Applied Scientometric Studies
Volume 2, Issue 1, 2025

A Framework for Identifying and Analyzing Key Research Trends in the Smart Agricultural Supply Chain

Hasan Al-Zaidi[1], **Omid Ali Adeli**[2], and **Mohammad Hasan Maleki**[3]

1. PhD Candidate, Department of Economics, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Qom University, Qom, Iran; Email hasanalzidi26@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Economics, Faculty of Economic and Administrative Sciences, University of Qom, Qom, Iran; Email oa.adeli@qom.ac.ir
3. Professor, Department of Management, Faculty of Economic and Administrative Sciences, University of Qom, Qom, Iran (Corresponding Author); Email mh.maleki@qom.ac.ir

Article Info

Article type:
Research

Article history:
Received: 2025/07/13
Accepted: 2025/07/27
Available online: 2025/08/11

Keywords:
Smart Supply Chain, Smart Agriculture, Research Trends, Blockchain, Internet of Things, Machine Learning.

ABSTRACT

Objective: The smart supply chain in the agricultural sector has emerged as a key driver for sustainable development and resource efficiency in the contemporary world. Increasing demand for agricultural products, limitations in natural resources, and the necessity to reduce waste have highlighted the need for the adoption of advanced technologies and the digitalization of supply chain processes. In this context, identifying the key and priority research trends in smart agriculture and smart supply chains can facilitate both scientific and practical development, as well as support data-driven managerial decision-making. The objective of this study is to identify and prioritize the most significant research trends related to the smart supply chain in the agricultural sector.

Methodology: To achieve this objective, the present study employed a multi-quantitative approach. Research data were collected through a systematic literature review and expert surveys. In the first step, research trends were extracted from published studies in the fields of smart agriculture and smart supply chains, resulting in the identification of 30 initial trends. Subsequently, with the participation of 10 academic and professional experts, these trends were refined and screened using the fuzzy Delphi technique, such that only trends with a fuzzy score higher than 0.7 progressed to the next stage, resulting in the selection of 9 key trends. In the following step, these trends were analyzed and ranked based on three critical criteria—frequency in review articles, technological impact, and future-orientedness—using the MARCOS method. The weights of the criteria were considered equal, and the data were linearly normalized and incorporated into a weighted normalized matrix to quantitatively determine the utility and priority of each trend.

Findings: The research findings indicated that five research trends hold the highest **priority:** the integration of explainable artificial intelligence (XAI) with blockchain for decision-making and security, the use of machine learning for optimizing product flow and reducing waste, the combination of sensor data and big data for production and consumption forecasting, the expansion of the Internet of Things (IoT) in agricultural supply chain management, and the development of traceability and transparency in the supply chain through blockchain. These trends not only reflect key technological advancements in smart agriculture but also delineate future research directions and development strategies aimed at enhancing the efficiency, transparency, and sustainability of agricultural supply chains.

Conclusion: The research concludes that focusing on data-driven technologies and the digitalization of processes can enhance efficiency, reduce waste, improve sustainability, and strengthen trust among supply chain stakeholders. The integration of explainable artificial intelligence (XAI) with blockchain, the use of machine learning and the analysis of sensor and big data, as well as the expansion of the Internet of Things (IoT) and supply chain transparency, serve as key tools to achieve these objectives. The findings can assist researchers, managers, and policymakers in scientifically and data-drivenly determining their research and development priorities. Despite limitations such as a small expert sample, reliance on published data, and the quantitative nature of the analysis, this study provides a valuable foundation for scientific policymaking, planning the development of emerging technologies, and conducting future studies with larger samples and mixed-method quantitative–qualitative analyses. Future research could investigate the environmental, social, and economic impacts of implementing smart technologies and

develop sustainable, human-centered frameworks for agricultural supply chain management.

Cite this article: Al-Zaidi, Hasan; Adeli, Omid Ali; Maleki, Mohammad Hasan (2025). A Framework for Identifying and Analyzing Key Research Trends in the Smart Agricultural Supply Chain, *Applied Scientometric Studies*, 2(2), 93 - 114. https://doi.org/10.22091/apss.2026.14209.1069

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: University of Qom.
DOI: http//doi.org/10.22091/apss.2026.14209.1069

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مطالعات کاربردی علم‌سنجی
دوره ۲، شماره ۱، ۱۴۰۴

ارائه چارچوبی برای شناسایی و تحلیل مهم‌ترین روندهای تحقیقاتی زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند

حسن الزیدی[۱]، امیدعلی عادلی[۲]، و محمدحسن ملکی[۳]

۱. دانشجوی دکتری، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه قم، قم، ایران. رایانامه: hasanalzidi26@gmail.com
۲. دانشیار، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه قم، قم، ایران. رایانامه: oa.adeli@qom.ac.ir
۳. استاد، گروه مدیریت، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه قم، قم، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: mh.maleki@qom.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی.

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰

کلیدواژه‌ها:
زنجیره تأمین هوشمند، کشاورزی هوشمند، روندهای تحقیقاتی، بلاک‌چین، اینترنت اشیا، یادگیری ماشین.

چکیده

هدف: زنجیره تأمین هوشمند در بخش کشاورزی به‌عنوان یکی از محورهای اصلی توسعه پایدار و بهره‌وری منابع در جهان معاصر مطرح است. افزایش تقاضای محصولات کشاورزی، محدودیت منابع طبیعی و ضرورت کاهش ضایعات، نیاز به به‌کارگیری فناوری‌های نوین و دیجیتال‌سازی فرآیندهای زنجیره تأمین را بیش از پیش آشکار ساخته است. در این راستا، شناسایی روندهای پژوهشی کلیدی و اولویت‌دار در حوزه کشاورزی هوشمند و زنجیره تأمین هوشمند، می‌تواند مسیر توسعه علمی و عملی را هموار ساخته و به اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی مبتنی بر داده کمک کند. هدف این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی مهم‌ترین روندهای پژوهشی مرتبط با زنجیره تأمین هوشمند در بخش کشاورزی است.

روش‌شناسی: برای دستیابی به این هدف، پژوهش حاضر از رویکرد کمی چندگانه بهره گرفته است. داده‌های پژوهش از طریق مرور نظام‌مند ادبیات علمی و پرسشنامه‌های خبره‌سنجی جمع‌آوری شدند. در گام نخست، روندهای پژوهشی از مطالعات منتشرشده در حوزه کشاورزی هوشمند و زنجیره تأمین هوشمند استخراج و ۳۰ روند اولیه شناسایی شد. سپس با مشارکت ۱۰ نفر از خبرگان دانشگاهی و حرفه‌ای، این روندها با استفاده از تکنیک دلفی فازی پالایش و غربال‌گری شدند، به‌گونه‌ای که تنها روندهایی با عدد دیفازی بالاتر از ۰/۷ برای مرحله بعدی باقی ماندند و ۹ روند کلیدی انتخاب شد. در گام بعد، این روندها بر اساس سه شاخص مهم شامل تکرار در مقالات مروری، سطح تأثیر فناورانه و جهت‌گیری آینده‌پژوهی با استفاده از روش مارکوس تحلیل و رتبه‌بندی شدند. وزن شاخص‌ها در این تحلیل برابر در نظر گرفته شد و داده‌ها به‌صورت خطی نرمال‌سازی و در ماتریس نرمال موزون وارد شدند تا میزان مطلوبیت و اولویت هر روند به‌صورت کمی تعیین گردد.

یافته‌ها: یافته‌های پژوهش نشان داد که پنج روند پژوهشی در صدر اولویت‌ها قرار دارند :ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر با بلاک‌چین برای تصمیم‌گیری و امنیت، استفاده از یادگیری ماشین برای بهینه‌سازی جریان کالا و کاهش ضایعات، ترکیب داده‌های حسگری و کلان‌داده برای پیش‌بینی تولید و مصرف، گسترش اینترنت اشیا در مدیریت زنجیره تأمین کشاورزی، و توسعه ردیابی و شفافیت زنجیره تأمین با بلاک‌چین .این روندها نه تنها بازتاب تحولات فناورانه کلیدی در کشاورزی هوشمند هستند، بلکه مسیرهای پژوهشی آینده و استراتژی‌های توسعه‌ای برای بهبود کارایی، شفافیت و پایداری زنجیره تأمین کشاورزی را مشخص می‌کنند.

نتیجه‌گیری: نتیجه‌گیری پژوهش حاکی از آن است که تمرکز بر فناوری‌های داده‌محور و دیجیتال‌سازی فرآیندها می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری، کاهش ضایعات، ارتقای پایداری و تقویت اعتماد میان ذی‌نفعان زنجیره تأمین شود. ادغام XAI با بلاک‌چین، استفاده از یادگیری ماشین و تحلیل داده‌های حسگری و کلان‌داده، و گسترش اینترنت اشیا و شفافیت زنجیره تأمین، ابزارهای کلیدی برای تحقق این اهداف هستند. یافته‌ها می‌توانند به پژوهشگران، مدیران و سیاست‌گذاران کمک کنند تا اولویت‌های تحقیقاتی و توسعه‌ای خود را به‌صورت علمی و مبتنی بر داده تعیین نمایند. با وجود محدودیت‌هایی از جمله حجم نمونه محدود خبرگان، تمرکز بر داده‌های انتشار یافته و ماهیت کمی تحلیل، این پژوهش پایه‌ای ارزشمند برای سیاست‌گذاری علمی، برنامه‌ریزی توسعه فناوری‌های نوین و انجام مطالعات آینده با نمونه‌های گسترده‌تر و تحلیل‌های ترکیبی کمی-کیفی فراهم می‌آورد. تحقیقات آتی می‌تواند به بررسی اثرات

زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند و طراحی چارچوب‌های پایدار و انسان‌محور برای مدیریت زنجیره تأمین کشاورزی بپردازد.

استناد: الزیدی، حسن؛ عادلی، امیدعلی؛ ملکی، محمدحسن (۱۴۰۴). ارائه چارچوبی برای شناسایی و تحلیل مهم‌ترین روندهای تحقیقاتی زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند. *مطالعات کاربردی علم‌سنجی*، ۲ (۲)، ۱۱۴-۹۳. https://doi.org/10.22091/apss.2026.14209.1069

ناشر: دانشگاه قم.

© نویسندگان.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱. مقدمه و بیان مسئله

در سال‌های اخیر، بخش کشاورزی شاهد تحولی چشمگیر در جهت دیجیتالی سازی و هوشمند سازی بوده است. ظهور فناوری‌های نوینی همچون اینترنت اشیا[1]، بلاک‌چین، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین موجب شکل‌گیری مفهوم جدیدی تحت عنوان زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند شده است؛ مفهومی که در آن تصمیم‌گیری داده‌محور، ردیابی بلادرنگ، و اتوماسیون نقش مهمی در بهبود بهره‌وری، پایداری و شفافیت ایفا می‌کنند (میرابلی و سولینا[2]، ۲۰۲۰؛ جعفرپناه و کرشناس، ۲۰۲۳).

با وجود توجه روزافزون به این حوزه، پژوهش‌های مرتبط با زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند هنوز پراکنده و چندرشته‌ای هستند. مطالعات پیشین، جنبه‌های گوناگونی از این موضوع را بررسی کرده‌اند؛ از جمله ردیابی مبتنی بر فناوری بلاک‌چین (میرابلی و سولینا، ۲۰۲۰)، چارچوب‌های مدیریت زنجیره تأمین کشاورزی (خاندلوال[3] و همکاران، ۲۰۲۱) و کاربرد هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در بهینه‌سازی و پیش‌بینی فرایندهای زنجیره تأمین (کوماری[4] و همکاران، ۲۰۲۵). با این حال، هنوز چارچوبی جامع و نظام‌مند برای شناسایی و تحلیل مهم‌ترین روندهای تحقیقاتی، شکاف‌های پژوهشی و جهت‌گیری‌های آینده در این حوزه وجود ندارد.

با توجه به پیچیدگی و درهم‌تنیدگی نظام‌های کشاورزی مدرن، شناخت و تحلیل روندهای کلیدی پژوهش در این زمینه برای جامعه علمی و صنعتی ضروری است. این شناخت می‌تواند به سیاست‌گذاران، پژوهشگران و فعالان بخش کشاورزی کمک کند تا استراتژی‌های خود را در جهت تولید پایدار مواد غذایی، بهره‌وری منابع، و توسعه زنجیره‌های تأمین مقاوم و هوشمند همسو سازند. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر ارائه یک چارچوب برای شناسایی و تحلیل مهم‌ترین روندهای تحقیقاتی در زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند است. این چارچوب می‌تواند علاوه بر ترسیم مسیر تکامل پژوهش‌ها در این حوزه، چالش‌ها و فرصت‌های آینده را نیز مشخص سازد.

تحولات اخیر در فناوری‌های دیجیتال باعث شده است که مفهوم کشاورزی هوشمند به یکی از محورهای اصلی توسعه پایدار در قرن بیست‌ویکم تبدیل شود. در این میان، زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند نقش کلیدی در یکپارچه‌سازی داده‌ها، بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌ها و ارتقای بهره‌وری ایفا می‌کند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که به‌کارگیری مدل‌های پیش‌بینی و تحلیل داده‌های پیچیده، می‌تواند به بهبود فرایندهای تولید، کاهش اتلاف منابع و ارتقای دقت مدیریت در کل زنجیره تأمین منجر شود (شارما[5] و همکاران، ۲۰۲۲). این رویکرد با ترکیب فناوری‌های نوین، از جمله مدل‌سازی نیمه‌خودکار اطلاعات، امکان تحلیل مؤثرتر داده‌ها و تصمیم‌گیری هوشمندتر را فراهم می‌کند.

از سوی دیگر، موضوع امنیت، شفافیت و قابلیت اعتماد در زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند نیز اهمیت روزافزونی یافته است. پژوهش‌های جدید بر ادغام فناوری‌های هوش مصنوعی قابل توضیح (XAI) و بلاک‌چین تأکید دارند تا ضمن بهبود تصمیم‌گیری، اعتماد ذی‌نفعان را در سطوح مختلف زنجیره تأمین افزایش دهند (چن[6] و همکاران، ۲۰۲۳). در همین راستا، بررسی‌ها در چین نیز نشان داده‌اند که بهره‌گیری از زنجیره‌های تأمین هوشمند در مدیریت دقیق کشاورزی، به شناسایی مشکلات تولید، بهینه‌سازی منابع و

1. Internet of Things
2. Mirabelli & Solina
3. Khandelwal
4. Kumari
5. Sharma
6. Chen

بهبود پایداری کمک شایانی می‌کند (لیو و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، توسعه چارچوبی جامع برای تحلیل روندهای پژوهشی در این حوزه می‌تواند به تبیین مسیر پیشرفت‌های علمی و کاربردی در زمینه کشاورزی هوشمند و زنجیره‌های تأمین آینده‌نگر منجر شود.

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی به بررسی نقش فناوری‌های نوین در بهبود عملکرد زنجیره‌های تأمین کشاورزی و نظام‌های کشاورزی هوشمند پرداخته‌اند. با این حال، اغلب این مطالعات یا بر جنبه‌های فنی همچون الگوریتم‌های یادگیری عمیق و مدل‌های حراج مبتنی بر داده تمرکز داشته‌اند (فنگ، می و ژائو[1]، ۲۰۲۳)، یا به‌صورت محدود از روش‌های علم‌سنجی برای تحلیل روندهای تحقیقاتی در کشاورزی هوشمند بهره گرفته‌اند (سوبسومبوت[2] و همکاران، ۲۰۱۷). در حالی‌که برخی پژوهش‌ها با استفاده از روش‌های متن‌کاوی به بررسی ساختار محتوایی و موضوعات کلیدی تحقیقات هوشمندسازی کشاورزی پرداخته‌اند (شارما و همکاران، ۲۰۲۳)، هنوز تلاشی نظام‌مند برای ترکیب و تحلیل جامع روندهای پژوهشی در زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند صورت نگرفته است. افزون بر این، مطالعاتی نظیر مورکوناس، رودینه و اوستندا[3] (۲۰۲۲) بر اهمیت کشاورزی هوشمند در تحقق امنیت غذایی و توسعه زنجیره‌های تأمین کوتاه‌مدت تأکید دارند، اما چارچوبی تحلیلی برای ارزیابی جهت‌گیری‌های پژوهشی آینده ارائه نکرده‌اند. از این‌رو، نوآوری تحقیق حاضر در ارائه چارچوبی جامع برای شناسایی و تحلیل مهم‌ترین روندهای پژوهشی زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند است که می‌تواند به شکاف میان فناوری، مدیریت و سیاست‌گذاری پاسخ داده و مسیر تحقیقات آینده را در این حوزه روشن‌تر سازد.

با توجه به رشد سریع فناوری‌های دیجیتال و گسترش مفاهیمی چون اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، بلاک‌چین و یادگیری ماشین در بخش کشاورزی، زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند به‌عنوان یکی از حوزه‌های کلیدی در تحول کشاورزی پایدار و کارآمد مطرح شده است. با این حال، مرور ادبیات نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه، به‌صورت پراکنده و جزیره‌ای به جنبه‌های خاصی از این موضوع مانند به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند، مدل‌های بهینه‌سازی و تحلیل داده پرداخته‌اند (میرابلی و سولینا، ۲۰۲۰؛ شارما و همکاران، ۲۰۲۳؛ فنگ و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین، پژوهش‌های علم‌سنجی و مرور نظام‌مند پیشین نیز تنها بخشی از روندهای پژوهشی در کشاورزی هوشمند را بررسی کرده‌اند و چارچوبی جامع برای شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل کلان روندهای تحقیقاتی زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند ارائه نشده است (سوبسومبوت و همکاران، ۲۰۱۷؛ مورکوناس و همکاران، ۲۰۲۲). ازاین‌رو، ضرورت انجام پژوهشی جامع که بتواند با تکیه بر رویکردی نظام‌مند، نقشه دانش، شکاف‌های موجود و مسیرهای آینده پژوهش در این حوزه را تبیین کند، به‌شدت احساس می‌شود. چنین چارچوبی می‌تواند به درک بهتر روند تحول مفهومی و فناورانه زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند کمک کرده و مبنایی علمی برای تصمیم‌گیری پژوهشگران، سیاست‌گذاران و فعالان این حوزه فراهم آورد. سوالات پژوهش حاضر عبارتند از:

۱. مهم‌ترین روندهای تحقیقاتی زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند چیست؟
۲. درجه اولویت هر یک از روندهای تحقیقاتی زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند به چه صورتی است؟

۲. پیشینه پژوهش

زنجیره تأمین هوشمند به‌عنوان یکی از نتایج مستقیم انقلاب صنعتی چهارم و تحولات دیجیتال، به مدلی از مدیریت زنجیره تأمین اطلاق می‌شود که در آن فناوری‌های نوین ارتباطی، داده‌محور و خودکار به‌منظور افزایش چابکی، کارایی و انعطاف‌پذیری شبکه‌های

1. Feng, Mei & Zhao
2. Suebsombut
3. Morkūnas, Rudienė & Ostenda

تأمین مورد استفاده قرار می‌گیرند (وو[1] و همکاران، ۲۰۱۶). این مفهوم با بهره‌گیری از فناوری‌هایی همچون اینترنت اشیا، کلان‌داده[2]، یادگیری ماشین، هوش مصنوعی و بلاک‌چین، امکان نظارت، تحلیل و تصمیم‌گیری بلادرنگ را در تمامی مراحل زنجیره از تأمین مواد اولیه تا تحویل نهایی محصول فراهم می‌کند.

در دهه اخیر، مفهوم زنجیره تأمین هوشمند به‌طور گسترده در چارچوب صنعت چهارم مطرح شده است. در این راستا، پژوهش‌های متعددی تأکید دارند که دیجیتالی سازی فرآیندها، استفاده از داده‌های بلادرنگ و هوش مصنوعی می‌تواند به ایجاد زنجیره‌های تأمین پویا، واکنش‌پذیر و یکپارچه منجر شود (پاسی و همکاران[3]، ۲۰۲۰). این رویکرد، نه‌تنها موجب کاهش هزینه‌ها و زمان پاسخ‌گویی می‌شود، بلکه سطح شفافیت و اعتماد بین شرکای زنجیره را نیز به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد.

در چشم‌انداز جدید صنعت پنج، زنجیره‌های تأمین هوشمند از مرحله دیجیتالی شدن فراتر رفته و به سمت انسان‌محور شدن، پایداری و همکاری هوش مصنوعی با انسان حرکت کرده‌اند (موحد، موحد و نوذری، ۲۰۲۴). در این سطح، تمرکز صرفاً بر اتوماسیون نیست، بلکه بر هم‌افزایی میان فناوری و مهارت انسانی تأکید می‌شود تا تصمیم‌گیری‌ها علاوه بر کارایی، از منظر اخلاقی و زیست‌محیطی نیز پایدار باشند.

به گفته ژانگ، یانگ و یانگ[4] (۲۰۲۳)، مدیریت زنجیره تأمین هوشمند در عصر صنعت چهارم به‌عنوان یک چارچوب تحول‌گرایانه مطرح است که سازمان‌ها را قادر می‌سازد با استفاده از تحلیل پیش‌بینانه، شبیه‌سازی دیجیتال و تبادل داده‌های لحظه‌ای، زنجیره‌هایی هو شمند، خودپیکربندی شونده و مقاوم در برابر بحران ایجاد کنند. ازاین‌رو، زنجیره تأمین هو شمند را می‌توان نقطه تلاقی میان فناوری، داده و تصمیم‌گیری دانست که نقش محوری در پایداری و رقابت‌پذیری سازمان‌ها در اقتصاد دیجیتال دارد.

زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند به‌عنوان یکی از دستاوردهای کلیدی تحول دیجیتال در بخش کشاورزی، مفهومی است که هدف آن یکپارچه‌سازی فناوری‌های هوشمند در تمام مراحل زنجیره تأمین محصولات کشاورزی (از تولید و فرآوری تا توزیع و مصرف) می‌باشد. این نوع زنجیره تأمین با تکیه بر فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، بلاک‌چین، یادگیری ماشین و هوش مصنوعی، امکان نظارت بلادرنگ بر داده‌های کشاورزی، افزایش شفافیت، و بهبود تصمیم‌گیری را فراهم می‌سازد (پوتری، هاریادی و ویباوا[5]، ۲۰۲۰). چنین سیستمی علاوه بر افزایش بهره‌وری و کاهش اتلاف، به اعتماد بیشتر میان تولیدکنندگان، واسطه‌ها و مصرف‌کنندگان نیز منجر می‌شود.

در این را ستا، پژوهش‌ها نشان می‌دهند که ا ستفاده از فناوری‌های هو شمند در زنجیره‌های تأمین کشاورزی می‌تواند به‌طور قابل توجهی ارزش‌افزوده ایجاد کند. برای مثال، در صنعت قهوه، به‌کارگیری پلتفرم‌های هوشمند و الگوریتم‌های یادگیری ماشین به بهبود کیفیت محصول، مدیریت موجودی و شفافیت مسیر تولید تا بازار کمک می‌کند (نگوین[6] و همکاران، ۲۰۲۳). این سیستم‌ها با جمع‌آوری و تحلیل داده‌های محیطی و عملیاتی، امکان تصمیم‌گیری دقیق‌تر در مورد برداشت، نگهداری و عرضه محصول را فراهم می‌سازند.

1. Wu
2. Big Data
3. Pasi, Mahajan & Rane
4. Zhang, Yang & Yang
5. Putri, Hariadi & Wibawa
6. Nguyen

از سوی دیگر، یکی از چالش‌های اساسی در زنجیره تأمین کشاورزی، امنیت و اعتبار داده‌ها است. در این زمینه، فناوری بلاک‌چین به‌عنوان ابزاری مؤثر برای ثبت و تبادل اطلاعات غیرقابل‌دستکاری و قابل‌ردیابی به‌کار گرفته می‌شود. مدل‌های اجماع مبتنی بر بلاک‌چین که در زنجیره‌های تأمین کشاورزی هوشمند توسعه یافته‌اند، می‌توانند از جعل داده و دستکاری اطلاعات جلوگیری کرده و اعتماد ذی‌نفعان را تقویت کنند (سریکانت، موهان و نایک[1]، ۲۰۲۳).

در سطح کلان‌تر، زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند با استفاده از فناوری‌های داده‌محور، زمینه‌ساز تحول نظام کشاورزی سنتی به اکوسیستم‌های هوشمند و پایدار است. طبق پژوهش جیائووی و یانتینگ[2] (۲۰۲۵)، این زنجیره‌ها از طریق ادغام فناوری‌های کلیدی مانند حسگرهای هوشمند، تحلیل داده‌های پیش‌بینانه، رباتیک و سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، به‌سمت ایجاد ساختارهای پایدار، شفاف و مقاوم در برابر نوسانات محیطی و بازار حرکت می‌کنند. در نتیجه، زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند نه‌تنها ابزاری برای ارتقای بهره‌وری است، بلکه راهکاری راهبردی برای دستیابی به امنیت غذایی، توسعه پایدار و تاب‌آوری نظام‌های کشاورزی در آینده محسوب می‌شود.

کوماری و همکاران (۲۰۲۵) در پژوهشی مروری جامع، به بررسی کاربردهای یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در زنجیره تأمین کشاورزی پرداختند. هدف اصلی این تحقیق، تحلیل نظام‌مند مطالعات موجود و شناسایی حوزه‌های کلیدی، روش‌های پرکاربرد و شکاف‌های پژوهشی در زمینه استفاده از فناوری‌های هوشمند برای بهینه‌سازی فرآیندهای زنجیره تأمین کشاورزی بود. روش پژوهش آنان مبتنی بر مرور نظام‌مند و تحلیل محتوای انتقادی مقالات علمی منتشرشده در پایگاه‌های معتبر بین‌المللی بود. یافته‌ها نشان داد که فناوری‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در بخش‌های مختلف زنجیره کشاورزی (از پیش‌بینی تقاضا و مدیریت موجودی تا بهینه‌سازی حمل‌ونقل و کنترل کیفیت) نقش مهمی ایفا می‌کنند. همچنین نتایج حاکی از آن بود که ترکیب این فناوری‌ها با ابزارهایی مانند اینترنت اشیا و تحلیل کلان‌داده می‌تواند منجر به ایجاد زنجیره‌های تأمین کشاورزی هوشمند، چابک و خودتنظیم شود. کوماری و همکاران در پایان تأکید کردند که با وجود پیشرفت‌های چشمگیر، چالش‌هایی نظیر نبود زیرساخت‌های داده‌ای مناسب، نیاز به مدل‌های قابل‌تعمیم و کمبود نیروی انسانی متخصص همچنان مانع بهره‌برداری کامل از ظرفیت‌های هوش مصنوعی در کشاورزی است.

التانی[3] و همکاران (۲۰۲۵) در پژوهشی جامع با هدف بررسی وضعیت و روندهای پژوهشی در حوزه مدیریت زنجیره تأمین هوشمند مواد غذایی، از رویکرد تحلیل علم‌سنجی و مرور نظام‌مند بهره گرفتند. در این مطالعه، مقالات منتشرشده در پایگاه‌های علمی معتبر طی دو دهه اخیر مورد بررسی قرار گرفت تا الگوهای پژوهشی، نویسندگان تأثیرگذار، و موضوعات پرکاربرد در زمینه زنجیره تأمین غذایی هوشمند شناسایی شود. یافته‌ها نشان داد که بیشترین تمرکز تحقیقات بر کاربرد فناوری‌هایی مانند بلاک‌چین، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و تحلیل کلان‌داده‌ها در بهبود شفافیت، ردیابی و کارایی زنجیره‌های غذایی بوده است. نتایج همچنین حاکی از رشد سریع پژوهش‌ها در حوزه دیجیتالی سازی زنجیره تأمین غذا و حرکت آن به سوی توسعه مدل‌های پایدار و انسان‌محور است. محققان نتیجه گرفتند که اگرچه پیشرفت‌های قابل‌توجهی در این زمینه حاصل شده، اما هنوز شکاف‌هایی در استاندارد سازی داده‌ها، امنیت اطلاعات و تعامل میان فناوری‌ها وجود دارد که باید در مطالعات آینده مورد توجه قرار گیرد.

1. Srikanth, Mohan & Naik
2. Jiawei & Xinting
3. Al Thani

جیائوی و یانتینگ (۲۰۲۵) در پژوهش خود به بررسی تحولات اخیر در زمینه زنجیره‌های تأمین هوشمند محصولات کشاورزی پرداختند و تلاش کردند تصویری جامع از فناوری‌های کلیدی، پیشرفت‌های علمی و مسیرهای آینده این حوزه ارائه دهند. روش کار آنان بر پایه مرور و تحلیل انتقادی پژوهش‌های اخیر در زمینه کشاورزی هوشمند و زنجیره‌های تأمین دیجیتال بود. نتایج مطالعه نشان داد که فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، بلاک‌چین و تحلیل کلان‌داده، ستون‌های اصلی توسعه زنجیره‌های تأمین کشاورزی هوشمند به شمار می‌روند. این فناوری‌ها با فراهم‌کردن امکان جمع‌آوری، پردازش و تبادل بلادرنگ داده‌ها، به بهبود کارایی، شفافیت و پایداری در کل زنجیره کمک می‌کنند. محققان همچنین اشاره کردند که آینده این حوزه به سمت ادغام فناوری‌های هوشمند با تصمیم‌گیری انسانی، پایداری محیط‌زیستی و تاب‌آوری در برابر بحران‌ها پیش می‌رود. در پایان، آن‌ها تأکید کردند که برای بهره‌برداری مؤثر از این فناوری‌ها، توسعه چارچوب‌های داده‌محور، همکاری میان ذی‌نفعان و سیاست‌های حمایتی در سطح کلان ضروری است.

باترا و همکاران (۲۰۲۵) در پژوهشی تحلیلی به بررسی پیوند میان انقلاب صنعتی چهارم و کشاورزی هوشمند پرداختند و تلاش کردند تا مؤلفه‌های اصلی پژوهش در این حوزه را شناسایی و تحلیل کنند. هدف مطالعه، ارزیابی میزان تأثیر فناوری‌های کلیدی انقلاب صنعتی چهارم (از جمله هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، کلان‌داده، رباتیک و بلاک‌چین) بر تحول کشاورزی و زنجیره تأمین آن بود. روش پژوهش مبتنی بر تحلیل محتوای نظام‌مند و مرور انتقادی مقالات علمی منتشرشده در بازه زمانی اخیر بود. یافته‌ها نشان داد که فناوری‌های صنعت چهارم زمینه ساز افزایش بهره‌وری، بهبود تصمیم‌گیری و پایداری در بخش کشاورزی هستند و می‌توانند با ایجاد زیرساخت‌های هوشمند، به دیجیتالی‌سازی کامل زنجیره تأمین محصولات کشاورزی منجر شوند. با این حال، پژوهشگران به چالش‌هایی همچون نبود استانداردهای یکپارچه، ضعف در یکپارچه‌سازی داده‌ها و کمبود مهارت‌های فناورانه در بخش کشاورزی سنتی اشاره کردند. نتایج نهایی نشان داد که برای تحقق کامل کشاورزی هوشمند در چارچوب صنعت چهارم، نیاز به چارچوب‌های سیاستی، زیرساختی و پژوهشی هماهنگ وجود دارد تا بتوان تعامل مؤثر میان فناوری، مدیریت و پایداری زیست‌محیطی را تضمین کرد.

جعفرپناه و کرشناس (۲۰۲۳) در پژوهشی با هدف بررسی روندهای فناورانه در کشاورزی هوشمند، به تحلیل نظام‌مند تحولات اخیر در به‌کارگیری فناوری‌های نوین در بخش کشاورزی پرداختند. روش تحقیق آنان مبتنی بر مرور ادبیات و تحلیل روندهای پژوهشی در حوزه کشاورزی دیجیتال و هوشمند بود. یافته‌های این مطالعه نشان داد که فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، کلان‌داده، سیستم‌های رباتیک و پهپادها، و بلاک‌چین بیشترین سهم را در تحول کشاورزی هوشمند دارند و نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش بهره‌وری، کاهش ضایعات، و بهبود تصمیم‌گیری کشاورزان ایفا می‌کنند. همچنین، نتایج بیانگر آن بود که استفاده از این فناوری‌ها موجب افزایش پایداری، ردیابی محصولات و مدیریت هوشمند منابع می‌شود. محققان تأکید کردند که گرایش جهانی به سمت دیجیتالی‌سازی کشاورزی، نیازمند سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فناورانه، آموزش نیروی انسانی و تدوین سیاست‌های حمایتی است تا کشاورزی هوشمند بتواند به‌طور پایدار و کارآمد در کشورهای در حال توسعه نیز پیاده‌سازی شود.

پَنگ[1] و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی با رویکرد علم‌سنجی به بررسی روندهای پژوهشی در حوزه آبیاری هوشمند به‌عنوان یکی از ارکان کلیدی کشاورزی هوشمند پرداختند. هدف مطالعه، تحلیل الگوهای انتشار علمی، شناسایی کشورهای پیشرو، نویسندگان تأثیرگذار و محورهای پژوهشی اصلی در زمینه آبیاری هوشمند بود. روش تحقیق بر پایه تحلیل علم‌سنجی داده‌های پایگاه

1. Pang

Web of Science و استفاده از ابزارهای تحلیلی مانند VOSviewer و CiteSpace انجام شد. یافته‌ها نشان داد که در سال‌های اخیر، تمرکز تحقیقات از طراحی سخت‌افزارهای کنترلی ساده به سمت سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و تحلیل داده‌های بلادرنگ در مدیریت آبیاری تغییر یافته است. نتایج همچنین بیانگر رشد چشمگیر مطالعات مرتبط با بهینه‌سازی مصرف آب، پایداری محیطی و افزایش بهره‌وری منابع در چارچوب کشاورزی هوشمند بود. پژوهشگران نتیجه‌گیری کردند که آبیاری هوشمند نه‌تنها یک مؤلفه فنی بلکه یک مؤلفه راهبردی در توسعه زنجیره تأمین کشاورزی پایدار محسوب می‌شود و آینده پژوهش باید به سمت ادغام فناوری‌های دیجیتال با سیاست‌های مدیریتی و اقلیمی برای افزایش تاب‌آوری سیستم‌های کشاورزی حرکت کند.

چن و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی تحلیلی به بررسی امکان ادغام هوش مصنوعی قابل‌توضیح و فناوری بلاک‌چین در چارچوب کشاورزی هوشمند پرداختند تا ظرفیت این دو فناوری در بهبود تصمیم‌گیری و افزایش امنیت داده‌ها ارزیابی شود. روش تحقیق آنان مبتنی بر مرور تحلیلی و مقایسه‌ای مطالعات اخیر در زمینه کاربرد هوش مصنوعی و بلاک‌چین در سیستم‌های کشاورزی بود. یافته‌ها نشان داد که ترکیب این دو فناوری می‌تواند موجب شفافیت بیشتر در فرآیند تصمیم‌گیری، ردیابی دقیق‌تر داده‌های کشاورزی، و کاهش آسیب‌پذیری در برابر حملات سایبری و دستکاری اطلاعات شود. پژوهشگران تأکید کردند که هوش مصنوعی قابل‌توضیح با فراهم‌کردن قابلیت تفسیر نتایج مدل‌های یادگیری ماشین، به افزایش اعتماد کاربران و پذیرش فناوری‌های هوشمند در بخش کشاورزی کمک می‌کند، در حالی که بلاک‌چین تضمین‌کننده صحت و امنیت داده‌های تبادلی در زنجیره تأمین است. نتایج نهایی پژوهش نشان داد که ادغام این دو فناوری می‌تواند به توسعه یک اکوسیستم کشاورزی هوشمند قابل اعتماد، شفاف و مقاوم در برابر تهدیدات دیجیتال منجر شود، هرچند چالش‌هایی همچون مقیاس‌پذیری و هزینه‌های محاسباتی بالا همچنان وجود دارد.

فِنگ و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی نوآورانه به طراحی و ارزیابی یک سازوکار زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند مبتنی بر یادگیری عمیق و مدل حراج پرداختند. هدف اصلی مطالعه، توسعه مدلی هوشمند برای بهینه‌سازی تخصیص منابع، قیمت‌گذاری محصولات و تصمیم‌گیری مشارکت‌کنندگان در زنجیره تأمین کشاورزی بود. روش پژوهش ترکیبی از مدل‌سازی محاسباتی و شبیه‌سازی مبتنی بر داده‌های واقعی بود که با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق، رفتار بازار و تقاضا در محیط‌های پویا شبیه‌سازی شد. یافته‌ها نشان داد که ادغام الگوریتم‌های یادگیری عمیق با مکانیسم‌های حراج می‌تواند منجر به بهبود کارایی توزیع، افزایش سود تولیدکنندگان و کاهش نوسانات قیمت در زنجیره تأمین کشاورزی شود. علاوه بر این، نتایج نشان داد که سیستم پیشنهادی توانایی پاسخ سریع‌تر به تغییرات بازار و بهینه‌سازی هم‌زمان تصمیمات چندعاملی را دارد. پژوهشگران در پایان تأکید کردند که استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی مبتنی بر یادگیری عمیق می‌تواند بنیان توسعه زنجیره‌های تأمین کشاورزی هوشمند و خودسازمان‌ده را فراهم کرده و به ایجاد بازارهای دیجیتال کارآمد و پایدار در بخش کشاورزی منجر شود.

شارما و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی با هدف گسترش مسیرهای پژوهشی در کشاورزی هوشمند، به بررسی نقش مدل‌سازی اطلاعات نیمه‌خودکار و تحلیل پیش‌بینانه در بهبود تصمیم‌گیری‌های کشاورزی پرداختند. روش تحقیق آنان مبتنی بر توسعه و آزمون یک مدل تحلیلی مبتنی بر داده بود که از ترکیب داده‌های سنسوری، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل‌سازی اطلاعات برای پیش‌بینی وضعیت محصول و منابع استفاده می‌کرد. نتایج مطالعه نشان داد که به‌کارگیری مدل‌های نیمه‌خودکار پیش‌بینی می‌تواند دقت تصمیم‌گیری کشاورزان را در زمینه‌هایی مانند آبیاری، کوددهی و برداشت محصول به‌طور چشمگیری افزایش دهد. یافته‌ها همچنین بیانگر آن بود که ادغام فناوری‌های تحلیل داده و مدل‌سازی هوشمند، زمینه‌ساز بهبود بهره‌وری، کاهش اتلاف منابع و ارتقای پایداری در کشاورزی هوشمند است. محققان در پایان تأکید کردند که برای توسعه کشاورزی داده‌محور، نیاز به طراحی

چارچوب‌های هوشمند و سیستم‌های اطلاعاتی یکپارچه وجود دارد تا بتوان از قابلیت‌های یادگیری ماشین و مدل‌سازی پیش‌بینانه در کل زنجیره تأمین کشاورزی استفاده کرد.

لیو و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی اکتشافی با هدف توسعه مدل شناسایی مسئله در مدیریت دقیق کشاورزی مبتنی بر زنجیره تأمین هوشمند، به بررسی نحوه به‌کارگیری فناوری‌های دیجیتال در بهینه سازی فرآیندهای تولید و توزیع کشاورزی در چین پرداختند. روش تحقیق آنان ترکیبی از تحلیل کیفی و مدل‌سازی مفهومی بود و داده‌ها از طریق بررسی موردی چندین شرکت فعال در حوزه کشاورزی هوشمند جمع‌آوری شد. یافته‌ها نشان داد که ادغام فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا، کلان‌داده و یادگیری ماشین در زنجیره‌های تأمین کشاورزی می‌تواند به شناسایی دقیق‌تر مشکلات تولید، کاهش ضایعات و افزایش بهره‌وری منجر شود. همچنین نتایج نشان داد که وجود مدل‌های داده‌محور برای پیش‌بینی تقاضا و تحلیل عملکرد مزرعه نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های راهبردی و برنامه‌ریزی عملیاتی دارد. پژوهشگران تأکید کردند که توسعه زنجیره‌های تأمین کشاورزی هوشمند نیازمند چارچوب‌های مدیریتی و فناورانه‌ای است که بتواند جریان داده‌ها را از مزرعه تا بازار به‌صورت یکپارچه مدیریت کند. دست آخر، آنان پیشنهاد کردند که آینده پژوهش در این حوزه باید بر مدل‌سازی مسائل پیچیده و طراحی سیستم‌های تصمیم‌یار مبتنی بر هوش مصنوعی متمرکز شود تا مدیریت کشاورزی دقیق‌تر و پویاتری تحقق یابد.

فری‌ها[1] و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی جامع به بررسی نقش اینترنت اشیا در آینده کشاورزی هوشمند پرداختند و تلاش کردند تصویری روشن از فناوری‌ها، چالش‌ها و فرصت‌های پیش‌رو در این حوزه ارائه دهند. هدف اصلی مطالعه، تحلیل سیستماتیک فناوری‌های نوظهور مبتنی بر اینترنت اشیا در زمینه‌هایی چون نظارت بر محیط رشد محصولات، کنترل خودکار، مدیریت منابع و بهینه‌سازی زنجیره تأمین کشاورزی بود. روش تحقیق به‌صورت مرور تحلیلی و مقایسه‌ای انجام شد و محققان داده‌های مربوط به پروژه‌ها و مقالات علمی اخیر را مورد ارزیابی قرار دادند. یافته‌ها نشان داد که اینترنت اشیا، از طریق شبکه‌ای از حسگرها و دستگاه‌های متصل، امکان جمع‌آوری بلادرنگ داده‌های محیطی، افزایش دقت تصمیم‌گیری و کاهش اتلاف منابع را فراهم می‌سازد. با این حال، پژوهشگران تأکید کردند که چالش‌هایی همچون امنیت داده‌ها، استانداردسازی پروتکل‌ها، محدودیت پهنای باند و هزینه بالای زیرساخت‌ها مانع گسترش کامل این فناوری در بخش کشاورزی است. نهایتاً، آن‌ها پیشنهاد کردند که ترکیب اینترنت اشیا با فناوری‌های مکمل مانند هوش مصنوعی، بلاک‌چین و کلان‌داده می‌تواند راه را برای شکل‌گیری اکوسیستم‌های هوشمند و پایدار در کشاورزی آینده هموار کند.

خاندلوال و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی مروری با هدف بررسی تحولات و روندهای پژوهشی مدیریت زنجیره تأمین کشاورزی در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰، به تحلیل جامع مطالعات منتشرشده در این حوزه پرداختند. روش تحقیق آنان مبتنی بر مرور نظام‌مند و تحلیل محتوای مقالات علمی بود تا ابعاد کلیدی، چالش‌ها و رویکردهای فناورانه در زنجیره تأمین کشاورزی شناسایی شود. یافته‌ها نشان داد که بیشتر تحقیقات در این حوزه بر موضوعاتی نظیر بهینه‌سازی لجستیک، کاهش ضایعات، بهبود کیفیت محصول و نقش فناوری اطلاعات در بهبود عملکرد زنجیره تأمین تمرکز داشته‌اند. همچنین، نتایج حاکی از آن بود که با گسترش فناوری‌های دیجیتال و هوشمند، نیاز به ادغام سیستم‌های اطلاعاتی، تحلیل داده و اینترنت اشیا در زنجیره‌های کشاورزی بیش از پیش احساس می‌شود. نویسندگان نتیجه گرفتند که توسعه چارچوب‌های نوین برای زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری،

1. Friha

شـفافیت و پایداری در بخش کشـاورزی شـود و بر ضـرورت انجام پژوهش‌های آینده در زمینه به‌کارگیری فناوری‌های نوظهور مانند بلاک‌چین و هوش مصنوعی تأکید کردند.

میرابِلی و سـولینا (۲۰۲۰) در پژوهشـی با هدف بررسـی نقش فناوری بلاک‌چین در بهبود ردیابی و شـفافیت زنجیره‌های تأمین کشـاورزی، از روش مرور نظام‌مند برای تحلیل مطالعات پیشـین در این حوزه اسـتفاده کردند. نتایج مطالعه نشـان داد که به‌کارگیری فناوری بلاک‌چین می‌تواند از طریق ایجاد ثبت‌های تغییرناپذیر، بهبود شـفافیت داده‌ها، افزایش اعتماد میان ذی‌نفعان و کاهش تقلب در فرآیندهای تولید و توزیع، تأثیر قابل‌توجهی بر کارایی زنجیره تأمین کشـاورزی داشـته باشـد. یافته‌ها همچنین حاکی از آن بود که چالش‌هایی نظیر هزینه‌های بالای پیاده‌سـازی، نیاز به زیرسـاخت‌های فناورانه، مقیاس‌پذیری محدود و نبود اسـتانداردهای داده‌ای، مانع توسـعه کامل این فناوری در بخش کشـاورزی می‌شـود. محققان در پایان پیشـنهاد کردند که پژوهش‌های آینده باید بر ادغام بلاک‌چین با فناوری‌های مکملی مانند اینترنت اشـیا و تحلیل کلان‌داده‌ها متمرکز شـود تا بتوان کارایی، پایداری و ردیابی هوشـمند زنجیره‌های تأمین کشاورزی را ارتقا داد.

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اگرچه پژوهش‌های متعددی در زمینه زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند انجام شده است، اما بیشـتر این تحقیقات به بررسـی ابعاد فناورانه و فنی مانند به‌کارگیری بلاک‌چین (میرابلی و سـولینا، ۲۰۲۰)، اینترنت اشـیا (فری‌ها و همکاران، ۲۰۲۱) و هوش مصـنوعی (کوماری و همکاران، ۲۰۲۵؛ چن و همکاران، ۲۰۲۳) متمرکز بوده‌اند. در حالی که کمتر به یکپارچه‌سـازی این فناوری‌ها در چارچوب‌های مدیریتی و تحلیلی زنجیره تأمین کشـاورزی پرداخته شـده اسـت. اغلب مطالعات موجود دارای رویکردی توصیفی یا مرور ادبیات بوده و کمتر به تحلیل نظام‌مند روندهای پژوهشی و شناسایی حوزه‌های اولویت‌دار آینده توجه کرده‌اند (خاندلوال و همکاران، ۲۰۲۱؛ پنگ و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر این، بخش قابل توجهی از تحقیقات انجام‌شـده در کشورهای صنعتی متمرکز بوده و ابعاد بومی، اقلیمی و سیاستی زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند در کشورهای درحال‌توسعه کمتر مورد بررسی قرار گرفته است (لیو و همکاران، ۲۰۲۲؛ نگوین و همکاران، ۲۰۲۳).

از سوی دیگر، مرور انتقادی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که هنوز چارچوبی جامع برای شناسایی و تحلیل روندهای تحقیقاتی در حوزه زنجیره تأمین کشـاورزی هوشـمند وجود ندارد. بسـیاری از مطالعات به تحلیل فناوری‌های منفرد یا بخش‌های خاصـی از زنجیره پرداخته‌اند، در حالی که تعامل میان فناوری، مدیریت و پایداری کمتر به‌صورت سیستمی بررسی شده است (باترا و همکاران، ۲۰۲۵؛ فنگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ جعفرپناه و کرشـناس، ۲۰۲۳). نوآوری پژوهش حاضـر در آن اسـت که با ارائه یک چارچوب تحلیلی، تلاش می‌کند تا مهم‌ترین روندها، شـکاف‌ها و مسـیرهای آینده پژوهش در زنجیره تأمین کشـاورزی هوشـمند را شـناسـایی کند. این رویکرد می‌تواند ضمن غنی‌سازی ادبیات نظری این حوزه، پایه‌ای برای سیاست‌گذاری علمی و توسعه فناوری‌های نوین در کشاورزی هوشمند فراهم آورد.

۳. روش‌شناسی تحقیق

پژوهش حاضر با هدف شناسایی و بررسی مهم‌ترین روندهای پژوهشی مرتبط با زنجیره تأمین هوشمند در بخش کشاورزی انجام شده اسـت. برای دسـتیابی به این هدف، از دو روش دلفی فازی و مارکوس به عنوان ابزارهای تحلیل کمی بهره گرفته شـد. هر دو روش بر مبنای داده‌های عددی عمل می‌کنند و در زمره رویکردهای کمی قرار دارند. در مرحله نخسـت، از تکنیک دلفی فازی جهت انتخاب و پالایش روندهای اصلی تحقیقاتی استفاده شد و در گام بعدی، روش مارکوس به منظور تحلیل و اولویت‌بندی روندهای شناسایی‌شده به کار گرفته شد.

با توجه به ماهیت کمی این روش‌ها، پژوهش حاضر دارای رویکرد چندگانه با تمرکز بر روش‌های کمی است. افزون بر این، با توجه به کارکرد و ارزش نتایج حاصل برای توسعه کشاورزی هوشمند، این مطالعه در زمره پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد.

برای گردآوری داده‌ها، از دو ابزار مرور نظام‌مند ادبیات و پرسشنامه استفاده شد. روندهای پژوهشی ابتدا از طریق بررسی مطالعات پیشین در حوزه‌های کشاورزی هوشمند و زنجیره تأمین هوشمند استخراج گردیدند. در مرحله بعد، به‌منظور تحلیل این روندها، دو نوع پرسشنامه شامل پرسشنامه خبره‌سنجی فازی و پرسشنامه اولویت‌سنجی مارکوس میان گروهی از خبرگان توزیع شد. پرسشنامه‌های خبره‌سنجی با استفاده از تکنیک دلفی فازی تحلیل شدند و پرسشنامه‌های اولویت‌سنجی نیز بر اساس روش مارکوس مورد ارزیابی قرار گرفتند.

از آنجا که روندهای مورد بررسی از مرور دقیق مقالات معتبر مرتبط با زنجیره تأمین و کشاورزی هوشمند استخراج شدند، می‌توان اعتبار (روایی) هر دو پرسشنامه را قابل‌قبول و مطلوب دانست. افزون بر این، با توجه به حجم نمونه مناسب (۱۰ نفر) و انجام فرآیند غربالگری روندها، پرسشنامه اولویت‌سنجی از پایایی قابل اعتماد برخوردار بود. در مجموع، حجم نمونه ۱۰ نفر برای پژوهش‌هایی با ماهیت قضاوت‌محور و مبتنی بر نظر خبرگان، عددی مناسب و کافی محسوب می‌شود.

خبرگان شرکت‌کننده در این پژوهش شامل اعضای هیئت علمی دانشگاه‌ها و متخصصان فعال در حوزه‌های کشاورزی و زنجیره تأمین هوشمند بودند. روش نمونه‌گیری به‌صورت قضاوتی (هدفمند) انجام شد و انتخاب افراد بر اساس میزان تخصص و تجربه آن‌ها در زمینه‌های زنجیره تأمین هوشمند و کشاورزی هوشمند صورت گرفت. خبرگان علمی دارای مرتبه دانشیاری یا بالاتر بوده و در دانشگاه‌های معتبر ایران و عراق فعالیت داشتند. در مقابل، خبرگان حرفه‌ای نیز افرادی بودند که سابقه اجرایی و مشاوره‌ای در بخش کشاورزی دو کشور ایران و عراق داشته و حداقل ۱۰ سال تجربه کاری مرتبط در این حوزه را دارا بودند.

پژوهش حاضر در سه گام اصلی انجام گرفت. در گام نخست، روندهای پژوهشی مرتبط با زنجیره تأمین هوشمند در بخش کشاورزی از طریق مرور نظام‌مند پیشینه مطالعاتی شناسایی شدند. در گام دوم، این روندها با بهره‌گیری از روش دلفی فازی مورد غربالگری و پالایش قرار گرفتند. دست آخر، در گام سوم، مهم‌ترین و کلیدی‌ترین روندهای تحقیقاتی با استفاده از تکنیک مارکوس شناسایی و اولویت‌بندی شدند.

در این پژوهش، از تکنیک دلفی فازی برای غربال‌سازی روندهای تحقیقاتی استفاده شد. در چارچوب الگوریتم روش دلفی فازی، در گام نخست لازم است طیف فازی مناسبی جهت فازی‌سازی عبارات زبانی خبرگان طراحی و به‌کار گرفته شود. در این زمینه، می‌توان از طیف‌های فازی استاندارد و رایج به‌عنوان مبنای فازی‌سازی بهره برد. در این مطالعه از طیف لیکرت پنج درجه‌ای استفاده شده که در جدول شماره یک نمایش داده شده است (نصراللهی و همکاران، ۲۰۲۵).

جدول شماره ۱. طیف روش دلفی فازی

متغیر کلامی	مقدار فازی	عدد فازی مثلثی
خیلی کم	۱	(۰, ۰, ۰/۲۵)
کم	۲	(۰, ۰/۲۵, ۰/۵)
متوسط	۳	(۰/۲۵, ۰/۵ , ۰/۷۵)
زیاد	۴	(۰/۵ , ۰/۷۵ , ۱)
خیلی زیاد	۵	(۰/۷۵ , ۱, ۱)

روش مارکوس[1] یکی از روش‌های جدید تصـمیم گیری چند معیاره به معنای ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌ها بر مبنای راه‌حل سازشی[2] می باشد که به وسیله استیوچ و پاموکار[3](۲۰۲۰) در سال ۲۰۲۰ مطرح شد. در این پژوهش، از روش مارکوس برای تحلیل و اولویت‌بندی روندهای تحقیقاتی بهره گرفته شـد. شـاخص‌های ارزیابی روندها از طریق مشـاوره با خبرگان اسـتخراج گردیدند. این شاخص‌ها شامل موارد زیر بودند: تکرار روندها در مقالات مروری، میزان تأثیر فناورانه و جهت‌گیری آینده‌پژوهی. شایان ذکر است که تمامی شاخص‌ها دارای ماهیت مثبت و افزایشی بودند. گام‌های روش مارکوس عبارتند از (ملکی و همکاران، ۲۰۲۵):

گام اول، تشکیل ماتریس تصمیم: نخستین گام در تمامی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره که هدف شان اولویت‌بندی می‌باشد، تشکیل ماتریس تصمیم است. در روش مارکوس با استفاده از n معیار به ارزیابی m گزینه پرداخته می‌شود. در نتیجه، به هر گزینه بر اساس هر معیار یک امتیاز اختصاص داده می‌شود. در این پژوهش، خبرگان نظر خود را درباره هر روند پژوهشی بر اساس سه شـاخص مشـخص، در قالب یک طیف ۱۰ درجه‌ای ارائه کردند. با توجه به مشـارکت ۱۰ نفر از خبرگان، یک ماتریس تلفیقی از طریق محاسبه میانگین حسابی نظرات ایشان استخراج گردید.

گام دوم،تعیین گزینه‌های ایدئال و پاد-ایدئال: در این قسـمت بر اسـاس روابط زیر، مقادیر گزینه‌های ایئال و پاد-ایدئال تعیین می شود.

$$AI = \max_i x_{ij} \quad if\ j \in B \quad and \quad \min_i x_{ij}\ if\ j \in C$$

$$AAI = \min_i x_{ij} \quad if\ j \in B \quad and \quad \max_i x_{ij}\ if\ j \in C$$

گام سوم، نرمال‌سازی: در این قسـمت با اسـتفاده از روابط زیر، داده‌های ماتریس تلفیقی نرمال می‌شـوند. نرمال‌سـازی به صورت خطی انجام خواهد شد و برای شاخص‌های مثبت و منفی، روش نرمال سازی فرق خواهد داشت.

$$n_{ij} = \frac{x_{aj}}{x_{ij}} \quad if\ j \in C$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{aj}} \quad if\ j \in B$$

.

گام سوم،تشکیل ماتریس نرمال موزون: با ضرب ماتریس نرمال شده در وزن شاخص‌ها، ماتریسی تحت عنوان ماتریس نرمال موزون حاصل می‌شود. در این مطالعه، تمامی شاخص‌ها وزن برابر در نظر گرفته شده‌اند.

گام پنجم، محاسـبه درجه مطلوبیت گزینه‌ها (در اینجا روندهای تحقیقاتی): در این قسـمت بر مبنای روابط زیر، میزان مطلوبیت ایدئال و پاد-ایدئال گزینه‌ها مشخص می‌شود.

1. MARCOS
2. Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution
3. Stević & Pamučar

$$K_i^+ = \frac{S_i}{S_{ai}}$$

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{aai}}$$

گام شـشـم، تعیین عملکرد نهایی و اولویت‌بندی گزینه‌ها: در این قسـمت با اسـتفاده از رابطه زیر عملکرد مطلوب هر گزینه تعیین می‌شود.

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1 - f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1 - f(K_i^-)}{f(K_i^-)}}$$

۴. یافته‌های پژوهش

بر اسـاس مرور نظام‌مند مطالعات پیشـین و تحلیل نظرات خبرگان، مهم‌ترین روندهای پژوهشـی مرتبط با زنجیره تأمین هوشـمند در بخش کشاورزی شناسایی شد. برای استخراج این روندها، ابتدا مطالعات علمی منتشرشده در حوزه کشاورزی هوشمند و زنجیره تأمین هوشـمند مورد بررسـی دقیق قرار گرفت. این مرور نظام‌مند به شـناسـایی مفاهیم کلیدی، فناوری‌های مورد اسـتفاده، چالش‌ها و فرصت‌های پژوهشی منجر شد. سپس با استفاده از پرسشنامه خبره‌سنجی و تحلیل دلفی فازی، روندهای اولیه پالایش و تأیید شدند تا از لحاظ اهمیت و کاربردی بودن برای جامعه علمی و صنعتی قابل اتکا باشند.

در مرحله بعد، این روندها بر اسـاس شـاخص‌های ارزیابی مشـخص شـامل میزان تکرار در مطالعات علمی، تأثیر فناورانه و جهت‌گیری آینده‌پژوهی مورد اولویت‌بندی قرار گرفتند. این مرحله با بهره‌گیری از روش مارکوس انجام شـد تا میزان اهمیت و اولویت هر روند پژوهشی به‌صورت کمی و قابل مقایسه تعیین گردد. جدول شماره دو، روندهای پژوهشی نهایی را همراه با منابع علمی مرتبط نشان می‌دهد. این جدول نمایی جامع از مسیر تحولات علمی و فناورانه در زنجیره تأمین هوشمند کشاورزی ارائه می‌دهد و می‌تواند به پژوهشگران، تصمیم‌گیرندگان و فعالان بخش کشاورزی در تعیین اولویت‌های تحقیقاتی و توسعه راهبردهای کاربردی کمک کند.

جدول شماره ۲. روندهای تحقیقاتی زنجیره تأمین هوشمند در بخش کشاورزی

روندهای تحقیقاتی	منابع پژوهش
ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر (XAI) با بلاک‌چین برای تصمیم‌گیری و امنیت	Chen et al. (2023); Srikanth et al. (2023); Putri et al. (2020)
طراحی مکانیزم‌های حراج مبتنی بر یادگیری عمیق در زنجیره تأمین	Feng et al. (2023); Kumari et al. (2025); Liu et al. (2022)
گسترش اینترنت اشیا در مدیریت زنجیره تأمین کشاورزی	Friha et al. (2021); Sharma et al. (2022); Nguyen et al. (2023)
ترکیب داده‌های حسگری و کلان‌داده برای پیش‌بینی تولید و مصرف	Sharma et al. (2022); Liu et al. (2022); Kumari et al. (2025)
مدل‌سازی و شناسایی مشکلات در مدیریت دقیق کشاورزی	Liu et al. (2022); Jiawei & Xinting (2025); Nguyen et al. (2023)
استفاده از یادگیری ماشین برای بهینه‌سازی جریان کالا و کاهش ضایعات	Kumari et al. (2025); Feng et al. (2023); Batra et al. (2025)

تحلیل روندهای فناورانه و تحول دیجیتال در کشاورزی هوشمند	Jafarpanah & Karshenas (2023); Batra et al. (2025); Jiawei & Xinting (2025)
شناسایی فناوری‌های کلیدی در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی	Jiawei & Xinting (2025); Friha et al. (2021); Al Thani et al. (2025)
توسعه ردیابی و شفافیت زنجیره تأمین با بلاک‌چین	Mirabelli & Solina (2020); Srikanth et al. (2023); Putri et al. (2020)
بررسی تأثیر انقلاب صنعتی چهارم بر کشاورزی هوشمند	Batra et al. (2025); Pasi et al. (2020); Wu et al. (2016)
گذار به صنعت ۵٫۰ و نقش آن در زنجیره تأمین هوشمند	Movahed et al. (2024); Batra et al. (2025); Zhang et al. (2023)
توسعه آبیاری هوشمند با فناوری‌های دیجیتال	Pang et al. (2023); Friha et al. (2021); Nguyen et al. (2023)
استانداردسازی داده‌ها و تعامل میان فناوری‌ها	Kumari et al. (2025); Jiawei & Xinting (2025); Pasi et al. (2020)
تقویت امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها در زنجیره تأمین	Chen et al. (2023); Srikanth et al. (2023); Al Thani et al. (2025)
مقیاس‌پذیری و بهینه‌سازی زیرساخت‌های هوشمند	Liu et al. (2022); Batra et al. (2025); Wu et al. (2016)
کاهش هزینه و پیچیدگی فناوری‌های نوین	Pasi et al. (2020); Kumari et al. (2025); Liu et al. (2022)
همکاری و ارتباط مؤثر میان بازیگران زنجیره تأمین	Nguyen et al. (2023); Al Thani et al. (2025); Jiawei & Xinting (2025)
نقش سیاست‌ها و مقررات در پیاده‌سازی زنجیره تأمین هوشمند	Al Thani et al. (2025); Morkūnas et al. (2022); Zhang et al. (2023)
پذیرش فناوری‌های هوشمند توسط کشاورزان و ذی‌نفعان محلی	Jafarpanah & Karshenas (2023); Nguyen et al. (2023); Morkūnas et al. (2022)
طراحی سیستم‌های انگیزشی و مشارکتی در زنجیره تأمین	Jiawei & Xinting (2025); Nguyen et al. (2023); Al Thani et al. (2025)
شبیه‌سازی زنجیره تأمین در شرایط بحرانی (اقلیمی، بیماری و...)	Morkūnas et al. (2022); Liu et al. (2022); Kumari et al. (2025)
تحلیل مدل‌های اقتصادی برای ارزیابی بازده فناوری‌های هوشمند	Kumari et al. (2025); Morkūnas et al. (2022); Batra et al. (2025)
طراحی سیستم‌های تصمیم‌یار مبتنی بر داده	Chen et al. (2023); Sharma et al. (2022); Liu et al. (2022)
ادغام داده‌های ماهواره‌ای و زمینی برای پایش هوشمند	Friha et al. (2021); Pang et al. (2023); Jiawei & Xinting (2025)
توسعه کشاورزی در محیط‌های کنترل‌شده (گلخانه‌های هوشمند)	Sharma et al. (2022); Jafarpanah & Karshenas (2023); Friha et al. (2021)
بهینه‌سازی لجستیک و حمل‌ونقل در زنجیره تأمین کشاورزی	Nguyen et al. (2023); Kumari et al. (2025); Liu et al. (2022)
تقویت زنجیره‌های کوتاه و محلی برای امنیت غذایی	Morkūnas et al. (2022); Al Thani et al. (2025); Jiawei & Xinting (2025)
سازگاری زنجیره تأمین با تغییرات اقلیمی	Morkūnas et al. (2022); Pang et al. (2023); Jiawei & Xinting (2025)
نظارت بر کیفیت و ایمنی محصولات غذایی با فناوری‌های هوشمند	Al Thani et al. (2025); Chen et al. (2023); Liu et al. (2022)
تبادل داده و هم‌افزایی میان پلتفرم‌های هوشمند کشاورزی	Jiawei & Xinting (2025); Friha et al. (2021); Nguyen et al. (2023)

در این پژوهش، ۳۰ روند پژوهشی استخراج‌شده از مرور ادبیات با استفاده از روش دلفی فازی مورد غربال‌گری قرار گرفتند. از آن‌جا که روش‌هایی مانند مارکوس نسبت به تعداد زیاد عوامل حساسیت بالایی دارند، در این مرحله ۲۱ روند حذف و ۹ روند برای مرحله نهایی رتبه‌بندی انتخاب شدند. تنها روندهایی که دارای عدد دیفازی بیشتر از ۰/۷ بودند، برای تحلیل نهایی با روش مارکوس در نظر گرفته شدند. در نتیجه، ۹ روند با عدد دیفازی بالاتر از ۰/۷ شناسایی شد. مقدار ۰/۷ به عنوان حد آستانه جهت ارزیابی و انتخاب روندهای پژوهشی تعیین گردید. در اغلب مطالعات مشابه، این حد آستانه بین ۰/۵ تا ۰/۷ متغیر است، اما در این تحقیق مقدار ۰/۷ به عنوان معیار نهایی انتخاب شد. جدول شماره سه، فهرست روندهای نهایی پژوهش به همراه مقادیر دیفازی آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۳. خروجی دلفی فازی برای روندهای غربال شده

روندهای تحقیقاتی	میانگین نظرات خبرگان			عدد دیفازی شده
	حد پایین	میانه	حد بالا	
ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر (XAI) با بلاک‌چین برای تصمیم‌گیری و امنیت (A)	۰/۷۶	۰/۸۴	۰/۹۶	۰/۸۵
گسترش اینترنت اشیا در مدیریت زنجیره تأمین کشاورزی (B)	۰/۶۷	۰/۷۵	۰/۸۳	۰/۷۵
ترکیب داده‌های حسگری و کلان‌داده برای پیش‌بینی تولید و مصرف (C)	۰/۶۹	۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۷۷
مدل‌سازی و شناسایی مشکلات در مدیریت دقیق کشاورزی (D)	۰/۶۷	۰/۷۵	۰/۸۶	۰/۷۶
استفاده از یادگیری ماشین برای بهینه‌سازی جریان کالا و کاهش ضایعات (E)	۰/۷۳	۰/۸۲	۰/۹	۰/۸۲
توسعه ردیابی و شفافیت زنجیره تأمین با بلاک‌چین (F)	۰/۶۳	۰/۷۴	۰/۸۱	۰/۷۳
توسعه آبیاری هوشمند با فناوری‌های دیجیتال (G)	۰/۶۶	۰/۷۴	۰/۸۱	۰/۷۴
بهینه‌سازی لجستیک و حمل‌ونقل در زنجیره تأمین کشاورزی (H)	۰/۶۵	۰/۷۳	۰/۸	۰/۷۳
پذیرش فناوری‌های هوشمند توسط کشاورزان و ذی‌نفعان محلی (I)	۰/۶۲	۰/۷۱	۰/۸	۰/۷۱

در گام بعد، نه روند شناسایی شده با استفاده از تکنیک مارکوس رتبه‌بندی شدند. برای این منظور، نظرات خبرگان درباره هر روند تحقیقاتی براساس سه شاخص شامل میزان تکرار در مقالات مروری، تأثیر فناورانه و گرایش به آینده‌پژوهی جمع‌آوری شد. داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از میانگین حسابی ترکیب شدند تا ماتریس تصمیم تلفیقی شکل گیرد. سپس مقادیر این ماتریس به صورت خطی نرمال‌سازی شده و با ضرب وزن شاخص‌ها در مقادیر نرمال، ماتریس نرمال موزون محاسبه شد. شایان ذکر است که وزن همه شاخص‌ها برابر در نظر گرفته شد. جدول شماره چهار، مقادیر به‌دست‌آمده در ماتریس نرمال موزون را نمایش می‌دهد و ستون پایانی نیز جمع سطری هر روند پژوهشی را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۴. ماتریس نرمال موزون روندهای پژوهش

	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	وزن شاخص‌ها
S_i	جهت‌گیری آینده‌پژوهی	سطح تأثیر فناورانه	تکرار در مقالات مروری	روندهای تحقیقاتی
۰/۹۹	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	A
۰/۷۴۶	۰/۲۴۴	۰/۲۴۴	۰/۲۵۸	B

C	۰/۲۹۸	۰/۲۷۹	۰/۲۶۸	۰/۸۴۵
D	۰/۱۳۸	۰/۱۸	۰/۲۲۵	۰/۵۴۳
E	۰/۳۱۱	۰/۲۹۹	۰/۳۱۹	۰/۹۲۹
F	۰/۲۰۱	۰/۲۱۱	۰/۲۲۲	۰/۶۳۴
G	۰/۱۵۸	۰/۱۳۵	۰/۱۴۹	۰/۴۴۲
H	۰/۱۸۳	۰/۱۷	۰/۱۹۵	۰/۵۴۸
I	۰/۰۹۸	۰/۱۲۷	۰/۱۱۹	۰/۳۴۴
گزینه ایدئال	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۹۹
گزینه پاد-ایدئال	۰/۰۹۸	۰/۱۲۷	۰/۱۱۹	۰/۳۴۴

بر مبنای داده‌های جدول شماره چهار، میزان مطلوبیت ایدئال و پاد-ایدئال روندهای پژوهشی زنجیره تأمین هوشمند در بخش کشاورزی، عملکرد کلی هر روند و اولویت آن تعیین می‌شود.

جدول شماره ۵. امتیاز و اولویت روندهای تحقیقاتی

روندهای تحقیقاتی	K_i^+	K_i^-	$f(K_i^+)$	$f(K_i^-)$	$f(K_i)$
A	۱	۲/۸۷۸	۰/۷۴۲۱۳۵	۰/۲۵۷۸۶۵	۰/۹۱۸
B	۰/۷۵۳۵۳۵	۲/۱۶۹	۰/۷۴۲۱۶۴	۰/۲۵۷۸۳۶	۰/۶۹۲
C	۰/۸۵۳۵۳۵	۲/۴۵۶	۰/۷۴۲۰۹۸	۰/۲۵۷۹۰۲	۰/۷۸۳
D	۰/۵۴۸۴۸۵	۱/۵۷۸	۰/۷۴۲۰۷	۰/۲۵۷۹۳	۰/۵۰۳
E	۰/۹۳۸۳۸۴	۲/۷۰۱	۰/۷۴۲۱۵۹	۰/۲۵۷۸۴۱	۰/۸۶۱
F	۰/۶۴۰۴۰۴	۱/۸۴۳	۰/۷۴۲۱۲۷	۰/۲۵۷۸۷۳	۰/۵۸۸
G	۰/۴۴۶۴۶۵	۱/۲۸۵	۰/۷۴۲۱۴۶	۰/۲۵۷۸۵۴	۰/۴۱
H	۰/۵۵۳۵۳۵	۱/۵۹۳	۰/۷۴۲۱۲۶	۰/۲۵۷۸۷۴	۰/۵۰۸
I	۰/۳۴۷۴۷۵	۱	۰/۷۴۲۱۲۹	۰/۲۵۷۸۷۱	۰/۳۱۹

با توجه به امتیازات روندهای تحقیقاتی در جدول شماره پنج، ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر (XAI) با بلاک‌چین برای تصمیم‌گیری و امنیت، استفاده از یادگیری ماشین برای بهینه‌سازی جریان کالا و کاهش ضایعات، ترکیب داده‌های حسگری و کلان‌داده برای پیش‌بینی تولید و مصرف، گسترش اینترنت اشیا در مدیریت زنجیره تأمین کشاورزی و توسعه ردیابی و شفافیت زنجیره تأمین با بلاک‌چین، بالاترین اولویت را داشتند. پیشنهادهای کاربردی پژوهش بر اساس روندهای تحقیقاتی اولویت‌دار ارائه شد.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روندهای پژوهشی مرتبط با زنجیره تأمین هوشمند در بخش کشاورزی ابتدا از طریق مرور نظام‌مند ادبیات علمی استخراج شد و ۳۰ روند اولیه شناسایی گردید که حوزه‌های مختلفی از جمله اینترنت اشیا، بلاک‌چین، یادگیری ماشین، کلان‌داده و سیستم‌های تصمیم‌یار را شامل می‌شدند. برای پالایش این مجموعه و تمرکز بر مهم‌ترین و اثرگذارترین روندها، از تکنیک دلفی فازی استفاده شد و با مشارکت ۱۰ نفر از خبرگان دانشگاهی و حرفه‌ای، تعداد روندها به ۹ روند کلیدی کاهش یافت. در مرحله بعد، با به‌کارگیری روش مارکوس، این روندها بر اساس سه شاخص مهم شامل تکرار در مقالات مروری، سطح تأثیر فناورانه و جهت‌گیری آینده‌پژوهی تحلیل و رتبه‌بندی شدند. نتایج نشان داد که روندهایی مانند ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر با بلاک‌چین برای تصمیم‌گیری و امنیت، استفاده از یادگیری ماشین برای بهینه‌سازی جریان کالا و کاهش ضایعات، ترکیب داده‌های حسگری و

کلان‌داده برای پیش‌بینی تولید و مصرف، گسترش اینترنت اشیا در مدیریت زنجیره تأمین کشاورزی، و توسعه ردیابی و شفافیت زنجیره تأمین با بلاک‌چین در صدر اولویت‌ها قرار دارند. این روندها، نه تنها انعکاسی از تحولات فناورانه کلیدی در کشاورزی هوشمند هستند، بلکه مسیرهای پژوهشی آتی و استراتژی‌های توسعه‌ای برای بهبود کارایی، شفافیت و پایداری زنجیره تأمین کشاورزی را مشخص می‌کنند.

نتایج این پژوهش نشان داد که فناوری‌های نوین نقش محوری در تحول زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند دارند و روندهای اولویت‌دار شناسایی‌شده، تصویر روشنی از مسیرهای پژوهشی مؤثر ارائه می‌کنند. به‌طور خاص، ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر با بلاک‌چین نه‌تنها به تقویت امنیت و شفافیت داده‌ها کمک می‌کند، بلکه امکان اتخاذ تصمیم‌های بهتر و قابل تبیین را برای مدیران فراهم می‌آورد. استفاده از یادگیری ماشین برای بهینه سازی جریان کالا و کاهش ضایعات، و ترکیب داده‌های حسگری با کلان‌داده برای پیش‌بینی تولید و مصرف، نشان‌دهنده اهمیت تحلیل داده‌ها و بهره‌وری حداکثری از منابع در زنجیره‌های تأمین کشاورزی است. افزون بر این، گسترش اینترنت اشیا در مدیریت زنجیره و توسعه ردیابی و شفافیت با بلاک‌چین بهبود هماهنگی میان ذی‌نفعان و افزایش اعتماد در کل شبکه را ممکن می‌سازد. این نتایج حاکی از آن است که تمرکز بر فناوری‌های داده‌محور و دیجیتال‌سازی فرآیندها می‌تواند به ارتقای پایداری، کارایی و مقاومت زنجیره‌های تأمین کشاورزی کمک کند و مسیر روشنی برای پژوهش‌های آینده در حوزه کشاورزی هوشمند فراهم آورد.

تحلیل نتایج این پژوهش نشان داد که روندهای فناورانه شناسایی‌شده، فراتر از به‌کارگیری ابزارهای دیجیتال، بیانگر یک گذار مفهومی در مدیریت زنجیره تأمین کشاورزی هستند؛ گذار از ساختارهای سنتی و واکنشی به سمت اکوسیستم‌های داده‌محور، هوشمند و خودیادگیرنده. ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر با بلاک‌چین، مصداقی از حرکت به سوی شفافیت، اعتماد و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌های قابل تبیین است که می‌تواند شکاف میان ذی‌نفعان را کاهش دهد. همچنین، ترکیب کلان‌داده، حسگرها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، مسیر تحقق کشاورزی پیش‌بینانه و تخصیص بهینه منابع را هموار می‌کند. گسترش اینترنت اشیا و فناوری‌های ردیابی نیز بیانگر شکل‌گیری زنجیره‌های تأمین شبکه‌ای و پویا است که در آن ارتباط میان تولید، توزیع و مصرف به‌صورت بلادرنگ برقرار می‌شود. این تفسیرها نشان می‌دهد که روندهای اولویت‌دار نه‌تنها جهت‌گیری پژوهش‌های آینده را مشخص می‌کنند، بلکه چارچوبی نظری برای طراحی سیاست‌ها و مدل‌های کسب‌وکار مبتنی بر تحول دیجیتال در بخش کشاورزی فراهم می‌سازند.

با توجه به نتایج این پژوهش، پنج روند تحقیقاتی اولویت‌دار شامل ادغام هوش مصنوعی توضیح‌پذیر با بلاک‌چین برای تصمیم‌گیری و امنیت، استفاده از یادگیری ماشین برای بهینه‌سازی جریان کالا و کاهش ضایعات، ترکیب داده‌های حسگری و کلان‌داده برای پیش‌بینی تولید و مصرف، گسترش اینترنت اشیا در مدیریت زنجیره تأمین کشاورزی و توسعه ردیابی و شفافیت زنجیره تأمین با بلاک‌چین، به‌عنوان محورهای کلیدی برای ارتقای عملکرد زنجیره تأمین کشاورزی هوشمند شناسایی شدند. بر اساس این روندها، پیشنهادهای کاربردی متعددی قابل ارائه است. نخست، با ادغام XAI و بلاک‌چین، سازمان‌ها می‌توانند تصمیم‌گیری‌های مدیریتی خود را به‌صورت شفاف و قابل توضیح انجام دهند و در عین حال امنیت داده‌ها و اطلاعات تبادلی را تضمین کنند که این امر به افزایش اعتماد میان تولیدکنندگان، واسطه‌ها و مصرف‌کنندگان منجر می‌شود. دوم، به‌کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین در مدیریت جریان کالا و زنجیره تأمین، امکان بهینه‌سازی موجودی، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و کاهش ضایعات محصولات را فراهم می‌آورد و بهره‌وری کل زنجیره را بهبود می‌بخشد. سوم، ترکیب داده‌های حسگری و کلان‌داده می‌تواند پیش‌بینی دقیق‌تری از میزان تولید و نیاز بازار ارائه دهد و کمک کند منابع به‌صورت مؤثر تخصیص یافته و از اتلاف آن‌ها جلوگیری شود. چهارم، گسترش اینترنت

اشیا در طول زنجیره تأمین امکان پایش بلادرنگ وضعیت مزرعه، شرایط نگهداری محصولات و فرآیندهای حمل‌ونقل را فراهم می‌کند و موجب افزایش واکنش‌پذیری، کاهش خطا و بهبود هماهنگی میان اجزای زنجیره می‌شود. در انتها، توسعه ردیابی و شفافیت زنجیره تأمین با استفاده از فناوری بلاک‌چین، مسیر حرکت محصولات از تولید تا مصرف را قابل ردیابی می سازد و از جعل داده و دستکاری اطلاعات جلوگیری می‌کند، که در نتیجه اعتماد ذی‌نفعان و کیفیت خدمات زنجیره تأمین افزایش می‌یابد. اجرای این پیشنهادها می‌تواند ضمن ارتقای بهره‌وری و کاهش ضایعات، نقش مؤثری در افزایش پایداری، شفافیت و تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین کشاورزی هوشمند ایفا کند و پایه‌ای قوی برای توسعه اکوسیستم‌های کشاورزی دیجیتال فراهم آورد.

پژوهش حاضر با وجود ارائه تحلیل دقیق و شناسایی روندهای اولویت‌دار زنجیره تأمین هوشمند در بخش کشاورزی، با چند محدودیت مواجه است که باید در مطالعات آتی مورد توجه قرار گیرد. نخست، حجم نمونه خبرگان مورد استفاده محدود به ۱۰ نفر بود و هرچند انتخاب افراد بر اساس تخصص و تجربه صورت گرفت، ممکن است نظرات گسترده‌تری از سایر کارشناسان و ذی‌نفعان زنجیره تأمین در کشورهای مختلف منعکس نشده باشد. دوم، داده‌های پژوهش عمدتاً بر اساس مرور نظام‌مند مطالعات پیشین و تحلیل خبرگان جمع‌آوری شد؛ بنابراین، ممکن است روندهای نوظهور یا فناوری‌های بسیار جدید که هنوز در مقالات علمی منتشر نشده‌اند، شناسایی نشده باشند. سوم، رویکرد پژوهش بیشتر کمی و مبتنی بر ابزارهای دلفی فازی و مارکوس بود و تحلیل‌های کیفی عمیق‌تر درباره چالش‌های اجرایی و فرهنگی پیاده‌سازی فناوری‌ها در زنجیره تأمین کشاورزی کمتر مورد بررسی قرار گرفت. چهارم، مطالعه بر حوزه کشاورزی هوشمند و زنجیره تأمین کشاورزی تمرکز دارد و تعمیم نتایج به دیگر صنایع یا زنجیره‌های تأمین پیچیده ممکن است محدود باشد. دست آخر، محدودیت‌های زمانی و منابع پژوهش بر امکان جمع‌آوری داده‌های گسترده‌تر و انجام تحلیل‌های طولی تأثیر گذاشته است. با وجود این محدودیت‌ها، نتایج تحقیق پایه‌ای ارزشمند برای سیاست‌گذاری علمی، تصمیم‌گیری مدیریتی و برنامه‌ریزی توسعه فناوری‌های نوین در کشاورزی هوشمند فراهم می‌آورد و می‌تواند به عنوان نقطه شروع برای پژوهش‌های آینده با نمونه‌های گسترده‌تر و تحلیل‌های ترکیبی کیفی-کمی مورد استفاده قرار گیرد.

علاوه بر پیشنهادهای نظری ارائه‌شده، این پژوهش چند راهکار کاربردی و عملیاتی نیز پیشنهاد می‌کند که می‌تواند در سطح سیاست‌گذاری، مدیریت زنجیره تأمین و توسعه فناوری به کار گرفته شود. نخست، نهادهای حاکمیتی و وزارتخانه‌های مرتبط با کشاورزی می‌توانند با تدوین چارچوب‌های ملی برای تبادل امن داده‌های کشاورزی، زیرساخت لازم برای ادغام فناوری‌های هوش مصنوعی، بلاک‌چین و اینترنت اشیا را فراهم کنند. دوم، شرکت‌های فعال در حوزه کشاورزی هوشمند و استارتاپ‌های فناورانه می‌توانند با ایجاد پلتفرم‌های داده‌محور مشترک میان تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مصرف‌کنندگان، از مزایای تصمیم‌گیری مبتنی بر داده و ردیابی شفاف زنجیره تأمین بهره‌مند شوند. سوم، برگزاری دوره‌های آموزشی و کارگاه‌های مهارت‌افزایی برای کشاورزان و مدیران زنجیره تأمین می‌تواند در افزایش پذیرش فناوری‌های نوین و استفاده مؤثر از داده‌های دیجیتال نقش مؤثری ایفا کند. چهارم، توسعه مراکز نوآوری و شتاب‌دهنده‌های تخصصی در کشاورزی هوشمند می‌تواند به تجاری سازی فناوری‌های بومی و ایجاد همکاری‌های بین‌بخشی میان دانشگاه، صنعت و دولت کمک کند. دست آخر، توصیه می‌شود سیاست‌گذاران از طریق ایجاد مشوق‌های مالیاتی و تسهیلات حمایتی، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال کشاورزی را تسریع بخشند و مسیر گذار به زنجیره تأمین هوشمند و پایدار را هموار سازند.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر و شناسایی روندهای اولویت‌دار در زنجیره تأمین هوشمند کشاورزی، چند مسیر مهم برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود. نخست، انجام مطالعات گسترده‌تر با مشارکت خبرگان و ذی‌نفعان بیشتر از کشورهای مختلف می‌تواند دید

جامع‌تری نسبت به روندها و چالش‌های اجرایی فراهم آورد. دوم، ترکیب رویکردهای کمی و کیفی، از جمله تحلیل موردی، مصاحبه‌های عمیق و شبیه‌سازی‌های عملی، می‌تواند درک بهتری از فرآیندهای مدیریتی و تاثیر فناوری‌ها بر بهره‌وری و پایداری زنجیره تأمین ارائه دهد. سوم، تمرکز بر فناوری‌های نوظهور و ادغام آن‌ها با سیستم‌های موجود، مانند هوش مصنوعی توضیح‌پذیر، بلاک‌چین، اینترنت اشیا و یادگیری ماشین، می‌تواند زمینه‌ساز طراحی مدل‌های عملیاتی نوین و بهبود تصمیم‌گیری در زنجیره‌های کشاورزی شود. چهارم، تحقیقات آتی می‌توانند به بررسی اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند در کشاورزی پرداخته و چارچوب‌های پایدار و انسان‌محور برای مدیریت زنجیره تأمین پیشنهاد کنند. در پایان، توسعه استانداردها و سیاست‌های هماهنگ برای تبادل داده و امنیت اطلاعات در سطح ملی و بین‌المللی، به عنوان موضوعی کلیدی، می‌تواند موضوع پژوهش‌های آینده قرار گیرد و راهکارهای عملی برای ارتقای شفافیت، ردیابی و تاب‌آوری زنجیره تأمین کشاورزی ارائه کند.

منابع پژوهش

Al Thani, M., Hadid, M., Padmanabhan, R., Kerbache, L., & Elomri, A. (2025). Smart Food Supply Chain Management: A Bibliometric and Systematic Review. *Food and Humanity*, 100736.

Batra, I., Sharma, C., Malik, A., Sharma, S., Kaswan, M. S., & Garza-Reyes, J. A. (2025). Industrial revolution and smart farming: a critical analysis of research components in Industry 4.0. *The TQM Journal*, *37*(6), 1497-1525.

Chen, H. Y., Sharma, K., Sharma, C., & Sharma, S. (2023). Integrating explainable artificial intelligence and blockchain to smart agriculture: Research prospects for decision making and improved security. *Smart Agricultural Technology*, *6*, 100350. https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100350

Feng, Y., Mei, D., & Zhao, H. (2023). Auction-based deep learning-driven smart agricultural supply chain mechanism. *Applied Soft Computing*, *149*, 111009. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.111009

Friha, O., Ferrag, M. A., Shu, L., Maglaras, L., & Wang, X. (2021). Internet of things for the future of smart agriculture: A comprehensive survey of emerging technologies. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, *8*(4), 718-752.

Jafarpanah, I., & Karshenas, A. (2023). Technological trends in smart agriculture. *Journal of Entrepreneurship and Agriculture*, *10*(2), 100–115.

Jiawei, H. A. N., & Xinting, Y. A. N. G. (2025). Smart supply chains for agricultural products: Key technologies, research progress and future direction. *Smart Agriculture*, *7*(3), 1–15.

Khandelwal, C., Singhal, M., Gaurav, G., Dangayach, G. S., & Meena, M. L. (2021). Agriculture supply chain management: A review (2010–2020). *Materials Today: Proceedings*, *47*, 3144–3153. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.442

Kumari, S., Venkatesh, V. G., Tan, F. T. C., Bharathi, S. V., Ramasubramanian, M., & Shi, Y. (2025). Application of machine learning and artificial intelligence on agriculture supply chain: A comprehensive review and future research directions. *Annals of Operations Research*, *348*(3), 1573–1617. https://doi.org/10.1007/s10479-024-06128-3

Liu, W., Wei, S., Wang, S., Lim, M. K., & Wang, Y. (2022). Problem identification model of agricultural precision management based on smart supply chains: An exploratory study from China. *Journal of Cleaner Production*, *352*, 131622. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131622

Maleki, M. H., Nasrollahi, M., & Mohammadi, Z. (2025). Identifying and Prioritizing Drivers Affecting the Future of the Healthcare Supply Chain with a Focus on Fourth-Generation Technologies. *Journal of Foresight and Health Governance*, *2*(3), 1-13.

Mirabelli, G., & Solina, V. (2020). Blockchain and agricultural supply chains traceability: Research trends and future challenges. *Procedia Manufacturing*, *42*, 414–421. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.054

Morkūnas, M., Rudienė, E., & Ostenda, A. (2022). Can climate-smart agriculture help to assure food security through short supply chains? A systematic bibliometric and bibliographic literature

review. *Business, Management and Economics Engineering, 20*(2), 207–223. https://doi.org/10.3846/bmee.2022.15178

Movahed, A. B., Movahed, A. B., & Nozari, H. (2024). Opportunities and challenges of smart supply chain in Industry 5.0. In *Information Logistics for Organizational Empowerment and Effective Supply Chain Management* (pp. 108–138). IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8347-2.ch006

Nasrollahi, M., Maleki, M. H., & Mohammadi, Z. (2025). Presenting a Model of Factors Affecting the Development of Medical Tourism in Iran. *Journal of Foresight and Health Governance*, *2*(3), 1-12.

Nguyen, V. D., Pham, T. C., Le, C. H., Huynh, T. T., Le, T. H., & Packianather, M. (2023). An innovative and smart agriculture platform for improving the coffee value chain and supply chain. In *Machine Learning and Mechanics Based Soft Computing Applications* (pp. 185–197). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4570-1_15

Pang, Y., Marinello, F., Tang, P., Li, H., & Liang, Q. (2023). Bibliometric analysis of trends in smart irrigation for smart agriculture. *Sustainability*, *15*(23), 16420.

Pasi, B. N., Mahajan, S. K., & Rane, S. B. (2020). Smart supply chain management: A perspective of Industry 4.0. *Supply Chain Management*, *29*(5), 3016–3030.

Putri, A. N., Hariadi, M., & Wibawa, A. D. (2020, March). Smart agriculture using supply chain management based on hyperledger blockchain. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 466, No. 1, p. 012007). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/466/1/012007

Sharma, K., Sharma, C., Sharma, S., & Asenso, E. (2022). Broadening the research pathways in smart agriculture: Predictive analysis using semiautomatic information modeling. *Journal of Sensors, 2022*(1), 5442865. https://doi.org/10.1155/2022/5442865

Sharma, S., Sharma, C., Asenso, E., & Sharma, K. (2023). Research constituents and trends in smart farming: An analytical retrospection from the lens of text mining. *Journal of Sensors*, *2023*(1), 6916213. https://doi.org/10.1155/2023/6916213

Srikanth, M., Mohan, R. J., & Naik, M. C. (2023). Blockchain-based consensus for a secure smart agriculture supply chain. *European Chemical Bulletin, 12*(4), 8669–8678. https://doi.org/10.31838/ecb/2023.12.4.105

Suebsombut, P., Sekhari, A., Sureepong, P., Ueasangkomsate, P., & Bouras, A. (2017, March). The using of bibliometric analysis to classify trends and future directions on "smart farm". In *2017 International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT)* (pp. 136–141). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICDAMT.2017.7904968

Wu, L., Yue, X., Jin, A., & Yen, D. C. (2016). Smart supply chain management: A review and implications for future research. *The International Journal of Logistics Management, 27*(2), 395–417. https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2014-0035

Zhang, G., Yang, Y., & Yang, G. (2023). Smart supply chain management in Industry 4.0: The review, research agenda and strategies in North America. *Annals of Operations Research, 322*(2), 1075–1117. https://doi.org/10.1007/s10479-021-04511-2