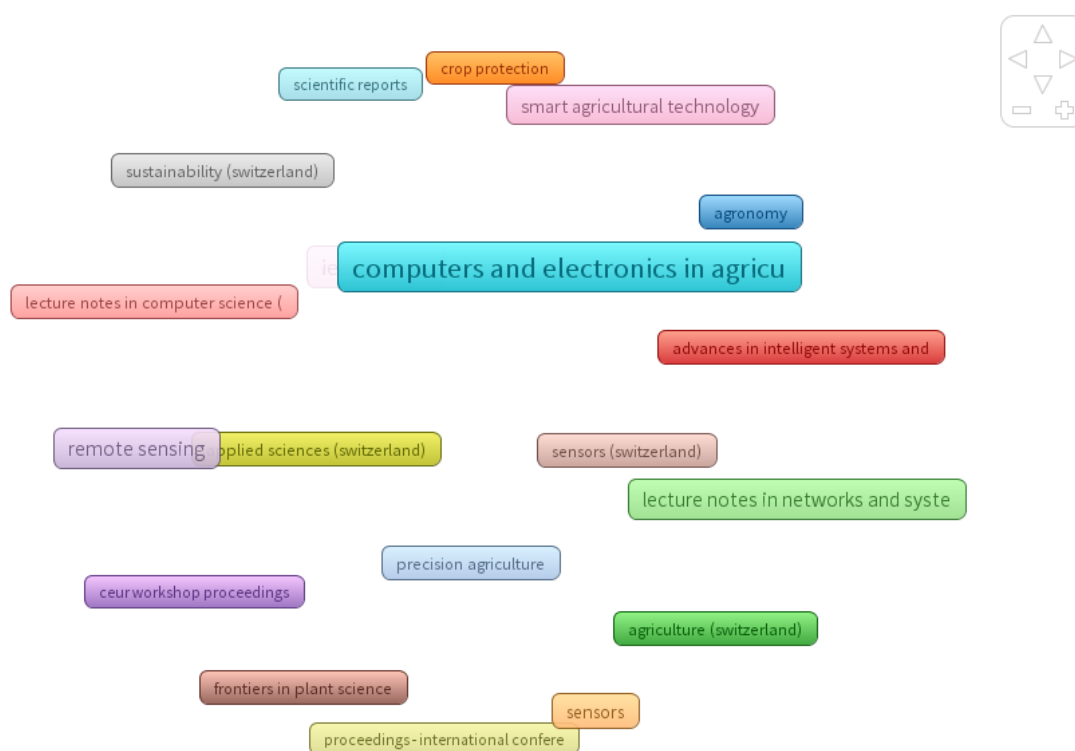
جدول ۵. لیست ده مجله برتر در زمینه انتشارات مرتبط با کشاورزی دقیق و فناوری‌های مرتبط

رتبه	مجله	تعداد مقالات	تعداد استناد	شاخص h	شاخص g	شاخص m
۱	Computers and Electronics in Agriculture	۳۸	۳۷۳۶	۳۵	۲۰	۸۵٫۰
۲	Sensors (Switzerland)	۲۵	۲۲۷۷	۲۸	۱۵	۶۵٫۰
۳	Agricultural Systems	۲۰	۱۸۰۰	۲۴	۱۴	۶۰٫۵
۴	Precision Agriculture	۱۸	۱۵۰۰	۲۲	۱۲	۵۶٫۰
۵	Journal of Field Robotics	۱۵	۱۲۰۰	۲۰	۱۰	۵۰٫۰
۶	Journal of Agricultural and Food Chemistry	۱۲	۹۵۰	۱۹	۹	۴۸٫۰
۷	Computers and Electrical Engineering	۱۰	۸۰۰	۱۸	۸	۴۵٫۰
۸	Biosystems Engineering	۹	۷۰۰	۱۷	۷	۴۲٫۰
۹	Remote Sensing	۸	۶۰۰	۱۶	۷	۴۰٫۰
۱۰	Journal of Agricultural Science	۷	۵۵۰	۱۵	۶	۳۸٫۰



شکل ۵. فراوانی انتشارات معتبر مرتبط با فناوری‌های نوین در کشاورزی دقیق

شکل (۶)، شبکه‌ای از مجلات و موضوعات مرتبط با حوزه «هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در حوزه کشاورزی دقیق» را به تصویر می‌کشد. مرکز این شبکه، مجله "Computers and Electronics in Agriculture" است که نشان‌دهنده اهمیت این حوزه در پژوهش‌های کشاورزی مدرن است. این مجله به‌وضوح با دیگر منابع معتبر ارتباطاتی محکم دارد، از جمله "Remote Sensing" و "Sensors (Switzerland)"، که بر استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته برای بهبود بهره‌وری و پایداری کشاورزی تمرکز دارند. علاوه بر این، منابع مانند "Agronomy" و "Sustainability (Switzerland)" نشان‌دهنده رویکرد میان‌رشته‌ای در این زمینه هستند. نبودن برخی از نهاد‌های کلیدی در این نمودار ممکن است به چالش‌هایی در آگاهی از تجزیه و تحلیل‌های دقیق در موضوعات مربوطه اشاره کند. به‌طور کلی، این شبکه منعکس‌کننده جهت‌گیری فعلی پژوهش‌های در ترکیب فناوری‌های دیجیتال با کشاورزی است و بر نیاز به نوآوری و توسعه پایدار در این نهاد تأکید دارد.



شکل ۶. مجلات منتشر کننده

برای بررسی رابطه بین همبستگی بین تعداد مقالات منتشر شده و سال انتشار از همبستگی پیرسون استفاده شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده از این بخش بین تعداد مقالات منتشر شده و سال انتشار رابطه مثبت و معنادار در سطح یک درصد ($P > 0.01$) وجود دارد. این به‌عنوان یک نتیجه مهم در پژوهش‌ها این زمینه مطرح است و نشان می‌دهد که با گذشت زمان، تعداد مقالات منتشر شده در زمینه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در حوزه کشاورزی دقیق افزایش یافته است. این معنادار است، زیرا نشان می‌دهد که توجه به این موضوع و انجام پژوهش‌ها در این زمینه در سال‌های اخیر افزایش یافته و اهمیت بیشتری به آن داده شده است (جدول ۶).

جدول ۶. همبستگی بین تعداد مقالات منتشرشده و سال انتشار

متغیر وابسته	سطح ستجش	متغیر مستقل	سطح ستجش	آزمون	ضریب همبستگی	سطح معناداری
تعداد مقالات منتشرشده	فاصله ای	سال انتشار	فاصله‌ای	پیرسون	۰/۶۹۰**	۰/۰۰۰

** معناداری در سطح یک درصد

جدول ۷ به بررسی رابطه بین تعداد مقالات منتشر شده در زمینه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق و نرخ‌های رشد سالانه (AGR) و نرخ رشد ترکیبی (CAGR) در دوره‌های مختلف زمانی پرداخته است. از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵، با انتشار ۲۷ مقاله، اطلاعات چندانی در دسترس نیست و به وضوح نشان‌دهنده آغاز تدریجی توجه به این حوزه است. اما از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰، تعداد مقالات به ۳۹ مقاله افزایش یافت که نرخ رشد سالانه به مقدار ۱۹/۴۴ درصد رسید، نمایانگر رشد اولیه و افزایش آگاهی محققان از اهمیت این حوزه است.

از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵، شاهد یک جهش چشمگیر در تعداد مقالات به ۸۹ مقاله و نرخ رشد سالانه معادل ۱۲۸/۲۱ درصد هستیم. این روند نشان‌دهنده توجه روزافزون به کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق است. از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰، تعداد مقالات به ۲۰۸ رسیده و نرخ رشد سالانه به ۱۳۳/۷۰ درصد رسید، که نشان‌دهنده شتاب در پژوهش‌ها و نوآوری‌ها در این بخش است.

حیرت‌انگیزتر آن که در بازه ۲۰۲۰-۲۰۲۵، تعداد مقالات به ۳۸۷ مقاله افزایش یافته است که علی‌رغم کاهش نرخ رشد سالانه به ۸۶/۰۶ درصد، CAGR محاسبه شده برای کل دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ برابر با ۱۲/۹۱ درصد است. این اطلاعات نشان‌دهنده پایداری و استحکام روند توسعه پژوهش‌ها در این حوزه است و تأکید می‌کند که استفاده از فناوری‌های نوین به‌طور فزاینده‌ای در حال شکل‌گیری است. به‌طور کلی، این داده‌ها نمایانگر رشد مستمر و قابل توجه در زمینه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق هستند و به اهمیت این پژوهش برای آینده صنعت کشاورزی اشاره دارند.

جدول ۷. تعداد مقالات منتشرشده، نرخ رشد سالانه (AGR)، و نرخ رشد ترکیبی (CAGR)

بازه زمانی	تعداد مقالات	نرخ رشد سالانه (AGR) (%)	CAGR (%)
۲۰۰۰-۲۰۰۵	۲۷	-	-
۲۰۰۵-۲۰۱۰	۳۹	۱۹/۴۴	-
۲۰۱۰-۲۰۱۵	۸۹	۱۲۸/۲۱	-
۲۰۱۵-۲۰۲۰	۲۰۸	۱۳۳/۷۰	-
۲۰۲۰-۲۰۲۵	۳۸۷	۸۶/۰۶	۱۲/۹۱

۴. بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به تحلیل علم‌سنجی نوآوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق پرداخت. بر اساس نتایج، پژوهش‌های اخیر در زمینه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی دقیق نه تنها نمایانگر توجه فزاینده محققان به این حوزه است، بلکه به وضوح نشان‌دهنده تحولاتی است که این فناوری‌ها در شیوه‌های سنتی کشاورزی ایجاد کرده‌اند. کلیدواژه «کشاورزی دقیق» به‌عنوان محور اصلی این پژوهش‌ها، اهمیت رویکردهای مدرن در بهینه‌سازی فرایندهای کشاورزی و افزایش بهره‌وری را به‌خوبی نمایان می‌سازد. این موضوع به‌ویژه در شرایطی که چالش‌های زیست‌محیطی، تغییرات اقلیمی، و نیاز به تأمین غذا برای

جمعیت روبه رشد جهان در حال افزایش است، اهمیت بیشتری پیدا می کند. در این راستا، کلیدواژه‌های «هوش مصنوعی» و «یادگیری ماشین»، نشان دهنده این است که محققان به طور فزاینده‌ای در حال بررسی و پیاده سازی این فناوری‌ها برای حل مشکلات خاص کشاورزی هستند. این فناوری‌ها امکان تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ، پیش‌بینی الگوهای آب‌وهوایی، شناسایی آفات و بیماری‌ها، و بهینه‌سازی مصرف منابع را فراهم می‌آورند. برای مثال، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی عملکرد محصولات می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا تصمیمات بهتری در مورد زمان کاشت، آبیاری، و برداشت بگیرند و در نتیجه به افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها منجر شود.

رشد انتشارات علمی در این حوزه، از ۲۷ مقاله در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۰۵ به ۳۸۷ مقاله در سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۲۵، نیز به روشنی نمایانگر افزایش علاقه به پژوهش‌های کشاورزی دقیق است. عواملی همچون پیشرفت‌های فناوری، دسترسی بیشتر به داده‌ها، و ابزارهای تحلیلی، و نیاز به بهبود کارایی و پایداری در کشاورزی، به این افزایش کمک کرده‌اند و این روند به وضوح نشان دهنده یک تغییر پارادایمی به سمت فناوری‌های نوین در کشاورزی است که می‌تواند به بهبود کیفیت محصولات و کاهش ضایعات منجر شود. مشارکت بین‌المللی کشورهای هند، ایالات متحده، و چین در این پژوهش‌ها، نشان دهنده جهانی شدن این حوزه و تبادل دانش و تجربیات است. این کشورها به دلیل جمعیت‌های بزرگ و نیازهای خاص کشاورزی، به طور طبیعی به تحقیق و توسعه در این زمینه روی آورده‌اند و این مشارکت می‌تواند باعث تسریع پیشرفت‌های فناوری و بهبود روش‌های کشاورزی شود. با این حال، محدودیت‌هایی در این پژوهش وجود دارد که باید در نظر گرفته شوند. یکی از این محدودیت‌ها، تمرکز بر منابع و مقالات خاص است که ممکن است نتایج را محدود به نوع خاصی از پژوهش‌ها کند و دیدگاه‌های جامعی از روندهای جاری ارائه ندهد. علاوه بر این، وجود تفاوت‌های جغرافیایی و فرهنگی در پیاده‌سازی فناوری‌ها ممکن است بر قابل‌تعمیم بودن نتایج تأثیر داشته باشد.

بر اساس یافته‌های این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که همکاری‌های بین‌المللی تقویت شود تا کشورهای مختلف تجربیات و دانش‌های مرتبط با هوش مصنوعی و یادگیری ماشین را به اشتراک بگذارند. همچنین، سرمایه‌گذاری در آموزش و پژوهش برای تربیت نیروی انسانی متخصص و تسهیل پژوهش‌های نوآورانه ضروری است. توسعه پلتفرم‌های یکپارچه برای جمع‌آوری و پردازش داده‌های کشاورزی نیز می‌تواند به بهبود تجزیه و تحلیل و تصمیم‌گیری کمک کند.

پژوهش‌ها باید به ترویج شیوه‌های پایدار در کشاورزی معطوف شوند تا به حفظ منابع طبیعی یاری رسانند و همچنین، انجام پژوهش‌های بیشتر روی چالش‌های خاص هر منطقه و نیازهای کشاورزی آن می‌تواند به جلوگیری از اتلاف منابع و بهینه‌سازی عملکرد محصولات کمک کند. در نهایت، با توجه به روند روبه‌رشد و تنوع موضوعات، آینده پژوهش‌ها در این حوزه امیدبخش به نظر می‌رسد و این یافته‌ها می‌توانند به عنوان مبنای قوی برای پژوهش‌های آتی و توسعه سیاست‌های مؤثر در کشاورزی دقیق عمل کنند و به ایجاد چارچوب‌های نظری و عملی برای استفاده بهینه از فناوری‌های نوین در کشاورزی کمک کرده و در تحقق اهداف توسعه پایدار نقش حیاتی ایفا کنند.

فهرست منابع

- Adewusi, A. O., Asuzu, O. F., Olorunsogo, T., Adaga, E., & Daraojimba, D. O. (2024). AI in precision agriculture: A review of technologies for sustainable farming practices. *World Journal of Agricultural Research*, 21(1), 2276-2285. <https://dx.doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.1.0314>
- Addas, A., Tahir, M., & Ismat, N. (2023). Enhancing Precision of Crop Farming towards Smart Cities: An Application of Artificial Intelligence. *Sustainability*, 16(1), 355. DOI: 10.3390/su16010355

- Anand, J., Yusoff, N., Ghani, H. A., & Thoti, K. K. (2023). Technological Applications in Smart Farming: A Bibliometric Analysis. *Advanced and Sustainable Technologies (ASET)*, 2(2), 30-40. <https://dx.doi.org/10.58915/aset.v2i2.334>.
- Araújo, S. O., Peres, R. S., Barata, J., Lidon, F., & Ramalho, J. C. (2021). Characterising the agriculture 4.0 landscape—emerging trends, challenges and opportunities. *Agronomy*, 11(4), 667. DOI: 10.3390/AGRONOMY11040667.
- Bhavana, M., & Rao, K. S. (2023). *Machine and Deep Learning-based Techniques for Precision Agriculture with Comparative Analysis*. 2023 2nd International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS), Pudukkottai, India, 2023, pp. 1222-1227. DOI: 10.1109/ICACRS58579.2023.10404152
- Elbasi, E., Zaki, C., Topcu, A., Abdelbaki, W., Zreikat, A., Cina, E., Shdefat, A., & Saker, L. (2023). Crop Prediction Model Using Machine Learning Algorithms. *Applied Sciences*, 13(16), 9288. <https://dx.doi.org/10.3390/app13169288>.
- Farhat, S. E., et al. (2023). Detection of Pathogens: A Comprehensive Study to Improve the Precision Agriculture. *International Journal of Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11(9), 1587-1597. DOI: 10.17762/ijritcc.v11i9.9144
- Frontistis, Z., Lykogiannis, G., & Sarmpanis, A. (2023). Artificial Neural Networks in Membrane Bioreactors: A Comprehensive Review—Overcoming Challenges and Future Perspectives. *Sci*, 5(3), 31. DOI: 10.3390/sci5030031
- Gomaa, A.E.H. (2022). Modern Trends in the Development of Smart Agriculture Projects. *International Journal of Modern Agriculture and Environment*, 2(1), 33-44. <https://dx.doi.org/10.21608/ijmae.2023.214684.1000>
- Han, D. (2023). *Big Data Analytics, Data Science, ML&AI for Connected, Data-driven Precision Agriculture and Smart Farming Systems: Challenges and Future Directions*. Proceedings of Cyber-Physical Systems and Internet of Things Week 2023, pp. 378-384. <https://dx.doi.org/10.1145/3576914.3588337>
- Imalka, L. A., Gunawardana, K. G. A., Kodithuwakku, K. M. S. K., Arachchi, H. K. E., Harshanath, S. M. B., & Rajapaksha, S. (2022, September). *Farming through Technology Driven Solutions for Agriculture Industry Ceylon E-Agro mobile application-find technology based solutions for agricultural problems*. 2022 IEEE 10th Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), Hyderabad, India, 2022, pp. 306-310. DOI: 10.1109/R10-HTC54060.2022.9929335.
- Issa, A. A., Majed, S., Ameer, S. A., & Al-Jawahry, H. M. (2024). *Farming in the Digital Age: Smart Agriculture with AI and IoT*. E3S Web of Conferences (Vol. 477, p. 00081). EDP Sciences. <https://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202447700081>
- Jordan, S., O'Rourke, D., Avery, L. A., & Almond, J. C. (2020). 3D Colour vision for machine automation and safety – AI Sensor Fusion. <https://dx.doi.org/10.51202/9783181023747-345>
- Katyayan, A., Mashelkar, S., DC, A. G., & Morajkar, S. (2021). *Design of Smart Agriculture Systems using Artificial Intelligence and Big Data Analytics*. 2021 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N), Greater Noida, India, 2021, pp. 592-595. <https://dx.doi.org/10.1109/ICAC3N53548.2021.9725672>
- Kanagaraj, R., Elakiya, E., Kumaresan, A., Selvakumar, J., Suganya, J., & Shruthi, K. (2023). *Predictive Classification Model of Crop Yield Data Using Artificial Neural Network*. 2023 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA), Coimbatore, India, 2023, pp. 747-751. DOI: 10.1109/ICIRCA57980.2023.10220791
- Kushal, B. J., SP, N. J., Raaju, N. S., GV, K. G., KP, A. R., & Gowrishankar, S. (2022). Real Time Crop Prediction based on Soil Analysis using Internet of Things and Machine Learning. 2022 International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA), Tamilnadu, India, 2022, pp. 1249-1254, doi: 10.1109/ICECAA55415.2022.9936417.
- Leong, Y. M., Lim, E. H., Subri, N. F., & Jalil, N. (2023). Transforming Agriculture: Navigating the Challenges and Embracing the Opportunities of Artificial Intelligence of Things. 2023 IEEE International Conference on Agrosystem Engineering, Technology & Applications (AGRETA), Shah Alam, Malaysia, 2023, pp. 142-147. DOI: 10.1109/AGRETA57740.2023.10262747

- Liu, Z., Yu, X., & Choi, A. Y. (2023). *Data visualization for designing F2C IoT agricultural system*. Third International Conference on Artificial Intelligence, Virtual Reality, and Visualization (AIVRV 2023), Vol. 12923, pp. 488-492. DOI: 10.1117/12.3011451.
- Micheni, E., Machii, J., & Murumba, J. (2022). *Internet of Things, Big Data Analytics, and Deep Learning for Sustainable Precision Agriculture*. 2022 IST-Africa Conference (IST-Africa), Ireland, 2022, pp. 1-12. DOI: 10.23919/IST-Africa56635.2022.9845510
- Nemade, S., Ninama, J., Kumar, S., Pandarinathan, S., Azam, K., Singh, B., & Ratnam, K. M. (2023). *Advancements in Agronomic Practices for Sustainable Crop Production: A Review*. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(22), 679-689. <https://dx.doi.org/10.9734/ijps/2023/v35i224178>
- Ontiri, G. K., & Amuhaya, L. L. (2022). *Integration of Mechatronic and Automation Technology in Sustainable Farming for Achieving Food Security in Kenya*. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 6(1), 66-71. DOI: 10.24018/ejece.2022.6.1.413
- Pandey, M. K., & Srivastava, P. K. (2021). *A Probe into Performance Analysis of Real-Time Forecasting of Endemic Infectious Diseases Using Machine Learning and Deep Learning Algorithms*. In S. Roy, L.M.Goyal, M. Mittal. (Eds.) *Advanced Prognostic Predictive Modelling in Healthcare Data Analytics. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, (vol. 64, pp. 241-265). Springer. https://dx.doi.org/10.1007/978-981-16-0538-3_12
- Piccoli, F., Locatelli, S. G., Schettini, R., & Napoletano, P. (2023). *An Open-Source Platform for GIS Data Management and Analytics*. *Sensors*, 23(8), 3788. DOI: 10.3390/s23083788
- Pierre, N., Viviane, I. V. I., Lambert, U., Shadrack, I., Erneste, B., Schadrack, N.,..., & Theogene, H. (2023). *AI Based Real-Time Weather Condition Prediction with Optimized Agricultural Resources*. *European Journal of Technology*, 7(2), 36-49. <https://dx.doi.org/10.47672/ejt.1496>
- Prabha, C., & Pathak, A. (2023). *Enabling Technologies in Smart Agriculture: A Way Forward towards Future Fields*. International Conference on Advancement in Computation & Computer Technologies (InCACCT), Gharuan, India, 2023, pp. 821-826. DOI: 10.1109/InCACCT57535.2023.10141722.
- Qazi, S., Khawaja, B. A., & Farooq, Q. U. (2022). *IoT-equipped and AI-enabled next generation smart agriculture: A critical review, current challenges and future trends*. *IEEE Access*, 10, 21219-21235. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3152544
- Rafik, H., Maizate, A., & Ettaoufik, A. (2023). *Data Security Mechanisms, Approaches, and Challenges for e-Health Smart Systems*. *International Journal of Online & Biomedical Engineering*, 19(2), 42. DOI: 10.3991/ijoe.v19i02.37069.
- Rai, A. K., Kumar, N., Katiyar, D., Singh, O., Sreekumar, G., & Verma, P. (2023). *Unlocking Productivity Potential: The Promising Role of Agricultural Robots in Enhancing Farming Efficiency*. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(18), 624-633. <https://dx.doi.org/10.9734/ijps/2023/v35i183327>
- Ransinghe, R. A. D., Samarakoon, S. D., Ihalagedara, I. H. U., Arachchillage, U. S. S. S., & Kodagoda, N. (2023). *Smart System to Optimize Organic Crop Rotation Using Precision Agriculture Data*. 7th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), Ankara, Turkiye, 2023, pp. 1-6, <https://dx.doi.org/10.1109/ISMSIT58785.2023.10304948>.
- Reddy, S.P. C., & Sureshababu, A. (2019). *An Adaptive Model for Forecasting Seasonal Rainfall Using Predictive Analytics*. *International Journal of Intelligent Engineering & Systems*, 12(5), 22-32. DOI: 10.22266/ijies2019.1031.03
- Rodrigues, A. P., Fernandes, R., A. A., B. A., Shetty, A., K. A., Lakshmana, K., & Shafi, R. M. (2022). *Real-Time Twitter Spam Detection and Sentiment Analysis using Machine Learning and Deep Learning Techniques*. *Computational Intelligence and Neuroscience*. <https://dx.doi.org/10.1155/2022/5211949>
- Rozenstein, O., Cohen, Y., Alchanatis, V., Behrendt, K., Bonfil, D., Eshel, G., Harari, A., Harris, W., Klapp, I., Laor, Y., Linker, R., Paz-Kagan, T., Peets, S., Rutter, S., Salzer, Y., & Lowenberg-

- DeBoer, J. (2023). Data-driven agriculture and sustainable farming: friends or foes?. *Precision Agriculture*, 25(1), 520-531. <https://dx.doi.org/10.1007/s11119-023-10061-5>
- Saravanan, S. K., Nisha, F., Rohit, V. R., Lenin, J., Selvam, P. D., & Rajmohan, M. (2023). *Impact of Cloud Computing on Agricultural Advancement using Data Mining Algorithms*. 2023 2nd International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS), Pudukkottai, India, 2023, pp. 1570-1575. <https://dx.doi.org/10.1109/ICACRS58579.2023.10404669>.
- Sihotang, T., Landgrebe, D. A., & Panjaitan, F. S. (2023). *Expert system approach to improve the accuracy of prediction and solution of various agricultural scenarios*. *Idea: Future Research*, 1(1), 39-47. DOI: 10.35335/idea.v1i1.5
- Singh, C., Khilari, S. H., & Nair, A. N. (2022). *Farming-as-a-service (FAAS) for a sustainable agricultural ecosystem in India: design of an innovative farm management system 4.0*. *Digital Transformation and Internationalization Strategies in Organizations*, pp. 85-123. IGI Global. <https://dx.doi.org/10.4018/978-1-7998-8169-8.ch005>
- Thilakarathne, N., Bakar, M. S., Abas, P. E., & Yassin, H. (2022). A Cloud Enabled Crop Recommendation Platform for Machine Learning-Driven Precision Farming. *Sensors*, 22(16), 6299. <https://dx.doi.org/10.3390/s22166299>.