The University of Tehran Press

Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research

Online ISSN: 2008-4838

Homepage: http://ijaedr.ut.ac.ir/

Challenges of Implementing Internet of Things-Based Technologies in Agricultural Water Management

Siavash Seifi[1], Hossein Shabanali Fami[2], Ali Akbar Barati[3] ✉, Ali Asadi[4]

1. Department of Agricultural Management and Development, Faculty of Agricultural Economics and Development, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: siavash.seyfi@ut.ac.ir
2. Department of Agricultural Management and Development, Faculty of Agricultural Economics and Development, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: hfami@ut.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Agricultural Management and Development, Faculty of Agricultural Economics and Development, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: aabarati@ut.ac.ir
4. Department of Agricultural Management and Development, Faculty of Agricultural Economics and Development, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: aasadi@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 11 January 2026

Revised: 30 January 2026

Accepted: 7 February 2026

Published online: Atumn 2026

Keywords:

Agricultural water management,

Internet of Things (IoT), Precision agriculture,

Smart irrigation,

Technology adoption.

ABSTRACT

The exacerbating water crisis and the inefficiency of conventional water management models in the agricultural sector have made the adoption of IoT-based technologies a necessity for optimal water resource management. This study was conducted to analyze the challenges of implementing IoT-based water management technologies in the agricultural sector of Kermanshah province. The statistical population consisted of specialists and experts in the fields of IoT, water, and agriculture, from which 151 individuals were randomly selected and studied. The face and content validity of the questionnaire were confirmed using expert opinions, and its discriminant validity was verified using the average variance extracted index. The reliability of the questionnaire was also assessed through Cronbach's alpha and composite reliability. Data analysis was performed using SPSS v.26 and SmartPLS 3. The results of ranking the challenges using the coefficient of variation revealed that the mismatch between the cost of these technologies and the farmers' financial capacity, the massive volume of data requiring advanced processing infrastructure, and limited access to credit facilities are the most significant challenges facing the use of IoT in agricultural water management. Furthermore, based on the confirmatory factor analysis results, economic challenges (0.895) constituted the greatest obstacle to IoT technology implementation, followed by technical (0.879), policy-legal (0.806), social (0.8), infrastructural (0.778), and environmental (0.508) challenges, respectively. Overcoming these challenges necessitates designing financing mechanisms, developing indigenous data processing and analysis platforms, enhancing communication infrastructure, building human capacity, and establishing clear legal frameworks for the successful implementation of IoT in agricultural water management.

Cite this article: Seifi, S., Shabanali Fami, H., Barati, A. A. & Asadi, A. (2026). Challenges of Implementing Internet of Things-Based Technologies in Agricultural Water Management. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 57-2 (3), 465-483. DOI: https://doi.org/10.22059/ijaedr.2026.409680.669416

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijaedr.2026.409680.669416

Extended Abstract

Introduction

Context and Purpose

The intensifying water crisis in Iran has rendered the transformation from traditional water management to smart, data-driven systems in agriculture an inevitable necessity. This study aimed to identify, validate, and prioritize the challenges of implementing Internet of Things (IoT)-based technologies for agricultural water management in Kermanshah Province, Iran. The research specifically sought to develop and test a comprehensive multi-dimensional model of these challenges through Confirmatory Factor Analysis (CFA), providing a theoretical framework and practical roadmap for stakeholders.

Research Methodology

This quantitative, applied research adopted a survey methodology. The statistical population consisted of experts in IoT, water, and agriculture in Kermanshah Province, including university faculty, researchers, and relevant government and private sector specialists. Using power analysis (Cohen, 1988), a sample size of 161 was determined; ultimately, 151 valid questionnaires were collected via simple random sampling. The data collection instrument was a questionnaire developed through an extensive literature review of Persian and English sources. The questionnaire categorized potential challenges into six latent constructs: Economic, Technical, Policy-Legal, Social, Infrastructural, and Environmental. Items were measured on a five-point Likert scale. Content validity was confirmed by a panel of experts, and discriminant validity was assessed using Average Variance Extracted (AVE). Reliability was confirmed with Cronbach's alpha and composite reliability scores, all exceeding 0.7. Data analysis was performed using SPSS 26 for descriptive statistics and Smart PLS 3 for Structural Equation Modeling (SEM), specifically Confirmatory Factor Analysis (CFA).

Findings

The descriptive findings indicated a consensus among experts on several key challenges. The lowest coefficient of variation (CV) was observed for the "Mismatch between technology costs and farmers' financial capacity" (Economic), highlighting its perceived centrality. In the infrastructural dimension, "Lack of IoT demonstration farms" had the lowest CV. CFA results validated the proposed six-factor structure, explaining a significant portion of the variance in implementation challenges. The standardized path coefficients revealed the following order of importance for the latent constructs:

1. Economic challenges (β = 0.895): Identified as the most significant barrier, encompassing high investment costs, limited access to credit, and insufficient R&D funding.

2. Technical challenges (β = 0.879): The second major barrier, including issues related to big data management, processing needs, hardware vulnerability, and energy supply.

3. Policy and legal challenges (β = 0.806): Encompassing the lack of a national strategic plan, ambiguous data ownership laws, and insufficient equipment standards.

4. Social challenges (β = 0.800): Involving low trust in technology, cultural resistance to change, and a lack of specialized training for farmers.

5. Infrastructural challenges (β = 0.778): Including weak internet connectivity in rural areas and a shortage of local technical support services.

6. Environmental challenges (β = 0.508): Although recognized, these were considered a lower-priority concern in the short term, relating to the ecological footprint of electronic waste and energy consumption.

Conclusion

The successful implementation of IoT-based water management technologies in Kermanshah Province is hindered by a complex, interconnected web of challenges across six dimensions. A purely technological or top-down approach is insufficient. An effective strategy requires a systemic, multi-pronged policy intervention. This must prioritize economic interventions, such as tailored financial schemes and cooperative procurement models, to alleviate the primary cost barrier. Simultaneously, it must address technical bottlenecks by fostering the development of local data platforms and maintenance ecosystems. Foundational to these efforts is the establishment of a clear policy-legal framework, including a provincial smart agriculture roadmap and regulations for data governance. Complementary actions are needed to build social trust through demonstration farms and farmer organizations, and to close the digital divide by improving rural connectivity and energy access. A cross-sectoral steering committee is recommended to coordinate these integrated efforts, ensuring that the transition to smart water management enhances agricultural productivity, sustainability, and resilience in the face of Iran's pressing water crisis.

Author Contributions

This article is an extract from a Ph.D. research project of the first author. H. Shabanali Fami and A. A. Barati as his supervisors designed the experiment and research planning. The first author (S. Seifi) conducted all interviews and completed the questionnaires in person, and in addition to writing the initial version of the article, he also participated in the statistical analysis of the data. The third author (A. Asadi) also participated in the preparation of the questionnaires and the statistical analysis of the data. All authors read and approved the manuscript.

Data Availability Statement

Data sharing is applicable with a formal and justified request for the corresponding author.

Acknowledgements

The authors would like to thank and Research Deputy of University of Tehran (UT).

Ethical considerations

The study was approved by the Ethics Committee of the College of Agriculture and Natural Resources, The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، دوره ۲- ۵۷، شماره ۳

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۷۸۵X-۲۴۲۳

Homepage: http://ijaedr.ut.ac.ir/

چالش‌های به‌کارگیری فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی

سیاوش سیفی[۱] | حسین شعبانعلی فمی[۲] | علی اکبر براتی[۳] ✉ | علی اسدی[۴]

۱. گروه مدیریت و توسعه کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: siavash.seyfi@ut.ac.ir

۲. گروه مدیریت و توسعه کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: hfami@ut.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، گروه مدیریت و توسعه کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: aabarati@ut.ac.ir

۳. گروه مدیریت و توسعه کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: aasadi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۸

تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

اینترنت اشیاء، آبیاری هوشمند، کشاورزی هوشمند، مدیریت آب کشاورزی، پذیرش فناوری.

چکیده

تشدید بحران آب و ناکارآمدی الگوهای متعارف مدیریت آب در بخش کشاورزی، به‌کارگیری فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء را به یکی از الزامات مدیریت بهینه منابع آبی تبدیل کرده است. این پژوهش با هدف تحلیل چالش‌های پیاده‌سازی فناوری‌های مدیریت آب مبتنی بر اینترنت اشیاء در بخش کشاورزی استان کرمانشاه انجام شد. جامعه آماری متشکل از متخصصان و صاحب‌نظران حوزه‌های اینترنت اشیاء، آب و کشاورزی بود که ۱۵۱ نفر از این افراد به روش تصادفی ساده انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفتند. روایی صوری و محتوایی پرسشنامه با استفاده از نظر متخصصان و روایی تشخیصی با شاخص میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE) تأیید شد. پایایی پرسشنامه نیز از طریق شاخص آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 26 و Smart PLS 3 انجام گرفت. نتایج رتبه‌بندی چالش‌ها نشان داد که عدم تناسب هزینه این فناوری‌ها با توان مالی کشاورزان، حجم انبوه داده‌ها و نیاز به زیرساخت‌های پردازشی پیشرفته؛ و محدودیت در دسترسی به تسهیلات اعتباری به‌عنوان مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو برای استفاده از اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی هستند. همچنین، بر اساس نتایج تحلیل عاملی تأییدی، چالش‌های اقتصادی (۰/۸۹۵) بزرگترین مانع در مسیر اجرای فناوری‌های اینترنت اشیاء بوده و پس از آن به‌ترتیب چالش‌های فنی (۰/۸۷۹)، سیاستی-حقوقی (۰/۸۰۶)، اجتماعی (۰/۸۰۰)، زیرساختی (۰/۷۷۸) و زیست‌محیطی (۰/۵۰۸) قرار گرفته‌اند. غلبه بر چالش‌های فوق، مستلزم طراحی سازوکارهای تأمین مالی، توسعه پلتفرم‌های بومی پردازش و تحلیل داده، تقویت زیرساخت‌های ارتباطی، توسعه ظرفیت انسانی و تدوین چارچوب‌های قانونی شفاف برای موفقیت پیاده‌سازی اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی است.

استناد: سیفی، سیاوش؛ شعبانعلی فمی، حسین؛ براتی، علی اکبر و اسدی، علی (۱۴۰۵). چالش‌های به‌کارگیری فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی. *تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*، ۲-۵۷ (۳)، ۴۸۳-۴۶۵. DOI: https://doi.org/10.22059/ijaedr.2026.409680.669416

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijaedr.2026.409680.669416

مقدمه

طی دهه‌های اخیر، بحران آب در ایران به چالش اساسی تبدیل شده که پایداری بخش کشاورزی را به عنوان مصرف‌کننده اصلی منابع آب در کشور به‌طور جدی تهدید می‌کند (Barati et al., 2025; Nouri et al., 2023). محدودیت‌های طبیعی مانند خشکسالی‌های پی‌درپی و تغییرات اقلیمی در کنار الگوهای ناکارآمد مدیریت آب، ضرورت تحول در شیوه‌های کشاورزی را بیش از پیش آشکار ساخته است (Barati et al., 2023). در این میان، فناوری‌های هوشمند نظیر اینترنت اشیاء به‌عنوان راهبردی کلیدی برای افزایش بهره‌وری آب و گذار از کشاورزی سنتی مطرح است (Barati et al., 2024; Hosseini et al., 2025). این فناوری با ایجاد شبکه‌ای یکپارچه از حسگرها و سامانه‌های تحلیلی، امکان مدیریت دقیق، لحظه‌ای و خودکار آبیاری را فراهم می‌کند و نویدبخش صرفه‌جویی چشمگیر در مصرف آب و افزایش پایداری تولید است (Kumar et al., 2024; Parra-López et al., 2025). با این حال، کاربرد این فناوری در بستر واقعی، به‌ویژه در کشورهای در حال‌توسعه نظیر ایران، با موانع متعددی روبروست. بررسی متون موجود نشان می‌دهد چالش‌هایی همچون هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالا (Hundal et al., 2023)، ضعف زیرساخت‌های ارتباطی و فنی در مناطق روستایی (Mohamed Rawidean Mohd Kassim, 2020; Pivoto, 2018)، نگرانی‌های امنیتی و حریم خصوصی (Sfar et al., 2018; Zheng & Carter, 2015)، پایین بودن سطح مهارت دیجیتال و اعتماد به فناوری (Maroli et al., 2021) و چالش‌های مدیریت داده (Hundal et al., 2023; Pivoto, 2018) از موانع اصلی پذیرش اینترنت اشیاء در کشاورزی هستند. در شرایط کشور ایران نیز مطالعات داخلی بر وجود موانع متعدد از جمله کوچک‌مقیاس بودن واحدهای تولیدی، ضعف مهارت نیروی انسانی، عدم توان مالی کشاورزان و عدم توسعه زیرساخت‌های ارتباطی تأکید دارند (Abbasi et al., 2020; Bagheri & Bordbar, 2014; Nikrooz, 2020).

در سال‌های اخیر و علی‌رغم توجه گسترده به موانع کلی فناوری‌های هوشمند در کشاورزی، شکاف پژوهشی آشکاری در خصوص شناسایی، تحلیل و اولویت‌بندی یکپارچه چالش‌های اختصاصی پیاده‌سازی اینترنت اشیاء در حیطه مدیریت آب کشاورزی در ایران وجود دارد. اهمیت این شکاف به‌ویژه در استان‌های بحرانی از نظر منابع آبی مانند کرمانشاه دوچندان است؛ استانی که معیشت بخش بزرگی از مردم آن به کشاورزی وابسته بوده و همچون سایر نقاط کشور با چالش راندمان پایین آبیاری روبه‌رو است.استان کرمانشاه همچنان در معرض کم‌آبی انباشته و خشکسالی‌های پیاپی قرار دارد. داده‌های سال آبی ۱۴۰۳–۱۴۰۴ نشان می‌دهد که بارش‌ها حدود ۳۶ درصد کمتر از میانگین بلندمدت بوده است. در این میان، بخش کشاورزی که حدود ۳۰ درصد اشتغال و قطب اصلی اقتصاد استان را تشکیل می‌دهد، با مصرف ۸۵ تا ۹۰ درصد از منابع آبی، تنها سهمی حدود ۳/۸ درصد در تولید ناخالص داخلی استان دارد. افزون بر این، راندمان آبیاری در کرمانشاه تنها ۳۰ تا ۳۵ درصد برآورد شده که بیانگر هدررفت گسترده آب در کنار فشار ناشی از کاهش بارندگی‌ها است. این شرایط «بحران دوگانه آب» را رقم زده است؛ بحرانی که هم ناشی از تغییرات اقلیمی و هم ناشی از شیوه‌های ناکارآمد مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب است. بنابراین، هدف اصلی این مطالعه، پرکردن این خلأ دانشی است. پژوهش حاضر با تمرکز بر استان کرمانشاه، در پی شناسایی و اعتبارسنجی ساختار عاملی چالش‌های پیش‌روی پیاده‌سازی اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی است. دستیابی به این هدف، نه‌تنها چارچوبی نظری برای درک چندبعدی این موانع ارائه می‌دهد، بلکه مبنایی برای تدوین راهبردهای عملیاتی و سیاست‌های مؤثر جهت تسهیل پذیرش این فناوری حیاتی در کشور فراهم خواهد کرد.

پیشینهٔ پژوهش

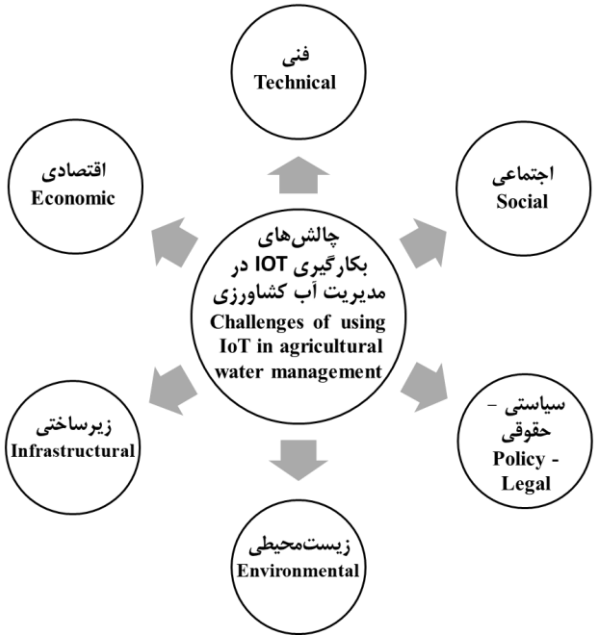
چالش‌های پذیرش اینترنت اشیاء در کشاورزی: دیدگاه بین‌المللی

مطالعات تجربی در سطح جهان نشان‌دهنده طیف گسترده‌ای از موانع پذیرش اینترنت اشیاء در بخش کشاورزی است که می‌توان آن‌ها را در چند محور اصلی دسته‌بندی نمود:

۱. چالش‌های زیرساختی: این دسته شامل متغیرهایی نظیر مشکلات شبکه، تأخیر در انتقال داده‌ها، مصرف انرژی، مقیاس‌پذیری و ضعف پوشش اینترنت در مناطق روستایی است (Hundal et al., 2023). همچنین حجم بالای داده‌ها، مشکل ذخیره‌سازی و قابلیت یکپارچه‌سازی سامانه‌های ناهمگن (Hundal et al., 2023; Narwane et al., 2022) در کنار آسیب‌پذیری تجهیزات در برابر شرایط محیطی از دیگر موانع فنی مهم هستند (M. R. M. Kassim, 2020; Tzounis et al., 2017).

۲. چالش‌های فنی: فقدان امنیت شبکه در برابر حملات، مشکلات شناسایی و احراز هویت و نگرانی‌های مربوط به حفظ حریم خصوصی و مالکیت داده‌ها از موانع عمده اعتمادسازی و رعایت حریم خصوصی به شمار می‌روند (Narwane et al., 2022; Sfar et al., 2018).

۳. چالش‌های اقتصادی: هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالا برای تهیه و نصب تجهیزات ، مهم‌ترین مانع اقتصادی است که به‌ویژه برای کشاورزان خرده‌پا به عامل بازدارنده تبدیل شده است.



شکل ۱. مدل مفهومی عاملی چالش‌های به‌کارگیری **IOT** در مدیریت آب کشاورزی.

Figure 1. Conceptual CFA model of the challenges to IoT adoption in agricultural water management.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ رویکرد در دسته تحقیقات کمی، از لحاظ هدف در دسته تحقیقات کاربردی و از لحاظ روش جمع‌آوری داده‌ها در دسته تحقیقات پیمایشی قرار دارد. جامعه آماری پژوهش، صاحب‌نظران و متخصصان حوزه فناوری اینترنت اشیاء، آب و کشاورزی شامل اعضای هیئت‌علمی دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی در استان کرمانشاه، مدیران و کارشناسان بخش‌های مختلف سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه، سازمان منابع طبیعی، شرکت آب منطقه‌ای، اداره کل ارتباطات و فناوری اطلاعات در استان کرمانشاه و همچنین کارشناسان بخش خصوصی مرتبط با موضوع تحقیق بودند. حجم نمونه مورد مطالعه به روش کوهن و بر اساس معیارهای توان آماری ۰/۸۰، سطح خطای پذیرش ۰/۰۵، میزان اندازه اثر ۰/۱ و لحاظ کردن ۳۷ عدد نشانگر و ۶ سازه یا متغیر پنهان برابر با ۱۶۱ مورد برآورد شد. لازم به توضیح است این حجم بر اساس جدول مورگان و برای جامعه معادل ۲۵۰ نفر (کل جامعه کارشناسان و نخبگان این حوزه در استان کرمانشاه)

نیز برابر ۱۴۸ نفر بود که در این مطالعه در نهایت ۱۵۱ پرسشنامه صحیح استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت. انتخاب نمونه‌ها نیز به روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انجام گرفت. معیار انتخاب نمونه‌ها در این بخش سابقه‌ی انجام فعالیت علمی، تحقیقی و اجرایی درزمینه‌ی کشاورزی، آب و کاربرد فناوری‌های اینترنت اشیاء در بخش کشاورزی بود. ابزار جمع‌آوری داده‌ها پرسشنامه بود. پرسشنامه اولیه پژوهش از طریق مرور گسترده مطالعات مرتبط تدوین شد. برای افزایش پوشش جستجو، ترکیبی از کلمات کلیدی مرتبط در پایگاه‌های معتبر بین‌المللی و داخلی مانند Scopus، Web of Science، Google Scholar و SID استفاده شد. این کلمات کلیدی شامل عبارت‌های اینترنت اشیاء، مدیریت آب کشاورزی، پذیرش فناوری، کشاورزی هوشمند و چالش‌ها و موانع بودند که هم به‌صورت مستقل و هم در ترکیب‌های مختلف به کار گرفته شدند تا حجم وسیعی از منابع مرتبط گردآوری شود. در این پرسشنامه چالش‌های پیاده‌سازی فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی در شش عامل اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، فنی، سیاستی و حقوقی و زیرساختی دسته‌بندی شدند (جدول ۱). برای سنجش گویه‌ها از مقیاس پنج‌درجه‌ای لیکرت استفاده شد. روایی پرسشنامه به روش روایی محتوایی و روایی تشخیصی ارزیابی شد. روایی محتوایی با استفاده از نظرات اعضای هیئت‌علمی گروه مدیریت و توسعه کشاورزی دانشگاه تهران و تعدادی از کارشناسان خبره مرتبط با موضوع مورد تأیید قرار گرفت. روایی تشخیصی نیز با استفاده از میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE) تأیید شد. افزون بر این، برای ارزیابی پایایی پرسشنامه از ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی استفاده شد که مقادیر این ضریب برای سازه‌های شش‌گانه مورد بررسی در این مطالعه بیشتر از حد قابل قبول (۰/۷) بود. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات، علاوه بر آمارهای توصیفی (فراوانی، درصد، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات) از تحلیل عاملی تأییدی به روش حداقل مربعات جزئی استفاده شد. پردازش داده‌ها و برآورد پارامترهای مدل با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS26 و Smart PLS3 انجام شد.

جدول ۱. سازه‌ها و نشانگرهای مورد مطالعه و نماد و مقادیر ضرایب آلفای کرونباخ آنها.

Table 1. The study concepts, indicators, their symbols and Cronbach's alpha coefficients.

سازه Concept	نشانگر Indicator	نماد Symbol	آلفای کرونباخ Cronbach's alpha
اجتماعی (Social)	کمبود سطح آگاهی، دانش و سواد کشاورزان Low levels of farmers' awareness, knowledge, and literacy	SOC1	0.854
	ساختار سنتی و معیشتی جامعه کشاورزی Traditional and subsistence-based structure of the farming community	SOC2	
	امکان سرقت تجهیزات مستقرشده در مزارع Risk of theft of equipment installed in fields	SOC3	
	ضعف دسترسی به شبکه اینترنت در مناطق روستایی Poor internet connectivity in rural areas	SOC4	
	عدم تمایل کشاورزان به مشارکت در پروژه‌های نوآورانه Farmers' reluctance to participate in innovative projects	SOC5	
	کمبود آموزش‌های تخصصی برای کشاورزان Lack of specialized training programs for farmers	SOC6	
اقتصادی (Economic)	محدودیت‌های مربوط به دسترسی به منابع یا نهاده‌ها و سرمایه لازم Constraints in accessing necessary resources, inputs, and capital	ECO1	0.868
	کوچک‌مقیاس بودن و پراکندگی واحدهای بهره‌برداری کشاورزی Small-scale and fragmented nature of farming units	ECO2	
	دسترسی محدود به تجهیزات و حسگرهای اینترنت اشیاء Limited access to IoT equipment and sensors	ECO3	
	عدم دسترسی یا دسترسی محدود کشاورزان به تسهیلات اعتباری Limited or no access by farmers to credit facilities	ECO4	
	پایین بودن اعتماد به داده‌های اینترنت اشیاء Low trust in IoT-generated data	ECO5	
	عدم حمایت بیمه‌ای از ریسک استفاده از فناوری Lack of insurance support for technology-related risk	ECO6	

سازه Concept	نشانگر Indicator	نماد Symbol	آلفای کرونباخ Cronbach's alpha
	کمبود سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء Low investment in R&D of IoT-based technologies	ECO7	
زیست‌محیطی Environme) (ntal	تأثیرات منفی تجهیزات IoT بر محیط‌زیست Negative environmental impacts of IoT equipment	ENV1	0.716
	افزایش مصرف انرژی به دلیل استفاده از حسگرها Increased energy consumption due to sensor usage	ENV2	
	آلودگی ناشی از تولید و دفع تجهیزات الکترونیکی Pollution from the production and disposal of electronic equipment	ENV3	
فنی (Technical)	مقیاس‌پذیری پایین فناوری‌های اینترنت اشیاء در بخش کشاورزی Low scalability of IoT technologies in the agriculture sector	TEC1	0.896
	بالا بودن حجم داده‌ها و نیاز به سیستم‌های پردازش قوی High volume of data and the need for robust processing systems	TEC2	
	آسیب‌پذیری تجهیزات از عوامل محیطی (مانند رطوبت، گرما و سرما) Vulnerability of equipment to environmental factors	TEC3	
	پیچیدگی فنی راه‌اندازی و نگهداری فناوری‌های اینترنت اشیاء Technical complexity in deploying and maintaining IoT	TEC4	
	عدم سازگاری فناوری‌های موجود با شرایط آب و هوایی منطقه Lack of adoption of existing technologies with local conditions	TEC5	
	مشکل تأمین انرژی مورد نیاز برای به‌کارگیری این فناوری‌ها در مزارع Difficulty in supplying the energy required to deploy IOT in fields	TEC6	
	عدم تناسب فناوری با توان فنی و مالی کشاورزان Mismatch between technology and farmers' capacity	TEC7	
	ضعف پایگاه داده‌های کشاورزی Weak agricultural databases	TEC8	
زیرساختی Infrastructu) (ral	عدم توسعه زیرساخت‌ها و بسترهای ارتباطاتی و اطلاعاتی Lack of communication and information infrastructure	INF1	0.790
	ضعف مهارتی در ارائه خدمات فناوری‌های هوشمند Inadequate skills in providing smart technology services	INF2	
	فقدان حریم خصوصی و امنیت داده‌ها Lack of data privacy and security	INF3	
	عدم تمرکز سیستم‌های اینترنت اشیاء بر بهبود مدیریت آب Lack of IoT systems' focus on improving water management	INF4	
	عدم وجود سیستم‌های پشتیبانی فنی محلی Absence of local technical support systems	INF5	
	فقدان مزارع نمونه و نمایشی اینترنت اشیاء Lack of IoT demonstration and pilot farms	INF6	
سیاستی و حقوقی Policy and) (Legal	عدم هم‌سویی نظام برنامه‌ریزی کشاورزی با فناوری‌های اینترنت اشیاء Disconnect between agricultural planning systems and IoT	POL1	0.947
	عدم وجود برنامه ملی جامع برای توسعه رویکرد کشاورزی هوشمند Lack of a comprehensive national plan for developing smart agriculture	POL2	
	خلاء قانونی در پذیرش مسئولیت و پیامدهای ناشی از خطاهای اینترنت اشیاء Legal vacuum in accepting responsibility of IoT errors	POL3	
	فقدان سیاست یکپارچه برای به‌کارگیری تجهیزات و فناوری‌های IoT Lack of an integrated policy for deploying IoT	POL4	
	عدم وجود استانداردهای مناسب برای بررسی کیفیت فناوری‌های اینترنت اشیاء Absence of appropriate standards for assessing the quality of IoT	POL5	
	نبود قوانین حمایتی برای مالکیت داده‌های تولیدشده توسط اینترنت اشیاء Lack of supportive laws for ownership of data generated by IoT	POL6	
	عدم هماهنگی بین سازمان‌های دولتی و بخش خصوصی Poor coordination between government and NG organizations	POL7	

یافته‌های پژوهش

ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای کارشناسان

یافته‌های پژوهش در رابطه با ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای کارشناسان نشان داد که ۸۳/۴ درصد مرد و ۱۶/۶ درصد زن بودند. از نظر سطح تحصیلات، ۳۵/۱ درصد دارای مدرک کارشناسی، ۳۲/۴ درصد دارای مدرک کارشناسی ارشد و ۳۲/۴ درصد دارای تحصیلات دکتری بودند. از نظر موقعیت شغلی، ۴۷/۷ درصد پاسخگویان از بین کارشناسان جهاد کشاورزی، ۲۵/۸ درصد بخش خصوصی، ۱۹/۹ درصد اعضای هیئت‌علمی دانشگاه و ۶/۶ درصد از بین اعضای هیئت‌علمی مراکز تحقیقات کشاورزی بودند. میانگین تعداد سال‌های فعالیت در بخش کشاورزی و تعداد سال‌های فعالیت در حوزه اینترنت اشیاء این افراد به ترتیب ۱۶/۶ و ۲/۰۹ سال بود. همچنین، ۲۳/۸ درصد افراد تجربه استفاده از فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء را داشتند.

چالش‌های به‌کارگیری اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی

در این مطالعه، به منظور بررسی اجماع نظر کارشناسان در خصوص چالش‌های به‌کارگیری فناوری‌های اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی از ضریب تغییرات استفاده شد. بر اساس نتایج (جدول ۲)، فقدان مزارع نمونه و نمایشی اینترنت اشیاء (۰/۱۱۱) در زیر گروه زیرساختی؛ عدم تناسب فناوری با توان فنی و مالی کشاورزان (۰/۱۱۱) در زیر گروه چالش‌های فنی؛ کمبود سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء (۰/۱۲۹) در زیر گروه چالش‌های اقتصادی؛ کمبود آموزش‌های تخصصی برای کشاورزان (۰/۱۵۹) در زیر گروه چالش‌های اجتماعی؛ عدم هم‌سویی نظام برنامه‌ریزی کشاورزی با فناوری‌های اینترنت اشیاء (۰/۲) در زیر گروه سیاستی و حقوقیو افزایش مصرف انرژی به دلیل استفاده از حسگرها (۰/۳۴۷) در زیر گروه محیط زیستی به ترتیب چالش‌هایی هستند که کارشناسان مورد مطالعه بیشترین اجماع نظر را حول آن‌ها داشته‌اند. اولویت‌های ارائه شده در این جدول حکایت از ضرورت مداخلات حمایتی دولت در جهت تسهیل دسترسی کشاورزان به فناوری‌های نوین، اهمیت ارتقای زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و بازنگری در نظام‌های تأمین مالی دارند. همچنین، کمبود آموزش‌های تخصصی برای کشاورزان و فقدان شرکت‌های مشاوره‌ای ارائه‌دهندهٔ خدمات اینترنت اشیاء به‌عنوان چالش‌های آموزشی و پشتیبانی، ضعف دانش کاربردی و کمبود ظرفیت کارشناسی را در این حوزه نمایان می‌سازند. کمبود سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه تجهیزات هوشمند مدیریت آب، نیاز به حمایت مالی پایدار را برای توسعه فناوری‌های بومی و سازگار با شرایط محلی برجسته می‌کند. سایر موانع شناسایی‌شده شامل ضعف پایگاه داده‌های یکپارچه کشاورزی، کمبود نیروی انسانی متخصص، فقدان مزارع نمایشی و نبود سیستم‌های پشتیبانی فنی محلی نیز نشان دهنده لزوم توسعه زیرساخت‌های اطلاعاتی و ظرفیت‌سازی انسانی است. چالش‌های با اولویت پایین‌تر، شامل مسائل زیست‌محیطی، قانونی و حقوقی، همچون نبود چارچوب‌های شفاف مالکیت داده، کمبود مراکز داده‌ای امن و ملاحظات مربوط به پایداری اکولوژیکی، هرچند مهم هستند، اما به عقیده کارشناسان در مراحل اولیه استقرار فناوری از اولویت پایین‌تری برخوردارند.

جدول ۲. نتایج رتبه‌بندی چالش‌های به‌کارگیری اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی براساس نظر کارشناسان.

Table 2. The results of ranking challenges of uing IOT in agricultural water management based on experts' opinions.

گروه Group	چالش‌ها Challenges	میانگین Mean	انحراف معیار SD	ضریب تغییرات CV	رتبه Rank
اجتماعی Social	کمبود سطح آگاهی، دانش و سواد کشاورزان Low levels of farmers' awareness, knowledge, and literacy	4.29	1.03	0.240	4
	ساختار سنتی و معیشتی جامعه کشاورزی Traditional and subsistence-based structure of the farming community	4.31	1.01	0.234	3
	امکان سرقت تجهیزات مستقرشده در مزارع Risk of theft of equipment installed in fields	3.75	1.25	0.333	5
	ضعف دسترسی به شبکه اینترنت در مناطق روستایی Poor internet connectivity in rural areas	3.28	1.17	0.357	6
	عدم تمایل کشاورزان به مشارکت در پروژه‌های نوآورانه Farmers' reluctance to participate in innovative projects	4.27	0.95	0.222	2
	کمبود آموزش‌های تخصصی برای کشاورزان Lack of specialized training programs for farmers	3.95	0.63	0.159	1
اقتصادی Economic	محدودیت‌های مربوط به دسترسی به منابع یا نهاده‌ها و سرمایه لازم Constraints in accessing necessary resources, inputs, and capital	3.93	0.99	0.252	4
	کوچک‌مقیاس بودن و پراکندگی واحدهای بهره‌برداری کشاورزی Small-scale and fragmented nature of farming units	4.31	0.94	0.218	3
	دسترسی محدود به تجهیزات و حسگرهای اینترنت اشیاء Limited access to IoT equipment and sensors	3.06	1.09	0.356	7
	عدم دسترسی یا دسترسی محدود کشاورزان به تسهیلات اعتباری Limited or no access by farmers to credit facilities	4.45	0.63	0.142	2
	پایین بودن اعتماد به داده‌های اینترنت اشیاء Low trust in IoT-generated data	3.15	0.91	0.289	6
	عدم حمایت بیمه‌ای از ریسک استفاده از فناوری Lack of insurance support for technology-related risk	3.91	1	0.256	5
	کمبود سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء Low investment in R&D of IoT-based technologies	4.43	0.57	0.129	1
محیط زیستی Environmental	تأثیرات منفی تجهیزات اینترنت اشیاء بر محیط‌زیست Negative environmental impacts of IoT equipment	1.66	1.06	0.639	2
	افزایش مصرف انرژی به دلیل استفاده از حسگرها Increased energy consumption due to sensor usage	2.68	0.93	0.347	1
	آلودگی ناشی از تولید و دفع تجهیزات الکترونیکی Pollution of disposal of electronic equipment production	1.78	1.45	0.815	3
فنی Technical	مقیاس‌پذیری پایین فناوری‌های اینترنت اشیاء در بخش کشاورزی Low scalability of IoT technologies in the agriculture sector	4.06	1.08	0.266	6
	بالا بودن حجم داده‌ها و نیاز به سیستم‌های پردازش قوی High volume of data and the need for robust processing systems	4.2	0.61	0.145	2
	آسیب‌پذیری تجهیزات از عوامل محیطی (مانند رطوبت، گرما و سرما) Vulnerability of equipment to environmental factors	3.44	1.07	0.311	7
	پیچیدگی فنی راه‌اندازی و نگهداری فناوری‌های اینترنت اشیاء Technical complexity in deploying and maintaining IoT	4.06	1.01	0.249	5

	عدم سازگاری فناوری‌های موجود با شرایط آب و هوایی منطقه Lack of adoption of existing technologies with local conditions	3.3	1.09	0.330	8
	مشکل تأمین انرژی مورد نیاز برای به‌کارگیری این فناوری‌ها در مزارع Difficulty in supplying the energy required to deploy IOT in fields	3.85	0.9	0.234	4
	عدم تناسب فناوری با توان فنی و مالی کشاورزان Mismatch between technology and farmers' capacity	4.4	0.49	0.111	1
	ضعف پایگاه داده‌های کشاورزی Weak agricultural databases	4.13	0.74	0.179	3
زیرساختی Infrastructural	عدم توسعه زیرساخت‌ها و بسترهای ارتباطاتی و اطلاعاتی Lack of communication and information infrastructure	2.8	0.99	0.354	5
	ضعف مهارتی در ارائه خدمات فناوری‌های هوشمند Inadequate skills in providing smart technology services	4.35	0.8	0.184	3
	فقدان حریم خصوصی و امنیت داده‌ها Lack of data privacy and security	2.72	0.98	0.360	6
	عدم تمرکز سیستم‌های اینترنت اشیاء بر بهبود مدیریت آب Lack of IoT systems' focus on improving water manageme	3.87	1.21	0.313	4
	عدم وجود سیستم‌های پشتیبانی فنی محلی Absence of local technical support systems	4.4	0.77	0.175	2
	فقدان مزارع نمونه و نمایشی اینترنت اشیاء Lack of IoT demonstration and pilot farms	4.59	0.51	0.111	1
سیاستی و حقوقی Policy and Legal	عدم هم‌سویی نظام برنامه‌ریزی کشاورزی با فناوری‌های اینترنت اشیاء Disconnect between agricultural planning systems and IoT	4.4	0.88	0.200	1
	عدم وجود برنامه ملی جامع برای توسعه رویکرد کشاورزی هوشمند Lack of a comprehensive national plan for developing smart agriculture	4.33	0.9	0.208	2
	خلاء قانونی در پذیرش مسئولیت و پیامدهای ناشی از خطاهای اینترنت اشیاء Legal vacuum in accepting responsibility of IoT errors	3.88	1.05	0.271	3
	فقدان سیاست یکپارچه برای به‌کارگیری تجهیزات و فناوری‌های اینترنت اشیاء Lack of an integrated policy for deploying IoT	3.15	1.07	0.340	4
	عدم وجود استانداردهای مناسب برای بررسی کیفیت فناوری‌های اینترنت اشیاء Absence of appropriate standards for assessing the quality of IoT	3.07	1.2	0.391	5
	نبود قوانین حمایتی برای مالکیت داده‌های تولیدشده توسط اینترنت اشیاء Lack of supportive laws for ownership of data generated by IoT	3.1	1.37	0.442	6
	عدم هماهنگی بین سازمان‌های دولتی و بخش خصوصی Poor coordination between government and NG organizations	2.89	1.35	0.467	7

ساختار عاملی چالش‌های پیاده‌سازی اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی

برای شناسایی و تحلیل ساختار عاملی چالش‌های پیاده‌سازی فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی در این مطالعه از روش تحلیل عاملی تأییدی در محیط نرم افزار SmartPLS استفاده شد. از آنجا که قبل از

تحلیل نتایج لازم است از اعتبار مدل برازش یافته اطمینان حاصل شود، در ادامه ابتدا به ارزیابی برازندگی دو بخش اندازه‌گیری و ساختاری مدل پرداخته و سپس نتایج تفسیر و تحلیل خواهند شد.

ارزیابی برازندگی مدل

نتایج ارزیابی بخش اندازه‌گیری مدل در جدول (۳) ارائه شده است. از آنجا که مقادیر بارهای عاملی برای اغلب نشانگرهای ذیل هر شش مؤلفه، بالاتر از ۰/۷ و مقادیر آماره t نیز بالاتر از ۲/۳۳ است، تمامی نشانگرهای انتخاب شده از نظر آماری مناسب بوده‌اند. همچنین چون مقدار شاخص AVE برای همه مؤلفه‌ها بالاتر از ۰/۵ است نشانگرهای دارای بار عاملی بین ۰/۵ تا ۰/۷ نیز از نظر آماری قابل قبول هستند و مدل‌های اندازه‌گیری از روایی همگرا برخوردار هستند. مقادیر CR بزرگتر از ۰/۷ نیز نشان‌دهنده پایایی قابل قبول مدل‌های اندازه‌گیری است.

جدول ۳. نتایج برازش بخش‌های اندازه‌گیری و ساختاری مدل تحلیل عاملی تاییدی فرض شده.

Table 3. Fit indices of the measurement and structural models for the hypothesized CFA model.

سازه Concept	نماد Symbol	بار عاملی Factor Loading	آماره t t-Statistic	AVE	CR	ضریب مسیر Path Coefficient	آماره t t-Statistic
اجتماعی (Social)	SOC1	0.643	6.295	0.569	0.886	0.800	39.608
	SOC2	0.666	6.739				
	SOC3	0.881	26.539				
	SOC4	0.726	8.520				
	SOC5	0.863	27.663				
	SOC6	0.714	11.880				
اقتصادی (Economic)	ECO1	0.754	9.802	0.570	0.899	0.895	58.571
	ECO2	0.529	6.281				
	ECO3	0.951	92.785				
	ECO4	0.926	47.244				
	ECO5	0.774	25.856				
	ECO6	0.552	6.380				
	ECO7	0.694	6.415				
زیست‌محیطی (Environmental)	ENV1	0.856	17.094	0.633	0.837	0.508	7.621
	ENV2	0.671	9.145				
	ENV3	0.847	19.890				
فنی (Technical)	TEC1	0.647	9.399	0.589	0.918	0.879	38.398
	TEC2	0.568	7.514				
	TEC3	0.829	31.191				
	TEC4	0.891	36.019				
	TEC5	0.815	22.939				
	TEC6	0.868	36.747				
	TEC7	0.833	22.847				
	TEC8	0.616	12.562				
زیرساختی (Infrastructural)	INF1	0.621	8.082	0.499	0.852	0.778	21.231
	INF2	0.908	46.774				
	INF3	0.864	34.990				
	INF4	0.622	10.722				
	INF5	0.578	6.300				
	INF6	0.563	5.644				
سیاستی و حقوقی (Policy and Legal)	POL1	0.829	29.943	0.759	0.956	0.806	18.805
	POL2	0.842	40.516				
	POL3	0.907	34.060				
	POL4	0.829	26.525				
	POL5	0.930	62.397				
	POL6	0.912	88.334				
	POL7	0.841	33.720				

برای سنجش روایی واگرا در روش‌های مبتنی بر حداقل مربعات جزئی می‌توان از ماتریس فورنل و لارکر استفاده نمود. مقادیر موجود روی قطر اصلی این ماتریس (جدول ۴) از تمامی مقادیر موجود در ستون مربوط به آن بزرگتر است. بنابراین، مدل از روایی واگرای خوبی نیز برخوردار است. پایین‌تر بودن مقادیر موجود در ماتریس ویژگی تک خصیصه‌ای به چند خصیصه‌ای (HTMT) از مقدار ۰/۹ (جدول ۵) نیز تأییدی بر همین موضوع بوده نشان دهنده قدرت تفکیک پذیری مناسب سازه‌های مدل است.

جدول ٤. ماتریس فورنل و لارکر برای سنجش روایی واگرای مدل عاملی فرض شده.

Table 4. Fornell-Larcker matrix for assessing discriminant validity of the hypothesized factor model studied.

	اجتماعی Social	اقتصادی Economic	زیرساختی Infrastructural	زیست‌محیطی Environmental	سیاستی و حقوقی Policy and Legal	فنی Technical
تماعی Social	0.768	–	–	–	–	–
اقتصادی Economic	0.754	0.755	–	–	–	–
زیرساختی Infrastructural	0.615	0.634	0.706	–	–	–
زیست‌محیطی Environmental	0.402	0.339	0.219	0.796	–	–
سیاستی و حقوقی Policy and Legal	0.511	0.504	0.657	0.537	0.871	–
فنی Technical	0.642	0.751	0.570	0.312	0.547	0.768

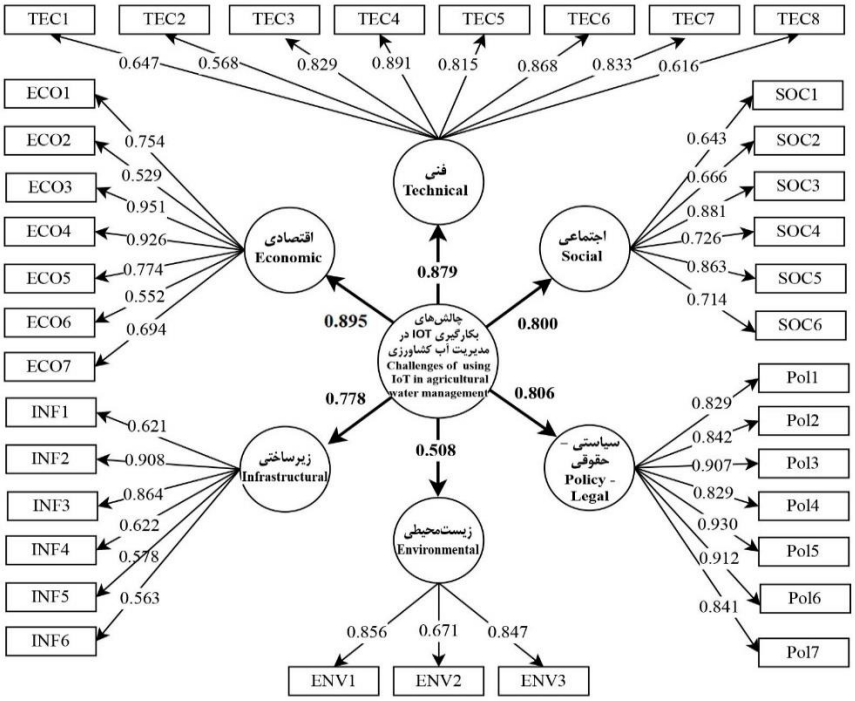
جدول ۵. ماتریس HTMT برای سنجش روایی واگرای مدل عاملی فرض شده.

Table 5. HTMT matrix for assessing discriminant validity of the hypothesized factor model

سازه Concept	اجتماعی Social	اقتصادی Economic	زیرساختی Infrastructural	زیست‌محیطی Environmental	سیاستی و حقوقی Policy and Legal	فنی Technical
اجتماعی Social	–	–	–	–	–	–
اقتصادی Economic	0.794	–	–	–	–	–
زیرساختی Infrastructural	0.717	0.729	–	–	–	–
زیست‌محیطی Environmental	0.547	0.420	0.369	–	–	–
سیاستی و حقوقی Policy and Legal	0.508	0.527	0.729	0.609	–	–
فنی Technical	0.639	0.887	0.636	0.373	0.571	–

پس از تأیید روایی و پایایی مدل اندازه‌گیری، لازم است تا کیفیت بخش ساختاری مدل (ساختار عاملی فرض‌شده برای چالش‌ها در این مطالعه) نیز ارزیابی شود. این کار در درجه اول مستلزم ارزیابی کیفیت ضرایب مسیر میان سازه اصلی (چالش‌های به‌کارگیری اینترنت اشیاء برای مدیریت آب در بخش کشاورزی) و زیرسازه‌ها (مؤلفه‌های شش‌گانه شناسایی شده در این مطالعه) و میزان پشتیبانی داده‌ها از ساختار عاملی فرض‌شده است. با توجه به این که تمامی ضرایب مسیر از نظر آماری در سطح احتمال خطای ۰/۰۱ درصد (سطح اطمینان ۹۹ درصد) معنادار هستند (مقادیر آماره t برای همه مسیرها از مقدار بحرانی ۲/۳۳ بیشتر است)، ساختارعاملی فرض‌شده در مدل مفهومی ارائه شده در تصویر (۱) برای انواع مختلف چالش‌های به‌کارگیری فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی به‌طور تجربی تأیید شده و از پشتوانه آماری کافی برخوردار است.

اکنون و پس از ارزیابی برازندگی مدل ساختاری، می‌توان به تفسیر دقیق‌تر نتایج پرداخت. یافته‌های حاصل از تحلیل عاملی تأییدی نشان داد که چالش‌های اقتصادی با ضریب مسیر ۰/۸۹۵ بیشترین میزان از کل واریانس چالش‌های استقرار فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء را در مدیریت آب کشاورزی در استان کرمانشاه تبیین می‌نماید. این یافته بیانگر آن است که محدودیت منابع مالی، ضعف در دسترسی به تجهیزات و حسگرهای هوشمند و کمبود حمایت‌های اعتباری از عوامل اصلی کندی پیاده‌سازی این فناوری‌ها محسوب می‌شوند. پس از آن، دومین اولویت چالش‌های پیاده‌سازی فناوری‌های اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی، به بعد فنی اختصاص دارد. سازه فنی با ضریب مسیر ۰/۸۷۹ به عنوان دومین مانع شناسایی شد. از جمله چالش‌های کلیدی در این حوزه می‌توان به پیچیدگی فنی، آسیب‌پذیری تجهیزات در برابر عوامل محیطی، عدم سازگاری اقلیمی و مشکل تأمین انرژی مورد نیاز برای کاربست این فناوری‌ها اشاره کرد. چالش‌های سیاستی و حقوقی با ضریب ۰/۸۰۶ در رتبه سوم قرار گرفتند که بیانگر ضعف در وجود استانداردهای کیفیت، نبود حمایت قانونی از مالکیت داده‌ها و ابهام در مسئولیت‌های فنی است که خود تدوین چارچوب‌های حکمرانی شفاف و مقررات تنظیم‌گرانه را ضروری می‌سازد. در جایگاه چهارم، چالش‌های اجتماعی با ضریب ۰/۸۰۰ قرار دارند و نشان می‌دهند که مقاومت فرهنگی، نگرانی‌های امنیتی و کمبود اعتماد عمومی مانع مشارکت مؤثر کشاورزان در پروژه‌های نوآورانه است. چالش‌های زیرساختی با ضریب ۰/۷۷۸ در رتبه پنجم قرار دارند و از ضعف در مهارت نیروی انسانی، امنیت داده‌ها و فقدان زیرساخت‌های فنی پشتیبان حکایت دارد. در نهایت، چالش‌های زیست‌محیطی با ضریب ۰/۵۰۸ چالشی است که در حال حاضر و با توجه به عدم گسترش به‌کارگیری فناوری‌های نوین چالشی جدی از نظر کارشناسان و خبرگان این حوزه در کوتاه مدت به شمار نمی‌روند، چرا که اثرات محیط زیستی فناوری‌های نوین خود را در بلندمدت نشان خواهند داد. با این وجود، این بدان مفهوم نیست که نباید از همین الان نگرانی درباره آلودگی ناشی از تجهیزات الکترونیکی و تأثیرات اکولوژیکی آن داشت. به‌طورکلی، نتایج این مطالعه نشان داد که رفع موانع اقتصادی، فنی و نهادی، در کنار تقویت زیرساخت و ارتقای آگاهی اجتماعی، پیش‌شرط اساسی برای توسعه مؤثر و پایدار فناوری‌های اینترنت اشیاء برای مدیریت آب در بخش کشاورزی است.



شکل۲. مقادیر بار عاملی و ضرایب مسیر مدل چالش‌های به‌کارگیری اینترنت اشیاءدر مدیریت آب کشاورزی.

Figure 2. Factor loadings and path coefficients of using IOT in agricultural water management.

بحث

پژوهش حاضر با هدف تحلیل چالش‌های پیاده‌سازی فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی در استان کرمانشاه انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد که پیاده‌سازی این فناوری‌ها مستلزم غلبه بر مجموعه‌ای از چالش‌های به‌هم‌پیوسته در سطوح اقتصادی، فنی، سیاستی و حقوقی، اجتماعی، زیرساختی و زیست‌محیطی است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل ضریب تغییرات، اغلب مؤلفه‌های اقتصادی در اولویت‌های بالای چالش‌های شناسایی‌شده قرار گرفتند. بر اساس نتایج، کمترین اولویت و رتبه مربوط به چالش عدم تناسب هزینه به‌کارگیری فناوری با توان مالی کشاورزان بود که بیانگر وجود اجماع نظر قابل‌توجه میان کارشناسان در خصوص محوری بودن این چالش است. یافته فوق با نتایج مدل تحلیل عاملی تأییدی نیز مطابقت دارد که در آن چالش‌های اقتصادی بیشترین مانع را در مسیر پیاده‌سازی این فناوری‌ها برای مدیریت آب کشاورزی ایجاد می‌کنند. این چالش، شکاف میان رویکرد سرمایه‌گذاری مبتنی بر فناوری و ساختار خرده‌مالکی معیشتی کشاورزان در کرمانشاه را به‌وضوح نمایان می‌سازد؛ جایی که کشاورزان عمدتاً در اراضی کوچک‌مقیاس، با حاشیه سود محدود و دسترسی اندک به منابع مالی لازم برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء فعالیت می‌کنند. نتایج این پژوهش از این نظر با مطالعات Jabbari et al. (۲۰۲٤) و Saptaji et al. (۲۰۲۵) هم‌راستاست. آن‌ها هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری را مانع اصلی استقرار فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی برشمرده‌اند. در ایران نیز مطالعات Sharifi and Mahdavi Damghani (۲۰۲۳) و Binaei et al. (۲۰۲٤) بر محدودیت دسترسی مالی و ناکارآمدی نظام اعتباری برای پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند در بخش کشاورزی تأکید داشته‌اند. این یافته مؤید آن است که در نبود ابزارهای تأمین مالی مناسب، سیاست‌های توسعه فناوری‌های مدیریت آب مبتنی بر اینترنت اشیاء به احتمال زیاد با شکست مواجه خواهد شد.

دومین اولویت چالش‌های پیاده‌سازی فناوری‌های مدیریت آب مبتنی بر اینترنت اشیاء، به بعد فنی اختصاص داشت. چالش حجم بالای داده‌ها و نیاز به پردازش قدرتمند با ضریب تغییرات بسیار پایین (رتبه دوم) و ضریب مسیر بالا در مدل ساختاری، اجماع کارشناسان بر حیاتی بودن چالش‌های فنی را نشان می‌دهد. فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء حجم عظیمی از داده‌های خام از حسگرهای رطوبت، دما و فشار تولید می‌کنند (Narwane et al., 2022; Saad et al., 2020)؛ بااین‌حال، در غیاب زیرساخت‌های پردازشی بومی نظیر مراکز داده، الگوریتم‌های تحلیلی و پلتفرم‌های تصمیم‌یار، این داده‌ها عملاً غیرقابل استفاده باقی می‌مانند. تأکید کارشناسان بر این عامل نشان می‌دهد که موفقیت استقرار فناوری‌های مدیریت آب مبتنی بر اینترنت اشیاء نه در نصب تجهیزات سخت‌افزاری، بلکه در تبدیل داده به دانش عملی نهفته است. این یافته با پژوهش‌های Saad et al. (2020)، Abdelmoneim et al. (۲۰۲۵) و García et al. (۲۰۲۰) مطابقت دارد که مدیریت کلان داده را پیشران اصلی استقرار فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی برشمرده‌اند. علاوه بر این، چالش‌های آسیب‌پذیری تجهیزات در برابر شرایط محیطی، عدم سازگاری با اقلیم‌های متنوع و کمبود دسترسی به منابع انرژی پایدار، چالش‌های فنی را بیشتر مورد تأکید قرار می‌دهند. همسو با یافته فوق، Tzounis et al. (۲۰۱۷) و García et al. (۲۰۲۰) نیز بر مقاوم‌سازی تجهیزات برای محیط‌های بیرونی تأکید کرده‌اند؛ لیکن در کرمانشاه که اغلب کشاورزان فاقد توانایی مالی لازم برای تعویض مکرر تجهیزات گران‌قیمت هستند، این مسئله از اهمیت بیشتری برخوردار است.

بر اساس ساختار عاملی تأیید شده، چالش‌های سیاستی–حقوقی، پس از ابعاد اقتصادی و فنی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند، هرچند که این شاخص‌های از نظر اتفاق نظر کارشناسان در جایگاه میانی دارند. این ناهماهنگی ظاهری را می‌توان به این صورت توضیح داد که اگرچه چالش‌های سیاستی–حقوقی آثار فوری و مشهودی ندارد، اما ریشه بسیاری از چالش‌ها در همین ناکارآمدی‌های ساختاری نهفته است. فقدان برنامه ملی یکپارچه برای کشاورزی هوشمند، ابهام در مالکیت داده‌ها و نبود استانداردهای تجهیزات، محیطی ناپایدار برای سرمایه‌گذاری و نوآوری ایجاد می‌کند. چالش‌هایی که در مطالعات García et al. (۲۰۲۰) و Khan et al. (2020).(۲۰۲۰) نیز مورد تأکید قرار گرفته‌اند. در سطح ملی، مطالعه Sharifi and

Mahdavi Damghani (۲۰۲۳) نیز شکاف میان سیاست‌های کلان و اجرای محلی را به‌عنوان یکی از موانع پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند در بخش کشاورزی مورد اشاره قرار داده است. این ناکارآمدی چارچوب‌های سیاستی–حقوقی می‌تواند به‌طور غیرمستقیم چالش‌های فنی و اقتصادی را تشدید کند. برای مثال، ابهام در قوانین مالکیت داده موجب خودداری شرکت‌های فناور از توسعه پلتفرم‌های محلی می‌شود؛ در عین حال، فقدان مشوق‌ها و پوشش بیمه‌ای تخصصی، کشاورزان را از پذیرش ریسک سرمایه‌گذاری در فناوری‌های هوشمند بازمی‌دارد (Binaei et al., 2024). بنابراین، اصلاح ساختارهای نهادی و تدوین سیاست‌های یکپارچه، پیش‌نیاز موفقیت سایر اقدامات است.

چالش‌های اجتماعی و فرهنگی نیز بر نقش محوری چالش‌های اجتماعی در پیاده‌سازی فناوری‌های مدیریت آب مبتنی بر اینترنت اشیاء در مدیریت آب دلالت دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که چالش‌های اجتماعی سهم زیادی در موفقیت استقرار این فناوری‌ها دارند. عدم اعتماد کشاورزان، فقدان آموزش‌های کاربردی و مقاومت فرهنگی در برابر فناوری از جمله مهم‌ترین چالش‌های اجتماعی بودند. همسو با نتایج پژوهش حاضر، مطالعات کشورهای درحال‌توسعه بر نقش اعتماد و آموزش در پذیرش فناوری تأکید کرده‌اند (Jayashankar et al., 2018; M. R. M. Kassim, 2020). در سطح ملی نیز یافته‌های Bagheri and Bordbar (۲۰۱٤).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بحران مدیریت آب در ایران، گذار از رویکردهای سنتی به سیستم‌های هوشمند و مبتنی بر داده در بخش کشاورزی را به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر تبدیل کرده است. مطالعه حاضر با هدف تحلیل چالش‌های پیاده‌سازی فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء در مدیریت آب کشاورزی استان کرمانشاه انجام شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که استقرار فناوری‌های مدیریت آب مبتنی بر اینترنت اشیاء، با مجموعه‌ای پیچیده از چالش‌ها در ابعاد اقتصادی، فنی، نهادی، اجتماعی، زیرساختی و زیست‌محیطی مواجه است که در صورت بی‌توجهی می‌تواند دستیابی به اهداف افزایش بهره‌وری آب، پایداری تولید و تاب‌آوری بخش کشاورزی را با مانع جدی روبه‌رو سازد. در رأس این چالش‌ها، محدودیت‌های اقتصادی نظیر عدم تناسب هزینه‌های فناوری با توان مالی کشاورزان، ضعف دسترسی به تسهیلات اعتباری و کمبود سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه قرار دارد. در مراحل بعد، چالش‌های فنی مانند حجم انبوه داده‌ها، نیاز به زیرساخت‌های پردازشی پیشرفته و آسیب‌پذیری تجهیزات در برابر شرایط محیطی، و همچنین مشکلات سیاستی و حقوقی از جمله نبود چارچوب‌های قانونی شفاف، فقدان برنامه ملی یکپارچه و ابهام در مالکیت داده‌ها، به‌عنوان موانع اصلی شناسایی شدند. این عوامل در کنار کمبودهای زیرساختی مانند ضعف پوشش شبکه و نبود پشتیبانی فنی محلی، محدودیت‌های اجتماعی و فرهنگی از جمله کمبود آگاهی و مقاومت کشاورزان در برابر تغییر و ملاحظات زیست‌محیطی، مجموعه موانعی را شکل می‌دهند که در صورت بی‌توجهی، نه‌تنها گذار به سامانه‌های هوشمند مدیریت آب را با شکست مواجه می‌سازد، بلکه می‌تواند شکاف میان عرضه و تقاضای آب را تشدید کرده و پایداری بلندمدت تولیدات کشاورزی، امنیت غذایی و معیشت کشاورزان را در معرض تهدید قرار دهد. بنابراین، موفقیت در این مسیر مستلزم رویکردی سیستمی و اجرای راهبردهای یکپارچه است که به‌طور همزمان موانع اقتصادی، الزامات فنی، بسترهای نهادی و فرهنگی–اجتماعی این تحول را مورد توجه قرار دهد.

بر اساس یافته‌های حاصل از این مطالعه، پیشنهادهای زیر به منظور تسهیل فرآیند استقرار فناوری‌های مدیریت آب مبتنی بر اینترنت اشیاء در استان کرمانشاه ارائه می‌شود:

الف) راهبردهای اقتصادی: با توجه به اهمیت چالش‌های اقتصادی، پیشنهاد می‌شود راهبردهای استقرار فناوری‌های مدیریت آب مبتنی بر اینترنت اشیاء در بخش کشاورزی در گام نخست بر کاهش ریسک‌های مالی و تقویت توان اقتصادی کشاورزان متمرکز شود. در این راستا، ارائه تسهیلات اعتباری بلندمدت و متناسب با جریان نقدینگی در بخش کشاورزی می‌تواند هزینه اولیه را برای کشاورزان قابل‌مدیریت کند. افزون بر این، پیاده‌سازی مدل‌های اجاره به شرط تملیک با حمایت وزارت جهاد کشاورزی برای تجهیزات مدیریت آب می‌تواند امکان دسترسی به فناوری را بدون نیاز به سرمایه‌گذاری کلان

فراهم آورد. ساماندهی بهره‌برداران در تشکل‌های مدیریت آب محلی برای تأمین، نصب و نگهداری مشترک تجهیزات از طریق مقیاس‌پذیری و اشتراک هزینه‌ها از دیگر اقداماتی است که می‌تواند فشار اقتصادی بر کشاورزان را کاهش دهد.

ب) راهبردهای فنی: مقابله با چالش‌های فنی مستلزم اتخاذ سه اقدام کلیدی به‌صورت هماهنگ است: نخست، توسعه و استقرار پلتفرم‌های بومی مدیریت داده و تصمیم‌یار که با الگوهای کشت و شرایط اقلیمی کرمانشاه سازگار باشند. این پلتفرم‌ها می‌توانند با بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوشمند، نیاز آبی محصولات غالب منطقه را پیش‌بینی و مدیریت آب را بهینه کنند. دوم، ایجاد مراکز پردازش محلی داده که وابستگی سامانه‌ها به اتصال اینترنت پایدار و پرسرعت را کاهش دهد. این مراکز قادر خواهند بود داده‌های حسگرها را در نزدیکی مزرعه پردازش کرده و دستورات ضروری را بدون تأخیر ارسال کنند. سوم، استقرار سامانه‌های خدمات فنی مشترک از طریق تعاونی‌های کشاورزی که پشتیبانی فنی مؤثری شامل نگهداری پیشگیرانه، تعمیرات سیار و مشاوره تخصصی را در دسترس کشاورزان قرار دهد.

ج) راهبردهای سیاستی و حقوقی: با توجه به ماهیت ریشه‌ای چالش‌های سیاستی و حقوقی که به‌عنوان بستر شکل‌گیری سایر موانع عمل می‌کنند، پیشنهاد می‌شود اقدامات سیاستی و حقوقی در سه محور هماهنگ و کلان متمرکز شود: نخست، تدوین سند راهبردی توسعه کشاورزی هوشمند استان کرمانشاه با محوریت مدیریت آب و با مشارکت تمام ذی‌نفعان. این سند باید به‌وضوح اهداف کمّی، نقش و مسئولیت نهادهای اجرایی (جهاد کشاورزی، آب منطقه‌ای، شرکت ارتباطات و فناوری اطلاعات)، منابع مالی و برنامه زمان‌بندی مرحله‌ای را مشخص کند. دوم، تصویب و ابلاغ آیین‌نامه جامع مدیریت داده‌های کشاورزی هوشمند برای رفع ابهامات حقوقی. این آیین‌نامه باید دربرگیرنده مواردی همچون تعریف مالکیت داده، ضوابط بهره‌برداری و دسترسی به داده، استانداردهای امنیت سایبری و حریم خصوصی کشاورزان باشد. سوم، استقرار نظام استاندارد و گواهی اجباری برای تجهیزات اینترنت اشیاء کشاورزی. این نظام باید با همکاری مؤسسه استاندارد ایران، کیفیت، دوام و سازگاری تجهیزات با شرایط محیطی ایران را تضمین کرده و ورود فناوری‌های فاقد گواهی را به بازار محدود سازد.

د) راهبردهای اجتماعی و فرهنگی: برای غلبه بر چالش‌های اجتماعی و فرهنگی، راهبرد اصلی باید بر ایجاد اعتماد و ارتقای دانش کشاورزان استوار باشد. در این راستا، پیشنهاد می‌شود اقدامات زیر به‌صورت توأم مورد توجه قرار گیرد: اول، ایجاد مزارع الگویی و نمایشی با مدیریت کشاورزان پیشرو. در این مزارع، سایر کشاورزان می‌توانند به‌صورت عینی، عملکرد فناوری، نحوه کار با آن و دستاوردهای اقتصادی آن را مشاهده کنند. دوم، ایجاد و تقویت تشکل‌های مدیریت آب نظیر تعاونی‌های تولید، تعاونی‌های آب‌بران و گروه‌های هم‌آب. این تشکل‌ها می‌توانند نقش محوری در خرید جمعی تجهیزات، مذاکره با شرکت‌های فناور، سازماندهی دوره‌های آموزشی و ایجاد صندوق‌های اعتباری برای پشتیبانی مالی اعضا ایفا کنند.

ه) راهبردهای زیرساختی: غلبه بر چالش‌های زیرساختی مستلزم به‌کارگیری راهکارهای متناسب با شرایط پراکندگی جغرافیایی مزارع کرمانشاه است. در این راستا، نخست لازم است اقدامات لازم در خصوص ارتقای پوشش ارتباطی در مناطق مختلف استان صورت گیرد. استفاده از فناوری‌های کم‌مصرف و برد بلند برای مزارع وسیع و دورافتاده و بهره‌گیری از شبکه‌های موبایل موجود برای مناطق اطراف شهرها از جمله این راهکارها است. دوم، تأمین انرژی پایدار برای تجهیزات میدانی. در این راستا، تسهیل دسترسی کشاورزان به سیستم‌های خورشیدی کوچک‌مقیاس با قیمت مناسب می‌تواند وابستگی به برق شبکه را از بین ببرد. سوم، توسعه مراکز ارائه‌دهنده خدمات فنی. یکی از راهکارها در این زمینه آموزش و به‌کارگیری جوانان محلی و تعمیرکاران موجود در مناطق مختلف استان است تا خدمات عیب‌یابی و تعمیر تجهیزات را به سرعت در محل مزرعه ارائه دهند.

و) راهبردهای نهادی و هماهنگی: هماهنگی و هدایت همه‌جانبه این اقدامات مستلزم ایجاد سازوکاری فرابخشی نظیر تأسیس کارگروه تخصصی هوشمندسازی آب کشاورزی با حضور نمایندگان دارای اختیار از کشاورزان پیشرو، سازمان جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه‌ای، اداره کل ارتباطات و فناوری اطلاعات، دانشگاه‌های استان و شرکت‌های فناور بخش خصوصی است. وظیفه این کارگروه، نظارت بر اجرای نقشه راه، رفع موانع بین‌دستگاهی، ارزیابی مستمر پروژه‌های پایلوت و ارائه گزارش‌های منظم به مقامات استانی و ملی خواهد بود.

REFERENCES

Abbasi, F., Zareei, G., Porhemmat, J., & Moemeni, D. (2020). Challenges and Solutions for Performance Improving in Greenhouses Danesh Bonyan-e-Novavar. (In Persian)

Abdelmoneim, A., Kimaita, H., Kalaany, C. A., Derardja, B., Dragonetti, G., & Khadra, R. (2025). IoT Sensing for Advanced Irrigation Management: A Systematic Review of Trends, Challenges, and Future Prospects. Sensors (Basel, Switzerland), 25. https://doi.org/10.3390/s25072291

Bagheri, N., & Bordbar, M. (2014). Identifying Challenges Facing Development of Precision Agriculture in Iran. Journal of Agricultural Extension and Education Research, 6(2), 97. (In Persian)

Barati, A. A., Asadi, A., Sardar Shahraki, H., Dehghani Pour, M., & Naroui Rad, M. R. (2025). Farmers' attitude and intention towards medicinal plants cultivation: experiences from semi-arid areas of Iran. Journal of Arid Environments, 231, 105465. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2025.105465

Barati, A. A., Pour, M. D., & Sardooei, M. A. (2023). Water crisis in Iran: A system dynamics approach on water, energy, food, land and climate (WEFLC) nexus. Science of The Total Environment, 882, 163549. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163549

Barati, A. A., Zandi Nezami, M. A., & Shabanali Fami ,H. (2024). Analysis of the Performance Gap in the Management of Agricultural Product Greenhouses in Tehran Province. Village and Development, 27(3), 133–164. https://doi.org/10.30490/rvt.2025.366870.1617 (In Persian)

Binaei, S., Shabanali Fami, H., Kalantari, K & ,Barati, A. A. (2024). Investigation of Developing Smart Agriculture in Greenhouses of Tehran Province. Journal of Agricultural Economics & Development, 37(4), 433–450. https://doi.org/10.22067/jead.2024.85975.1237

García, L., Parra, L., Jiménez, J., Lloret, J., & Lorenz, P. (2020). IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture. Sensors (Basel), 20(4), 1042. https://doi.org/10.3390/s20041042

Hosseini, S. E., Barati, A. A., Asadi, A., Bozorgi-Amiri, A., & Azadi, H. (2025). Smart agri-food supply chains during the 2020s: Mapping emerging trends, prevailing themes, and future directions. Sustainable Futures, 10, 101553. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101553

Hundal, G. S., Laux, C. M., Buckmaster, D., Sutton, M. J., & Langemeier, M. (2023). Exploring Barriers to the Adoption of Internet of Things-Based Precision Agriculture Practices. Agriculture, 13(1), 163. https://doi.org/10.3390/agriculture13010163

Jabbari, A., Teli, T. A., Masoodi, F., Reegu, F., Uddin, M., & Albakri, A. (2024). Prioritizing factors for the adoption of IoT-based smart irrigation in Saudi Arabia: a GRA/AHP approach. Frontiers in Agronomy. https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1335443

Jayashankar, P., Nilakanta, S., Johnston, W. J., Gill, P., & Burres, R. (2018). IoT adoption in agriculture: the role of trust, perceived value and risk. Journal of Business & Industrial Marketing, 33(6), 804–821.

Kassim, M. R. M. (2020, Nov. 2020). IoT Applications in Smart Agriculture: Issues and Challenges. 2020 IEEE Conference on Open Systems (ICOS).

Kassim, M. R. M. (2020, 17–19 Nov. 2020). IoT Applications in Smart Agriculture: Issues and Challenges. 2020 IEEE Conference on Open Systems (ICOS).

Khan, P. W., Byun, Y.-C., & Park, N. (2020). IoT-blockchain enabled optimized provenance system for food industry 4.0 using advanced deep learning. Sensors, 20(10), 290.

Kumar, V., Sharma, K. V., Kedam, N., Patel, A., Kate, T. R., & Rathnayake, U. (2024). A Comprehensive Review on Smart and Sustainable Agriculture Using IoT Technologies. Smart Agricultural Technology. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100487

Maroli, A., Narwane, V. S., & Gardas, B. B. (2021). Applications of IoT for achieving sustainability in agricultural sector: A comprehensive review. Journal of Environmental Management, 298, 113488. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113488

Narwane, V. S., Gunasekaran, A., & Gardas, B. B. (2022). Unlocking adoption challenges of IoT in Indian Agricultural and Food Supply Chain. Smart Agricultural Technology, 2, 100035. https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100035

Nikrooz, B. (2020). Internet of Things and its application in agriculture. Journal of Agricultural Information Science and Technology, 2(4), 11–19. https://doi.org/10.2209/۲AISTJ.2020.127826.1032

Nouri, M., Homaee, M., Pereira, L., & Bybordi, M. (2023). Water management dilemma in the agricultural sector of Iran: A review focusing on water governance. Agricultural Water Management. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108480

Parra-López, C., Abdallah, S. B., Garcia-Garcia, G., Hassoun, A., Trollman, H., Jagtap, S., Gupta, S., Aït-Kaddour, A., Makmuang, S., & Carmona-Torres, C. (2025). Digital technologies for water use and management in agriculture: Recent applications and future outlook. Agricultural Water Management. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109347

Pivoto, D. (2018). Smart farming: concepts, applications, adoption and diffusion in southern Brazil.

Saad, A., Benyamina, A., & Gamatie, A. (2020). Water Management in Agriculture: A Survey on Current Challenges and Technological Solutions. IEEE Access, 8, 38082–38097. https://doi.org/10.1109/access.2020.2974977

Saptaji, K., Tumada, A., Alfakihuddin, M. L. B., Wardani, D. A., Dewi, T. K., Junaisih, O .A., Fikri, M. R., & Achmad, M. S. H. (2025). Challenges in the Implementation of Internet of Things (IoT) in Irrigation and Fertilizer Management System in Indonesia. Jurnal Keteknikan Pertanian. https://doi.org/10.19028/jtep.013.2.265-283

Sfar, A. R ,.Natalizio, E., Challal, Y., & Chtourou, Z. (2018). A roadmap for security challenges in the Internet of Things. Digital Communications and Networks, 4(2), 118–137.

Sharifi, A., & Mahdavi Damghani, A. (2023). Evaluation of Modern Eco-based Technologies Application in the Agriculture and Natural Resource Management of Iran. Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 8(1), 1–16. https://doi.org/10.22047/srjasnr.2023.170636 (In Persian)

Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T & ,.Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. Biosystems Engineering, 164, 31–48. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007

Zheng, D. E., & Carter, W. A. (2015). Leveraging the internet of things for a more efficient and effective military. Rowman & Littlefield.