

Research Paper

Designing an Innovative Digital Agricultural Education Model to Improve Agricultural Productivity and Sustainability in Rural Areas of Iran

*B. Azizi*¹

Received: 12 February, 2025

Accepted: 23 April, 2025

Introduction: Over recent decades, digital agriculture has emerged as a key tool for enhancing productivity and sustainability in rural areas. This concept involves the use of technologies such as the Internet of Things (IoT), remote sensing, and machine learning to optimize resource consumption, increase productivity, and manage environmental sustainability. However, rural farmers face challenges in adopting these technologies due to infrastructure and information limitations. Digital agricultural education can play a significant role in empowering farmers and increasing their awareness of modern technologies. In this context, designing an innovative educational model that addresses the social, economic, and environmental dimensions of agriculture is essential. To be effective, such a model must incorporate accessible training methods, local language support, and real-time advisory services tailored to the specific needs of rural communities. It should also consider gender inclusivity, digital literacy, and community engagement to ensure widespread adoption. This research aimed at proposing an effective model for digital agricultural education to contribute to the sustainable productivity of agriculture in rural areas and improve the living standard of farmers. Furthermore, the study highlighted the importance of public-private partnerships and government support in scaling digital initiatives and bridging the digital gap in underserved farming regions.

Materials and Methods: This study utilized a mixed research method with an exploratory sequential approach to design an innovative digital agricultural education model focusing on social, economic, and environmental impacts. In the

1. Assistant Professor, Department of Agricultural Extension and Education, Tehran University of Applied Sciences, Tehran, Iran (IranBaharak_1615@yahoo.com).

qualitative phase, the required data were collected through semi-structured interviews with 16 managers from the Ministry of Agriculture-Jahad (MAJ) as well as agricultural education specialists and university professors. Data analysis was carried out in five stages: generating initial codes, searching for selective codes, forming sub-themes, and defining main themes. In total, 50 selective codes, 26 sub-themes, and 9 main themes/categories were identified. The validity of the findings was confirmed by interviewees, and their reliability was tested through retesting and comparing coding between two researchers. In the quantitative phase, the required data were collected through a questionnaire designed based on the results of the qualitative phase from a sample population consisting of agricultural education specialists, staff, and university professors. A cluster sampling method was used, and the sample size was determined to be 1960 people. The reliability of the questionnaires was confirmed using Cronbach's alpha. The data were analyzed using structural equation modeling to examine the relationships among the identified variables. The final model provided insights into the key drivers of effective digital agricultural education and could serve as a foundation for policy-making and curriculum development. The findings contributed to a better understanding of the factors affecting digital agricultural education and provided an innovative educational model that could be adapted to various rural contexts.

Results and Discussion: The study results showed that the innovative digital agricultural education model had a significant impact on improving productivity and sustainability in rural agriculture. In the qualitative phase, thematic analysis led to the identification of 9 main themes, including social sustainability, economic sustainability, environmental sustainability, digital innovations, education and empowerment, policy-making, technological infrastructure, synergies and partnerships, and research and development. In the quantitative phase, path coefficients showed that all independent variables had significantly positive impacts on the digital agricultural education model ($P < 0.05$). The highest impacts were related to the education and empowerment ($\beta = 0.813$) and the policy-making and strategy ($\beta = 0.817$). The R^2 value (0.585) and the overall model fit index (GOF=0.412) indicated a strong match between the model and the empirical data. In addition, the predictive relevance (Q^2) confirmed the model's predictive accuracy. The findings underscore the importance of educational, technological, and policy factors in the development of digital agriculture and emphasize the role of synergy between government, universities, and the private sector. These results can serve as a foundation for policy strategies and the design of digital educational programs in the field of sustainable agriculture.

Conclusion and Suggestions: The study findings indicated that the innovative digital agricultural education model, focusing on social, economic and environmental impacts, could be an effective solution for improving productivity and sustainability in the rural agriculture. The identification of the above-mentioned nine key themes/dimensions showed that combining these factors could facilitate the successful adoption and implementation of digital agricultural education. The findings also emphasized that technological infrastructure, supportive policies, and the development of farmers' digital skills would be essential components of this model. Furthermore, the role of digital innovations such as IoT and Artificial Intelligence (AI) in optimizing agricultural processes and enhancing productivity was confirmed. The consistency of this study's findings with previous research highlights the importance of policy strategies, technology development, and digital education in fostering sustainable agriculture. Therefore, it is recommended that policymakers and planners, considering these dimensions, develop comprehensive strategies for the expansion of digital agricultural education, which will contribute to increased agricultural productivity, the preservation of natural resources, and sustainable development.

Keywords: *Rural Empowerment, Emerging Technologies, Educational Policymaking, Mixed Methods Research.*

JEL Classification: O33

پیشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



پرویشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

اقتصاد کشاورزی و توسعه

سال ۳۳، شماره ۱۲۹، بهار ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

طراحی مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال برای بهبود بهره‌وری و پایداری کشاورزی در مناطق روستایی ایران

بههارک عزیزی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۳

چکیده

در دهه‌های اخیر، کشاورزی دیجیتال به عنوان ابزاری نوین برای ارتقای بهره‌وری و پایداری کشاورزی در مناطق روستایی شناخته شده است. در پژوهش حاضر با هدف طراحی یک مدل نوآورانه برای آموزش کشاورزی دیجیتال، با تمرکز بر تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و محیطی، به بررسی چالش‌ها و نیازمندی‌های این حوزه پرداخته شد. بدین منظور، از روش تحقیق آمیخته و رویکرد متوالی اکتشافی برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها استفاده شد. در بخش کیفی، داده‌ها از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختارمند با شانزده نفر از مدیران، متخصصان و اساتید کشاورزی جمع‌آوری شد و تحلیل مضمون به شناسایی نه بعد اصلی شامل پایداری اجتماعی، اقتصادی و محیطی، نوآوری‌های دیجیتال، آموزش و توانمندسازی، سیاست‌گذاری، زیرساخت‌های فناورانه،

۱- استادیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه جامع علمی کاربردی، تهران، ایران.
(Baharak_1615@yahoo.com)

هم‌افزایی و مشارکت‌ها، و تحقیق و توسعه انجامید. در بخش کمی، پرسشنامه‌ای مبتنی بر نتایج کیفی طراحی شد، که گردآوری داده‌ها از ۱۹۶۰ نفر از متخصصان و کارکنان آموزش کشاورزی و اساتید دانشگاهی صورت گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که تمامی ابعاد مدل پیشنهادی تأثیر مثبت و معنی‌دار بر آموزش کشاورزی دیجیتال دارند؛ در تحلیل ضرایب مسیر نیز به ترتیب، بیشترین تأثیر به آموزش و توانمندسازی و سیاست‌گذاری و خط‌مشی تعلق دارد؛ همچنین، ضریب تعیین مدل و شاخص برازش کلی مدل نشان‌دهنده تطابق قوی مدل با داده‌های تجربی است. اعتبار پیش‌بینی مدل با استفاده از تحلیل ضرایب پیش‌بینی تأیید شد. این یافته‌ها تأکید دارند که عوامل آموزشی، فناورانه و سیاستی به‌ویژه توسعه مهارت‌های دیجیتال کشاورزان و زیرساخت‌های فناورانه از مهم‌ترین الزامات این مدل به‌شمار می‌روند. همچنین، نوآوری‌های دیجیتال همچون اینترنت اشیا و هوش مصنوعی در بهینه‌سازی فرآیندهای کشاورزی و افزایش بهره‌وری مؤثرند. هم‌راستایی این نتایج با مطالعات پیشین گویای اهمیت توجه به فناوری‌های نوین و توسعه آموزش دیجیتال در راستای پایداری کشاورزی است. در نهایت، پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران با در نظر گرفتن این ابعاد، راهکارهایی جامع برای توسعه و گسترش آموزش کشاورزی دیجیتال طراحی کنند تا علاوه بر افزایش بهره‌وری کشاورزی، به حفظ منابع طبیعی و تحقق توسعه پایدار کمک شود.

کلیدواژه‌ها: توانمندسازی روستاییان، فناوری‌های نوظهور، سیاست‌گذاری آموزشی، روش تحقیق آمیخته.

طبقه‌بندی JEL : O33

مقدمه

در دهه‌های اخیر، کشاورزی دیجیتال به‌عنوان یکی از ابزارهای کلیدی برای تحول در بخش کشاورزی و ارتقای پایداری آن در مناطق روستایی مورد توجه قرار گرفته است. کشاورزی دیجیتال شامل استفاده از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا، سنجش از دور، یادگیری ماشینی و دیگر ابزارهای دیجیتال برای بهبود بهره‌وری، کاهش مصرف منابع و مدیریت پایدار محیط زیست است (Kazemi et al., 2022; Nasirahmadi & Hensel, 2023). این فناوری‌ها می‌توانند به کشاورزان کمک کنند تا عملکرد محصولات خود را بهبود بخشند، مصرف آب و انرژی را کاهش دهند و به‌طور کلی، بر بهره‌وری کشاورزی بیفزایند (Sharma et al., 2020; Khorami et al., 2020). با توجه به چالش‌های گوناگون پیش روی کشاورزان در مناطق روستایی از جمله دسترسی محدود به اطلاعات و فناوری، نیاز به آموزش‌های ویژه به‌کارگیری این فناوری‌ها احساس می‌شود (Afzali Gorouh et al., 2021; Cheraghi et al., 2020). آموزش کشاورزی دیجیتال یکی از راهکارهای مؤثر برای رفع این چالش‌ها و ارتقای سطح آگاهی کشاورزان در زمینه فناوری‌های نوین است. این آموزش‌ها می‌توانند با ارتقای توانمندی‌های فنی

کشاورزان، نقش مهمی در توسعه پایدار کشاورزی ایفا کنند (Karpisheh & Aliyari, 2024). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که آموزش‌های مبتنی بر فناوری‌های دیجیتال می‌توانند به گونه‌ای مؤثر به کشاورزان در بهبود مهارت‌های فنی و مدیریت منابع کمک کنند و در نتیجه، به بهبود شرایط اقتصادی و اجتماعی آنها منجر شوند (Safi Sis et al., 2021; Shaeri & Rezghi Shirsavar, 2021). با این همه، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در پیاده‌سازی کشاورزی دیجیتال نیاز به تغییرات ساختاری و فرهنگی در نظام‌های آموزشی و ترویجی کشاورزی است. این چالش‌ها شامل کمبود زیرساخت‌های دیجیتال، عدم آگاهی کشاورزان از فناوری‌های نوین، و مقاومت در برابر تغییرات است (Fabregas et al., 2019; Hrutek, 2020). به منظور غلبه بر این موانع، در پژوهش‌های مختلف، مدل‌هایی نوآورانه برای طراحی نظام‌های آموزشی کشاورزی دیجیتال پیشنهاد شده است که می‌تواند به بهبود تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و محیطی در مناطق روستایی منجر شود (Klerkx et al., 2019; Haggag, 2021). بنابراین، طراحی یک مدل نوآورانه برای آموزش کشاورزی دیجیتال که نه تنها به بهبود دانش فنی کشاورزان، بلکه به توسعه توانمندی‌های مدیریتی و اقتصادی آنها نیز توجه داشته باشد، ضروری به نظر می‌رسد. تحقیق حاضر به‌ویژه از این رو حائز اهمیت است که تلاش می‌کند تا یک مدل آموزشی مناسب را برای بهبود بهره‌وری کشاورزی در مناطق روستایی طراحی کند، مدلی که در آن، تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و محیطی به‌طور هم‌زمان مورد توجه قرار گیرد. از آنجا که بسیاری از این مناطق با مشکلاتی چون فقر و کمبود امکانات روبه‌رو هستند، پیاده‌سازی این مدل آموزشی می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر کاهش نابرابری‌ها و ارتقای کیفیت زندگی کشاورزان تأثیرگذار باشد (Karpisheh & Aliyari, 2024; Haddadi et al., 2024). از سوی دیگر، با توجه به چالش‌های ساختاری و فرهنگی موجود در نظام‌های آموزشی کشاورزی، توسعه مدل‌هایی که بتوانند با این موانع مقابله کنند، از اولویت‌های اساسی پژوهش‌های کشاورزی دیجیتال است (Shaeri & Rezghi Shirsavar, 2021; Haggag, 2021). بنابراین، هدف پژوهش حاضر طراحی یک مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال بوده است که با تمرکز بر تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و محیطی، به بهبود بهره‌وری و پایداری کشاورزی در مناطق روستایی کمک کند. این مدل باید نیازهای خاص کشاورزان روستایی را در نظر گیرد و با استفاده از فناوری‌های دیجیتال، آنها یاری دهد تا در مواجهه با چالش‌های موجود، عملکردی مؤثر داشته باشند. در نهایت، تحقیق حاضر کوشیده است که با طراحی این مدل، در راستای توسعه کشاورزی پایدار و بهبود شرایط زندگی کشاورزان در مناطق روستایی، گامی مؤثر بردارد. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که آموزش و ترویج کشاورزی دیجیتال در مناطق روستایی می‌تواند تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و محیطی مثبت به همراه داشته باشد.

آموزش‌های مبتنی بر فناوری‌های نوین نه تنها به کشاورزان کمک می‌کند تا به سرعت با ابزارهای دیجیتال آشنا شوند، بلکه به افزایش آگاهی آنها در خصوص مسائل محیطی و اجتماعی نیز می‌انجامد (Safi Sis et al., 2020; Cheraghi et al., 2021)؛ به‌ویژه در مناطقی که محدودیت‌های اقتصادی و اجتماعی وجود دارد، این نوع آموزش می‌تواند نقش مهمی در ارتقای توانمندی‌های کشاورزان و تسهیل پذیرش فناوری‌های نوین ایفا کند (Kazemi et al., 2023; Shaeri & Rezghi Shirsavar, 2021). همچنین، بسیاری از تحقیقات به چالش‌های موجود در پیاده‌سازی کشاورزی دیجیتال اشاره دارند. این چالش‌ها شامل موانع زیرساختی، مشکلات فرهنگی و عدم آگاهی کافی در میان کشاورزان است که باید از طریق برنامه‌های آموزشی و سیاست‌گذاری‌های مناسب رفع شود (Afzali Gorouh et al., 2020; Hrustek, 2021). یکی از چالش‌های عمده در پذیرش کشاورزی دیجیتال کمبود دسترسی به اینترنت و ابزارهای دیجیتال در برخی مناطق روستایی است که می‌تواند مانع از گسترش این فناوری‌ها شود (Fabregas et al., 2019; Klerkx et al., 2019). با این حال، برخی از مدل‌ها و راهبردهای نوآورانه برای غلبه بر این چالش‌ها پیشنهاد شده که در جدول ۱ (پیشینه پژوهش) آمده است. یکی از راهکارهای مؤثر استفاده از مدل‌های مشارکتی در طراحی و پیاده‌سازی برنامه‌های کشاورزی دیجیتال است. این رویکردها، گذشته از پاسخ به نیازهای کشاورزان محلی، آنها را در فرآیند توسعه فناوری‌های نوین مشارکت می‌دهند (Ayre et al., 2019; Steinke et al., 2022). این نوع رویکرد می‌تواند با تسریع قابل توجه روند پذیرش کشاورزی دیجیتال در جوامع روستایی، به افزایش بهره‌وری و پایداری کشاورزی کمک کند (Fleming et al., 2021; Montes de Oca Munguia et al., 2021). در نهایت، استفاده از کشاورزی دیجیتال می‌تواند به بهبود وضعیت اقتصادی کشاورزان و ارتقای پایداری زیست‌محیطی در مناطق روستایی منجر شود که از طریق افزایش بهره‌وری، بهینه‌سازی مصرف منابع و ارتقای کیفیت محصولات کشاورزی تحقق می‌یابد (Karpisheh & Aliyari, 2024; Clapp & Ruder, 2020). کشاورزی دیجیتال می‌تواند با ایجاد فرصت‌هایی جدید برای توسعه پایدار در این مناطق و همچنین، با ادغام فناوری‌های نوین در فرآیندهای کشاورزی، به کاهش چالش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی کمک کند (Weersink et al., 2018; Shepherd et al., 2020). در مجموع، تحقیقات نشان می‌دهند که ترکیب فناوری‌های دیجیتال با آموزش مؤثر می‌تواند به گونه‌ای چشمگیر به بهبود بهره‌وری کشاورزی، کاهش چالش‌های زیست‌محیطی و ارتقای پایداری در مناطق روستایی کمک کند (Finger et al., 2019; Steinke et al., 2022).

جدول ۱- پیشینه پژوهش‌های داخلی و خارجی

نام و سال	موضوع	روش تحقیق	یافته‌ها
صافی‌سیس و همکاران (Safi Sis et al., 2021)	تأثیر روش‌های آموزشی نظام ترویج و آموزش کشاورزی بر رفتار زیست‌محیطی کشاورزان	روش توصیفی و علی- رابطه‌ای، مدل‌سازی معادلات ساختاری	تلفیق روش‌های فردی، گروهی و انبوهی در برنامه‌های ترویجی باعث افزایش تأثیر روش‌های آموزشی و هم‌افزایی منابع می‌شود.
چراغی و همکاران (Cheraghi et al., 2020)	تأثیر کارگاه آموزشی تولید گیاهان دارویی در اشتغال و پایداری معیشت یارگران ترویج عشایر ایلام	تحقیق آمیخته (کیفی و کمی)، نمونه‌گیری گلوله‌برفی، پرسشنامه پیش‌آزمون- پس‌آزمون	تفاوت معنی‌دار در آگاهی و توانمندی عشایر برای انجام فعالیت‌های اقتصادی پیش و پس از برگزاری آموزش تولید گیاهان دارویی مشاهده شد.
خرمی و همکاران (Khorami et al., 2020)	شناسایی و دسته‌بندی عوامل مؤثر بر رونق تجارت الکترونیک برای محصولات کشاورزی	روش توصیفی، تحلیل عاملی اکتشافی، آزمون فریدمن	شناسایی عوامل مؤثر بر رونق تجارت الکترونیک برای محصولات کشاورزی که شامل جنبه‌های مختلف اقتصادی، سیاسی، آموزشی و ویژگی‌های محصول است.
افزالی گروه و همکاران (Afzali Gorouh et al., 2021)	شناسایی مؤلفه‌های نظام آموزش عالی کشاورزی پایدار	روش کیفی، مصاحبه نیمه‌ساختاریافته، تحلیل محتوای کیفی	مؤلفه‌های نظام آموزش عالی کشاورزی پایدار شامل توانمندسازی، تحقیقات پایداری، آموزش پایداری، حکمرانی و ساختار نهادی پایدار و ارزیابی پایداری است.
شاعری و رزقی شیرسوار (Shaeri & Rezghi, 2021)	ارائه مدل توسعه پایدار مبتنی بر تعالی آموزش کارآفرینی مراکز آموزش جهاد کشاورزی	تحقیق توصیفی، پیمایشی، پرسشنامه	بالاترین بار عاملی مربوط به مؤلفه رهبری با بار عاملی ۰/۸۸ و سپس، مؤلفه خطمشی و راهبرد (۰/۸۶) است.
کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2023)	واکاوی چالش‌های تلفیق پایداری در آموزش عالی کشاورزی و منابع طبیعی ایران	روش کیفی، تحلیل مضمون، مصاحبه ساختاریافته	شناسایی ۱۳۷ کد باز که در قالب ۲۴ مضمون محوری و سه مضمون فراگیر (چالش‌های شناختی، فرهنگی و ساختاری) دسته‌بندی شدند. چالش‌های عمده در بعد ساختاری قرار دارند.
شریفی و مهدی‌زاده رابنی (Sharifi & Mahdizadeh, 2024)	بررسی نقش آموزش به‌کارگیری کشاورزی دقیق بر توسعه پایدار کشاورزی با تأکید بر منابع آبی جنوب کرمان	روش توصیفی پیمایشی، همبستگی، پرسشنامه	آموزش کشاورزی دقیق تأثیر مثبت و معنی‌دار بر توسعه پایدار کشاورزی با تأکید بر منابع آبی جنوب کرمان دارد. ابعاد مختلف آموزش رابطه مثبت و معنی‌دار دارند.

نام و سال	موضوع	روش تحقیق	یافته‌ها
حدادی و همکاران (Haddadi et al., 2024)	طراحی الگوی بازنمایی نظام نوین ترویج کشاورزی ایران	روش کیفی، نظریه دادمبنیاد، مصاحبه نیمه‌ساختارمند	شناسایی عوامل «تیروی انسانی»، «ساختار برنامه‌ریزی»، «کارکردی»، «زیرساختی»، «منابع مالی»، «نظام ارزشیابی» و «اهداف» به‌عنوان شرایط علّی و ارائه راهکارهایی برای بهبود کارکرد نظام ترویج کشاورزی.
کارپیشه و علی‌یاری (Karpisheh & Aliyari, 2024)	توسعه کشاورزی سبز: راهبردی برای پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در مناطق روستایی	روش ترکیبی (کیفی و کمی)، تحلیل مطالعات موردی	کشاورزی سبز با افزایش بهره‌وری اقتصادی، حفاظت از تنوع زیستی و ارتقای سلامت خاک و آب در کنار چالش‌های اقتصادی، محیطی و آموزشی مطرح است.
ریجسویجک و همکاران (Rijswijk et al., 2019)	واکنش‌های سازمانی به دیجیتالی‌سازی کشاورزی در نیوزیلند	مصاحبه نیمه‌ساختاریافته	دیجیتالی‌سازی به‌عنوان فرآیندهایی متمرکز بر مزرعه درک می‌شود، اما سازمان‌ها هنوز پاسخ‌های پراکنده و غیرراهبردی دارند.
آیره و همکاران (Ayre et al., 2019)	پشتیبانی و اعمال نوآوری دیجیتال در کشاورزی هوشمند	فرآیند هم‌طراحی با مشاوران کشاورزی	فرآیند هم‌طراحی به مشاوران کمک کرده است تا روش‌های مشاوره‌ای خود را با استفاده از ابزارهای دیجیتال تطبیق دهند.
کلپ و رودر (Clapp & Ruder, 2020)	بررسی تأثیرات فناوری‌های دقیق بر کشاورزی و پایداری زیست‌محیطی	تحلیل کیفی و بررسی دیدگاه‌های مختلف	فناوری‌های دقیق به‌عنوان ابزارهای ضروری برای پایداری زیست‌محیطی شناخته می‌شوند، اما مخالفان این فناوری‌ها آنها را به‌عنوان تهدیدی برای کشاورزی بوم‌شناختی می‌بینند.
شارما و همکاران (Sharma et al., 2020)	کاربرد یادگیری ماشینی در زنجیره تأمین کشاورزی پایدار	مرور نظام‌مند مقالات پژوهشی	یادگیری ماشینی می‌تواند به بهبود بهره‌وری و پایداری در زنجیره تأمین کشاورزی کمک کند، از جمله بهبود تولید، حفاظت از منابع آب و سلامت خاک.
الهی و همکاران (Elahi et al., 2020)	تأثیر سیاست تخصیص زمین بر بهره‌وری محصولات کشاورزی در پنجاب پاکستان	روش‌های اقتصادی و نمونه‌گیری چندمرحله‌ای	تخصیص زمین به کشاورزان با تحصیلات کشاورزی موجب افزایش بهره‌وری محصولات مانند گندم و برنج می‌شود.

طراحی مدل نوآورانه آموزش کشاورزی.....

نام و سال	موضوع	روش تحقیق	یافته‌ها
فلمینگ و همکاران (Fleming et al., 2021)	پیش‌بینی آینده کشاورزی دیجیتال در استرالیا	کارگاه پیش‌بینی آینده و تجزیه و تحلیل سناریوها	چهار سناریوی مختلف برای آینده کشاورزی استرالیا توسعه داده شد، از جمله تنوع مدل‌های کسب‌وکار و چالش‌های امنیت منابع.
مونت دو اوکا مونگویا و همکاران (Montes de Oca Munguia et al., 2021)	مدل‌های مفهومی پذیرش نوآوری‌ها در کشاورزی	مرور مدل‌های مفهومی و تحلیل‌های عددی	مدل‌های پذیرش نوآوری‌ها باید به ارزیابی عملکرد فناوری‌های جدید و تعاملات تصمیم‌گیری فردی توجه کنند.
نصیراحمدی و هنسل (Nasirahmadi & Hensel., 2022)	دیجیتالی‌سازی کشاورزی با استفاده از مدل دیجیتال توین	مرور ادبیات و بررسی مفاهیم و روش‌ها	مدل دیجیتال توین توان (پتانسیل) افزایش بهره‌وری و کارایی در کشاورزی را دارد، با کاهش مصرف انرژی و ضایعات.
استینک و همکاران (Steinke et al., 2022)	طراحی مشارکتی نوآوری دیجیتال در کشاورزی برای توسعه تحقیقاتی	مطالعات مشارکتی در پروژه‌های ICT4Ag	چالش‌های طراحی در پروژه‌های ICT4Ag شامل اختلافات میان انتظارات ذی‌نفعان و واقعیت‌های پروژه است.
فونتس-پنایلیلو و همکاران (Fuentes-Peñailillo et al., 2024)	فناوری‌های تحول‌آفرین در کشاورزی دیجیتال	تحلیل فناوری‌های اینترنت اشیا، سنجش از دور و هوش مصنوعی	استفاده از اینترنت اشیا ^۱ و هوش مصنوعی می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا بهره‌وری محصول را از طریق مدیریت هوشمند مزارع افزایش دهند.

ماخذ: پیشینه پژوهش

مواد و روش‌ها

روش پژوهش حاضر ترکیبی یا آمیخته است که با استفاده از رویکرد متوالی اکتشافی به بررسی سؤالات پژوهش پرداخته است. در این رویکرد، ابتدا بخش کیفی و سپس، بخش کمی پیاده‌سازی شده و در پایان، نتایج بخش‌های کیفی و کمی هم‌زمان تحلیل و تفسیر شده است. بخش کیفی با روش تحلیل مضمون که فرآیندی برای تحلیل داده‌های متنی است و داده‌های پراکنده و متنوع را به داده‌های غنی و مشروح تبدیل می‌سازد، انجام شد (Braun et al, 2022). غالباً سه رویکرد (استقرایی، قیاسی و ترکیبی) برای تحلیل مضمون در نظر گرفته می‌شود. در پژوهش حاضر، از رویکرد ترکیبی برای سازمان‌دهی داده‌ها و مصاحبه‌ها استفاده شد؛ اما مفاهیم جدید نیز در حین تحلیل ایجاد شد و در نهایت، کدهای از پیش

1. Internet of Things (IoT)

تعیین شده به لحاظ نظری و کدهای ایجاد شده بعدی با هم ترکیب شدند تا شرح تحلیل مضمون کامل ایجاد شود (Fereday & Muir-Cochrane, 2006). لازم به ذکر است که ابزار گردآوری داده‌ها در بخش کیفی، علاوه بر مبانی نظری، مصاحبه‌های نیمه ساختارمند بود. نمونه‌گیری این بخش به صورت گلوله برفی انجام شد که ضمن انجام مصاحبه با نفر اول، از هر کدام از افراد خواسته شد تا سایر افراد صاحب نظر در این زمینه را معرفی کنند. پس از انجام شانزده مصاحبه با خبرگان مورد نظر در پژوهش حاضر شامل مدیران جهاد کشاورزی، متخصصان بخش آموزش کشاورزی و اساتید دانشگاهی، کدها به حد اشباع رسید و مصاحبه‌ها متوقف شد. فرآیند تحلیل مضمون در پژوهش حاضر طی پنج گام صورت گرفت که آماره‌های توصیفی جامعه بخش کیفی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- اطلاعات افراد مصاحبه شونده

شماره	سمت	تحصیلات	سابقه کاری (سال)
۱	مدیر جهاد کشاورزی	دکتری	۲۰
۲	مدیر جهاد کشاورزی	کارشناسی ارشد	۱۸
۳	مدیر جهاد کشاورزی	دکتری	۲۲
۴	متخصص آموزش کشاورزی	کارشناسی ارشد	۱۵
۵	متخصص آموزش کشاورزی	دکتری	۱۷
۶	متخصص آموزش کشاورزی	کارشناسی ارشد	۱۲
۷	استاد دانشگاه	دکتری	۲۵
۸	استاد دانشگاه	دکتری	۳۰
۹	استاد دانشگاه	دکتری	۲۸
۱۰	استاد دانشگاه	دکتری	۲۲
۱۱	متخصص آموزش کشاورزی	کارشناسی ارشد	۱۴
۱۲	مدیر جهاد کشاورزی	کارشناسی ارشد	۱۹
۱۳	استاد دانشگاه	دکتری	۲۷
۱۴	مدیر جهاد کشاورزی	دکتری	۲۳
۱۵	متخصص آموزش کشاورزی	کارشناسی ارشد	۱۳
۱۶	استاد دانشگاه	دکتری	۲۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

برای تحلیل داده‌ها، مراحل مختلف به شرح زیر طی شد، که هر کدام به دقت برای استخراج الگوها و مفاهیم اصلی از داده‌های جمع‌آوری شده از مصاحبه‌ها و پیشینه تحقیق طراحی شده بود:

(۱) آشنایی با داده‌ها: اطلاعات به دست آمده از پیشینه چندین بار مطالعه و ایده‌هایی استخراج شد.

۲) **ایجاد کدهای اولیه (کد باز):** جنبه‌های جالب توجه داده‌های مربوط به پیشینه مرتب و کدگذاری شدند و یک الگوی اولیه به‌دست آمد. پس از انجام مصاحبه‌ها، متن آنها پیاده‌سازی و کدگذاری شد.

۳) **جست‌وجوی کدهای گزینشی:** این مرحله شامل دسته‌بندی کدهای مختلف در قالب کدهای گزینشی و مرتب‌سازی همه خلاصه داده‌های کدگذاری شده است. به دیگر سخن، مرحله سوم با این هدف انجام می‌شود که چگونه کدهای مختلف می‌توانند برای ایجاد یک مضمون کلی ترکیب شوند. در این مرحله، پنجاه کد گزینشی توسط پژوهشگران به‌دست آمد.

۴) **شکل‌گیری مضامین فرعی:** مرحله چهارم زمانی شروع می‌شود که محقق مجموعه‌ای از مضمون‌ها را ایجاد و بازبینی کرده است. این مرحله شامل دو مرحله بازبینی و تصفیه و نیز شکل‌دهی به مضامین فرعی است. بدین ترتیب، در پژوهش حاضر، سرانجام، ۲۶ مضمون فرعی به‌دست آمده است.

۵) **تعریف و نام‌گذاری مضامین اصلی:** این مرحله زمانی آغاز می‌شود که تصویری رضایت‌بخش از مضامین وجود داشته باشد. محقق، در این مرحله، مضامین اصلی را که برای تحلیل ارائه کرده است، تعریف و بار دیگر بازبینی می‌کند؛ سپس، به تحلیل داده‌های داخل آنها می‌پردازد. بدین ترتیب، در پژوهش حاضر، پس از رفت و برگشت در میان مقوله‌های فرعی، سرانجام، نه مقوله اصلی قابل تبیین شناسایی شدند.

با کدگذاری داده‌ها و طی فرآیند تحلیل مضمون، الگوی ارتباطی نشانگرها، ابعاد و عوامل اثرگذار استخراج شدند. پس از تأیید روایی یافته‌ها توسط مصاحبه‌شوندگان، قابلیت اطمینان نیز با روش پایایی باز آزمون و پایایی بین دو کدگذار بررسی شد. در پایایی باز آزمون سه مورد از مصاحبه‌ها با فاصله یک ماهه بار دیگر کدگذاری شده، کدهای مشخص شده در دو فاصله زمانی با یکدیگر مقایسه شدند. در پایایی بین دو کدگذار نیز از یک متخصص آماری آشنا به فرآیند کدگذاری و موضوع مورد مطالعه خواسته شد تا به کدگذاری متن بپردازد. میزان مشابهت کدها بررسی و در نهایت، پایایی یافته‌ها تأیید شد.

برای گردآوری داده‌های بخش کمی، از پرسشنامه طراحی شده بر اساس نتایج بخش کیفی در بخش مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال با تمرکز بر تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و محیطی و پرسشنامه استاندارد در بخش بهبود بهره‌وری و پایداری کشاورزی استفاده شد. به‌منظور، سنجش روایی محتوایی، پرسشنامه پژوهشگرساخته در اختیار تعدادی از استادان و صاحب‌نظران قرار گرفت. جامعه

آماري بخش کمی نیز شامل متخصصان و کارکنان بخش آموزش کشاورزی جهاد کشاورزی شهرستان تهران و اساتید دانشگاه‌های سطح شهر تهران (حدود ۱۴۰۰۰ نفر) بود و از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای استفاده شد. تعداد نمونه، با توجه به تعداد متغیرهای مکنون، نه نمونه بوده و تعداد سؤالات ۲۶ مضمون فرعی در سطح خطای ۰/۰۵ درصد برای ۱۹۶۰ نفر با روش نمونه‌گیری در دسترس تعیین شده است.

جدول ۳- روایی همگرا و پایایی متغیرها و تناسب بارهای عاملی

نام متغیر	ابعاد (سؤالات هر سازه)	نماد سازه	بارهای عاملی	آلفای کرونباخ	پایایی مرکب ^۱	میانگین واریانس استخراج‌شده ^۲
پایداری اجتماعی	افزایش آگاهی کشاورزان	A1	۰/۸۲۶	۰/۶۳۹	۰/۸۴۶	۰/۷۳۳
	مشارکت جوامع محلی	A2	۰/۸۸۶			
پایداری اقتصادی	بهینه‌سازی هزینه‌های تولید	B1	۰/۷۷۶	۰/۶۸۳	۰/۸۲۵	۰/۶۱۲
	توسعه بازارهای دیجیتال	B2	۰/۷۵۳			
	افزایش درآمد کشاورزان	B3	۰/۸۱۷			
پایداری زیست‌محیطی	کاهش مصرف منابع آبی	C1	۰/۸۱۶	۰/۸۰۴	۰/۸۸۴	۰/۷۱۸
	کاهش ضایعات کشاورزی	C2	۰/۸۴۳			
	افزایش سلامت خاک و گیاهان	C3	۰/۸۸۱			
نوآوری‌های دیجیتال	استفاده از اینترنت اشیا در کشاورزی	D1	۰/۷۸۹	۰/۷۳۰	۰/۸۴۷	۰/۶۴۹
	بهره‌گیری از هوش مصنوعی	D2	۰/۸۲۸			
	مدل‌های دیجیتال توین	D3	۰/۷۹۸			

1. composite reliability
2. Average Variance Extracted (AVE)

طراحی مدل نوآورانه آموزش کشاورزی.....

نام متغیر	ابعاد (سؤالات هر سازه)	نماد سازه	بارهای عاملی	آلفای کرونباخ	پایایی مرکب ^۱	میانگین واریانس استخراج شده ^۲
آموزش و توانمندسازی	توسعه مهارت‌های دیجیتال	E1	۰/۷۵۴	۰/۶۹۸	۰/۸۳۲	۰/۶۲۴
	آموزش روش‌های نوین کشاورزی	E2	۰/۸۷۴			
	به کارگیری یادگیری مشارکتی	E3	۰/۷۳۵			
سیاست‌گذاری و خط‌مشی	تنظیم مقررات برای فناوری‌های جدید	F1	۰/۸۴۵	۰/۷۹۶	۰/۸۷۶	۰/۷۰۲
	حمایت‌های دولتی از نوآوری‌ها	F2	۰/۷۹۹			
	تدوین برنامه‌های تشویقی	F3	۰/۸۶۸			
زیرساخت‌های فناورانه	توسعه اینترنت روستایی	G1	۰/۸۶۹	۰/۷۵۲	۰/۸۵۷	۰/۶۶۷
	بهبود دسترسی به تجهیزات دیجیتال	G2	۰/۸۱۶			
	ایجاد سکوها آموزشی برخط	G3	۰/۷۶۱			
هم‌افزایی و مشارکت‌ها	ارتباط دانشگاه و صنعت	H1	۰/۸۹۵	۰/۸۶۸	۰/۹۱۸	۰/۷۹۰
	همکاری دولت و بخش خصوصی	H2	۰/۸۴۲			
	شبکه‌سازی بین کشاورزان	H3	۰/۹۲۷			
تحقیق و توسعه	مطالعات کاربردی در کشاورزی دیجیتال	I1	۰/۸۸۸	۰/۸۶۶	۰/۹۱۸	۰/۷۹۰
	ارزیابی اثربخشی نوآوری‌ها	I2	۰/۸۹۶			
	توسعه فناوری‌های بومی	I3	۰/۸۸۰			

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بر اساس جدول ۳، هر نماد نشان‌دهنده یکی از ابعاد متغیرهای اصلی تحقیق است. برای نمونه، A1 و A2 مربوط به متغیر «پایداری اجتماعی» هستند که به افزایش آگاهی کشاورزان و مشارکت جوامع محلی اشاره دارند. به همین ترتیب، نمادهایی مانند B1 تا B3، C1 تا C3 و سایر نمادها، به ترتیب، ابعاد متغیرهای پایداری اقتصادی، پایداری زیست‌محیطی، نوآوری‌های دیجیتال، آموزش و توانمندسازی، سیاست‌گذاری و خط‌مشی، زیرساخت‌های فناورانه، هم‌افزایی و مشارکت‌ها، و تحقیق و توسعه را نشان می‌دهند. اطلاعات جدول ۴ که از نرم‌افزار معادلات ساختاری اسمارت پی ال اس استخراج شده و همچنین، داده‌های جدول ۳ از طریق پرسشنامه و با استفاده از نظرات ۱۹۶۰ نفر از کشاورزان، کارشناسان کشاورزی و سیاست‌گذاران حوزه کشاورزی در جامعه آماری ایران جمع‌آوری شده است. این داده‌ها برای ارزیابی روایی همگرا، پایایی متغیرها و تناسب بارهای عاملی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و نشان می‌دهند که مقدار آلفای کرونباخ بالاتر از ۰/۷ بیانگر پایایی قابل قبول است. اما برخی مطالعات در مورد متغیرهایی با سؤالات اندک مقدار ۰/۶ را نیز مقدار قابل قبول فرض کردند. بنابراین، مقادیر پایایی آلفای کرونباخ بالاتر از ۰/۷ (سه تا از سازه‌ها بالای ۰/۶ بود) و پایایی مرکب بالاتر از ۰/۷ نشان‌دهنده این است که ابزار اندازه‌گیری دارای پایایی قابل قبول است. میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE) برای تمام سازه‌ها بالاتر از ۰/۵ است. فورنل و لارکر^۱ مقدار AVE بالاتر از ۰/۵ را قابل قبول دانسته و اما عنوان کرده‌اند که اگر سازه‌ای دارای AVE کمتر ۰/۵ ولی پایایی ترکیبی بالاتر از ۰/۶ باشد، روایی همگرایی آن تأیید می‌شود (Huang et al, 2013). همچنین، نتایج بررسی روایی واگرا از طریق معیار فورنل-لارکر نشان می‌دهد که تمام AVE‌ها از مربع همبستگی درون سازه بزرگ‌ترند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از همبستگی‌ها و جذر AVE، می‌توان گفت که روایی واگرای مدل در سطح سازه از نظر معیار فورنل-لارکر نیز مورد تأیید است.

نتایج و بحث

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، پاسخ‌دهندگان در پاسخ به سؤالات مرتبط با هر کدام از ابعاد مدل عملیاتی به تشریح پدیده مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال با تمرکز بر تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و محیطی پرداختند. جدول ۴ به بررسی ویژگی‌های جمعیت‌شناختی پاسخ‌دهندگان می‌پردازد.

1. Fornel and larker

جدول ۴- ویژگی‌های جمعیت‌شناختی پاسخ‌دهندگان

جنسیت	فراوانی	درصد
زن	۷۱۳	۳۶/۴
مرد	۱۲۴۷	۶۳/۶
سمت	فراوانی	درصد
کارکنان جهاد کشاورزی	۱۳۷۲	۷۰
متخصص آموزش کشاورزی	۳۹۲	۲۰
اساتید دانشگاهی	۱۹۶	۱۰
سن	فراوانی	درصد
کمتر از ۳۰ سال	۹۶۲	۴۹
۳۰ تا ۵۰ سال	۷۲۱	۳۶/۷۸
بیش از ۵۰ سال	۲۷۷	۱۴/۱۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

کدهای به‌دست‌آمده از مجموع شانزده مصاحبه بیش از ۲۵۰ کد اولیه به‌صورت باز بود که با چند دور بازنگری در کدها و ادغام کدهای بسیار مشابه، تعداد کدهای گزینشی به پنجاه کد رسید. پس از انجام فرآیند تحلیل مضمون، در نهایت، ۲۶ مضمون فرعی و نه مضمون اصلی به‌دست آمد، که عبارت‌اند از: پایداری اجتماعی، پایداری اقتصادی، پایداری محیطی، نوآوری‌های دیجیتال، آموزش و توانمندسازی، سیاست‌گذاری و خط‌مشی، زیرساخت‌های فناورانه، هم‌افزایی و مشارکت‌ها، تحقیق و توسعه. این مضامین اصلی، در واقع، نه عامل مؤثر برای مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال با تمرکز بر تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و محیطی هستند که از مصاحبه با خبرگان به‌دست آمده‌اند. در جدول ۵، مضامین فرعی و شکل‌دهی به مضامین اصلی به‌همراه کدهای گزینشی آمده است.

جدول ۵- مضامین فرعی و نحوه شکل‌گیری مضمون اصلی

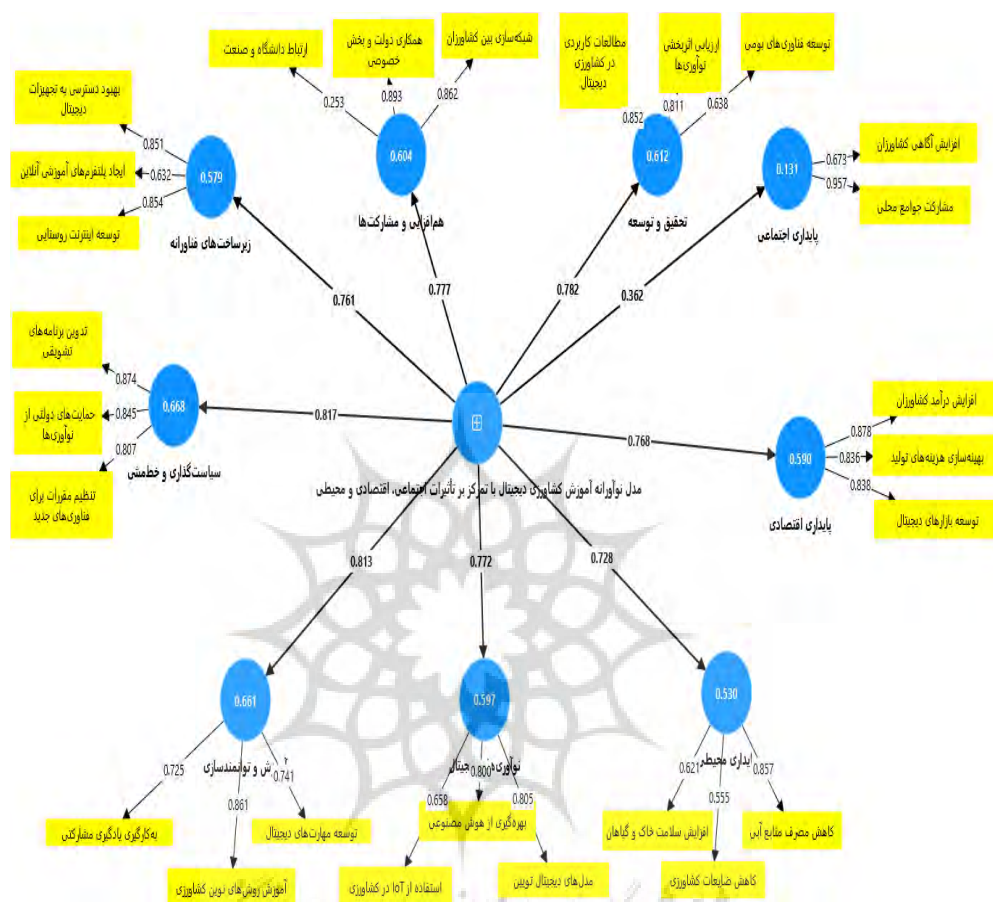
مضمون فراگیر	مضامین اصلی	مضامین فرعی	منابع
	پایداری اجتماعی	افزایش آگاهی کشاورزان مشارکت جوامع محلی	شریفی و مهدی‌زاده راینی (Sharifi & Mahdizadeh, 2024) صافی‌سیس و همکاران (Safi Sis et al., 2021)
مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال با تمرکز بر تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و محیطی در بهبود بهره‌وری و پایداری کشاورزی در مناطق روستایی	پایداری اقتصادی	بهبودسازی هزینه‌های تولید توسعه بازارهای دیجیتال افزایش درآمد کشاورزان	خرمی و همکاران (Khorami et al., 2020) الهی و همکاران (Elahi et al., 2020)
	پایداری محیطی	کاهش مصرف منابع آبی کاهش ضایعات کشاورزی افزایش سلامت خاک و گیاهان	فونتس - پنایللو و همکاران (Fuentes-Peñailillo et al., 2024) شارما و همکاران (Sharma et al., 2020) نصیراحمدی و هنسل (Nasirahmadi & Hensel., 2022) فونتس - پنایللو و همکاران (Fuentes-Peñailillo et al., 2024) چراغی و همکاران (Cheraghi et al., 2020)
	نوآوری‌های دیجیتال	استفاده از اینترنت اشیا (IoT) در کشاورزی بهره‌گیری از هوش مصنوعی مدل‌های دیجیتال توئین	آیره و همکاران (Ayre et al., 2019)
	آموزش و توانمندسازی	توسعه مهارت‌های دیجیتال آموزش روش‌های نوین کشاورزی به‌کارگیری یادگیری مشارکتی	حدادی و همکاران (Haddadi et al., 2024) همکاران (Rijswijk et al., 2019) استینک و همکاران (Steinke et al., 2022)
	سیاست‌گذاری و خط‌مشی	تنظیم مقررات برای فناوری‌های جدید	مونت دو اوکا مونگویا و همکاران (Montes de Oca, 2021) (Munguia et al., 2021)

طراحی مدل نوآورانه آموزش کشاورزی.....

مضمون فراگیر	مضامین اصلی	مضامین فرعی	منابع
		حمایت‌های دولتی از نوآوری‌ها تدوین برنامه‌های تشیویی	شاعری و رزقی شیرسوار (Shaeri & Rezghi Shirsavar, 2021)؛ افضلی گروه و همکاران (Afzali Gorouh et al., 2021)
		توسعه اینترنت روستایی	
	زیرساخت‌های فناورانه	بهبود دسترسی به تجهیزات دیجیتال ایجاد سکوها آموزشی برخط	فلمینگ و همکاران (Fleming et al., 2021)؛ کلپ و رودر (Clapp & Ruder, 2020)
		ارتباط دانشگاه و صنعت	شریفی و مهدی‌زاده راینی (Sharifi & Mahdizadeh Rayeni, 2024)؛ صافی‌سیس و همکاران (Safi Sis et al., 2021)؛ خرمی و همکاران (Khorami et al., 2020)
		همکاری دولت و بخش خصوصی شبکه‌سازی بین کشاورزان	
		مطالعات کاربردی در کشاورزی دیجیتال ارزیابی اثربخشی نوآوری‌ها توسعه فناوری‌های بومی	الهی و همکاران (Elahi et al., 2020)
	تحقیق و توسعه		

مأخذ: یافته‌های پژوهش

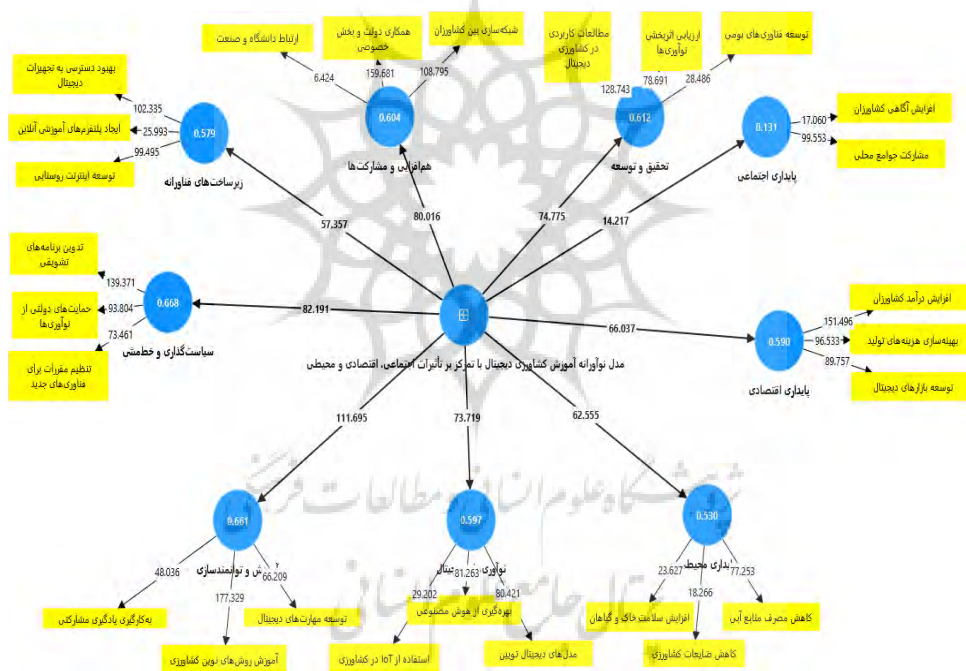
جدول ۵ نشان‌دهنده تمامی مقالات برگرفته از پژوهش‌های مرتبط و مشخصات آنهاست. در این مرحله، بیش از ۲۵۰ کد اولیه به‌دست آمد. پس از طی مراحل یادشده، بین مقوله‌های به‌دست‌آمده از مرحله کدگذاری مضامین فرعی و کدهای باز ارتباط برقرار شده و پس از بسط و گسترش یکی از مقوله‌ها در کدگذاری مضامین اصلی، که اساس فرآیند ارتباط‌دهی است، در نهایت، خروجی «مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال با تمرکز بر تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و محیطی» به‌صورت شکل ۱ در حالت ضرایب مسیر استاندارد ترسیم شده است.



شکل ۱- ضرایب مسیر استاندارد متغیرهای مدل پژوهش

شکل ۱ نشان‌دهنده ضرایب مسیر و بارهای عاملی متغیرهاست. برای بررسی معنی‌دار بودن ضرایب مسیر، باید مقدار آماره t هر مسیر بررسی شود. اگر مقدار آماره t در سطح اطمینان ۰/۹۵ درصد بزرگ‌تر از ۱/۹۶ باشد، ضریب مسیر معنی‌دار است. همان‌گونه که در جدول ۶ آمده است، تمامی ضرایب مسیر مربوط به مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال با تمرکز بر تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و محیطی از مقدار آماره t معنی‌دار برخوردارند. بنابراین، تمامی فرضیه‌ها بین متغیرهای مستقل نه‌گانه و متغیر وابسته تأیید می‌شود. ضرایب مسیر ارائه‌شده در جدول ۶ میزان تأثیر هر کدام از مؤلفه‌های شناسایی‌شده بر مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال را نشان می‌دهند. بیشترین تأثیر مربوط به

سیاست‌گذاری و خط‌مشی (۰/۸۱۷) و آموزش و توانمندسازی (۰/۸۱۳) بوده، که بیانگر نقش کلیدی این عوامل در تحقق آموزش مؤثر کشاورزی دیجیتال در مناطق روستایی است. همچنین، مؤلفه‌هایی مانند تحقیق و توسعه (۰/۷۸۲)، هم‌افزایی و مشارکت‌ها (۰/۷۷۷)، نوآوری‌های دیجیتال (۰/۷۷۲) و زیرساخت‌های فناوریانه (۰/۷۶۱) نیز با ضرایب بالا نشان می‌دهند که بدون زیرساخت مناسب و نوآوری مستمر، دستیابی به آموزش کارآمد دیجیتال امکان‌پذیر نخواهد بود. پایداری اقتصادی با ضریب ۰/۷۶۸ نیز نشان می‌دهد که توجه به جنبه‌های اقتصادی برای پایداری این نوع آموزش بسیار مهم است. در مقابل، پایداری اجتماعی با ضریب ۰/۳۶۲ کمترین تأثیر را دارد، اما همچنان معنی‌دار است و بر اهمیت توجه به عوامل اجتماعی در کنار سایر ابعاد تأکید دارد.



شکل ۲- آماره t مربوط به ضرایب مسیر متغیرهای مدل پژوهش

با توجه به شکل ۲، در مدل معادلات ساختاری، از آماره t برای سنجش معنی‌داری ضرایب مسیر استفاده می‌شود؛ به‌طور کلی، اگر مقدار این آماره بزرگ‌تر از ۱/۹۶ باشد (در سطح اطمینان ۹۵ درصد)، اثر مورد نظر معنی‌دار تلقی می‌شود. در جدول ارائه‌شده، تمامی روابط دارای مقادیر t بسیار بالا

هستند که همگی بسیار فراتر از حد آستانه ۱/۹۶ قرار دارند. بالاترین مقدار t مربوط به آموزش و توانمندسازی (۱۱۱/۶۹۵) و سپس، سیاست‌گذاری و خط‌مشی (۸۲/۱۹۱) بوده، که نشان‌دهنده پایدارترین و قوی‌ترین شواهد آماری برای تأثیر این مؤلفه‌ها بر مدل است. سایر مؤلفه‌ها نیز با مقادیر بالای t (همگی بالای ۱۴)، از جمله تحقیق و توسعه (۷۴/۷۷۵) و نوآوری‌های دیجیتال (۷۳/۷۱۹)، تأثیر معنی‌دار خود را با قدرت آماری بالا نشان می‌دهند. این نتایج، به‌صورت کلی، بیانگر پایداری بالا و اطمینان آماری قابل توجه در روابط بین مؤلفه‌ها و مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال است.

جدول ۶- ضرایب مسیر، آماره t و آزمون فرضیات

روابط	ضریب مسیر	آماره t	معنی‌داری	نتیجه
پایداری اجتماعی <---- مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال	۰/۳۶۲	۱۴/۲۱۷	۰/۰۰۰	تأیید
پایداری اقتصادی <---- مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال	۰/۷۶۸	۶۶/۰۳۷	۰/۰۰۰	تأیید
پایداری محیطی <---- مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال	۰/۷۲۸	۶۲/۵۵۵	۰/۰۰۰	تأیید
نوآوری‌های دیجیتال <---- مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال	۰/۷۷۲	۷۳/۷۱۹	۰/۰۰۰	تأیید
آموزش و توانمندسازی <---- مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال	۰/۸۱۳	۱۱۱/۶۹۵	۰/۰۰۰	تأیید
سیاست‌گذاری و خط‌مشی <---- مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال	۰/۸۱۷	۸۲/۱۹۱	۰/۰۰۰	تأیید
زیرساخت‌های فناورانه <---- مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال	۰/۷۶۱	۵۷/۳۵۷	۰/۰۰۰	تأیید
هم‌افزایی و مشارکت‌ها <---- مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال	۰/۷۷۷	۸۰/۰۱۶	۰/۰۰۰	تأیید
تحقیق و توسعه <---- مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال	۰/۷۸۲	۷۴/۷۷۵	۰/۰۰۰	تأیید

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بر اساس جدول ۶، تمامی فرضیات پژوهش در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۰ تأیید شده‌اند، که نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار و قوی بین مؤلفه‌های مختلف و مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال است. بالاترین ضریب مسیر مربوط به مؤلفه سیاست‌گذاری و خط‌مشی (۰/۸۱۷) و آموزش و توانمندسازی (۰/۸۱۳) است و نشان می‌دهد که این دو عامل بیشترین تأثیر را بر مدل پیشنهادی دارند. این نتایج اهمیت سیاست‌های حمایتی و برنامه‌های آموزشی را در تحقق کشاورزی دیجیتال در مناطق

روستایی ایران برجسته می‌سازد. همچنین، تأثیر مؤلفه‌هایی مانند تحقیق و توسعه (۰/۷۸۲)، هم‌افزایی و مشارکت‌ها (۰/۷۷۷) و نوآوری‌های دیجیتال (۰/۷۷۲) بسیار قابل توجه است، که نقش همکاری‌های چندجانبه و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین را نشان می‌دهد. پایداری اقتصادی (۰/۷۶۸)، پایداری محیطی (۰/۷۲۸) و پایداری اجتماعی (۰/۳۶۲) نیز از عوامل اثرگذار بر مدل به‌شمار می‌روند، به‌ویژه نقش پایداری اقتصادی که نشان‌دهنده اولویت آن در زمینه کشاورزی دیجیتال است. در مجموع، یافته‌های پژوهش بیانگر آن است که توسعه آموزش کشاورزی دیجیتال نیازمند رویکردی چندبعدی و سیاست‌محور است.

جدول ۷- مقادیر ضریب تعیین (R^2) و ضریب قدرت پیش‌بینی (Q^2)

سازه	(R^2)	(Q^2)	سازه	(R^2)	(Q^2)
پایداری اجتماعی	۰/۱۳۱	-	سیاست‌گذاری و خط‌مشی	۰/۶۶۸	-
پایداری اقتصادی	۰/۵۹۰	-	زیرساخت‌های فناورانه	۰/۵۷۹	۰/۳۰۲
پایداری محیطی	۰/۵۳۰	-	هم‌افزایی و مشارکت‌ها	۰/۶۰۴	۰/۴۵۱
نوآوری‌های دیجیتال	۰/۵۹۷	۰/۳۸۶	تحقیق و توسعه	۰/۶۱۲	۰/۲۰۷
آموزش و توانمندسازی	۰/۶۶۱	-			

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۷ شامل مقادیر ضریب تعیین (R^2) و قدرت پیش‌بینی (Q^2) برای سازه‌های مدل است. مقدار R^2 نشان‌دهنده میزان واریانس توضیح داده‌شده توسط متغیرهای مستقل برای هر سازه است؛ به دیگر سخن، هرچه مقدار R^2 بیشتر باشد، مدل قدرت توضیحی بیشتری دارد. در این جدول، بیشترین مقدار R^2 مربوط به سازه سیاست‌گذاری و خط‌مشی (۰/۶۶۸) و آموزش و توانمندسازی (۰/۶۶۱) بوده، که بیانگر قدرت بالای مدل در تبیین تغییرات این دو متغیر است. سایر سازه‌ها مانند تحقیق و توسعه (۰/۵۹۷)، هم‌افزایی و مشارکت‌ها (۰/۶۰۴)، نوآوری‌های دیجیتال (۰/۵۹۷) و پایداری اقتصادی (۰/۵۹۰) نیز در محدوده قابل قبول قرار داشته، از کفایت مدل حکایت دارند. مقدار پایین R^2 برای پایداری اجتماعی (۰/۱۳۱) نشان می‌دهد که مدل توان کمی در تبیین این سازه دارد. در خصوص Q^2 ، که نشان‌دهنده قدرت پیش‌بینی مدل در تحلیل حداقل مربعات جزئی^۱ است، مقادیر بالاتر از صفر به معنی پیش‌بینی مناسب است. نوآوری‌های دیجیتال (۰/۳۸۶) و هم‌افزایی و مشارکت‌ها (۰/۴۵۱) از پیش‌بینی‌پذیری بالاتر برخوردارند، در حالی که تحقیق و توسعه با Q^2 برابر با ۰/۲۰۷ نیز در سطح قابل

قبول قرار دارد. در مجموع، این جدول نشان می‌دهد که مدل، به‌ویژه در حوزه سیاست‌گذاری، توانمندسازی، و نوآوری‌های دیجیتال، از قدرت تبیین و پیش‌بینی مناسب برای بیشتر سازه‌ها برخوردار است. در نهایت، برای سنجش برازش مدل از رابطه زیر استفاده شده است:

$$GOF = \sqrt[n]{Communalities * R^2}$$

میانگین مقادیر مشترک سازه‌ها یا همان واریانس استخراج‌شده (AVE) ۰/۷۰۵ و میانگین ضریب تعیین (R^2) متغیر پنهان درون‌زا نیز ۰/۵۸۵ است؛ بنابراین، مقدار GOF برابر با ۰/۴۱۲ حاصل می‌شود. از آنجا که سه مقدار ۰/۰۱، ۰/۲۵ و ۰/۳۶، به‌ترتیب، به‌عنوان مقادیر ضعیف، متوسط و قوی برای GOF معرفی شده‌اند، حصول مقدار ۰/۴۱۲ به‌صورت زیر نشان‌دهنده برازش قوی مدل مورد نظر است.

$$GOF = \sqrt{0.705 * 0.585} = 0.412$$

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال با تمرکز بر تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و محیطی می‌تواند نقشی به‌سزا در بهبود بهره‌وری و پایداری کشاورزی در مناطق روستایی ایفا کند. بر اساس نتایج تحلیل مضمون، نه بعد کلیدی شامل پایداری اجتماعی، پایداری اقتصادی، پایداری محیطی، نوآوری‌های دیجیتال، آموزش و توانمندسازی، سیاست‌گذاری و خط‌مشی، زیرساخت‌های فناورانه، هم‌افزایی و مشارکت‌ها، و تحقیق و توسعه به‌عنوان عوامل اساسی در موفقیت این مدل شناسایی شدند. این عوامل، با ایجاد یک چارچوب جامع، امکان بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال را برای ارتقای کیفیت آموزش کشاورزی و افزایش توانمندی کشاورزان فراهم می‌کنند. نتایج کمی پژوهش نیز نشان داد که تمامی ابعاد مدل پیشنهادی دارای ضرایب مسیر معنی‌داری هستند و تأثیر مثبت آنها بر مدل نوآورانه آموزش کشاورزی دیجیتال مورد تأیید قرار گرفت؛ به‌ویژه، پایداری اقتصادی با ضریب مسیر ۰/۷۶۸ بیشترین تأثیر را بر پذیرش این مدل داشت، گویای آنکه توسعه بازارهای دیجیتال، کاهش هزینه‌های تولید، و افزایش درآمد کشاورزان از مهم‌ترین انگیزه‌های بهره‌گیری از آموزش کشاورزی دیجیتال است. همچنین، پایداری محیطی و پایداری اجتماعی، به‌عنوان مؤلفه‌های کلیدی در ایجاد انگیزه برای پذیرش این نوع آموزش، نشان‌دهنده

اهمیت آگاهی بخشی، مشارکت جوامع محلی، و حفظ منابع طبیعی در روند توسعه کشاورزی دیجیتال هستند. یکی از یافته‌های مهم پژوهش نقش زیرساخت‌های فناورانه و هم‌افزایی بین دانشگاه، صنعت، و دولت در موفقیت این مدل بود. توسعه اینترنت روستایی، ایجاد سکوها‌ی آموزشی برخط و بهبود دسترسی به تجهیزات دیجیتال به عنوان الزامات کلیدی زیرساختی معرفی شدند که بدون آنها، آموزش کشاورزی دیجیتال با موانع جدی مواجه خواهد شد. همچنین، سیاست‌گذاری مناسب و حمایت‌های دولتی، به‌ویژه در زمینه تدوین مقررات برای فناوری‌های جدید و اجرای برنامه‌های تشویقی به عنوان عوامل تسهیل کننده در پذیرش این مدل نقش آفرینی می‌کنند. در نهایت، پژوهش حاضر نشان داد که ترکیب فناوری‌های نوآورانه همچون اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، و مدل‌های دیجیتال توئین^۱ با روش‌های آموزش مشارکتی می‌تواند به توسعه مهارت‌های دیجیتال کشاورزان و افزایش بهره‌وری کشاورزی منجر شود. از این رو، پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان حوزه کشاورزی، با نظر گرفتن این عوامل، راهکارهایی جامع برای گسترش و اجرای آموزش کشاورزی دیجیتال ارائه دهند تا ضمن بهبود شرایط اقتصادی و اجتماعی کشاورزان، گامی مؤثر در راستای پایداری محیط زیست برداشته شود. یافته‌های پژوهش حاضر در بسیاری از جنبه‌ها با مطالعات پیشین همسوست و تأیید می‌کند که آموزش کشاورزی دیجیتال و فناوری‌های نوین می‌توانند به بهبود پایداری و افزایش بهره‌وری کشاورزی کمک کنند. برای نمونه، مطالعه نصیراحمدی و هنسل (Nasirahmadi & Hensel, 2022) بر نقش مدل دیجیتال توئین در بهبود بهره‌وری و کاهش ضایعات تأکید دارد، که با یافته‌های پژوهش حاضر درباره اهمیت فناوری‌های نوین در آموزش کشاورزی دیجیتال همخوانی دارد. همچنین، تحقیق فونتس-پنایلیلو و همکاران (Fuentes-Peñailillo et al., 2024) نشان می‌دهد که اینترنت اشیا و هوش مصنوعی می‌توانند بهره‌وری کشاورزی را از طریق مدیریت هوشمند مزارع افزایش دهند، که این موضوع نیز با تأکید پژوهش حاضر بر نقش فناوری‌های دیجیتال در آموزش کشاورزی و توانمندسازی کشاورزان مطابقت دارد. علاوه بر این، یافته‌های پژوهش حاضر درباره تأثیر مثبت آموزش کشاورزی دیجیتال بر توسعه پایدار کشاورزی با نتایج مطالعه شریفی و مهدی‌زاده رایینی (Shairifi & Mahdizadeh Rayeni, 2024) مبنی بر تأیید تأثیر آموزش کشاورزی دقیق بر توسعه پایدار و منابع آبی جنوب کرمان همسوست. نتایج این دو پژوهش نشان می‌دهد که آموزش فناورانه و دیجیتال می‌تواند نقشی به‌سزا در بهبود مدیریت منابع و بهره‌وری کشاورزی ایفا کند. از سوی دیگر، مطالعه کِلپ و رودر (Clapp & Ruder, 2020) به ارائه دیدگاه‌های

مختلف درباره تأثیر فناوری‌های دقیق بر کشاورزی و پایداری می‌پردازد، که اگرچه نقش مثبت این فناوری‌ها را تأیید می‌کند، اما به برخی نگرانی‌های مرتبط با تأثیر آنها بر کشاورزی بوم‌شناختی نیز اشاره دارد، که پژوهش حاضر چندان بدین موضوع نپرداخته است. از نظر چالش‌های موجود، مطالعه کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2023) به چالش‌های شناختی، فرهنگی و ساختاری در ادغام پایداری در آموزش عالی کشاورزی اشاره دارد، که به‌ویژه چالش‌های ساختاری با یافته‌های پژوهش حاضر درباره نیاز به زیرساخت‌های فناورانه، سیاست‌گذاری مناسب و حمایت‌های دولتی همخوانی دارد. همچنین، تحقیق افضلی گروه و همکاران (Afzali Gorouh et al., 2021) بر نقش توانمندسازی، تحقیقات پایداری و حکمرانی پایدار در آموزش عالی کشاورزی تأکید دارد، که این نکته نیز با یافته‌های پژوهش حاضر درباره نقش سیاست‌گذاری، خط‌مشی‌های حمایتی و هم‌افزایی بین دانشگاه، صنعت و دولت در پذیرش کشاورزی دیجیتال مطابقت دارد. در نهایت، پژوهش حاضر به نقش مهم سیاست‌گذاری و خط‌مشی‌های حمایتی در توسعه کشاورزی دیجیتال پرداخته است که با نتایج مطالعه حدادی و همکاران (Haddadi et al., 2025) در بررسی نظام نوین ترویج کشاورزی ایران با در نظر گرفتن ساختار برنامه‌ریزی، منابع مالی و خط‌مشی‌های سیاست‌گذاری همخوانی دارد. به‌طور کلی، نتایج پژوهش حاضر با بخشی قابل توجه از پیشینه پژوهش همسویی دارد و بر اهمیت فناوری‌های دیجیتال، زیرساخت‌های فناورانه، سیاست‌گذاری مناسب و هم‌افزایی بین نهادهای مختلف برای بهبود آموزش و توسعه کشاورزی پایدار تأکید می‌کند.

منابع

1. Afzali Gorouh, A., Hosseyni, S. M., Rezaei, A., & Alambeigi, A. (2021). Identifying the components of the sustainable agricultural higher education system. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, (Articles in Press). DOI: 10.22059/ijaedr.2020.294088.668856. [In Persian]
2. Ayre, M., Mc Collum, V., Waters, W., Samson, P., Curro, A., Nettle, R., ... & Reichelt, N. (2019). Supporting and practicing digital innovation with advisers in smart farming. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 90, 100302.
3. Braun, V., Clarke, V., & Hayfield, N. (2022). A starting point for your journey, not a map: Nikki Hayfield in Conversation with Virginia Braun and

- Victoria Clarke about Thematic Analysis. *Qualitative Research in Psychology*, 19(2), 424-445.
4. Cheraghi, T., Eshraghi, R., Poursaeed, A., Vahedi, M., & Arayesh, M. B. (2020). The impact of medicinal plant production training workshops on employment and livelihood sustainability of Ilam nomadic extension assistants. *Agricultural Education Administration Research*, 12(54), 53-66. DOI: 10.22092/jaeear.2021.352568.1775. [In Persian]
 5. Clapp, J., & Ruder, S. L. (2020). Precision technologies for agriculture: digital farming, gene-edited crops, and the politics of sustainability. *Global Environmental Politics*, 20(3), 49-69.
 6. Elahi, E., Khalid, Z., Weijun, C., & Zhang, H. (2020). The public policy of agricultural land allotment to agrarians and its impact on crop productivity in Punjab province of Pakistan. *Land Use Policy*, 90, 104324.
 7. Fabregas, R., Kremer, M., & Schilbach, F. (2019). Realizing the potential of digital development: the case of agricultural advice. *Science*, 366(6471), eaay3038.
 8. Fereday, J., & Muir-Cochrane, E. (2006). Demonstrating rigor using thematic analysis: a hybrid approach of inductive and deductive coding and theme development. *International Journal of Qualitative Methods*, 5(1), 80-92.
 9. Finger, R., Swinton, S. M., El Benni, N., & Walter, A. (2019). Precision farming at the nexus of agricultural production and the environment. *Annual Review of Resource Economics*, 11(1), 313-335.
 10. Fleming, A., Jakku, E., Fielke, S., Taylor, B. M., Lacey, J., Terhorst, A., & Stitzlein, C. (2021). Foresighting Australian digital agricultural futures: applying responsible innovation thinking to anticipate research and development impact under different scenarios. *Agricultural Systems*, 190, 103120.
 11. Fuentes-Peñailillo, F., Gutter, K., Vega, R., & Silva, G. C. (2024). Transformative technologies in digital agriculture: leveraging Internet of Things, Remote Sensing, and Artificial Intelligence for smart crop management. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 13(4), 39.

12. Haddadi, S., Mojarradi, G., Hosseini, S. M., & Ghasemi, J. (2024). Designing a representation model for the new agricultural extension system of Iran: the use of grounded theory. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 55(4), 699-718. DOI: 10.22059/ijaedr.2025.377959.669308. [In Persian]
13. Haggag, W. M. (2021). Agricultural digitalization and rural development in COVID-19 response plans: a review Article. *International Journal of Agricultural Technology*, 17(1), 67-74.
14. Hrustek, L. (2020). Sustainability driven by agriculture through digital transformation. *Sustainability*, 12(20), 8596.
15. Huang, Ch., Wang, Y., Wu, T., & Wang, P. (2013). An empirical analysis of the antecedents and performance consequences of using the Moodle platform. *International Journal of Information and Education Technology*, 3(2), 217-221.
16. Karpisheh, L., & Aliyari, M. (2024). Green agriculture development: a strategy for economic, social and environmental sustainability in rural areas. *Geography and Human Relationships*, 7(3), 355-372. DOI: 10.22034/gahr.2025.500393.2368. [In Persian]
17. Kazemi, F., Rezaei, A., Hejazi, Y., & Alembeigi, A. (2023). Examining the challenges of integrating sustainability in higher education of agriculture and natural resources in Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, (Articles in Press). DOI: 10.22059/ijaedr.2023.357522.669209. [In Persian]
18. Khorami, Sh., Rahali, H., & Bayzid, D. (2020). Identifying and categorizing factors affecting the growth of e-commerce for agricultural products with an emphasis on agricultural sustainability. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 30(3), 253-266. [In Persian]
19. Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and Agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 90, 100315.

20. Montes de Oca Munguia, O., Pannell, D. J., & Llewellyn, R. (2021). Understanding the adoption of innovations in agriculture: a review of selected conceptual models. *Agronomy*, 11(1), 139. DOI: 10.3390/agronomy11010139.
21. Nasirahmadi, A., & Hensel, O. (2022). Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin paradigm. *Sensors*, 22(2), 498.
22. Rijswijk, K., Klerkx, L., & Turner, J. A. (2019). Digitalisation in the New Zealand agricultural knowledge and innovation system: initial understandings and emerging organisational responses to digital agriculture. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 90, 100313.
23. Safi Sis, Y., Joodi Damirchi, M., & Maleki, M. (2021). The effect of agricultural extension and education system on farmers' environmental behavior. *Rural Development Strategies*, 7(4), 381-396. DOI: 10.22048/rdsj.2020.242509.1864. [In Persian]
24. Shaeri, M., & Rezghi Shirsavar, H. (2021). Providing a model of sustainable development based on the excellence of entrepreneurship education of agriculture-Jahad training centers. *Geography (Regional Planning)*, 11(42), 553-572. DOR: 20.1001.1.22286462.1400.11.2.29.9. [In Persian]
25. Sharifi, O., & Mahdizadeh Rayeni, M. J. (2024). Investigating the role of education in the application of precision agriculture and its components on sustainable agricultural development with an emphasis on water resource sustainability in southern Kerman. *Environmental Science Studies*, 9(4), 9702-9718. DOI: 10.22034/jess.2024.455508.2249. [In Persian]
26. Sharma, R., Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Kumar, V., & Kumar, A. (2020). A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. *Computers & Operations Research*, 119, 104926.
27. Shepherd, M., Turner, J. A., Small, B., & Wheeler, D. (2020). Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the 'digital

- agriculture' revolution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(14), 5083-5092.
28. Steinke, J., Ortiz-Crespo, B., van Etten, J., & Müller, A. (2022). Participatory design of digital innovation in agricultural research-for-development: insights from practice. *Agricultural Systems*, 195, 103313.
29. Weersink, A., Fraser, E., Pannell, D., Duncan, E., & Rotz, S. (2018). Opportunities and challenges for big data in agricultural and environmental analysis. *Annual Review of Resource Economics*, 10(1), 19-37.

