



Research Article

Vol. 40, No. 3, Fall 2026, p. 277-289

Investigation of the Role of Virtual Reality and Augmented Reality Technologies in the Development of Smart Agriculture with the Mediating Role of Digital Transformation

N. Seifollahi^{ID1*}

1- Department of Managment, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(* - Corresponding Author Email: n.seifollahi@uma.ac.ir)

Received: 30 October 2025
Revised: 28 December 2025
Accepted: 06 February 2026
Available Online: 08 February 2026

How to cite this article:

Seifoolahi, N. (2026). Investigation of the role of virtual reality and augmented reality technologies in the development of smart agriculture with the mediating role of digital transformation. *Journal of Agricultural Economics & Development*, 40(3), 277-289. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jead.2026.96257.1394>

Introduction

Smart agriculture refers to the use of modern technologies- such as artificial intelligence, the Internet of Things (IoT), big data analytics, and other innovations- to enhance agricultural productivity. It represents a transformative paradigm in modern farming practices, leveraging advanced technologies to boost efficiency, productivity, and sustainability. At its core, smart agriculture integrates a diverse array of technological components, beginning with the deployment of sensors and IoT devices. Smart agriculture operates based on key principles such as resource optimization, precision and accuracy in farming practices, data-driven decision-making, sustainability, and integration with market access platforms. Virtual reality is transforming the way we experience and interact with digital content. By creating a simulated environment capable of replicating real-world scenarios, it offers unprecedented levels of interaction and immersion. In agriculture, virtual reality and augmented reality assist in training farmers through simulations of new farming methods, examining farm conditions to monitor plant and soil status, and simulating various scenarios. Digital transformation is defined as a process of fundamental change enabled by the innovative use of digital technologies combined with the leveraging of strategic resources and key capabilities aimed at radically improving an organization and redefining its value proposition for stakeholders. Digital transformation is widely regarded as a driver of change across all field particularly in business and impacts every aspect of human life that relies on technology. The term "transformation" encompasses the ability to recognize and undertake necessary actions when confronted with new technologies, and it should not be confused with simple change.

Materials and Methods

In terms of purpose, this study was applied, and regarding its methodological nature, it was descriptive-correlational. The statistical population consisted of all agricultural producers in Ardabil Province. Given the infinite size of the population, a sample size of 384 was determined using Cronbach's alpha formula; these individuals were selected from the population via simple random sampling, and the research questionnaire was distributed among them. The validity of the questionnaires was assessed and confirmed through confirmatory factor analysis, while their reliability was verified using Cronbach's alpha. Data analysis was conducted using structural equation modeling with the aid of SPSS 26 and Smart-PLS 3 software.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

<https://doi.org/10.22067/jead.2026.96257.1394>

Results and Discussion

Data analysis was conducted using the structural equation modeling (SEM) method with the aid of SPSS 26 and Smart-PLS 3 software. The findings indicate that virtual reality, augmented reality, and digital transformation have a positive and significant impact on smart agriculture. As an emerging technology in this field, virtual reality can enhance training, decision-making, system design, and farm management. Augmented reality technologies facilitate the simulation of various agricultural stages and methods, allowing collected data to inform relevant decisions; meanwhile, digital transformation by establishing technological infrastructure and fostering smart advancements, productivity gains, and resource optimization—creates a robust foundation for the development of smart technologies.

Conclusion

This study was conducted to analyze the roles of virtual reality and augmented reality technologies in the development of smart agriculture, with digital transformation serving as a mediating factor. It posits that, given the necessary infrastructure, virtual reality has a positive and significant impact on smart agriculture—a finding consistent with the results of research by [Chatterjee et al. \(2025\)](#). Accordingly, it can be concluded that virtual technologies play a significant role in the development of smart agriculture. Indeed, as an emerging technology in this field, virtual reality can facilitate improvements in training, decision-making, system design, and even farm management. Given the existence of the necessary infrastructure, augmented reality has a positive and significant impact on smart agriculture. This finding aligns with the results of research conducted by [Sara et al. \(2024\)](#). Accordingly, it can be stated that augmented reality plays a vital role in the development of smart agriculture by integrating the real world with digital data within agricultural processes; specifically, through the use of smart glasses or augmented reality-based applications, agricultural producers can visualize—in real-time and in a graphical format—data collected by specialized tools. Given the existence of the necessary infrastructure, virtual reality has a positive and significant impact on digital transformation. This finding aligns with part of the results from the study by [Rath et al. \(2019\)](#). Consequently, virtual reality can be considered a key technology in the process of digital transformation; by enabling users to be present in digital environments, this shift from mere viewing to actual experiencing renders human interaction with technology deeper, more natural, and more effective. Given the existence of the necessary infrastructure, augmented reality has a positive and significant impact on digital transformation. This finding aligns with the results of the study by [Rath et al. \(2019\)](#). Accordingly, it can be stated that augmented reality can play a crucial role in digital transformation. Given the existence of the necessary infrastructure, digital transformation acts as a bridge between virtual reality and smart agriculture. As a key technology within digital transformation, virtual reality transforms agriculture from a traditional activity into a smart, data-driven, and sustainable system.

Keywords: Augmented reality, Digital transformation, Smart agriculture, Virtual reality

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، ص. ۲۷۷-۲۸۹

واکاوی نقش فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در توسعه کشاورزی هوشمند با نقش میانجی تحول دیجیتال (مورد مطالعه: استان اردبیل)

ناصر سیفاللهی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۷

چکیده

امروزه، با توجه به چالش‌هایی مانند کمبود منابع آب، تغییرات اقلیمی، نیاز به حفظ محیط‌زیست، افزایش بهره‌وری، سیستم‌های آبیاری هوشمند، بررسی شرایط مزرعه، استفاده از فناوری‌های نوین و تحول دیجیتال نقش اساسی در تبدیل کشاورزی به یک صنعت پیشرفته و پایدار ایفا می‌کنند. هدف از پژوهش حاضر، واکاوی نقش فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در توسعه کشاورزی هوشمند با نقش میانجی تحول دیجیتال است. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت روش، توصیفی-همبستگی بود. جامعه آماری پژوهش، کلیه تولیدکنندگان محصولات کشاورزی استان اردبیل بود. با توجه به نامحدود بودن حجم جامعه آماری، حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران، ۳۸۴ نفر تعیین شد که انتخاب این افراد از جامعه آماری با روش تصادفی ساده صورت گرفت و پرسشنامه پژوهش در بین آن‌ها توزیع گردید. روایی پرسشنامه‌ها به وسیله تحلیل عاملی تأییدی و پایایی آن‌ها با روش آلفای کرونباخ بررسی و تأیید شد. تحلیل داده‌ها با روش مدل‌سازی معادلات ساختاری و با کمک نرم‌افزارهای SPSS 26 و Smart-PLS 3 انجام شد. یافته‌ها نشان دادند که واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و تحول دیجیتال بر کشاورزی هوشمند، تأثیر مثبت و معنادار دارند. واقعیت مجازی به عنوان یک فناوری نوظهور در کشاورزی هوشمند می‌تواند به بهبود آموزش، تصمیم‌گیری، طراحی سیستم‌ها و مدیریت مزارع کمک کند. استفاده از واقعیت افزوده، مراحل و فرآیندهای مختلف کشاورزی را پایش می‌کند و داده‌های گردآوری شده را در تصمیم‌گیری‌های مرتبط هم به کار می‌برد و تحول دیجیتال با ایجاد زیرساخت‌های فناورانه، هوشمندسازی فرآیندها، افزایش بهره‌وری و کاهش اتلاف منابع، بستری قدرتمند برای توسعه کشاورزی هوشمند فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تحول دیجیتال، کشاورزی هوشمند، واقعیت افزوده، واقعیت مجازی

مقدمه

نیستند. به دلیل کمبود آب، ۴۰ درصد از زمین‌های زراعی در حال تبدیل شدن به اراضی غیر مولد هستند. همچنین، گسترش شهرنشینی و جنگل‌زدایی به منظور ایجاد زمین‌های زراعی جدید نیز منجر به کاهش سریع منابع آب زیرزمینی می‌شود. کشت بیش از حد، موجب کوتاه شدن دوره‌های تناوب زراعی و چرای بیش از حد دام نیز باعث فرسایش خاک می‌گردد. اتلاف مواد غذایی هم مسئله مهم دیگری است؛ بین ۳۳ تا ۵۰

در عصر حاضر، شهرنشینی رژیم غذایی انسان‌ها را تغییر داده است. منابع طبیعی رو به اتمام هستند. اراضی کشاورزی به تدریج برای کشت و زرع نامناسب می‌شوند. به طوری که در حال حاضر، ۲۵ درصد از زمین‌های زراعی موجود به طور کامل برای کشاورزی نامناسب‌اند و ۴۴ درصد دیگر نیز تا حد زیادی از نظر بهره‌برداری کشاورزی مناسب

۱- گروه مدیریت دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: n.seifollahi@uma.ac.ir)

درصد از مواد غذایی در سراسر جهان هدر می‌رود. در نهایت، تغییرات اقلیمی با سرعت زیادی در حال پیشرفت است و تمام ابعاد تولید مواد غذایی را تحت تأثیر قرار داده است. در طول ۵۰ سال گذشته، انتشار گازهای گلخانه‌ای دو برابر شده و الگوهای بارش، غیرقابل پیش‌بینی‌تر شده‌اند؛ همراه با افزایش موارد خشک‌سالی و سیلاب‌ها (Mitra et al., 2024). به همین دلیل، اکنون زمان آن فرا رسیده است که با معرفی رویکردهای سازگار با محیط‌زیست و هوشمند، از چنین زیان‌هایی جلوگیری شود. البته، گذار سریع از روش‌های پیشین و مرسوم در کشاورزی، خود امری چالش‌برانگیز است (Hu et al., 2023). کشاورزی هوشمند، صرفاً به معنای واردکردن فناوری اطلاعات به حوزه کشاورزی نیست؛ بلکه بیش از آن، بر ایجاد و بهره‌گیری از دانش از طریق فناوری تمرکز دارد. ماشین‌ها و تجهیزات کشاورزی باید به فناوری اطلاعات مجهز شوند تا بتوانند داده‌ها را پردازش و تحلیل کنند و در نهایت، تصمیماتی اتخاذ کرده یا دست‌کم به‌صورت نیمه‌خودکار آن‌ها را آماده سازند. این رویکرد، بر پایه رشد فناوری‌های کلان داده، اینترنت اشیاء، مشاهدات ماهواره‌ای، داده‌های لینک شده و هوش مصنوعی، در تمامی مراحل زنجیره تأمین کشاورزی بنانهاده می‌شود (Zinke-Wehlmann & Charvat, 2021).

افزون بر فناوری‌هایی که در سطرهای فوق به آن‌ها اشاره شد، «واقعیت مجازی» و «واقعیت افزوده» وجه تمایزی برای کشاورزی دقیق و هوشمند است و ورود دوباره انسان به عرصه مزرعه یا باغ را به ارمغان آورده است. اما این بار، با حضور غیرمادی و مجازی انسان در هر زمان، در هر جای مزرعه و در هر شرایط آب‌وهوایی و برای نظارت و مراقبت و صدور دستور تغییرات لازم از هر نقطه از جهان، مدیریت مزرعه به ثمر خواهد رسید (Hakimi, 2021). واقعیت مجازی، فناوری‌ای است که محیط‌های مجازی را در سیستم ادراکی انسان می‌آفریند و تجربه‌ای فراگیر را به کاربر می‌دهد. این کار از طریق استفاده از تجهیزات تخصصی، مانند نمایشگرهای نصب‌شده بر روی سر و اهرمک‌ها، صورت می‌گیرد و کاربران می‌توانند با محیط‌های مجازی تعامل داشته باشند (Zheng & Feng, 2024). واقعیت افزوده نیز به‌عنوان یک تصویر در زمان واقعی از یک محیط فیزیکی تعریف می‌شود که با داده‌های مجازی تولیدشده توسط رایانه تقویت یا غنی‌سازی شده است. فناوری‌های واقعیت افزوده و واقعیت مجازی از طریق افزایش تعامل و کارایی، صنایع را متحول می‌کنند.

به‌طوری‌که واقعیت افزوده، داده‌ها را در محیط‌های دنیای واقعی پوشش می‌دهد، محیط‌های کاری را بهینه می‌سازد و با پیش‌بینی آب‌وهوا و نظارت بر زیرساخت‌ها، توانمندی‌های کشاورزی را آزاد می‌کند. واقعیت مجازی هم کاربران را در محیط‌های چند حسی غوطه‌ور می‌سازد و با وجود محدودیت‌های مرتبط با حسگر، تعاملات واقع‌گرایانه را ممکن می‌سازد. همچنین، باید افزود که «تحول

دیجیتال»، به معنای یک تجربه دیجیتالی جامع‌تر از گذشته است که فرآیندهای کسب‌وکار، روابط با مشتری و عملیات را متحول می‌سازد و منجر به تغییرات مخرب خلاقانه در تمام ساختارهای کسب‌وکار می‌شود (Klein, 2020). این مفهوم از این نظر موردتوجه قرار گرفته است که یکی از نیروهای محرکه برای کشاورزی پایدار و چالش‌برانگیز برای مناطق روستایی در دهه‌های آینده است. فناوری‌های تحول‌ساز دیجیتال با تحولات کشاورزی همراه هستند و به‌عنوان نسل چهارم آن نیز تلقی می‌شوند.

بر اساس مطالب فوق و با توجه به وجود مسائل و مشکلات مختلف در کشاورزی سنتی و لزوم حرکت به‌سوی کشاورزی هوشمند و نیز با توجه به اهمیت یافتن نقش فناوری‌های نوین همچون، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده که می‌توانند منجر به تحول دیجیتال شوند و از آن‌جایی که پژوهش‌های پیشین به بررسی هم‌زمان نقش فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده همراه با تحول دیجیتال در توسعه کشاورزی هوشمند نپرداخته‌اند، لذا بررسی روابط میان کلیه متغیرهای برشمرده امری ضروری تلقی می‌شود. انتظار می‌رود که نتایج این پژوهش بتواند منجر به تشویق به استفاده از فناوری‌های نوین در حوزه کشاورزی و ایجاد یک تحول دیجیتال و در نهایت هوشمندسازی کشاورزی در کشور گردد.

بنابراین، هدف اصلی از انجام پژوهش حاضر، واکاوی نقش فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در کشاورزی هوشمند با نقش میانجی تحول دیجیتال است. در واقع، سؤال اصلی این پژوهش این است که آیا فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده از طریق تحول دیجیتال می‌توانند منجر به توسعه کشاورزی هوشمند شوند؟

مبانی نظری پژوهش

کشاورزی هوشمند

کشاورزی، علم، هنر و حرفه‌ای است که شامل کشت و کار بر روی زمین به‌منظور پرورش محصولات زراعی و هم‌چنین، پرورش و نگهداری دام‌هاست. این فعالیت در واقع، به معنای ساده‌سازی شبکه‌های پیچیده غذایی در طبیعت و هدایت انرژی برای مصرف انسان و حیوان است (Bagal, 2022). کشاورزی در چند دهه گذشته، پیشرفت‌های فناورانه متعددی را تجربه کرده، صنعتی‌تر و به فناوری وابسته‌تر شده است. به‌طوری‌که استفاده از فناوری‌های هوشمند کشاورزی به کشاورزان امکان کنترل بیشتری بر پرورش دام و کشت محصولات کشاورزی داده و پیش‌بینی‌پذیری و کارایی آن‌ها را افزایش داده است (Raj & Prahadeeswaran, 2025). کشاورزی ۴.۰ که با نام‌های کشاورزی هوشمند و یا کشاورزی دیجیتال نیز شناخته می‌شود، مرحله بعدی در کشاورزی صنعتی است که با ادغام فناوری‌ها در

دیگر گسترده است (Lei et al., 2022).

واقعیت افزوده

مؤسسه ملی استاندارد و فناوری، واقعیت افزوده را به‌عنوان فناوری‌ای تعریف می‌کند که تصاویر واقعی را با اشیاء مجازی به‌طور هم‌زمان ادغام می‌کند. واقعیت افزوده را می‌توان به‌عنوان بسطی رایانه‌ای از واقعیت انسانی در سیستمی دانست که دارای سه ویژگی کلیدی است: ترکیب واقعیت و دنیای مجازی، تعاملی بودن در زمان واقعی و ارائه در یک قالب سه‌بعدی. بر این اساس، واقعیت افزوده در بستر پیوستار میان واقعیت و دنیای مجازی قرار می‌گیرد؛ پیوستاری که به‌عنوان طیفی میان محیط‌های واقعی و مجازی توصیف می‌شود. واقعیت افزوده، نه به‌عنوان یک شکل خاص از فناوری، بلکه به‌عنوان یک مفهوم فناورانه در نظر گرفته می‌شود. به‌طور مشابه، واقعیت افزوده نباید به هیچ نوع خاصی از فناوری محدود شود، بلکه باید به‌عنوان یک مفهوم گسترده که می‌تواند فراتر از فناوری مفهوم‌سازی شود، در نظر گرفته شود. بنابراین، واقعیت افزوده باید در هر محیطی نقش مکمل داشته باشد، نه این‌که جایگزین واقعیت در چنین محیط‌هایی شود (Alzahrani, 2020). واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در کشاورزی به آموزش کشاورزان با استفاده از شبیه‌سازی برای آموزش روش‌های جدید کشاورزی و بررسی شرایط مزرعه برای نظارت بر وضعیت گیاهان و خاک و شبیه‌سازی شرایط مختلف کمک می‌کنند.

تحول دیجیتال

تحول دیجیتال به‌عنوان یک فرآیند تغییر اساسی، که با استفاده نوآورانه از فناوری‌های دیجیتال همراه با اهرم منابع استراتژیک و قابلیت‌های کلیدی که با هدف بهبود اساسی یک نهاد و باز تعریف ارزش پیشنهادی آن برای ذی‌نفعان امکان‌پذیر می‌گردد، تعریف می‌شود (Pereira et al., 2022). تحول دیجیتال، به‌طور گسترده به‌عنوان محرک تغییر در همه زمینه‌ها، به‌ویژه، در زمینه کسب‌وکار تلقی می‌شود و بر همه جنبه‌های زندگی انسان که مبتنی بر استفاده از فناوری‌هاست، تأثیر می‌گذارد. اصطلاح «تحول»، شامل قابلیت درک انجام اقدامات لازم در هنگام مواجهه با فناوری‌های جدید است و نباید آن را با تغییر ساده اشتباه گرفت (Kraus et al., 2022). تحول دیجیتال، نه تنها نشان‌دهنده بهبود تدریجی فناوری‌های موجود است، بلکه نشان‌دهنده تغییر اساسی در نحوه طراحی و اجرای تولید و عملیات است و فناوری‌های دیجیتال را در تمام جنبه‌های زنجیره ارزش ادغام می‌کند. خودکارسازی فرآیندهای تولید، خطاهای انسانی را از بین می‌برد و به شرکت‌ها اجازه می‌دهد تا به‌طور مداوم فعالیت کنند. در نتیجه، ظرفیت تولید را افزایش داده و زمان لازم برای عرضه محصولات به بازار را کاهش می‌دهد. در عین حال، بهینه‌سازی منابع با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته می‌تواند منجر به صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مواد

کشاورزی تقویت می‌شود (Singh et al., 2022). کشاورزی هوشمند به استفاده از فناوری‌های مدرن، مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، تجزیه و تحلیل کلان داده و سایر نوآوری‌ها برای افزایش بهره‌وری کشاورزی اشاره دارد (El Etaiby, 2023). کشاورزی هوشمند با استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای افزایش کارایی، بهره‌وری و پایداری، یک الگوی متحول‌کننده در شیوه‌های کشاورزی مدرن است. در هسته خود، کشاورزی هوشمند، مجموعه‌ای متنوع از اجزای فناوری را ادغام می‌کند که با استقرار حسگرها و دستگاه‌های اینترنت اشیا آغاز می‌شود. کشاورزی هوشمند بر اساس اصول کلیدی، مانند بهینه‌سازی منابع، دقت و صحت در شیوه‌های کشاورزی، تصمیم‌گیری مبتنی بر داده، پایداری و ادغام با پلتفرم‌های دسترسی به بازار عمل می‌کند. زمینه‌های کاربرد کلیدی کشاورزی هوشمند، شامل رشد محصول، نظارت بر محصول، مدیریت دام، مدیریت آبیاری، کنترل آفات و بیماری‌ها، بهینه‌سازی زنجیره تأمین و غیره است (Ahmed et al., 2024).

واقعیت مجازی

واقعیت مجازی به‌عنوان بازنمایی دیجیتال از یک محیط سه‌بعدی تعریف می‌شود که از طریق یک نمایشگر نصب‌شده بر روی سر ارائه شده و تجربه‌ای کاملاً غوطه‌ورکننده را فراهم می‌کند (Lie et al., 2022). واقعیت مجازی در حال تغییر شکل نحوه تجربه و تعامل ما با محتوای دیجیتال است. واقعیت مجازی با ایجاد یک محیط شبیه‌سازی شده که می‌تواند سناریوهای دنیای واقعی را تکرار کند، سطوح بی‌سابقه‌ای از تعامل و غوطه‌وری را ارائه می‌دهد. با پیشرفت در فناوری و کاهش هزینه‌های سخت‌افزار، واقعیت مجازی برای کسب‌وکارها و مصرف‌کنندگان به‌طور یکسان و در دسترسی بیشتری قرار می‌گیرد (Rahman, 2024). فناوری واقعیت مجازی، عمدتاً مبتنی بر فناوری اطلاعات است که می‌تواند حواس بینایی، شنوایی و لامسه افراد را در یک محیط مجازی تعاملی غوطه‌ور کند. کاربران می‌توانند در این محیط سه‌بعدی با اشیاء تعامل داشته باشند و تجربه‌ای واقع‌گرایانه‌تر به آن‌ها ارائه شود. فناوری واقعیت مجازی یک فناوری شبیه‌سازی محیطی است که با شبیه‌سازی کامپیوتری، پردازش تصویر، فناوری حسگر و سایر فناوری‌ها توسعه یافته است. در حال حاضر، با کاربرد گسترده فناوری اطلاعات، تغییرات اساسی در زندگی افراد ایجاد می‌کند و نقش مهمی در برخی زمینه‌های منحصربه‌فرد ایفا می‌کند (Wu, 2023). با توجه به طیف گسترده رشته‌ها، حوزه‌های کاربردی و انواع سیستم‌هایی که واقعیت مجازی در بر می‌گیرد، و همچنین، اهداف تحقیقاتی خاص و نیازهای کاربردی آن، می‌توان دسته‌های متمایزی از سیستم‌های واقعیت مجازی را از زوایای مختلف ایجاد کرد. استفاده از فناوری واقعیت مجازی در صنایع مختلفی از جمله، تلویزیون و سینما، آموزش، طراحی، مراقبت‌های بهداشتی، بخش هوافضا، حوزه نظامی و موارد

اولیه و انرژی شود و به پایداری بلندمدت عملیات کمک کند (Värzaru & Bocean, 2024).

پیشینه پژوهش

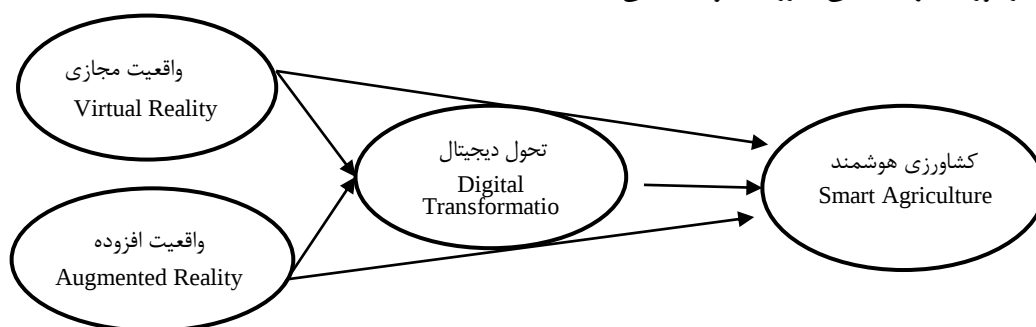
در میان پژوهش‌های پیشین داخلی، سیفاللهی و فروزان (Seifollahi & Frozan, 2025) در تحقیقی با عنوان تحلیل اثر هم‌آفرینی ارزش بر توسعه پایدار گردشگری شهری نقش میانجی واقعیت مجازی و واقعیت افزوده نشان دادند که هم‌آفرینی ارزش بر گردشگری شهری، هم‌آفرینی ارزش بر واقعیت مجازی و واقعیت مجازی بر گردشگری شهری، به‌طور مستقیم و معناداری تأثیر دارد. همچنین، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در رابطه هم‌آفرینی ارزش و گردشگری شهری نقش میانجی دارند. سیفاللهی و اکبری (Seifollahi & Akbari, 2023) در تحقیقی با عنوان شناسایی چالش‌ها و فرصت‌های اقتصاد دیجیتال در توسعه کسب‌وکارهای خانگی زنان روستایی نشان دادند که کسب و کارهای خانگی زنان روستایی باید از فناوری استفاده کنند و برنامه‌های آموزشی را ارتقا دهند تا خود را با مجموعه‌ای از مهارت‌های مناسب تجهیز کنند؛ بنابراین، در طول تحول دیجیتال سریع، تنها باید سرمایه‌گذاری در اتصال و شبکه‌های دیجیتال برای مشاغل روستایی که خدمات دیجیتالی آن‌ها کم است در نظر گرفت، بلکه باید مهارت‌ها و سواد دیجیتالی را افزایش داد و به جذب نوآوری‌های دیجیتال جدید کمک کرد.

در میان پژوهش‌های پیشین خارجی، چاترجی و همکاران (Chatterjee et al., 2025) در پژوهشی با عنوان «استفاده از شیوه‌های شبیه‌سازی واقعیت مجازی برای پرورش کشاورزان» به این نتایج دست یافته‌اند که سیستم واقعیت مجازی، کاربردهایی در حوزه‌هایی مانند شبیه‌سازی مجازی محصولات کشاورزی، کشاورزی هوشمند، مدیریت دام مبتنی بر همزاد دیجیتال و بهینه‌سازی زنجیره‌های تأمین دارد. علاوه بر این، واقعیت مجازی می‌تواند با اطلاعات نادرست در مورد تغییرات اقلیمی مبارزه کند و شایستگی‌های

عملی و تصمیم‌گیری استراتژیک را برای روش‌های کشاورزی پایدار افزایش دهد. سارا و همکاران (Sara et al., 2024) در پژوهشی با عنوان «بررسی قصد استفاده از فناوری‌های واقعیت افزوده در کشاورزی: آیا عینک‌های هوشمند بخشی از انقلاب کشاورزی دیجیتال خواهند بود؟» به این نتایج دست یافته‌اند که نگرش، سودمندی ادراک‌شده و سازگاری، به‌طور مستقیم بر پذیرش عینک‌های هوشمند به‌عنوان ابزاری جدید و نوآورانه برای پشتیبانی از فعالیت‌های کشاورزی از سوی ذی‌نفعان کشاورزی تأثیر می‌گذارند. به‌علاوه، امکان انتشار و پیاده‌سازی مناسب فناوری‌های واقعیت افزوده در بین کشاورزان و تکنسین‌های آینده، ادغام و ارتباط بین عینک‌های هوشمند و سایر فناوری‌هایی که قبلاً در مزارع کشاورزی به کار گرفته شده‌اند، بسیار مهم خواهد بود. دایوگلو و تورکر (Dayioglu & Turker, 2021) در پژوهشی با عنوان «تحول دیجیتال برای آینده پایدار- کشاورزی نسل چهارم» به این نتایج دست یافته‌اند که برای آینده‌ای پایدار، نوآوری‌های فناوری که بهره‌وری محصول را افزایش می‌دهند و کیفیت محصول را بهبود می‌بخشند، از محیط‌زیست محافظت می‌کنند، استفاده کارآمد از منابع را فراهم می‌کنند و هزینه‌های ورودی را کاهش می‌دهند، می‌توانند به کشاورزی امروز کمک کنند تا بر بسیاری‌های چالش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی غلبه کند. راث و همکاران (Rath et al., 2019) در پژوهشی با عنوان واقعیت مجازی- کانالی برای تحول دیجیتال در صنعتی‌سازی و پرورش نوآوری و کارآفرینی به این نتیجه دست یافته‌اند که واقعیت افزوده و واقعیت مجازی به‌عنوان هوشمندانه‌ترین شیوه تحول دیجیتال نقشی محوری در صنعتی‌شدن نسل چهارم ایفا می‌کنند.

مدل مفهومی و فرضیه‌های پژوهش

بر اساس مدل مفهومی (شکل ۱)، فرضیه‌های اصلی پژوهش به‌صورت زیر است:



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش
Figure 1- Conceptual model of the research

استخراج‌شده^۱ (مقادیر بالاتر از ۰/۵) تحلیل می‌شود. پایایی ترکیبی^۲ (مقادیر بالاتر از ۰/۷)، یک معیار ارزیابی برازش درونی مدل است و بر اساس میزان سازگاری سؤالات مربوط به سنجش هر عامل، قابل محاسبه است. شاخص پایایی ترکیبی، نسبت مجموع بارهای عاملی متغیرهای مکنون به مجموع بارهای عاملی به‌علاوه واریانس خطا است. مقادیر آن بین ۰ و ۱ و جایگزینی برای آلفای کرونباخ است. شاخص آلفای کرونباخ، میزان بارگیری هم‌زمان متغیرهای مکنون یا سازه را در زمان افزایش یک متغیر آشکار اندازه‌گیری می‌کند. مقدار این شاخص از ۰ تا ۱ است. میزان رابطه یک سازه با شاخص‌هایش در مقایسه رابطه آن سازه با سایر سازه‌ها با روایی و اگر مشخص می‌شود. طبق شاخص فورنل و لارکر (Fornell & Larcker, 1981)، جذر میانگین واریانس استخراج‌شده هر متغیر پنهان باید بیش‌تر از حداکثر همبستگی آن متغیر پنهان با متغیرهای دیگر باشد. روایی و اگرایی قابل قبول یک مدل حاکی از آن است که یک سازه در مدل، تعامل بیش‌تری با شاخص‌های خود دارد تا با سازه‌های دیگر. برای این شاخص، حداقل مقدار ۰/۵ در نظر گرفته شده است و این بدان معناست که متغیر پنهان مورد نظر حداقل ۰/۵ واریانس مشاهده‌پذیر خود را تبیین می‌کند. در جدول ۱، شاخص‌های برازش مدل اندازه‌گیری، یعنی میانگین واریانس استخراج‌شده، پایایی ترکیبی، آلفای کرونباخ و شاخص فورنل و لارکر همگی از حداقل مقدارشان بیش‌ترند. بنابراین برازش مدل اندازه‌گیری تأیید می‌شود.

بررسی روایی و اگرایی به روش Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT)

تحلیل HTMT برای ارزیابی اعتبار تشخیصی استفاده می‌شود. تمام مقادیر HTMT باید کم‌تر از ۰/۹ باشند تا تأیید شود که اعتبار تشخیصی مشکلی ندارد. تحلیل HTMT اعتبار تشخیصی سازه‌ها را در یک مطالعه تعیین می‌کند و تأیید می‌کند که هر سازه ابعاد متمایزی را اندازه‌گیری می‌کند. این امر با اطمینان از این‌که سازه‌ها واقعاً با یکدیگر متفاوت هستند، تحقیق را تقویت می‌کند (جدول ۲). بنابراین شاخص HTMT یک معیار برای ارزیابی همپوشانی بین سازه‌های مختلف در مدل‌های معادلات ساختاری است. این شاخص به کمک بررسی نسبت همبستگی بین متغیرهای پنهان مختلف به‌دست می‌آید. هدف اصلی HTMT ارزیابی اعتبار سازه‌ها و جلوگیری از همپوشانی غیر مجاز بین سازه‌ها است.

- ۱- واقعیت مجازی بر توسعه کشاورزی هوشمند تأثیر معنادار دارد.
- ۲- واقعیت افزوده بر توسعه کشاورزی هوشمند تأثیر معنادار دارد.
- ۳- واقعیت مجازی بر تحول دیجیتال تأثیر معنادار دارد.
- ۴- واقعیت افزوده بر تحول دیجیتال تأثیر معنادار دارد.
- ۵- تحول دیجیتال بر توسعه کشاورزی هوشمند تأثیر معنادار دارد.
- ۶- تحول دیجیتال بین واقعیت مجازی و توسعه کشاورزی هوشمند نقش میانجی می‌کند.
- ۷- تحول دیجیتال بین واقعیت افزوده و توسعه کشاورزی هوشمند نقش میانجی می‌کند.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، پژوهشی کاربردی و به لحاظ ماهیت روش کار، از نوع توصیفی-همبستگی است. جامعه آماری پژوهش، کلیه تولیدکنندگان محصولات کشاورزی در استان اردبیل است. برای نمونه‌گیری، روش نمونه‌گیری تصادفی ساده و برای تعیین حجم نمونه، فرمول کوکران مورد استفاده قرار گرفته است و با توجه به نامحدود بودن حجم جامعه آماری، حجم نمونه برابر با ۳۸۴ نفر تعیین شده است (در هنگام توزیع پرسشنامه توضیحات در حد نیاز ارائه شد تا دچار سوگیری نشوند). اطلاعات و داده‌ها از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و همچنین، روش میدانی گردآوری شده‌اند. به‌منظور گردآوری داده‌های بخش میدانی، چهار پرسشنامه استاندارد کاربرد واقعیت مجازی فلور و همکاران (Flohr et al., 2020) (دارای ۴ گویه)، واقعیت افزوده «هلین و همکاران (Helin et al., 2018) (دارای ۱۱ گویه)، کشاورزی هوشمند (دارای ۳۰ گویه) و تحول دیجیتال ال‌نیمی و همکاران (El-Naimi et al., 2022) (دارای ۵ گویه) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در هر چهار پرسشنامه، سؤالات به‌صورت طیف پنج گزینه‌ای لیکرت (از گزینه ۱= کاملاً مخالفم تا گزینه ۵= کاملاً موافقم) درجه‌بندی شده‌اند. روایی پرسشنامه‌ها به‌وسیله تحلیل عاملی تأییدی و پایایی آن‌ها با استفاده از آلفای کرونباخ مورد بررسی قرار گرفته و تأیید شده است. تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش نیز با روش مدل‌سازی معادلات ساختاری (با رویکرد حداقل مربعات جزئی) و به کمک دو نرم‌افزار آماری SPSS 26 و Smart-PLS 3 صورت گرفته است.

نتایج

برازش مدل اندازه‌گیری

مدل اندازه‌گیری، روابط بین متغیرهای پنهان و آشکار را تعریف می‌کند. برای بررسی روایی همگرایی، معیار میانگین واریانس

جدول ۱- خلاصه شاخص‌های برازش مدل اندازه‌گیری

Table 1- Summary of measurement model fit indices

متغیر Variable	میانگین واریانس استخراج شده AVE	پایایی ترکیبی CR	الفای کرون باخ Cronbach's alpha	معیار فورنل و لارکر Fornell-Larcker criterion
واقعیت مجازی Virtual reality	0.76	0.93	0.89	0.87
واقعیت افزوده Augmented reality	0.52	0.90	0.87	0.72
کشاورزی هوشمند Smart agriculture	0.61	0.95	0.95	0.71
تحول دیجیتال Digital transformation	0.61	0.91	0.87	0.82

جدول ۲- شاخص HTHM

Table 2- HTHM index

متغیر Variable	واقعیت مجازی Virtual Reality	واقعیت افزوده Augmented Reality	کشاورزی هوشمند Smart Agriculture	تحول دیجیتال Digital Transformation
واقعیت مجازی Virtual Reality				
واقعیت افزوده Augmented Reality	0.67	0.75		
کشاورزی هوشمند Smart Agriculture	0.65	0.61	0.72	
تحول دیجیتال Digital Transformation				

واقعیت افزوده بر تحول دیجیتال و تحول دیجیتال بر کشاورزی هوشمند تأثیر مثبت و معنادار دارند. بنابراین، فرضیات اول تا پنجم پژوهش تأیید می‌شوند.

جدول ۳. خلاصه شاخص‌های برازش مدل ساختاری

Table 3- Summary of structural model fit indices

متغیر Variable	قدرت پیش‌بینی Predictive power	ضریب تعیین R-Square
کشاورزی هوشمند Smart Agriculture	0.25	0.70
تحول دیجیتال Digital Transformation	0.32	0.55

اما به منظور سنجش نقش میانجی از آزمون سوبل استفاده می‌شود.

$$\text{Z-Value} = \frac{a \times b}{\sqrt{\left(b^2 \times s_a^2\right) + \left(a^2 \times s_b^2\right) + \left(s_a^2 \times s_b^2\right)}} \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه فوق:

برازش مدل ساختاری

برای بررسی برازش مدل ساختاری، دو معیار ضریب تعیین (R^2) و ارتباط پیش‌بین (Q^2) استفاده می‌شوند. R^2 شاخصی است که نشان می‌دهد مدل چه اندازه از تغییرات متغیر وابسته را توضیح می‌دهد. مقادیر تقریبی ۰/۶۷ قوی، مقادیر حدود ۰/۳۳ متوسط و مقادیر ۰/۱۹ و کمتر ضعیف در نظر گرفته می‌شوند. مقدار Q^2 نشان‌دهنده دقت پیش‌بینی مدل است. اگر Q^2 مثبت باشد، مدل توانایی پیش‌بینی تغییرات در متغیر وابسته را دارد. ۰/۲۰، ۰/۱۵ و ۰/۳۵ تبیین می‌کند که به ترتیب، نشان‌دهنده مقادیر کوچک، متوسط و بزرگ آن هستند. در جدول ۳، برای هر دو معیار R^2 و Q^2 ، مقادیر قابل قبول و مناسبی به دست آمده است. بنابراین، برازش مدل ساختاری تأیید می‌شود.

آزمون فرضیات پژوهش

بر اساس مقادیر آماره t که از ۱/۹۶ در سطح اطمینان ۹۵ درصد بزرگ‌تر است، می‌توان گفت که واقعیت مجازی بر کشاورزی هوشمند، واقعیت افزوده بر کشاورزی هوشمند، واقعیت مجازی بر تحول دیجیتال،

در جدول ۴ خلاصه نتایج آزمون فرضیه‌ها ارائه شده است. همچنین در شکل‌های ۲ و ۳ خروجی نرم‌افزار Smart-PLS3 بر روی مدل مفهومی پژوهش نشان داده است.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف واکاوی نقش فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در توسعه کشاورزی هوشمند با نقش میانجی تحول دیجیتال انجام گرفت. با فرض وجود زیرساخت نتیجه فرضیه اول نشان داد که واقعیت مجازی بر کشاورزی هوشمند تأثیر مثبت و معنادار دارد. این یافته با نتایج پژوهش کاترجی و همکاران (۲۰۲۵) همسو است. بر این اساس، می‌توان گفت که فناوری واقعیت مجازی می‌تواند نقش چشم‌گیری در توسعه کشاورزی هوشمند ایفا کند. در واقع، واقعیت مجازی به‌عنوان یک فناوری نوظهور در کشاورزی هوشمند مطرح است که می‌تواند به بهبود آموزش، تصمیم‌گیری، طراحی سیستم‌ها و حتی مدیریت مزارع کمک کند. به‌طوری‌که واقعیت مجازی نقش مهمی در آموزش نیروی انسانی، نظیر تولیدکنندگان محصولات کشاورزی، کارشناسان و حتی دانشجویان کشاورزی دارد. همچنین، واقعیت مجازی می‌تواند داده‌های گردآوری‌شده را در فرآیند تصمیم‌گیری در مراحل و فرآیندهای مختلف کشاورزی به کار گیرد. به‌علاوه، واقعیت مجازی می‌تواند برای طراحی و شبیه‌سازی یک مزرعه پیش از پیاده‌سازی عملی آن مورد استفاده قرار گیرد. در ضمن، واقعیت مجازی امکان مدیریت مزرعه از راه دور را برای کشاورزان، مشاوران و کارشناسان فراهم می‌کند. در نهایت، واقعیت مجازی حتی می‌تواند در بازاریابی محصولات کشاورزی نیز به کار رود. با توجه به این موارد، می‌توان گفت که واقعیت مجازی نقش مؤثری در توسعه کشاورزی هوشمند دارد.

a: مقدار ضریب مسیر بین متغیر مستقل و میانجی

b: مقدار ضریب مسیر بین متغیر میانجی و وابسته

S_a: خطای استاندارد مربوط به مسیر بین متغیر مستقل و میانجی

S_b: خطای استاندارد مربوط به مسیر متغیر میانجی و وابسته

بر این اساس ابتدا به سنجش نقش میانجی تحول دیجیتال در

رابطه واقعیت مجازی و کشاورزی هوشمند پرداخته می‌شود.

$$Z\text{-Value} = \frac{0.411 \times 0.411}{\sqrt{\left(\left(\frac{0.411^2}{0.411} \times \frac{0.45^2}{0.45} \right) + \left(\frac{0.411^2}{0.411} \times \frac{0.52^2}{0.52} \right) + \left(\frac{0.45^2}{0.45} \times \frac{0.52^2}{0.52} \right) }} = 3.99$$

بر اساس مقدار آماره Z محاسبه‌شده که بزرگ‌تر از ۱/۹۶ در سطح

اطمینان ۹۵ درصد است، تأثیر میانجی تأیید می‌شود و نشان می‌دهد

که تحول دیجیتال میان واقعیت مجازی و کشاورزی هوشمند نقش

میانجی ایفا می‌کند، پس فرضیه ششم تأیید می‌شود. همچنین با توجه

به تحلیل مسیر غیرمستقیم، میزان تأثیر واقعیت مجازی بر کشاورزی

هوشمند از طریق تحول دیجیتال برابر است با:

$$0.411 \times 0.411 = 0.169$$

سنجش نقش میانجی تحول دیجیتال در رابطه واقعیت افزوده و

کشاورزی هوشمند در زیر ارائه شده است.

$$Z\text{-Value} = \frac{0.655 \times 0.411}{\sqrt{\left(\left(\frac{0.411^2}{0.411} \times \frac{0.23^2}{0.23} \right) + \left(\frac{0.655^2}{0.655} \times \frac{0.52^2}{0.52} \right) + \left(\frac{0.23^2}{0.23} \times \frac{0.52^2}{0.52} \right) }} = 7.33$$

بر اساس مقدار آماره Z محاسبه‌شده که بزرگ‌تر از ۱/۹۶ در سطح

اطمینان ۹۵ درصد است، تأثیر میانجی تأیید می‌شود و نشان می‌دهد

که تحول دیجیتال میان واقعیت افزوده و کشاورزی هوشمند نقش

میانجی ایفا می‌کند، پس فرضیه هفتم تأیید می‌شود. همچنین با توجه

به تحلیل مسیر غیرمستقیم میزان تأثیر واقعیت افزوده بر کشاورزی

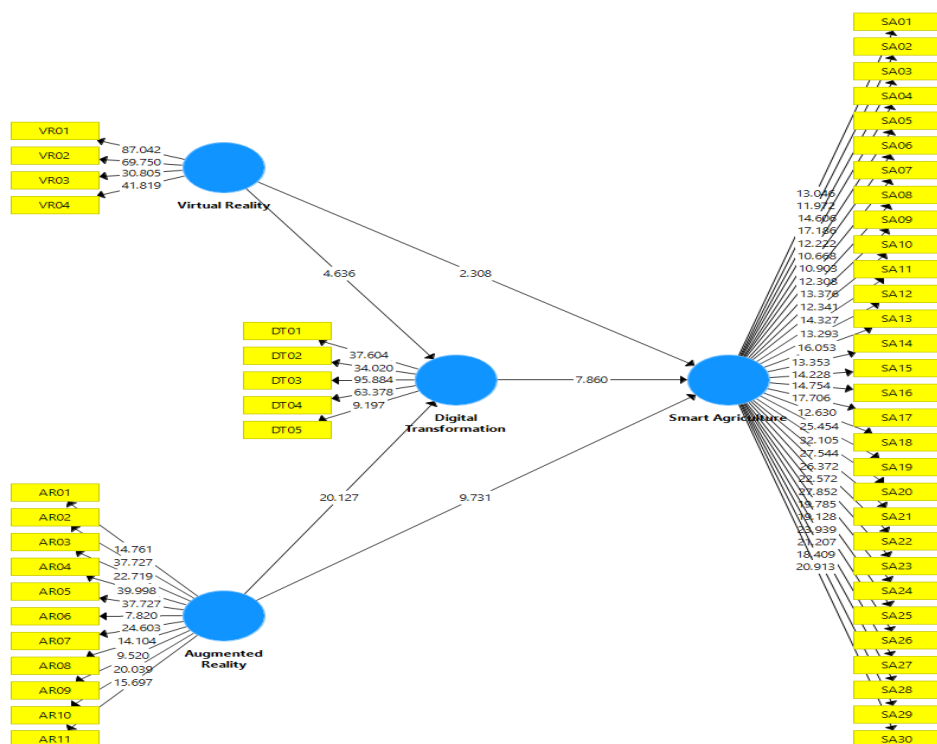
هوشمند از طریق تحول دیجیتال برابر است با: $0.27 \times 0.411 =$

0.111

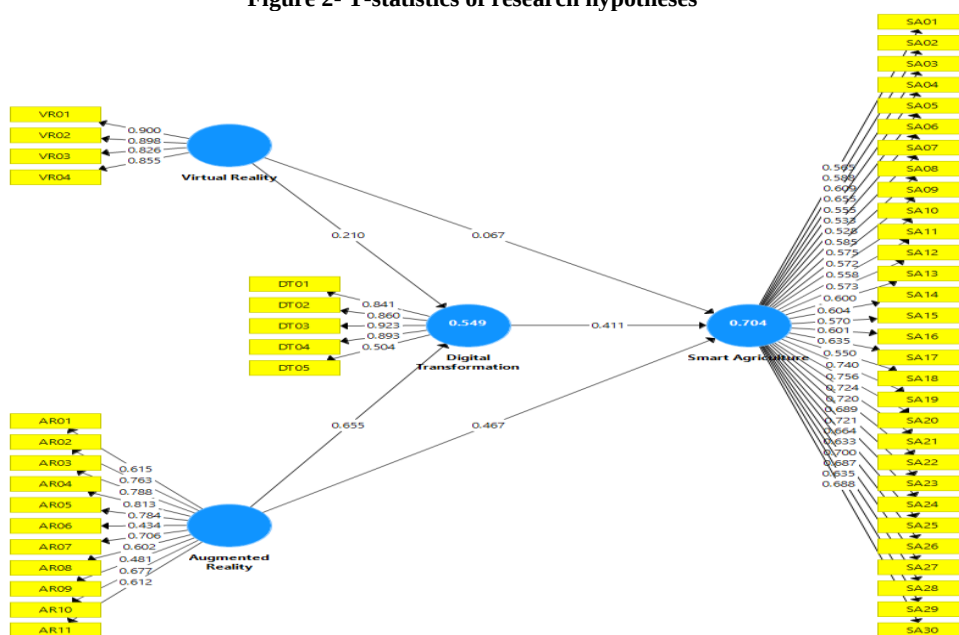
جدول ۴. خلاصه نتایج آزمون فرضیات پژوهش

Table 4- Summary of the results of testing the research hypotheses

فرضیه Hypothesis	مقدار آماره Z/t value of the statistic	ضریب مسیر Path coefficient	نتیجه Conclusion
واقعیت مجازی ← کشاورزی هوشمند VR → SA	2.3	0.067	تأیید Confirm
واقعیت افزوده ← کشاورزی هوشمند AR → SA	9.7	0.46	تأیید Confirm
واقعیت مجازی ← تحول دیجیتال VA → DT	4.6	0.21	تأیید Confirm
واقعیت افزوده ← تحول دیجیتال AR → DT	20	0.65	تأیید Confirm
تحول دیجیتال ← کشاورزی هوشمند DT → SA	7.8	0.41	تأیید Confirm
نقش میانجی تحول دیجیتال در رابطه واقعیت مجازی و کشاورزی هوشمند The mediating role of DT in the relationship between VR and SA	3.99	0.9	تأیید Confirm
نقش میانجی تحول دیجیتال در رابطه واقعیت افزوده و کشاورزی هوشمند The mediating role of DT in the relationship between AR and SA	7.3	9.27	تأیید Confirm



شکل ۲- آماره t فرضیات پژوهش
Figure 2- T-statistics of research hypotheses



شکل ۳- ضرایب بار عاملی و ضرایب مسیر فرضیات پژوهش
Figure 3- Factor loading coefficients and path coefficients of research hypotheses

هوشمند دارد که با ترکیب دنیای واقعی و داده‌های دیجیتال در فرآیندهای کشاورزی عمل می‌کند. به‌طوری‌که با استفاده از عینک‌های هوشمند یا برنامه‌های کاربردی مبتنی بر واقعیت افزوده، تولیدکنندگان محصولات کشاورزی می‌توانند داده‌های گردآوری‌شده به‌وسیله

با فرض وجود زیرساخت، نتیجه فرضیه دوم نشان داد که واقعیت افزوده بر کشاورزی هوشمند تأثیر مثبت و معنادار دارد. این یافته با نتایج پژوهش سارا و همکاران (Sara et al., 2024) همسو است. بر این اساس می‌توان گفت که واقعیت افزوده نقش مهمی در توسعه کشاورزی

هوشمند کمک می‌کند، زیرا با استفاده از فناوری‌های نوین، فرآیندهای تولید، مدیریت و تصمیم‌گیری را در بخش کشاورزی، دقیق‌تر، سریع‌تر و کارآمدتر می‌کند. به‌طوری‌که تحول دیجیتال باعث می‌شود که کشاورزی از حالت سنتی به کشاورزی مبتنی بر داده تغییر یابد. به کمک ماشین‌آلات خودکار، بسیاری از فعالیت‌های کشاورزی با دقت بیش‌تر و حتی دخالت کم‌تر نیروی انسانی صورت گیرد. حتی به هوشمندسازی بازاریابی و مراحل زنجیره تأمین کشاورزی هم کمک می‌کند. در ضمن، پلتفرم‌های دیجیتال، امکان دسترسی تولیدکنندگان کشاورزی به دانش روز، تجربیات دیگران و توصیه‌های تخصصی را هم فراهم می‌کنند. بنابراین، به‌طور کلی، تحول دیجیتال با ایجاد زیرساخت‌های فناورانه، هوشمندسازی فرآیندها، افزایش بهره‌وری و کاهش اتلاف منابع، بستری قدرتمند برای توسعه کشاورزی هوشمند فراهم می‌کند.

با فرض وجود زیرساخت، نتیجه فرضیه سوم نشان داد که تحول دیجیتال در رابطه واقعیت مجازی و کشاورزی هوشمند نقش میانجی دارد. با توجه به این که تاکنون پژوهش مشابهی در این رابطه انجام نشده است، لذا امکان مقایسه وجود ندارد. باین‌وجود می‌توان گفت که واقعیت مجازی به‌عنوان یکی از فناوری‌های کلیدی در تحول دیجیتال، کشاورزی را از یک فعالیت سنتی به یک نظام هوشمند، داده محور و پایدار تبدیل می‌کند. در واقع، فناوری واقعیت مجازی با ارتقای دانش کشاورزان و تولیدکنندگان محصولات کشاورزی، شبیه‌سازی دقیق شرایط واقعی، تسهیل تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر داده و ... موجب افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و پایداری زیست‌محیطی در کشاورزی شده و در نهایت به توسعه کشاورزی هوشمند منجر می‌شود. با فرض وجود زیرساخت، نتیجه فرضیه هفتم نشان داد که تحول دیجیتال در رابطه واقعیت افزوده و کشاورزی هوشمند نقش میانجی دارد. با توجه به این که تاکنون پژوهش مشابهی در این رابطه انجام نشده است، لذا امکان مقایسه وجود ندارد. باین‌وجود می‌توان گفت که واقعیت افزوده به‌عنوان یک فناوری تحول‌آفرین دیجیتال نقش مهمی در توسعه کشاورزی هوشمند دارد. به طوری که با ترکیب داده‌های دیجیتال و دنیای واقعی، فرآیندهای تصمیم‌گیری را دقیق‌تر می‌سازد، آموزش و مدیریت را تسهیل می‌کند و ارتباط بین انسان و فناوری را طبیعی‌تر و تعاملی‌تر می‌سازد. به بیان دیگر، واقعیت افزوده، کشاورزی را از یک فعالیت صرفاً تجربی به یک سامانه بصری، داده محور و مبتنی بر هوش دیجیتال تبدیل کرده و در نهایت، کشاورزی هوشمند را توسعه می‌دهد.

با توجه به نتایج فرضیات پژوهش، پیشنهادهای کاربردی به شرح زیر مطرح می‌گردند:

نرم‌افزارهایی به‌منظور قرار دادن تولیدکنندگان محصولات کشاورزی در محیط‌های شبیه‌سازی شده به‌منظور تجربه فرآیندهای کشاورزی طراحی و سپس به آن‌ها آموزش داده شود.
برنامه کاربردی راهنمای مزرعه مبتنی بر واقعیت افزوده برای

ابزارهای خاص را در همان لحظه به‌صورت گرافیکی مشاهده کنند. هم‌چنین، واقعیت افزوده می‌تواند به هدایت دقیق ماشین‌آلات کشاورزی کمک کند. به‌علاوه، با استفاده از واقعیت افزوده، مراحل و فرآیندهای مختلف کشاورزی را پیش می‌کنند و داده‌های گردآوری شده را در تصمیم‌گیری‌های مرتبط هم به کار می‌برند. به‌طور کلی، واقعیت افزوده نقش مهمی در دیجیتالی‌سازی کشاورزی و مزارع، افزایش دقت عملیات، صرفه‌جویی در منابع و ... دارد که به توسعه کشاورزی هوشمند کمک می‌کند.

با فرض وجود زیرساخت، نتیجه فرضیه سوم نشان داد که واقعیت مجازی بر تحول دیجیتال تأثیر مثبت و معنادار دارد. این یافته با قسمتی از نتیجه پژوهش راث و همکاران (Rath et al., 2019) همسو است (نیاز به تحول دیجیتال در بخش‌های مختلف صنعتی با سرعت سرسام‌آوری در حال رشد است و در نتیجه، نیاز به مداخله فنی واقعیت افزوده و واقعیت مجازی از اولویت‌های اصلی شرکت‌های مختلف در بخش‌های مختلف است). بر این اساس می‌توان گفت که واقعیت مجازی یکی از فناوری‌های کلیدی در مسیر تحول دیجیتال محسوب می‌شود. به‌طوری‌که واقعیت مجازی به کاربران خود اجازه می‌دهد تا در محیط‌های دیجیتال حضور یابند، این تغییر از دیدن به تجربه کردن باعث می‌شود که تعامل انسان با فناوری عمیق‌تر، طبیعی‌تر و مؤثرتر شود. هم‌چنین، واقعیت مجازی امکان بازسازی و تحلیل محیط‌های واقعی را در فضای دیجیتال برای انسان فراهم می‌کند. به‌علاوه، واقعیت مجازی امکان ایجاد محصولات و خدمات جدید را به شکل دیجیتال فراهم می‌کند. با فراهم کردن محیط‌های آزمایشی و تجربه‌ای بدون خطر، به رشد مهارت‌های دیجیتال، نوآوری و خلاقیت کمک می‌کند. در مجموع با توجه به موارد برشمرده شده، واقعیت مجازی در تسریع تحول دیجیتال نقش‌آفرینی می‌نماید.

با فرض وجود زیرساخت، نتیجه فرضیه چهارم نشان می‌دهد که واقعیت افزوده بر تحول دیجیتال تأثیر مثبت و معنادار دارد. این یافته با نتیجه پژوهش نتیجه پژوهش راث و همکاران (Rath et al., 2019) همسو است. بر این اساس می‌توان گفت که واقعیت افزوده می‌تواند نقش بسیار مهمی در تحول دیجیتال ایفا کند. به‌طوری‌که واقعیت افزوده می‌تواند اطلاعات واقعی و دیجیتال را ترکیب و در تصمیم‌گیری‌ها سرعت را افزایش دهد. می‌تواند میزان تعامل مشتری با محصولات و خدمات را افزایش دهد. می‌تواند داده‌های دیجیتال را با محیط واقعی به‌صورت لحظه‌ای و تحلیلی ارائه دهد. در نهایت می‌تواند تجربه دیجیتال را ملموس و تعاملی‌تر کند. در مجموع با توجه به موارد برشمرده، واقعیت افزوده پلی میان دنیای واقعی و دیجیتال ایجاد می‌کند.

با فرض وجود زیرساخت، نتیجه فرضیه پنجم نشان داد که تحول دیجیتال بر کشاورزی هوشمند تأثیر مثبت و معنادار دارد. بر این اساس می‌توان گفت که تحول دیجیتال به‌طور چشم‌گیری به توسعه کشاورزی

همچنین، با توجه به وجود محدودیت‌هایی در روش‌های پژوهش کمی به پژوهشگران آتی توصیه می‌شود که روش‌های پژوهش کیفی به‌ویژه داده بنیاد را در زمینه موضوع پژوهش حاضر به کار گیرند.

منابع تأمین مالی

این مقاله با حمایت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی از طرح پژوهشی با شماره قرارداد ۱۴۰۴/د/۹/۱۹۴۳۰ استخراج گردیده است.

تولیدکنندگان محصولات کشاورزی طراحی و آموزش داده شود. برنامه‌های کاربردی مبتنی بر واقعیت مجازی و واقعیت افزوده برای حوزه‌های مختلف به‌منظور ایجاد تحول دیجیتال طراحی شوند. نرم‌افزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی برای کنترل مراحل مختلف کشاورزی طراحی شود.

یک برنامه کاربردی موبایلی مبتنی بر واقعیت مجازی و افزوده طراحی شود تا تولیدکنندگان محصولات کشاورزی بتوانند با استفاده از آن، اطلاعات هوشمند و توصیه‌های تخصصی را به صورت زنده مشاهده کنند.

References

- Ahmed, B., Shabbir, H., Naqvi, S.R., & Peng, L. (2024). Smart agriculture: Current state, opportunities, and challenges. *IEEE Access*, (99):1-1. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3471647>
- Alzahrani, N.M. (2020). Augmented reality: A systematic review of its benefits and challenges in e-learning contexts. *Applied Sciences*, 10(16), 5660. <https://doi.org/10.3390/app10165660>
- Bagal, Y.S. (2022). India's agriculture: Situation, challenges, policies and strategies. *The Planta RBS, Chapter in Planta*, 3(1), 869–876.
- Chatterjee, D., Sadhu, S., Mondal, D., & Kalindi, D. (2025). Use of virtual reality simulation practices for farmers training. *Madras Agricultural Journal*, 1, 74-83. <https://doi.org/10.29321/MAJ.10.701159>
- El Etaiby, Y.S. (2023). Smart agriculture and future technologies for achieving food security. *International Journal of Family Studies, Food Science and Nutrition Health*, 4(2), 56–71. <https://doi.org/10.21608/ijfsnh.2024.293384.1006>
- Fornell, C., & Larcker, D.F. (1981). Structural equation models with unobservable variables and measurement error: Algebra and statistics. *Journal of Marketing Research*, 18, 382-388. <https://doi.org/10.1177/002224378101800313>
- Hakimi, H. (2021). Metaverse leading the way in smart agriculture transformation. *Agricultural Information Sciences and Technology*, 4(2), 23-32. (In Persian). <https://doi.org/2022.360361.1071AISTJ10.2209>
- Hu, Y., Koondhar, M.A., & Kong, R. (2023). From traditional to smart: Exploring the effects of smart agriculture on green production technology diversity in family farms. *Agriculture*, 13(6), 1-19. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061236>
- Klein, M. (2020). Leadership characteristics in the era of digital transformation. *Business & Management Studies: An International Journal*, 8(1), 883-902. <https://doi.org/10.15295/bmij.v8i1.1441>
- Kraus, S., Durst, S., Ferreira, J., Veiga, P., Kailer, N., & Weinmann, A. (2022). Digital transformation in business and management research: An overview of the current status quo Author links open overlay pane. 63(4), 102466. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102466>
- Lei, Y., Su, Z., He, X., & Cheng, C. (2023). Immersive virtual reality application for intelligent manufacturing: Applications and art design. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 20(3), 4353–4387. <https://doi.org/10.3934/mbe.2023202>
- Lie, S.S., Helle, N., Sletteland, N.V., Vikman, M.D., & Bonsaksen, T. (2022). Implementation of virtual reality in health professional higher education: Protocol for a scoping review. *JMIR Research Protocols*, 11(7), 1–6. <https://doi.org/10.2196/37222>
- Mitra, A., Vangipuram, L.S.T., Bapatla, A., Bathalapalli, V.K.V.V., & et al. (2024). Smart agriculture: A comprehensive overview. *SN Computer Science*, 5(8), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s42979-024-03319-w>
- Pereira, C.S., Durão, N., Moreira, F., & Veloso, B. (2022). The importance of digital transformation in international business. *Sustainability*, 14(2), 1–26. <https://doi.org/10.3390/su14020834>
- Rahman, R. (2024). Virtual reality: Transforming experiences across industries. *Global Media Journal*, 22(71), 1–3. <https://doi.org/10.36648/1550-7521.22.71.463>
- Raj, M., & Prahadeeswaran, M. (2025). Revolutionizing agriculture: A review of smart farming technologies for a sustainable future. *Discover Applied Sciences*, 7(937), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07561-6>
- Rath, D., Satpathy, I., & Patnaik, B.C.M. (2019). Augmented reality (AR) & virtual reality (VR)- A channel for digital transformation in industrialization fostering innovation & entrepreneurship. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(10), 3228-3236. <https://doi.org/10.35940/ijitee.J1167.0881019>
- Sara, G., Todde, G., Pinna, D., & Caria, M. (2024). Investigating the intention to use augmented reality technologies in agriculture: Will smart glasses be part of the digital farming revolution? *Computers and Electronics in*

- Agriculture*, 224, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109252>
19. Seifollahi, N., & Forouzan, M.A. (2025). Analyzing the impact of value co-creation on the sustainable development of urban tourism, the mediating roles of virtual reality and augmented reality: A case study of Ardabil. *Journal of Urban Tourism*, 12(2), 59-79. <http://doi.org/10.22059/jut.2025.393487.1286>
20. Seifollahi, N., & Akbari Arbatan, G. (2023). Identifying the challenges and opportunities of the digital economy in the development of rural women's home businesses. *Women in Development and Politics*, 21(3), 781-806. <https://doi.org/10.22059/JWDP.2023.351079.1008275>
21. Singh, G., Kalra, N., Yadav, N., Sharma, A., & Saini, M. (2022). Smart agriculture: A review. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(6), 423-454. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-423-454>
22. Värzaru, A.A., & Boccan, C.G. (2024). Digital transformation and innovation: The influence of digital technologies on turnover from innovation activities and types of innovation. *Systems*, 12(9), 1-25. <https://doi.org/10.3390/systems12090359>
23. Wu, X. (2023). A review of virtual reality technology. Proceedings of the 2021. *International Conference on Machine Learning and Automation*. 36(1), 1-6. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/38/20230521>
24. Zheng, T., & Feng, X.S. (2024). The application and innovation of virtual reality technology in network media. *SNH Web of Conference*, 183, 1-4. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202418302019>
25. Zinke-Wehlmann, C., & Charvat, K. (2021). Introduction of smart agriculture. In book: Big Data in Bioeconomy, Results from the European DataBio Project Publisher: Springer. (pp. 187-190). https://doi.org/10.1007/978-3-030-71069-9_14