



Scenario Planning of Digital Agriculture in Iran: Key Drivers, Uncertainties, and Scenarios

1. Mostafa Safdari Ranjbar ♦
2. Zahra Karimi
3. Kiarash Fartash

Article Type: Research Paper

Vol. 35 | No. 2 | Serial 98 | Jun. 2025

Received: 2026.01.22

Revised: 2026.04.23

Accepted: 2026.05.29

Published Online: 2026.08.29

Pages: 95-114

P-ISSN: 1027-2690

E-ISSN: 2783-4514

Abstract

Technological developments in agriculture have created an unparalleled opportunity to increase productivity, improve resource management, and ensure food security. However, in Iran, the development of digital agriculture faces numerous challenges, including weak communication infrastructure in rural areas, a lack of social acceptance of modern technologies among farmers, instability in government support policies, insufficient investment in emerging technologies such as IoT and artificial intelligence, and the absence of transparent legal frameworks for protecting agricultural data. Despite increased agricultural production in recent decades, low productivity and high losses due to the lack of targeted use of advanced technologies remain the main challenges in this sector. From a theoretical perspective, studies in the national research literature that systematically develop future scenarios for digital agriculture are scarce and fragmented. On the other hand, given population growth toward 100 million in the coming years, ensuring food supply will only be possible through proper planning and a transition from traditional to digital agriculture. Therefore, the main objective of this applied and forward-looking research is to design transition scenarios for digital agriculture in Iran and to answer three fundamental questions: 1) What are the driving forces shaping the future of digital agriculture in Iran? 2) What are the key uncertainties regarding this future? 3) What are the possible, probable, and preferable scenarios for the

Keywords

Futures Studies, Scenario Planning, Digital Agriculture, Digital Technologies, Social Acceptance.

- ♦ Associate Professor in Management of Technology, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran (Corresponding Author)
mostafa.safdary@ut.ac.ir
ORCID: 0000-0002-4913-9797
- M.Sc. in Information Technology Management, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran,
zahrakarimi77@ut.ac.ir
ORCID: 0009-0006-8308-0860
- Associate Professor in Technology Management, Institute for Science and Technology Studies, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran,
k_fartash@sbu.ac.ir
ORCID: 0000-0003-0883-7588

Cite This Paper: Safdari Ranjbar, M., Karimi, Z., Fartash, K. (2025). Scenario Planning of Digital Agriculture in Iran: Key Drivers, Uncertainties, and Scenarios. *Rahyaft*, 35 (2), 95-114. (Persian).

DOI: 10.22034/RAHYAFT.2026.12294.1658



© The Author(s)

Publisher: National Research Institute for Science Policy (N.R.I.S.P)

future of digital agriculture in Iran?

A systematic review of the literature shows that, at the international level, studies in the field of digital transformation of the agri-food value chain have developed future scenarios using participatory and forward-looking approaches. These studies have all emphasized the importance of social acceptance and the development of technological infrastructure as key drivers. At the national level, studies have emphasized the necessity of transitioning from traditional to digital agriculture for Iran's food security, and some research has focused on futures studies in Iranian agriculture, emphasizing the development of realistic scenarios for water resource management, climate change, and digitalization. However, the innovation of the present study lies in its forward-looking approach based on the intuitive logics scenario planning methodology, specifically in designing transition scenarios for digital agriculture in Iran by identifying and analyzing key drivers relevant to the country's context. In addition to developing possible, probable, and preferable scenarios, this study provides specific and operational policy programs for realizing the preferable scenario.

This research is qualitative, developmental, and forward-looking, falling within the category of applied research. The data collection process was carried out in two phases. The first phase involved documentary and library studies, including a systematic review of reputable domestic and international scientific sources, reports from international organizations, and national upstream documents to identify driving forces. The second phase involved field studies through the design of structured questionnaires distributed to 16 experts (including university professors, researchers, and executive managers) selected through purposive and snowball sampling. Experts were selected based on criteria such as scientific expertise (at least a master's degree), practical experience (at least 5 years), familiarity with strategic issues, and diversity in representing different sectors (government, academia, private sector, and technology). The analysis process was conducted in five stages: 1) defining the scope and time horizon (the year 2045); 2) identifying and categorizing 20 driving forces into five groups—social, technological, economic, environmental, and

political-legal—using the STEEP framework; 3) assessing the impact and uncertainty of the forces by experts and drawing an impact-uncertainty matrix to identify key uncertainties; 4) constructing a scenario matrix based on the two key uncertainties and developing four scenarios using narrative analysis and conceptual mapping; and 5) identifying possible, probable, and preferable scenarios based on three indicators: feasibility, probability of occurrence, and desirability.

After expert assessment and the construction of the impact-uncertainty matrix, two key uncertainties—"level of technological development" and "level of social acceptance"—were selected as the axes of the scenario matrix. Based on these, four scenarios were developed: 1) "Digital Green Gold" (rapid and widespread technological development accompanied by high social acceptance) as the preferred scenario, in which Iranian agriculture becomes an intelligent, sustainable, and competitive sector, with increased productivity, reduced water consumption, and ensured food security; 2) "Green Pulse" (slow and limited technological development but high social acceptance) as the probable scenario, in which high social enthusiasm exists but infrastructure cannot keep pace, and development proceeds gradually and step by step; 3) "Frozen Dawn" (rapid and widespread technological development but low social acceptance) as a possible but unfavorable scenario, in which technology exists but a culture of its use has not formed, and the gap between available technology and limited acceptance leads to hidden stagnation; and 4) "Silent Ground" (slow and limited technological development accompanied by low social acceptance) as a possible and highly unfavorable scenario, in which structural barriers, weak infrastructure, and a lack of investment perpetuate traditional methods, reduce productivity, destroy natural resources, and intensify rural-to-urban migration.

The findings indicate that realizing the preferable scenario ("Digital Green Gold") requires five fundamental categories of policy actions. First, the development of digital infrastructure, including high-speed rural internet, cloud systems, and smart resource management systems through collaboration among the government, the private sector, and international organizations. Second,

the enhancement of farmers' digital literacy through in-person and online training courses, practical workshops, technical consultations, and the creation of local learning networks focusing on data analysis and decision-making skills. Third, supportive and incentive policies, including financial facilities, smart crop insurance, financial incentives for adopting modern technologies, and the development of transparent legal frameworks for protecting agricultural data. Fourth, the development of pilot projects and innovation networks among universities, research centers, and the private sector, drawing inspiration from

successful international experiences such as European projects and leveraging domestic experiences such as the implementation of more than 100 smart irrigation pilot projects in Iran. Fifth, strengthening international cooperation with international organizations and leading countries for the transfer of technical knowledge, successful experiences, and financial resources. In conclusion, without active and coordinated intervention by the government and the private sector in these five areas, the likelihood of the country moving toward unfavorable scenarios, especially "Silent Ground", will increase significantly.



سناریونگاری کشاورزی دیجیتال در ایران؛ پیش‌ران‌های اصلی، عدم قطعیت‌ها و سناریوها

۱. مصطفی صفدری رنجبر

۲. زهرا کریمی

۳. کیارش فرتاش

• نوع مقاله: پژوهشی

• دوره ۳۵ | شماره ۲ | پیاپی ۹۸ | تیر ۱۴۰۴

• تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۰۲

• تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۰۳

• تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۸

• تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۵/۰۶/۰۷

• صفحات: ۹۵-۱۱۴

• شابای چاپی: ۹۷۸۰-۲۶۹۰-۱۰۲۷

• شابای الکترونیکی: ۹۷۸۳-۴۵۱۴-۲۷۸۳

چکیده

توسعه کشاورزی دیجیتال در ایران به دلیل محدودیت‌های ساختاری و منابع آبی، ضرورت راهبردی اجتناب‌ناپذیری است. با وجود اینکه مطالعات بین‌المللی بر مؤلفه‌های پذیرش اجتماعی و زیرساخت‌های فناورانه تأکید دارند، نبود سناریوهای بومی و روش‌شناختی منسجم، بزرگ‌ترین خلأ پژوهشی در این حوزه است. این پژوهش کاربردی و آینده‌نگر با بهره‌گیری از روش سناریونگاری شهودی، به تدوین سناریوهای گذار به کشاورزی دیجیتال در ایران می‌پردازد و بینش‌های سیاستی ملموسی ارائه می‌دهد. روش پژوهش کیفی، توسعه‌ای و آینده‌نگر بوده و داده‌ها در دو مرحله اسنادی و میدانی (با مشارکت ۱۶ خبره) گردآوری شده است. فرایند تحلیل در پنج مرحله تعریف افق زمانی ۱۴۲۵، شناسایی ۲۰ نیروی پیش‌ران در قالب الگوی STEEP، ارزیابی تأثیر و عدم قطعیت، ساخت ماتریس سناریو و شناسایی سناریوهای ممکن، محتمل و مطلوب انجام شد. یافته‌ها نشان داد دو عدم قطعیت «سطح توسعه فناوری» و «سطح پذیرش اجتماعی» محورهای اصلی هستند که براساس آن‌ها چهار سناریو تدوین شد: «طلای سبز دیجیتال» (سناریوی مطلوب با فناوری پیشرفته و پذیرش بالا)، «نبض سبز» (سناریوی محتمل با پذیرش بالا، اما فناوری محدود)، «طلوع منجمد» (سناریوی ممکن و نامطلوب با فناوری بالا، اما پذیرش پایین) و «زمین خاموش» (سناریوی فاجعه‌بار با فناوری و پذیرش پایین). تحقق سناریوی مطلوب مستلزم پنج اقدام سیاستی اساسی است:

کلیدواژه‌ها

آینده‌پژوهی، سناریونگاری، کشاورزی دیجیتال، فناوری‌های دیجیتال، پذیرش اجتماعی.

۱. دانشیار مدیریت فناوری، دانشکده‌گان فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران (پدیدآور رابط)

mostafa.safdary@ut.ac.ir

ORCID: 0000-0002-4913-9797

۲. کارشناسی ارشد مدیریت فناوری اطلاعات، دانشکده‌گان فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران

zahrakarimi77@ut.ac.ir

ORCID: 0009-0006-8308-0860

۳. دانشیار مدیریت تکنولوژی، پژوهشکده مطالعات بنیادین علم و فناوری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

k_fartash@sbu.ac.ir

ORCID: 0000-0003-0883-7588

استناد به این مقاله: صفدری رنجبر، م.، کریمی، ز. و فرتاش، ک. (۱۴۰۴). سناریونگاری کشاورزی دیجیتال در ایران؛ پیش‌ران‌های اصلی، عدم قطعیت‌ها و سناریوها. *راه‌افت*، ۳۵ (۲)، صص. ۹۵-۱۱۴.

DOI: 10.22034/RAHYAFT.2026.12294.1658

ناشر: مؤسسه تحقیقات سیاست علمی کشور
نویسندگان: © حق مؤلف



توسعه زیرساخت‌های دیجیتال روستایی، ارتقای سواد دیجیتال کشاورزان از طریق آموزش‌های هدفمند، طراحی سیاست‌های حمایتی و انگیزشی شامل تسهیلات مالی و بیمه هوشمند محصولات، اجرای طرح‌های آزمایشی و شبکه‌های نوآوری و تقویت همکاری‌های بین‌المللی برای انتقال دانش فنی و تجربیات موفق. نتیجه نهایی اینکه بدون مداخله فعال، هماهنگ و پایدار دولت و دیگر بازیگران و ذی‌نفعان در این پنج حوزه، احتمال حرکت کشور به‌سوی سناریوهای نامطلوب، به‌ویژه «زمین خاموش»، به‌طور قابل توجهی افزایش خواهد یافت.

مقدمه و بیان مسئله

در دهه‌های اخیر، کشاورزی دستخوش تحولات فنی گسترده‌ای شده و به‌سوی صنعتی شدن و فناوری‌محوری حرکت کرده است. کشاورزان با بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال و هوشمند، بهره‌وری را افزایش داده و همگام با تقاضای جهانی، نفوذ کشاورزی دیجیتال را تسهیل کرده‌اند (Latino, Corallo, Menegoli & Nuzzo, 2021). توسعه راحل‌های بلندمدت برای تجارت کشاورزی و امنیت غذایی، مفاهیمی مانند کشاورزی دیجیتال^۱، کشاورزی هوشمند^۲، کشاورزی دقیق^۳ و کشاورزی ۴.۰ را پدید آورده است. امروزه انقلاب دیجیتال، کشاورزی سنتی را متحول می‌سازد و دیجیتالی شدن، نظام کشاورزی—غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند عرضه غذا، شیوه‌های کشاورزی و سیاست‌های این حوزه را دگرگون کند (Prause, Hackfort & Lindgren, 2021). فناوری دیجیتال با فراهم آوردن داده‌های جدید و تسهیل تحلیل، سیاست‌گذاری کشاورزی را تغییر می‌دهد و زمینه‌ساز حکمرانی مبتنی بر اشتراک داده‌ها می‌شود (Ehlers, Huber & Finger, 2021).

استفاده از فناوری‌های دیجیتال در کشاورزی مزایای متعددی دارد: افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های عملیاتی از طریق کشاورزی دقیق (Zhang, Wang & Wang, 2002)، کاهش مصرف آب و بهبود مدیریت منابع با آبیاری هوشمند و پایش لحظه‌ای (Rezvani, Shamshiri, Moghaddam, Balasundram, 2022 & Hameed)، کاهش ضایعات با زنجیره تأمین هوشمند (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۴؛ FAO, 2019^۶)، بهبود تصمیم‌گیری

از طریق تحلیل داده‌های حسگرها، اینترنت اشیا و هوش مصنوعی (Choudhary, Guha, Pau & Mishra, 2025)، افزایش درآمد کشاورزان (Geng, Liu, Zhao, Kang & Wang, 2024)، کاهش فشار بر منابع طبیعی (Finger, 2023) و تأمین پایدار امنیت غذایی (Sharifi Tehrani and Mahdavi Damghani, 2023).

با توجه به روند جهانی، ضرورت دارد این فناوری‌ها وارد کشاورزی ایران شوند. کشاورزی یکی از پایه‌های تولید و اقتصاد کشور است و براساس گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۲۲، حدود ۱۳ درصد از تولید ناخالص داخلی و ۱۵ درصد از اشتغال را به خود اختصاص داده است (Pakzat and Rezvani, 2025). با برآورد جمعیت ایران در سال ۲۰۲۶ حدود ۹۳ میلیون نفر و پیش‌بینی افزایش به بیش از ۱۰۰ میلیون نفر، تأمین پایدار مواد غذایی فقط از طریق گذار از کشاورزی سنتی به دیجیتال و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین امکان‌پذیر است (Sharifi Tehrani and Mahdavi Damghani, 2023).

با وجود افزایش تولیدات کشاورزی در ایران، پایین بودن بهره‌وری و بالا بودن میزان تلفات، به‌دلیل نبود استفاده هدفمند از فناوری‌های پیشرفته، از چالش‌های اصلی این بخش به‌شمار می‌روند (Mirpanahi and Javadi, 2022). کمبود زیرساخت‌ها و ناآشنایی با پیچیدگی‌های دیجیتالی شدن، موجب شده است فناوری‌ها به‌طور فراگیر به کار گرفته نشوند (Rezvani et al., 2022). ایران با چالش‌های شدید اقلیمی (کاهش ۲۵ درصدی بارندگی در دهه اخیر و خشکسالی‌های مداوم) و فشارهای اقتصادی ناشی از تحریم‌ها روبه‌روست (سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، ۲۰۲۴). ضایعات غذایی در ایران حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد تولیدات (معادل بیش از ۳۵ میلیون تن در سال) برآورد می‌شود؛ مقداری که می‌تواند نیاز غذایی ۱۵ میلیون نفر را تأمین کند (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۴). کشاورزی ایران همچنان عمدتاً به شیوه‌های سنتی و نیمه‌مکانیزه انجام می‌شود که به بهره‌وری پایین‌تر و تخریب منابع می‌انجامد (Rezvani et al., 2022; Mirpanahi and Javadi, 2022).

از جنبه نظری، با وجود تحولات ناشی از انقلاب دیجیتال، مطالعات نظام‌مند در زمینه تدوین سناریوهای آینده کشاورزی دیجیتال در ادبیات پژوهشی کشور اندک و پراکنده است (Gooshchi, 2014). موضوعاتی مانند نقش فناوری‌های دیجیتال در تحول سیاست‌گذاری، چالش‌ها و فرصت‌های دیجیتالی شدن برای حکمرانی داده‌ها و تصمیم‌گیری راهبردی، به‌طور جامع بررسی نشده است (Rezvani et al., 2022). سیاست کشاورزی نقش مهمی در دستیابی به نظامی پایدار دارد و پیامدهای دیجیتالی شدن برای سیاست‌گذاری، نگرانی نوظهوری است که توجه چندانی به آن نشده است (Ehlers et al., 2022).

1. Digital agriculture
2. Smart agriculture
3. Precise agriculture
4. Agriculture 4.0
5. <https://www.maj.ir>
6. <https://openknowledge.FAO.org/home>

می‌تواند از عدم قطعیت‌ها بکاهد و چشم‌اندازی بلندمدت برای شرکت‌ها و سیاست‌گذاران فراهم آورد (Fartash, Ghorbani & Bagheri, 2023). با پرداختن به سناریوهای آینده، سیاست‌گذاران سیاست‌ها را با نیازهای اجتماعی همسو می‌کنند (Börjeson, Höjer, Dreborg, Ekvall & Finnveden, 2006). با این حال، در خصوص تأثیر فناوری‌های دیجیتال بر سیاست‌گذاری کشاورزی در بافتار ایران، پژوهش‌های کافی انجام نشده است.

بنابراین، تاکنون در ایران پژوهش نظام‌مندی انجام نشده است که با استفاده از روش‌شناسی سناریونگاری شهودی، عدم قطعیت‌های اصلی را شناسایی و سناریوهای بومی‌شده‌ای برای کشاورزی دیجیتال، متناسب با بافتار اقتصادی، اجتماعی، نهادی و اقلیمی کشور، تدوین کند. کشاورزی دیجیتال فرایندی پیچیده و چندبعدی است که با تنش‌های ارزشی، نابرابری در دسترسی، چالش‌های حاکمیت داده و پیامدهای توزیعی ناعادلانه همراه است. پژوهش حاضر می‌کوشد با تدوین سناریوهای ممکن، محتمل و مطلوب، عدم قطعیت‌های پیش‌روی سیاست‌گذاری کشاورزی دیجیتال در ایران را شناسایی و بستری برای تصمیم‌سازی آگاهانه فراهم آورد. نوآوری اصلی این پژوهش، طراحی سناریوهایی مبتنی بر تحلیل‌های آینده‌نگرانه و متناسب با شرایط بومی ایران در حوزه کشاورزی دیجیتال است. هدف اصلی پژوهش، طراحی سناریوهای آینده کشاورزی دیجیتال در ایران است. در این راستا، پرسش‌های پژوهش عبارت‌اند از:

۱. نیروهای پیش‌ران آینده کشاورزی دیجیتال در ایران کدام‌اند؟
۲. عدم قطعیت‌های اصلی کدام‌اند؟
۳. سناریوهای ممکن، محتمل و مطلوب آینده کدام‌اند؟

ساختار ادامه مقاله بدین شرح است: بخش دوم به مبانی نظری و پیشینه، بخش سوم به روش‌شناسی، بخش چهارم به تحلیل داده‌ها و یافته‌ها و بخش پنجم به بحث، راهکارهای سیاستی و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی اختصاص دارد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

کشاورزی دیجیتال: مفاهیم و روندها

صنعت کشاورزی با چالش‌هایی چون رشد سریع جمعیت، تغییرات آب‌وهوایی و کاهش زمین‌های قابل کشت مواجه است که پایداری بهره‌وری را تهدید می‌کند (Hakim, Joseph, Gokul & Mufeedha, 2016). از این‌رو، گذار به پارادایم‌های نوین کشاورزی اجتناب‌ناپذیر است. کشاورزی دیجیتال به‌معنای استفاده از

فناوری‌های رایانه‌ای و ارتباطی برای افزایش سودآوری و پایداری است (Ozdogan, Gacar & Aktas, 2017) و می‌تواند عرضه غذا، شیوه‌های کشاورزی و سیاست‌گذاری را دگرگون کند (Ehlers et al., 2021). از آنجاکه سیاست کشاورزی نقش مهمی در دستیابی به نظام غذایی پایدار دارد (Davies, 2020)، ذی‌نفعان باید به عدم قطعیت‌های ناشی از دیجیتالی شدن توجه کنند (Rose & Chilvers, 2018). کشاورزی دقیق به کاهش هزینه‌ها و بهره‌برداری بیشتر از زمین‌ها با حداقل اختلال در بوم‌سازگان کمک می‌کند (Zhang et al., 2002). کشاورزی هوشمند با استفاده از حسگرها، اینترنت اشیا، پهپادها و تحلیل داده‌ها، کنترل مزارع را بهبود می‌بخشد (Choudhary et al., 2025). کشاورزی ۴.۰، به‌عنوان تکامل کشاورزی دقیق، ضمن مزایای فراوان، خطرات امنیت سایبری را تشدید می‌کند (Bui et al., 2024) و بر خودکارسازی، تصمیم‌گیری مبتنی بر داده و بهینه‌سازی زنجیره تأمین تمرکز دارد (Guercio, Landini & de Giorgio, 2025).

کشاورزی دیجیتال: رویکردهای انسان‌محور و پایدار

با آغاز انقلاب صنعتی پنجم، کشاورزی ۵.۰ در حال شکل‌گیری است که بر تلفیق رویکرد انسان‌محور و فناوری تأکید دارد. برخلاف کشاورزی ۴.۰ که بر خودکارسازی تمرکز دارد، کشاورزی ۵.۰ بر همزیستی انسان و ماشین، استفاده هوشمند از ربات‌ها و هوش مصنوعی و نیز توجه به سلامت خاک، امنیت غذایی و پایداری تأکید می‌کند (Petrović et al., 2024). براساس پیش‌بینی سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)، تا سال ۲۰۵۰ نیاز جهانی به غذا تا ۷۰ درصد افزایش خواهد یافت (Bagheri, Keshavarz Tork, Abasi & Bordbar, 2020). تحقیقات فائو نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی یک‌چهارم سطح خاکی کره زمین را تخریب کرده است و از بین رفتن حاصلخیزی خاک می‌تواند باعث سقوط تمدن‌ها شود (Aliliu and Jamshidi, 2023). انجمن علوم کشاورزی آمریکا «کشاورزی پایدار» را سبکی تعریف می‌کند که در بلندمدت کیفیت محیط‌زیست را بهبود می‌بخشد، نیازهای غذایی را تأمین می‌کند، از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است و کیفیت زندگی کشاورزان را ارتقا می‌دهد (Bongiovanni & Lowenberg-DeBoer, 2004). این رویکرد جامع، ضمن تأمین نیازهای جامعه، از سلامت بوم‌سازگان محافظت می‌کند (Velten, Leventon, Jager & Newig, 2015). کشاورزان با پذیرش راهکارهای پایدار می‌توانند حاصلخیزی خاک را بهبود بخشند و منابع آب را مدیریت کنند (Pigford, Hickey & Klerkx, 2018)؛ در نتیجه پایداری بلندمدت منابع طبیعی تضمین

می‌شود (Stoian et al., 2022). امروزه با ادغام فناوری‌های پیشرفته، بهرهوری افزایش و آثار زیست‌محیطی کاهش یافته است (Mabele & Mutegi, 2019).

برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو

برنامه‌ریزی سناریو رویکردی راهبردی و فرایندمحور است که با رویکردهای سنتی مبتنی بر جست‌وجوی راهبرد «بهینه» تفاوت دارد (Van der Heijden, 2005). از دیدگاه مارتلی (Martelli, 2011)، ساخت سناریوها به معنای حدس زدن درباره عدم قطعیت‌های آینده و تصور چندین نتیجه ممکن است. سناریو به مثابه ابزاری در آینده‌نگری، روایتی است که شرایط احتمالی آینده و چگونگی وقوع آن‌ها را توصیف می‌کند. سناریوها ویژگی‌هایی دارند که آن‌ها را از پیش‌بینی متمایز می‌کند: جامع‌نگری، ارائه شماتیک، ساختاردهی به صورت مجموعه‌ای از دو یا چند سناریو و تأکید کمتر بر قطعیت (Parson et al., 2007). برنامه‌ریزی سناریو روشی اثبات‌شده برای مواجهه با عدم قطعیت‌ها در دنیای متغیر امروز است (Klump, Clausen & Ten, 2013). این روش از دهه ۱۹۵۰ آغاز شد و نخست در تصمیم‌گیری‌های سیاست عمومی، به ویژه تحلیل بازی‌های جنگی در مؤسسه رند، به کار گرفته شد (Wilkinson & Eidinow, 2008).

پیشینه پژوهش

۱. فرصت‌ها و چالش‌های فناوری‌های کشاورزی دیجیتال
مطالعات متعددی به ظرفیت‌های فناوری‌های دیجیتال در تحول کشاورزی پرداخته‌اند. ساموئلز (Samuels, 2024) اشاره می‌کند که این حوزه با بهره‌گیری از تحلیل داده‌ها، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و حسگرهای از راه دور، شیوه‌های سنتی کشاورزی را متحول می‌کند. ساینی و یاداو (Saini & Yadav, 2025) نیز تأکید دارند که کشاورزی دقیق با استفاده از حسگرها و الگوریتم‌ها، کارایی کشاورزی را بهبود می‌بخشد. بورسینیس و همکاران (Boursianis et al., 2022) نشان داده‌اند که اینترنت اشیا و پهپادها نقش مهمی در جمع‌آوری داده‌های بی‌درنگ از مزارع دارند. کومار و همکاران (Kumar et al., 2024) در مرور جامعی بر فناوری‌های هوشمند، تأکید کرده‌اند که به کارگیری اینترنت اشیا در کشاورزی، ضمن افزایش بهرهوری، مصرف آب و نهاده‌های شیمیایی را کاهش می‌دهد. مک‌فرسون و همکاران (MacPherson et al., 2022) در مرور نظام‌مند نشان دادند که فناوری‌های نوین دیجیتال ظرفیت بالایی برای ارتقای بهرهوری و کاهش آثار زیست‌محیطی دارند، اما دستیابی به اهداف پایداری مستلزم تلفیق با سیاست‌های یکپارچه و سناریونویسی است.

مشرام و همکاران (Meshram, Mishra & Rathnayake, 2025) بر نقش هوش مصنوعی در کشاورزی هوشمند اقلیمی تأکید کرده‌اند و باور دارند که هزینه‌های بالایی به کارگیری این فناوری، کمبود زیرساخت‌های ارتباطی در مناطق روستایی و نبود استانداردهای یکپارچه داده، از موانع جدی پذیرش این فناوری‌ها هستند. نقد وارد بر این مطالعات آن است که غالباً با رویکردی خوش‌بینانه به فناوری نوشته شده‌اند و کمتر به موانع ساختاری در کشورهای در حال توسعه توجه کرده‌اند. رضوانی و همکاران (Rezvani et al., 2022) در مطالعه‌ای موردی در ایران، کمبود زیرساخت‌های پرسرعت در روستاها، نبود قوانین شفاف در خصوص مالکیت و اشتراک‌گذاری داده‌ها، و ناآشنایی کشاورزان با مزایای فناوری‌های دیجیتال را از مهم‌ترین موانع ساختاری در کشورهای در حال توسعه معرفی کرده‌اند.

۲. ابعاد اجتماعی و نهادی کشاورزی دیجیتال

دسته دوم مطالعات، با رویکردی انتقادی به پیامدهای اجتماعی و اخلاقی ورود فناوری‌های دیجیتال به کشاورزی پرداخته‌اند. وندربگ و همکاران (Van der Burg, Bogaardt & Wolfert, 2019) بر ضرورت طراحی انسان‌محور فناوری‌های کشاورزی تأکید کرده‌اند. ایستوود و همکاران (Eastwood, Klerkx, Ayre & Dela Rue, 2019) استدلال می‌کنند که دیجیتالی شدن، بازآفرینی نقش بازیگران، داده‌ها، دانش و ارزش‌ها را در پی دارد. کلرکس و روز (Klerkx & Rose, 2020) از سیاست‌گذاران خواسته‌اند زیرساخت‌های اجتماعی، حقوقی و فرهنگی لازم را برای انتقال موفق فناوری فراهم کنند. تقی‌بیگی و علی‌بیگی (Taghibaygi & Alibaygi, 2024) نیز در مطالعه‌ای تجربی در ایران نشان داده‌اند که رعایت تعهدات اخلاقی در قبال کشاورزان و ایجاد احساس مثبت، تأثیر قابل توجهی بر تمایل به پذیرش فناوری‌های دیجیتال دارد و اعتماد را مهم‌ترین سرمایه اجتماعی در این گذار معرفی کرده‌اند. یئو و کسکه (Yeo & Keske, 2024) تأکید کرده‌اند که پذیرش فناوری‌های دیجیتال فراتر از عوامل فنی، به شدت تحت تأثیر اعتماد کشاورزان به عملکرد فناوری و توصیه‌کنندگان آن (کارشناسان، دولت و شرکت‌های فناوری) است. رایان و همکاران (Ryan et al., 2024) با بررسی سیاست‌های اشتراک داده در کشاورزی اروپا نشان داده‌اند که فقدان شفافیت در مالکیت داده‌ها و نبود چهارچوب‌های قانونی حمایت‌گر از حقوق کشاورزان، از مهم‌ترین موانع نهادی است. نقطه قوت این مطالعات توجه به عوامل انسانی و نهادی است، اما نقد وارد بر آن‌ها نبود چهارچوبی عملیاتی برای کشورهای با بافتار نهادی متفاوت است. در کشورهایی مانند ایران، عواملی چون پراکندگی حکمرانی میان نهادهای متعدد، ضعف نظام یکپارچه داده، و نبود سیاست‌های منسجم

حمایتی، به مطالعات بومی و زمینه‌محور بیشتری نیاز دارد (Rezvani et al., 2022; Mirpanahi and Javadi, 2022).

۳. رویکردهای آینده‌پژوهانه به کشاورزی دیجیتال

دسته سوم مطالعات به روش‌شناسی‌های آینده‌نگرانه پرداخته‌اند. کامیلاریس و همکاران (Kamilaris, Kartakoullis & Prenafeta-, 2017) تأکید کرده‌اند که تحلیل روند و روش‌های الگوسازی داده در کنار روش‌های کیفی مانند دلفی، چهارچوبی آینده‌پژوهانه فراهم می‌کند. فلمینگ و همکاران (Fleming et al., 2021) در استرالیا با کارگاه‌های آینده‌نگاری، سناریوهای مختلف تحول دیجیتال را ترسیم کرده‌اند. وحدانجو و همکاران (Vahdanjoo, Sørensen, & Nørremark, 2025) نشان داده‌اند که تحول دیجیتال مستلزم بازنگری ساختاری در سیاست‌ها، زیرساخت‌ها و تعاملات میان ذی‌نفعان است. مک‌فرسون و همکاران (MacPherson et al., 2025) در آلمان با رویکرد ارزیابی مشارکتی نشان دادند که دیدگاه‌های متفاوت ذی‌نفعان به تنوع سناریوها منجر می‌شود. فرتاش و همکاران (Fartash et al., 2023) با تأکید بر مزایای سناریونگاری مبتنی بر منطق شهودی در زمینه‌های پیچیده و با عدم قطعیت بالا، خاطرنشان کرده‌اند که این رویکرد به شکل‌گیری برداشت جمعی و اجماع کمک می‌کند و سوگیری ذی‌نفعان را به حداقل می‌رساند. بورژسون و همکاران (Börjeson et al., 2006) با ارائه گونه‌شناسی جامع از سناریوها، تمایز میان سناریوهای ممکن، محتمل و مطلوب را برای سیاست‌گذاری راهبردی ضروری دانسته‌اند. نقد وارد بر این مطالعات آن است که همه آن‌ها در بافتار کشورهای توسعه‌یافته انجام شده‌اند و سناریوهای ارائه‌شده برای بافتار ایران با محدودیت‌های ساختاری، تحریمی و نهادی خود به‌طور مستقیم تعمیم‌پذیر نیستند. قوشچی (Ghooshchi, 2014) در یکی از معدود مطالعات داخلی، به تحلیل عوامل اصلی مؤثر بر ساختار کشاورزی ایران پرداخته، اما فاقد روش‌شناسی منسجم سناریونگاری شهودی و شناسایی نظام‌مند عدم قطعیت‌هاست.

۴. مطالعات داخلی در زمینه کشاورزی دیجیتال در ایران

میرپناهی و جوادی (Mirpanahi and Javadi, 2022) تقویت زیرساخت‌های فناوریانه، توسعه مکانیزاسیون و آموزش نیروی انسانی را راهکارهای اصلی گذار معرفی کرده‌اند. قوشچی (Ghooshchi, 2014) بر ضرورت تدوین سناریوهای واقع‌بینانه برای مدیریت آب، تغییرات اقلیمی و دیجیتالی‌سازی تأکید کرده است. با این حال، این مطالعات فاقد روش‌شناسی منسجم سناریونگاری هستند. معروفی و

همکاران (Maroofi et al., 2020) در آینده‌نگاری بخش کشاورزی منطقه ۳ کشور، پنج نیروی پیش‌ران (تجاری‌سازی، کوتاه شدن زنجیره ارزش، فناوری‌های کشاورزی، تجارت جهانی و تغییر اقلیم) را شناسایی کرده‌اند و براساس تقاطع دو محور «زنجیره ارزش» و «فناوری‌های کشاورزی»، چهار سناریوی کشاورزی پایدار، فشار مضاعف بر منابع طبیعی، کشاورزی ناپایدار و کشاورزی غیراقتصادی را ترسیم کرده‌اند.

با وجود پژوهش‌های متعدد بین‌المللی، شکاف نظری و عملی مهمی در کاربرد سناریونگاری شهودی در زمینه کشاورزی دیجیتال برای بافتار ایران وجود دارد. پژوهش‌های بین‌المللی در کشورهای توسعه‌یافته انجام شده‌اند و نتایج آن‌ها را نمی‌توان به‌طور مستقیم به بافتار ایران تعمیم داد. مطالعات داخلی نیز از نظر روش‌شناختی عمق کافی ندارند و کمتر به رویکردی نظام‌مند برای بررسی عدم قطعیت‌ها پرداخته‌اند. از این‌رو، نوآوری پژوهش حاضر در طراحی سناریوهای گذار به کشاورزی دیجیتال در ایران، با شناسایی پیش‌ران‌های اصلی (فناورانه، نهادی، اجتماعی، اقتصادی و سیاسی) و تدوین سناریوهای ممکن، محتمل و مطلوب و ارائه برنامه‌های سیاستی عملیاتی است. این پژوهش با پر کردن بخشی از شکاف نظری و عملی موجود، ابزار تحلیلی مناسبی برای سیاست‌گذاران فراهم می‌کند و می‌تواند الگویی برای سایر بخش‌های اقتصادی و دیگر کشورهای در حال توسعه باشد.

روش‌شناسی

رویکرد و راهبرد پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کیفی، توسعه‌ای و آینده‌نگر و در دسته پژوهش‌های کاربردی است که با هدف ارائه راهکارهایی برای ارتقای سیاست‌گذاری کشاورزی دیجیتال در ایران، به کشف ابعاد پنهان موضوع و ترسیم آینده‌های بدیل می‌پردازد. با توجه به نوبا بودن مسیر توسعه کشاورزی دیجیتال در ایران و عدم قطعیت بالا، استفاده از رویکرد کیفی در این پژوهش ضروری است. این پژوهش بر پایه «سناریونگاری شهودی» استوار است که در شرکت روبال داج شل توسعه یافته و بر تحلیل پیش‌ران‌های اصلی و عدم قطعیت‌های بحرانی تمرکز دارد. این رویکرد، به‌جای پیش‌بینی یک آینده واحد، مجموعه‌ای از آینده‌های محتمل را بررسی می‌کند (Fartash et al., 2023). از مزایای آن می‌توان به مشارکت سیاست‌گذاران و خبرگان، کاهش اختلاف نظر، دسته‌بندی سناریوها در قالب آینده‌های مطلوب،

محتمل و بدترین، کاهش سوگیری ذی‌نفعان، انعطاف‌پذیری بیشتر در مقایسه با روش‌های کمی، و تقویت ظرفیت‌های پویای سازمان‌ها اشاره کرد (Fartash et al., 2023).

روش گردآوری داده‌ها

روش گردآوری داده‌ها در دو مرحله انجام شده است:

مرحله نخست (مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای): محققان با مرور نظام‌مند منابع معتبر علمی خارجی، گزارش‌های بین‌المللی (فائو و OECD) به شناسایی پیش‌ران‌های اصلی کشاورزی دیجیتال در سطح جهانی و ملی پرداختند. این مطالعات زمینه‌ساز طراحی پرسش‌نامه خبرگی شد.

مرحله دوم (مطالعات میدانی): داده‌های اسنادی بازبینی و پالایش شد

و براساس آن‌ها پرسش‌نامه‌هایی طراحی شد. پرسش‌نامه نخست برای ارزیابی و اولویت‌بندی نیروهای پیش‌ران شناسایی شده به خبرگان ارسال شد. پرسش‌نامه دوم برای ارزیابی میزان تأثیرگذاری و عدم قطعیت نیروهای پیش‌ران اصلی طراحی شد. خبرگان با روش نمونه‌گیری قضاوتی و هدفمند و گلوله‌برفی براساس معیارهایی چون تخصص علمی (حداقل کارشناسی ارشد)، تجربه عملی (حداقل ۵ سال)، آشنایی با مسائل راهبردی و تنوع بخش‌های مختلف انتخاب شدند. از فهرست اولیه ۲۲ خبره، در نهایت ۱۶ خبره پرسش‌نامه‌ها را تکمیل کردند. نتایج این مرحله زمینه‌ساز ارزیابی تأثیر و عدم قطعیت نیروها و طراحی ماتریس سناریو شد. مشخصات خبرگان در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات خبرگان مشارکت‌کننده در این پژوهش

ردیف	تحصیلات	رشته تخصصی	سوابق علمی و اجرایی	سابقه فعالیت
۱	دکتری	مدیریت فناوری	عضو هیئت علمی پژوهشکده مطالعات بنیادین علم و فناوری دانشگاه شهید بهشتی همکاری با معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان	۱۵ سال
۲	دکتری	سیاست‌گذاری علم و فناوری	عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی (واحد تهران جنوب)	۱۵ سال
۳	دکتری	مهندسی کشاورزی / آموزش کشاورزی	عضو هیئت علمی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی هم‌بنیان‌گذار اندیشکده سیاست‌پژوهان علم، فناوری و نوآوری	۹ سال
۴	دکتری	مدیریت سیستم‌ها / مدیریت دانش / تحول دیجیتال	دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران / دانشگاه خاتم مدرس و مشاور مدیریت دانش	۱۴ سال
۵	دکتری	مدیریت فناوری	فعالیت در معاونت علمی و فناوری مدیرعامل صندوق پژوهش و فناوری‌های نوظهور دیجیتال	۱۵ سال
۶	دکتری	اقتصاد سرمایه‌گذاری بین‌الملل	استادیار گروه تأمین مالی و اقتصاد علم، فناوری و نوآوری، مؤسسه تحقیقات سیاست علمی کشور، ایران مدیرکل تجهیزات و ملزومات پزشکی سازمان غذا و دارو	۱۲ سال
۷	دکتری	مدیریت سیستم‌ها	عضو هیئت علمی گروه مدیریت دانشگاه حضرت معصومه (س) عضو هیئت مدیره شرکت کارآفرینی و مشاوره کسب‌وکار عماد	۱۰ سال
۸	دکتری	کشاورزی پایدار	عضو هیئت علمی پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی تهران مسئول دبیرخانه کنفرانس سومین همایش ملی کشاورزی بوم‌شناختی ایران	۲۵ سال
۹	دکتری	مدیریت فناوری	عضو هیئت علمی دانشکده حکمرانی دانشگاه تهران	۸ سال
۱۰	دکتری	مدیریت فناوری اطلاعات	دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران	۱۵ سال
۱۱	دکتری	سیاست‌گذاری علم و فناوری	عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات سیاست علمی کشور مشاور معاونت سیاست‌گذاری و توسعه، معاونت علمی و فناوری ریاست‌جمهوری	۱۸ سال
۱۲	دکتری	مدیریت فناوری	مؤسسه تحقیقات سیاست علمی کشور، مدیر گروه پژوهشی تأمین مالی و اقتصاد علم، فناوری و نوآوری	۲۰ سال

ردیف	تحصیلات	رشته تخصصی	سوابق علمی و اجرایی	سابقه فعالیت
۱۳	دکتری	آینده‌پژوهی	عضو هیئت علمی دانشگاه تهران مدیرعامل شرکت مشاوره دانش صنعت مهرگان و عضو انجمن آینده‌نگری ایران	۲۵ سال
۱۴	دکتری	زمین‌شناسی	مدرس و مشاور توسعه کسب‌وکار و فناوری‌های نوظهور برای تیم‌های فناوری و استارت‌آپ‌ها	۲۰ سال
۱۵	دکتری	سیاست‌گذاری علم و فناوری	عضو هیئت علمی دانشکده مدیریت صنعتی و فناوری دانشگاه تهران	۸ سال
۱۶	دکتری	مدیریت صنعتی	عضو هیئت علمی دانشکده مدیریت و حسابداری، پردیس فارابی دانشگاه تهران	۱۷ سال

فرایند تحلیل داده‌ها

تحلیل داده‌ها در این پژوهش در چهارچوب سناریونگاری شهودی و به‌صورت کیفی انجام گرفته است. فرایند تحلیل شامل پنج مرحله اصلی به شرح زیر اجرا شده است (Fartash et al., 2023):

♦ **مرحله اول: تعریف محدوده و افق زمانی** - در این مرحله، هدف اصلی پژوهش، یعنی طراحی سناریوهای آینده کشاورزی دیجیتال در ایران، تعیین شد و با توجه به روندهای جاری، سیاست‌های توسعه‌ای و چشم‌اندازهای ملی، افق زمانی سال ۱۴۲۵ به‌عنوان نقطه تمرکز برای توسعه سناریوها انتخاب گردید.

♦ **مرحله دوم: شناسایی نیروهای پیش‌ران** - نیروهای مؤثر بر آینده کشاورزی دیجیتال از طریق بررسی مقالات، اسناد و گزارش‌های بین‌المللی در ابعاد فناوری، اقتصادی، اجتماعی، سیاستی و زیست‌محیطی استخراج شدند، سپس این نیروها در قالب پرسش‌نامه‌ای با طیف لیکرت پنج‌گزینه‌ای در اختیار خبرگان قرار گرفت و در نهایت نتایج اولویت‌بندی شد.

♦ **مرحله سوم: تصمیم‌گیری درباره عدم قطعیت‌ها** - در این مرحله، خبرگان هریک از نیروهای پیش‌ران را براساس دو شاخص «تأثیر» و «عدم قطعیت» ارزیابی کردند، سپس با محاسبه میانگین نمرات و ترسیم ماتریس تأثیر - عدم قطعیت، نیروهایی که هم تأثیر بالا و هم عدم قطعیت زیادی داشتند، به‌عنوان «عدم قطعیت‌های کلیدی» شناسایی شدند و مبنای تدوین سناریوها قرار گرفتند.

♦ **مرحله چهارم: ساخت ماتریس سناریو** - دو عدم قطعیت کلیدی به‌عنوان محورهای افقی و عمودی ماتریس سناریو (شامل چهار ربع) در نظر گرفته شدند و برای هر خانه با استفاده از روش‌هایی همچون تحلیل روایت، نگاشت مفهومی و بررسی

اسناد، سناریوی کاملی شامل فرایند تحقق، بازیگران کلیدی، فرصت‌ها، تهدیدها و پیامدهای سیاستی تدوین و روایت شد.

♦ **مرحله پنجم: شناسایی سناریوهای ممکن، محتمل و مطلوب** - سناریوهای ممکن، مجموعه‌ای از آینده‌هایی هستند که با توجه به شرایط، روندها و عدم قطعیت‌های موجود، امکان تحقق دارند و به پرسش «چه اتفاقی می‌تواند رخ دهد؟» پاسخ می‌دهند. سناریوهای محتمل بر آینده‌هایی تمرکز دارند که براساس روندها و شواهد موجود، احتمال وقوع بیشتری دارند و به پرسش «چه اتفاقی احتمالاً رخ خواهد داد؟» پاسخ می‌دهند. سناریوهای مطلوب نیز آینده‌هایی را توصیف می‌کنند که تحقق آن‌ها از منظر اهداف، ارزش‌ها و ترجیحات مورد نظر، مطلوب است و به این پرسش پاسخ می‌دهند که «چگونه می‌توان به آینده‌ای مطلوب دست یافت؟».

تحلیل داده‌ها و ارائه یافته‌ها

شناسایی و طبقه‌بندی نیروهای پیش‌ران

در این پژوهش، فرایند شناسایی نیروهای پیش‌ران (عواملی که از بخش کشاورزی یا فضای کلان ملی و بین‌المللی نشئت می‌گیرند و مسیر تحولات آینده را شکل می‌دهند، تسریع می‌کنند یا تغییر می‌دهند) با مطالعه نظام‌مند مقالات علمی و گزارش‌های بین‌المللی منتشرشده در FAO و OECD انجام شد. در شناسایی نیروهای پیش‌ران توسعه کشاورزی دیجیتال در ایران مجموعاً از ۳۴ منبع استفاده شده است که ترکیبی از مقالات علمی (حدود ۲۲ منبع) و گزارش‌های سازمانی، دولتی و صنعتی (حدود ۱۲ منبع) است. بازه زمانی این منابع از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ را دربرمی‌گیرد؛ قدیمی‌ترین منبع مربوط به گزارش فائو در سال ۲۰۱۰ و جدیدترین منابع مربوط به سال ۲۰۲۵ هستند. تمرکز اصلی منابع بر سال‌های ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۵ است که نشان‌دهنده تلاش پژوهشگران برای بهره‌گیری از به‌روزترین یافته‌ها و گزارش‌ها

در کنار مستندات پایه‌ای قدیمی‌تر (مانند گزارش‌های تغییر اقلیم و امنیت غذایی) است. در ادامه نیروهای پیش‌ران شناسایی شده با استفاده از الگوی STEEP در پنج دسته اجتماعی، فناوریانه، اقتصادی، زیست‌محیطی و سیاستی- قانونی طبقه‌بندی شدند تا ضمن پوشش

همه ابعاد کلان محیطی، از سوگیری در انتخاب نیروها اجتناب و تنوع نیروها رعایت شود. نتیجه این فرایند، فهرستی متشکل از ۲۰ نیروی پیش‌ران اصلی است که در جدول ۲ ارائه می‌شود.

جدول ۲. فهرست اولیه نیروهای پیش‌ران توسعه کشاورزی دیجیتال در ایران

کد	حوزه	نیروهای پیش‌ران	منابع
S1	اجتماعی	افزایش جمعیت و تغییر الگوی مصرف غذا (افزایش تقاضا برای محصولات سالم و ارگانیک)	(Analytica, 2025 ; FAO, 2022a)
S2		افزایش سطح سواد، مهارت‌های دیجیتال و توانمندی کشاورزان در استفاده از فناوری‌ها	(Farmonaut, 2025; Samuels, 2024)
S3		افزایش پذیرش اجتماعی و اعتماد به فناوری‌های نوین (داده‌ها، الگوریتم‌ها، هوش مصنوعی)	(Li & Freeborn, 2025; Sharma & Shivandu, 2024; Z. Wang et al., 2025)
S4		کاهش مهاجرت روستاییان و افزایش نیروی کار ماهر در بخش کشاورزی	(An, 2024)
T1	فناورانه	افزایش توسعه زیرساخت‌های ارتباطی (اینترنت پرسرعت، شبکه‌های هوشمند)	(Sloat, 2025)
T2		افزایش دسترسی‌پذیری و بومی‌سازی فناوری‌های کشاورزی دیجیتال	(Kumar et al., 2024; Rezvani et al., 2022)
T3		گسترش کاربرد فناوری‌های نوین (اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، کلان‌داده و پهپادها)	(Alahmad, Neményi, & Nyeki, 2023; Meshram et al., 2025)
T4		افزایش امنیت سایبری و حفاظت از داده‌های کشاورزی	(Miller et al., 2025)
E1	اقتصادی	افزایش سرمایه‌گذاری دولت و بخش خصوصی در فناوری‌های کشاورزی	(McFadden, 2023; Sumihiro, 2025)
E2		افزایش دسترسی به منابع مالی و تسهیلات بانکی برای کشاورزان	(U.S. Government Accountability Office, 2024)
E3		کاهش هزینه تجهیزات دیجیتال و افزایش صرفه اقتصادی آن‌ها	(Boursianis et al., 2022; Geng et al., 2024)
E4		کاهش نوسانات قیمت محصولات کشاورزی و توسعه بازارهای صادراتی	(FAO, 2010)
EN1	زیست‌محیطی	کاهش تغییرات اقلیمی و تنش‌های آبی	(Change, 2013; Esri, 2025)
EN2		کاهش فشار بر منابع طبیعی (آب، خاک، انرژی)	(AgAmerica, 2023)
EN3		افزایش کشاورزی پایدار و کاهش آلاینده‌ها	(Finger, 2023; Wolfert & Isakhanyan, 2022)
EN4		افزایش تنوع زیستی و سلامت بوم‌سازگان‌های کشاورزی	(Bélanger & Pilling, 2019; Green et al., 2021; Simion & Simion, 2024)
EN5		کاهش ضایعات و اتلاف منابع در تولید و توزیع محصولات کشاورزی	(Adeborode, & Kolawole, 2025 FAO, 2019)
P1	سیاستی - قانونی	افزایش سیاست‌های حمایتی دولت از کشاورزی هوشمند	(Campi et al., 2024)
P2		بهبود قوانین و مقررات مربوط به داده‌ها و مالکیت اطلاعات کشاورزی	(Atik, 2022; Ryan et al., 2024)
P3		افزایش ثبات سیاسی برای تسهیل انتقال فناوری	(Afesorgbor et al., 2025; Larch et al., 2024; Niftiyev, 2023)

ارزیابی اهمیت نیروهای پیش‌ران

(اهمیت خیلی پایین، اهمیت پایین، اهمیت متوسط، اهمیت بالا، اهمیت خیلی بالا) ارزیابی کردند و پس از جمع‌آوری داده‌ها، میانگین نمره هر نیرو محاسبه شد. نیروهایی با میانگین بالای ۴ به‌عنوان نیروهای کلیدی باقی ماندند و سایر نیروها (با میانگین کمتر از ۴) حذف شدند. این فرایند نه‌تنها پایه‌ای علمی برای مرحله ارزیابی تأثیر و عدم قطعیت ایجاد کرد، بلکه با تمرکز بر نیروهای اثرگذار و اجتناب از تحلیل نیروهای کم‌اهمیت، دقت و کارآمدی تحلیل‌های سناریو را افزایش داد و طراحی سناریوهایی واقعی و کاربردی را ممکن ساخت. در جدول ۳ فهرست نیروهای پیش‌ران باقی‌مانده در این مرحله را می‌توان مشاهده کرد.

در این پژوهش، پس از شناسایی نیروهای پیش‌ران توسعه کشاورزی دیجیتال از طریق مطالعه نظام‌مند منابع، گام بعدی تعیین میزان اهمیت و اولویت هر نیرو با هدف شناسایی اثرگذارترین آن‌ها بر آینده این حوزه است. بدین منظور، پرسش‌نامه‌ای حاوی پرسش‌هایی درباره اهمیت هر نیروی پیش‌ران در تحقق توسعه کشاورزی دیجیتال، میزان تأثیر بر رشد و نوآوری، و نقش آن در تسهیل یا محدودیت روند توسعه کشاورزی دیجیتال طراحی شد. خبرگان (شامل اساتید دانشگاه، پژوهشگران و مدیران صنعتی) که در جدول ۱ اطلاعات آن‌ها ارائه شد، اهمیت هر نیرو را براساس طیف پنج‌درجه‌ای لیکرت

جدول ۳. نیروهای پیش‌ران با اهمیت بالا (نیروهای پیش‌ران اصلی)

ردیف	حوزه	نیروی پیش‌ران	میانگین امتیاز
۱	اجتماعی	افزایش جمعیت و تغییر الگوی مصرف غذا (افزایش تقاضا برای محصولات سالم و ارگانیک)	۴.۱
۲		افزایش سطح سواد، مهارت‌های دیجیتال و توانمندی کشاورزان در استفاده از فناوری‌ها	۴.۳
۳		افزایش پذیرش اجتماعی و اعتماد به فناوری‌های نوین (داده‌ها، الگوریتم‌ها، هوش مصنوعی)	۴.۳
۴	فناورانه	افزایش توسعه زیرساخت‌های ارتباطی (اینترنت پرسرعت، شبکه‌های هوشمند)	۴.۶
۵		افزایش دسترسی‌پذیری و بومی‌سازی فناوری‌های کشاورزی دیجیتال	۴.۵
۶		گسترش کاربرد فناوری‌های نوین (اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، کلان‌داده و پهپادها)	۴.۳
۷	اقتصادی	افزایش سرمایه‌گذاری دولت و بخش خصوصی در فناوری‌های کشاورزی	۴.۲
۸		افزایش دسترسی به منابع مالی و تسهیلات بانکی برای کشاورزان	۴.۵
۹		کاهش هزینه تجهیزات دیجیتال و افزایش صرفه اقتصادی آن‌ها	۴
۱۰	زیست‌محیطی	کاهش تغییرات اقلیمی و تنش‌های آبی	۴
۱۱		کاهش فشار بر منابع طبیعی (آب، خاک، انرژی)	۴
۱۲		کاهش ضایعات و اتلاف منابع در تولید و توزیع محصولات کشاورزی	۴.۲
۱۳	سیاستی- قانونی	افزایش سیاست‌های حمایتی دولت از کشاورزی هوشمند	۴.۵
۱۴		بهبود قوانین و مقررات مربوط به داده‌ها و مالکیت اطلاعات کشاورزی	۴

تحلیل تأثیر و عدم قطعیت نیروهای پیش‌ران اصلی و انتخاب عدم قطعیت‌ها

کلیدی» یا «عدم قطعیت‌های بحرانی» نامیده می‌شوند و تمرکز اصلی در تدوین سناریوهای آینده بر آن‌هاست. برای سنجش این دو معیار، پرسش‌نامه‌ای دلفی شامل نیروهای شناسایی شده در چهارچوب STEEP، در اختیار گروهی از خبرگان (جدول ۱) قرار گرفت و از آنان خواسته شد هر یک از نیروها را براساس مقیاس پنج‌درجه‌ای، از نظر دو شاخص تأثیر و عدم قطعیت ارزیابی کنند. نتایج این تحلیل، ضمن ترسیم ماتریس تأثیر- عدم قطعیت، میانگین نمرات تأثیر و عدم قطعیت هر یک از نیروها را در جدول ۴ ارائه می‌کند تا امکان مقایسه و رتبه‌بندی آن‌ها برای شناسایی عدم قطعیت‌ها و تدوین سناریوهای آینده فراهم شود.

در فرایند سناریونویسی، ارزیابی نیروهای پیش‌ران براساس دو معیار کلیدی «تأثیر» (میزان توانایی یک نیرو در ایجاد تغییرات بنیادین در ساختار، فرایندها و خروجی‌ها) و «عدم قطعیت» (میزان پیش‌بینی‌ناپذیری و تغییرپذیری مسیر آینده یک نیرو) از مراحل حیاتی محسوب می‌شود. نیروهایی که تأثیر بالا، اما عدم قطعیت پایین دارند، به‌عنوان روندهای پایدار شناخته می‌شوند. نیروهایی با عدم قطعیت بالا و تأثیر پایین، معمولاً در سناریونویسی اهمیت کمتری دارند. در مقابل، نیروهایی که هم تأثیر بالا و هم عدم قطعیت بالایی دارند، «نیروهای

جدول ۴. میانگین تأثیر و عدم قطعیت نیروهای پیش‌ران اصلی با هدف شناسایی عدم قطعیت‌ها

کد	نیروهای پیش‌ران اصلی	میانگین تأثیر (۵-۱)	میانگین عدم قطعیت (۵-۱)
S1	افزایش جمعیت و تغییر الگوی مصرف غذا (افزایش تقاضا برای محصولات سالم و ارگانیک)	۲.۳	۲.۵
S2	افزایش سطح سواد، مهارت‌های دیجیتال و توانمندی کشاورزان در استفاده از فناوری‌ها	۳.۸	۴.۴
S3	افزایش پذیرش اجتماعی و اعتماد به فناوری‌های نوین (داده‌ها، الگوریتم‌ها، هوش مصنوعی)	۴.۳	۴.۶
T1	افزایش توسعه زیرساخت‌های ارتباطی (اینترنت پرسرعت، شبکه‌های هوشمند)	۴.۵	۴.۵
T2	افزایش دسترسی‌پذیری و بومی‌سازی فناوری‌های کشاورزی دیجیتال	۳.۹	۴.۴
T3	گسترش کاربرد فناوری‌های نوین (اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی، کلان داده و پهپادها)	۴.۶	۴.۷
E1	افزایش سرمایه‌گذاری دولت و بخش خصوصی در فناوری‌های کشاورزی	۳	۳.۶
E2	افزایش دسترسی به منابع مالی و تسهیلات بانکی برای کشاورزان	۳.۵	۳.۷
E3	کاهش هزینه تجهیزات دیجیتال و افزایش صرفه اقتصادی آن‌ها	۲.۹	۳.۳
EN1	کاهش تغییرات اقلیمی و تنش‌های آبی	۳	۳.۰۵
EN2	کاهش فشار بر منابع طبیعی (آب، خاک، انرژی)	۲.۹	۳.۳
EN3	کاهش ضایعات و اتلاف منابع در تولید و توزیع محصولات کشاورزی	۳.۱	۳.۶
P1	افزایش سیاست‌های حمایتی دولت از کشاورزی هوشمند	۳.۴	۳.۹
P2	بهبود قوانین و مقررات مربوط به داده‌ها و مالکیت اطلاعات کشاورزی	۳.۱	۳.۳

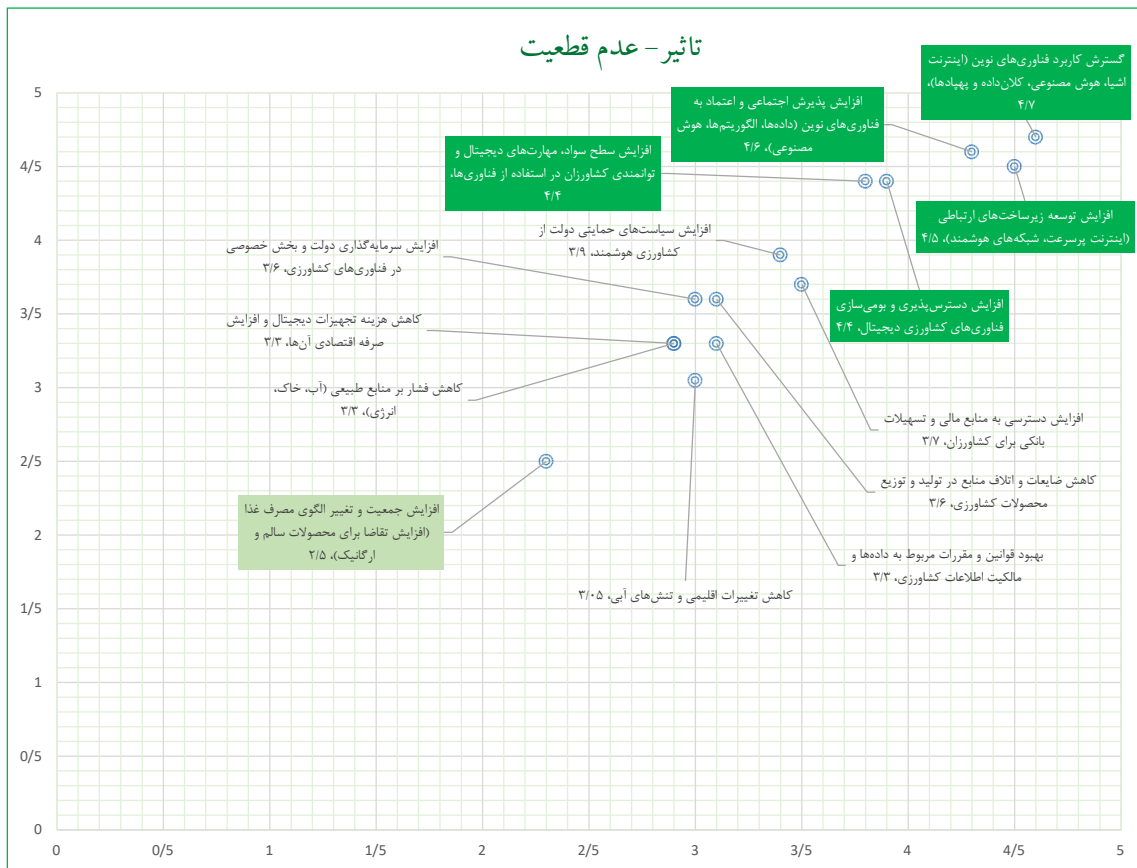
محور ماتریس سناریو تعیین شدند تا با تمرکز بر این عدم قطعیت‌ها، سناریوهای آینده براساس ترکیب‌های مختلف این دو محور در گام بعدی تدوین شوند.

ساخت ماتریس سناریو

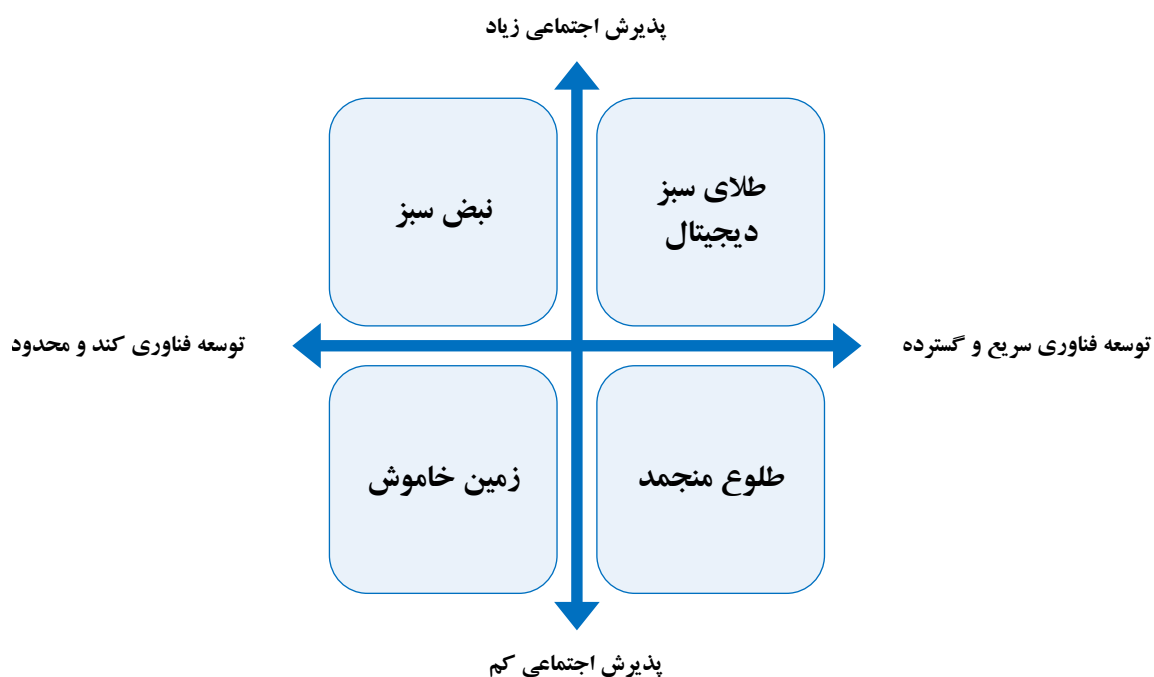
پس از شناسایی دو عدم قطعیت «پذیرش اجتماعی» و «توسعه فناوری»، گام بعدی، طراحی ماتریس سناریو به‌عنوان ابزاری استاندارد برای طراحی و تدوین سناریوها بود. در این ماتریس، محور افقی به «توسعه فناوری» و محور عمودی به «پذیرش اجتماعی» اختصاص یافت. با ترکیب سطوح بالا و پایین این دو محور، چهار ربع شکل گرفت که هر ربع بیانگر یک وضعیت محتمل و منحصر به فرد است. بر این اساس، چهار سناریو برای آینده کشاورزی دیجیتال در ایران طراحی شد که در شکل ۲ به تصویر کشیده شده است. این سناریوها عبارت‌اند از طلای سبز دیجیتال (توسعه فناوری سریع و گسترده—پذیرش اجتماعی بالا)، نبض سبز (توسعه فناوری کند و محدود—پذیرش اجتماعی بالا)، طلوع منجمد (توسعه فناوری سریع و گسترده—پذیرش اجتماعی پایین) و زمین خاموش (توسعه فناوری کند و محدود—پذیرش اجتماعی پایین). در بخش بعد، هریک از این سناریوها به تفصیل تشریح می‌شود.

در ادامه، نتایج ارزیابی خبرگان در قالب نمودار پراکندگی^۱ ترسیم شد. در این نمودار، هر نقطه نمایانگر یکی از نیروهای پیش‌ران اصلی است و موقعیت آن براساس میانگین نمرات تأثیر و عدم قطعیت تعیین می‌شود. نقاط واقع در بخش بالایی نمودار، نشان‌دهنده نیروهایی با بیشترین میزان تأثیر و عدم قطعیت هستند که به‌عنوان عدم قطعیت‌های بحرانی برای طراحی ماتریس تأثیر—عدم قطعیت انتخاب شدند. براساس داده‌های جدول ۴ و نمودار پراکندگی ارائه‌شده در شکل ۱، نیروهای پیش‌ران اصلی توسعه کشاورزی دیجیتال در ایران که هم بیشترین تأثیر و هم بیشترین عدم قطعیت را دارند، در دو دسته اصلی شناسایی شدند: دسته اول، نیروهای مرتبط با پذیرش اجتماعی (شامل افزایش سواد و مهارت‌های دیجیتال کشاورزان و نیز افزایش پذیرش اجتماعی و اعتماد به فناوری‌های نوین مانند داده‌ها، الگوریتم‌ها و هوش مصنوعی) و دسته دوم، نیروهای مرتبط با توسعه فناوری (شامل افزایش زیرساخت‌های ارتباطی مانند اینترنت پرسرعت و شبکه‌های هوشمند، افزایش دسترسی‌پذیری و بومی‌سازی فناوری‌های کشاورزی دیجیتال، و گسترش کاربرد فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی، کلان داده و پهپادها). بر این اساس، «پذیرش اجتماعی» و «توسعه فناوری» به‌ترتیب به‌عنوان دو

1. Scatter Plot



شکل ۱. نمودار تأثیر - عدم قطعیت نیروهای پیش‌ران اصلی



شکل ۲. ماتریس سناریو برای سناریوهای آینده کشاورزی دیجیتال در ایران

تدوین سناریوها

در ادامه هریک از سناریوهای چهارگانه از منظر عدم قطعیت‌ها، رفتار کنشگران و ذی‌نفعان و پیامدهای مختلف تشریح و در جدول ۵ دسته‌بندی شده‌اند.

الف) سناریوی طلای سبز دیجیتال (توسعه فناوری سریع و گسترده- پذیرش اجتماعی بالا)

سناریوی «طلای سبز دیجیتال» آینده‌ای مطلوب و آرمانی را برای کشاورزی دیجیتال در ایران ترسیم می‌کند که در آن کشور با گذار از کشاورزی سنتی به کشاورزی دیجیتال و هوشمند، به یکی از پیشگامان منطقه‌ای تبدیل شده است. در این چشم‌انداز، فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، کلان‌داده، پهپادها و تصاویر ماهواره‌ای در تمام زنجیره ارزش کشاورزی یکپارچه شده، مزارع به شبکه‌های داده‌محور تبدیل می‌شوند که شرایط خاک، آب، اقلیم و آفات را به‌صورت لحظه‌ای پایش می‌کنند و امکان تصمیم‌گیری بهینه درباره آبیاری، کوددهی، مدیریت آفات و برداشت را فراهم می‌سازند. کشاورزان دیگر تولیدکنندگان سنتی نیستند، بلکه کارآفرینان دیجیتالی برخوردار از سواد داده و مهارت‌های فناورانه‌اند که نسل جوان تحصیل‌کرده را به عرصه کشاورزی بازگردانده‌اند. پیامدهای اقتصادی این سناریو شامل افزایش بهره‌وری، تأمین پایدار نیازهای غذایی، صادرات محصولاتی مانند زعفران و پسته با کیفیت ممتاز و افزایش درآمدهای ارزی کشور است. در بعد زیست‌محیطی، کاهش چشمگیر مصرف آب، بهبود کیفیت خاک و احیای بوم‌سازگان‌های آسیب‌دیده حاصل می‌شود. حکمرانی هوشمند دولت نیز با ایفای نقش تسهیلگر، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها، ارائه بیمه‌های هوشمند و ایجاد همگرایی میان بخش‌های پژوهش، آموزش، صنعت و دولت، از این تحول پشتیبانی می‌کند. پیامدهای اجتماعی این سناریو شامل مهاجرت معکوس به روستاها، اشتغال پایدار، کاهش فاصله شهر و روستا و تقویت عدالت اجتماعی است. در مجموع، این سناریوی مطلوب، تحقق همزمان امنیت غذایی پایدار، رونق اقتصادی، حفاظت محیط‌زیست و ارتقای جایگاه بین‌المللی ایران در حوزه کشاورزی را نوید می‌دهد.

ب) سناریوی نبض سبز (توسعه فناوری کند و محدود- پذیرش اجتماعی بالا)

سناریوی «نبض سبز» آینده‌ای را توصیف می‌کند که در آن جامعه کشاورزی ایران با اشتیاق و آمادگی اجتماعی بالا به استقبال فناوری‌های دیجیتال رفته است، اما زیرساخت‌های فناورانه و سرعت توسعه به حدی نرسیده‌اند که پاسخگوی این نیاز باشند. در

نتیجه، کشاورزی دیجیتال مسیری آرام، تدریجی و مرحله‌به‌مرحله را طی می‌کند. کشاورزان به‌عنوان بازیگران فعال، کار با ابزارهای ساده‌تری مانند سامانه‌های پایه آبیاری هوشمند و پهپادهای کوچک را می‌آموزند و به کار می‌گیرند و فرهنگ یادگیری جمعی شکل می‌گیرد. دولت و بخش خصوصی با سرمایه‌گذاری‌های محدود، اما هماهنگ، زیرساخت‌ها را به‌تدریج توسعه می‌دهند. پیامدهای اقتصادی این سناریو ترکیبی از فرصت‌ها (افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها) و محدودیت‌ها (عدم رقابت‌پذیری کامل در بازارهای بین‌المللی) است. در بعد زیست‌محیطی، کاهش هدررفت آب و بهبود کیفیت خاک، اگرچه در مقیاسی محدود، اما در مسیر پایداری قرار گرفته است. از نظر اجتماعی، تقویت سرمایه اجتماعی، ایجاد شبکه‌های یادگیری محلی و نشانه‌هایی از بازگشت جوانان به روستاها مشاهده می‌شود. در مجموع، «نبض سبز» سناریویی محتمل است که شتاب بالایی ندارد، اما زمینه‌های پایداری را برای تحولات بزرگ‌تر در آینده فراهم می‌کند.

ج) سناریوی طلوع منجمد (توسعه فناوری سریع و گسترده- پذیرش اجتماعی پایین)

سناریوی «طلوع منجمد» آینده‌ای را به تصویر می‌کشد که در آن زیرساخت‌ها و فناوری‌های نوین کشاورزی دیجیتال در دسترس قرار گرفته‌اند و سرمایه‌گذاری‌هایی نیز برای توسعه آن‌ها انجام شده است، اما جامعه کشاورزی و ذی‌نفعان اصلی فاقد آمادگی، مهارت و انگیزه لازم برای پذیرش و بهره‌گیری از این تحولات هستند. در نتیجه، فناوری وجود دارد، اما فرهنگ استفاده از آن شکل نگرفته است، پروژه‌ها در مرحله آزمایشی باقی می‌مانند و شکاف میان «فناوری موجود» و «پذیرش اجتماعی محدود» به رکودی پنهان در کشاورزی دیجیتال منجر می‌شود. پیامدهای اقتصادی این سناریو متناقض و نامتوازن است: در برخی مناطق دستاوردهای پراکنده‌ای حاصل می‌شود، اما در مناطق با پذیرش پایین، نابرابری‌های اقتصادی و اجتماعی تشدید می‌گردد. از نظر زیست‌محیطی، فناوری‌های هوشمند در مقیاس محدود مؤثرند، اما اثر ملی چشمگیری ندارند و کشور در وضعیت «میانی» قرار می‌گیرد. در بعد اجتماعی، چالش‌هایی همچون بی‌اعتمادی، کمبود آموزش، فاصله نسلی و شکل نگرفتن سرمایه اجتماعی مانع گسترش فناوری می‌شود. در مجموع، «طلوع منجمد» سناریوی محتمل اما نامطلوب است که نشان می‌دهد توسعه کشاورزی دیجیتال تنها به وجود فناوری وابسته نیست، بلکه به تغییرات فرهنگی، آموزشی و نهادی عمیق برای تحقق تحولی واقعی و پایدار نیاز دارد.

د) سناریوی زمین خاموش (توسعه فناوری کند و محدود- پذیرش اجتماعی پایین)

سناریوی «زمین خاموش» آینده‌ای نامطلوب برای کشاورزی ایران ترسیم می‌کند که در آن رکود و ایستایی در پذیرش فناوری‌های نوین حاکم است. با وجود حرکت سریع جهان به سمت کشاورزی دیجیتال، موانع ساختاری، ضعف زیرساخت‌ها و کمبود سرمایه‌گذاری در ایران موجب شده است کشاورزان در روش‌های سنتی باقی بمانند. تمایل اجتماعی برای تغییر گسترده نیست و بسیاری از کشاورزان به دلیل نگرانی از هزینه‌ها، نبود حمایت‌های نهادی و ناآشنایی با ابزارهای فناوریانه، از ورود به این عرصه اجتناب می‌کنند. نتیجه این وضعیت، تداوم الگوهای تولید ناکارآمد با مصرف بالای آب و خاک، بهره‌وری پایین و نبود نظام‌های داده‌محور برای مدیریت مزرعه است. از منظر

اقتصادی، کشاورزی به جای موتور توسعه، بار اضافی بر اقتصاد ملی محسوب می‌شود و کشاورزان با هزینه‌های فزاینده و کاهش بازدهی، به تدریج از حرفه خود خارج می‌شوند که تضعیف اقتصاد روستایی و تشدید مهاجرت به شهرها را در پی دارد. از نظر زیست‌محیطی، مصرف بی‌رویه آب، استفاده بیش از حد از کودها و سموم شیمیایی به تخریب منابع طبیعی، افت کیفیت خاک، کاهش آب‌های زیرزمینی و نابودی تنوع زیستی منجر می‌شود. در مجموع، این سناریو هشدار می‌دهد که بی‌توجهی به فناوری و نوسازی ساختاری و همچنین زمینه‌سازی برای پذیرش اجتماعی، ایران را در موقعیتی آسیب‌پذیر و وابسته برای تأمین امنیت غذایی قرار می‌دهد و توان رقابت منطقه‌ای را از آن سلب می‌کند.

جدول ۵. دسته‌بندی سناریوهای چهارگانه

سناریوها	دسته‌بندی	دلیل دسته‌بندی
طلای سبز دیجیتال	ممکن و مطلوب	بیشترین اثر مثبت اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را دارد؛ پذیرش کشاورزان بالا و زیرساخت‌ها توسعه یافته است؛ اما تحقق آن به سرمایه‌گذاری و سیاست‌های حمایتی مستمر نیاز دارد.
نبض سبز	ممکن و محتمل	پذیرش اجتماعی بالا، اما توسعه فناوری و زیرساخت‌ها محدود است؛ تحقق آن امکان‌پذیر است و شواهد موجود نشان می‌دهد که با اقدامات تدریجی می‌توان به سمت این سناریو حرکت کرد.
طلوع منجمد	ممکن و محتمل	فناوری‌ها توسعه یافته‌اند، اما پذیرش اجتماعی پایین است؛ تحقق آن به پروژه‌های تحقیقاتی و کلان محدود می‌شود و در سطح عمومی نفوذ اندکی دارد؛ امکان وقوع دارد، اما آثار مثبت آن محدود است.
زمین خاموش	ممکن	پذیرش فناوری پایین و زیرساخت‌ها محدود است؛ در صورت نبود مداخله و اصلاحات مؤثر، تحقق این وضعیت امکان‌پذیر است و پیامدهای منفی اقتصادی و زیست‌محیطی در پی خواهد داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، براساس شناسایی نیروهای پیش‌ران اصلی، تعیین عدم قطعیت‌ها و تشکیل ماتریس سناریو، چهار سناریوی کلیدی برای آینده کشاورزی دیجیتال در ایران طراحی شد: «طلای سبز دیجیتال» (سناریوی مطلوب با توسعه فناوری پیشرفته و پذیرش اجتماعی بالا)، «نبض سبز» (سناریوی محتمل با پذیرش اجتماعی بالا، اما توسعه فناوری محدود)، «طلوع منجمد» (سناریوی ممکن با توسعه فناوری موجود، اما پذیرش اجتماعی محدود) و «زمین خاموش» (سناریوی ممکن اما نامطلوب با فناوری کم و پذیرش اجتماعی پایین). هر سناریو بیانگر مسیر احتمالی توسعه با پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی متفاوت است.

سناریوی «طلای سبز دیجیتال» آینده‌ای را نشان می‌دهد که در آن کشاورزی ایران با بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال به بخشی

هوشمند، پایدار و رقابت‌پذیر تبدیل شده است. تحقق این سناریو مستلزم برنامه‌ریزی سیاستی چندسطحی شامل سیاست‌های کلان (تحول پایدار و هوشمند کشاورزی، تقویت امنیت غذایی، کاهش شکاف دیجیتال، حمایت از نوآوری و کارآفرینی فناوریانه)، راهبردها (زیرساختی، دانشی و آموزشی، اقتصادی و مالی، قانونی و تنظیم‌گری، زیست‌محیطی)، اقدامات اجرایی (ایجاد شبکه ملی داده‌های کشاورزی، راهاندازی سکوها، هوشمند، اجرای پالوت‌های منطقه‌ای، حمایت از استارت‌آپ‌ها) و پیش‌نیازها (همکاری هماهنگ نهادها، فرهنگ‌سازی و جلب اعتماد، پایش و ارزیابی مستمر، تأمین مالی پایدار از طریق مشارکت عمومی- خصوصی) است.

یافته‌ها نشان می‌دهد سرمایه‌گذاری بلندمدت در فناوری‌ها و زیرساخت‌های دیجیتال، فرهنگ‌سازی و آموزش گسترده کشاورزان و حمایت‌های مشاوره‌ای، مالی و سیاستی از اهمیت بالایی برخوردار

منابع (OECD, 2022b; Kamilaris et al., 2017; FAO, 2022b):

ب) ارتقای آگاهی و سواد دیجیتال کشاورزان از طریق دوره‌های آموزشی، کارگاه‌های عملی و مشاوره‌های فنی (Magesa, Jonathan & Urassa, 2023; Bachhav, 2025; Cheng, 2024; (Gao, Ju & Ma, 2024

پ) تدوین سیاست‌های حمایتی و انگیزشی، شامل تسهیلات مالی، بیمه محصولات و مشوق‌های مالی (Bang & Han, 2025; (Osorio, Leucci & Porrini, 2024 قانونی شفاف برای حفاظت از داده‌ها (FAO, 2022c; (Jouanjean, Casalini, Wiseman & Gray, 2020

ت) توسعه طرح‌های آزمایشی و شبکه‌های نوآوری، با بهره‌گیری از تجربه‌های موفق بین‌المللی loF2020، DEMETER و SmartAgriHubs و تجربه‌های داخلی (طرح‌های آبیاری هوشمند در بیش از ۱۰۰۰۰ هکتار)؛

ث) تقویت همکاری‌های بین‌المللی با سازمان‌هایی مانند FAO و UNDP و کشورهای پیشرو مانند هلند، کره جنوبی و ژاپن (FAO, 2025a; FAO, 2025b).

محدودیت‌های پژوهش حاضر عبارت‌اند از: کمبود داده‌های آماری دقیق و به‌روز در حوزه کشاورزی دیجیتال در ایران، دشواری برگزاری جلسات گسترده با حضور و مشارکت ذی‌نفعان کلیدی، پیچیدگی و چندبعدی بودن مفهوم کشاورزی دیجیتال، استفاده نکردن از روش‌های کمی و مدل‌سازی ریاضی و سهم اندک صاحب‌نظران حوزه کشاورزی در میان خبرگان مشارکت‌کننده. پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی عبارت است از طراحی نظام حکمرانی داده به‌عنوان یکی از الزامات اصلی گذار به کشاورزی دیجیتال، استفاده از روش‌های مشارکتی، مانند کارگاه‌های آینده‌پژوهی و سناریونگاری، بهره‌گیری از الگوهای شبیه‌سازی، مانند پویایی سامانه‌ها و تحلیل‌های کمی برای شناسایی نیروهای پیش‌ران و طراحی سناریوها، و تدوین چهارچوب‌های قانونی و حمایتی با تأکید بر حفاظت از داده‌ها و اعتمادسازی در میان کشاورزان.

References

Adeborode, D. O., & Kolawole, K. V. O. (2025). The role of digital technologies in reducing food waste and loss in agricultural supply chains. *IRE Journals*, 8(11), 479-487.

Afesorbor, S. K., Kornher, L., & Santeramo, F. G. (2025). The impacts of economic sanctions on food (prices)

است. این نتایج با مطالعات بین‌المللی در کشورهای پیشرفته، مانند ایالات متحده و هلند، همخوانی دارد؛ در این کشورها، بهره‌گیری از فناوری‌های اینترنت اشیا، سامانه‌های هوشمند آبیاری و کشاورزی دقیق به افزایش بهره‌وری، کاهش مصرف منابع و ارتقای کیفیت محصولات منجر شده است (McFadden et al., 2023; Yeo & Keske, 2024).

تطبيق یافته‌ها با مطالعات پیشین نشان می‌دهد پذیرش اجتماعی فناوری‌های دیجیتال در کشاورزی به‌عنوان یکی از پیش‌ران‌ها و عدم قطعیت‌های کلیدی شناخته می‌شود. در ایران، پژوهش‌هایی مانند تقی‌یگی و علی‌یگی نشان داده‌اند رعایت تعهدات اخلاقی در قبال کشاورزان و ایجاد احساس مثبت در آنان می‌تواند تأثیر چشمگیری بر تمایل به پذیرش فناوری‌های دیجیتال داشته باشد (Taghibaygi & Alibaygi, 2024). مطالعات مشابه در کشورهای دیگر نیز بر اهمیت اعتماد به عملکرد فناوری و توصیه‌کنندگان آن تأکید کرده‌اند (Yeo & Keske, 2024). در زمینه زیرساخت‌های فناوری، پژوهش‌هایی مانند رضوانی و همکاران در ایران، بر توسعه دستگاه‌های مقرون‌بصرفه اینترنت اشیا تأکید کرده و همزمان محدودیت‌های موجود در زیرساخت‌ها را به‌عنوان مانعی برای پذیرش گسترده این فناوری‌ها مطرح کرده‌اند (Rezvani et al., 2022). در خصوص سیاست‌گذاری و نقش دولت، پژوهش‌هایی مانند مطالعه پناهیان و همکاران در ایران نشان داده‌اند که یارانه‌های نهاده‌های کشاورزی و راهبردهای بازاریابی مکمل می‌توانند بر تمایل کشاورزان به خرید تجهیزات فناورانه تأثیر بگذارند (Panahian, Borimnejad, Samari & Nozari, 2025). در سطح بین‌المللی، مطالعاتی مانند پژوهش گنگ و همکاران (Geng et al., 2024) نشان داده‌اند که پذیرش فناوری‌های دیجیتال از سوی کشاورزان می‌تواند تأثیرات مثبتی بر کیفیت محصولات، هزینه‌ها، عملکرد، درآمد و سودآوری داشته باشد.

دلالات‌های مدیریتی و سیاستی مستخرج از یافته‌های این پژوهش عبارت‌اند از:

الف) توسعه زیرساخت‌های دیجیتال، شامل اینترنت پرسرعت در مناطق روستایی، سامانه‌های ابری و سامانه‌های هوشمند مدیریت

security: Evidence from targeted countries. *The World Economy*, 48(8), 1942-1956.

<https://doi.org/10.1111/twec.13739>

AgAmerica. (2023 August 23). How to cut costs with smart farming technology. Retrieved from: <https://agamerica.com/blog/smart-farming->

- technology/
Alahmad, T., Neményi, M., & Nyéki, A. (2023). Applying IoT sensors and big data to improve precision crop production: a review. *Agronomy*, 13(10), 2603. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102603>
- Alilou, K., & Jamshidi, B. (2023). Application of artificial intelligence in climate smart agriculture. *Journal of Agricultural Information Science and Technology*, 5(2), 51-60. (Persian)
<https://doi.org/10.22092/jaist.2023.362065.1090>
- An, I. (2024 March). *Meeting the European Union's digital agriculture requirements*. An ITU-FAO compendium for preaccession countries and territories. Geneva, Switzerland.
- Analytica, A. (2025). *Organic food market poised to surpass USD 472.72 billion by 2033* [Market report]. Astute Analytica. Retrieved from:
<https://www.astuteanalytica.com/press-release/organic-food-market>
- Araújo, S. O., Peres, R. S., Barata, J., Lidon, F., & Ramalho, J. C. (2021). Characterising the agriculture 4.0 landscape—Emerging trends, challenges and opportunities. *Agronomy*, 11(4), 667.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11040667>
- Atik, C. (2022). Towards comprehensive European agricultural data governance: Moving beyond the “data ownership” debate. *IIC-International Review of Intellectual Property and Competition Law*, 53(5), 701-742.
<https://doi.org/10.1007/s40319-022-01191-w>
- Bachhav, H. S. (2025). Teach farmers how to use digital tools and data analysis to inform decision making. *International Journal of Teaching, Learning and Education*, 4(3), 103-105.
<https://doi.org/10.22161/ijtle.4.3.12>
- Bagheri, N., Keshavarz Tork, M., Abasi, F., & Bordbar, M. (2020). Futures studies of agricultural engineering research institute in 1404. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 5(1), 1-18. (Persian)
<https://doi.org/10.22047/srjasnr.2020.113048>
- Bang, J., & Han, J. W. (2025). *Factors influencing farmers' motivation to adopt smart farm technology in South Korea*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.01795>
- Bélanger, J., & Pilling, D. (2019). *The state of the world's biodiversity for food and agriculture* [Report]. Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/CA3129EN>
- Bongiovanni, R., & Lowenberg-DeBoer, J. (2004). Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*, 5, 359-387.
<https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa>
- Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K. H., Ekvall, T., & Finnveden, G. (2006). Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures*, 38(7), 723-739. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.12.002>
- Boursianis, A. D., Papadopoulou, M. S., Diamantoulakis, P., Liopa-Tsakalidi, A., Barouchas, P., Salahas, G., ... & Goudos, S. K. (2022). Internet of things (IoT) and agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. *Internet of Things*, 18, 100187.
<https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100187>
- Brasioli, D., Guercio, L., Landini, G. G., & de Giorgio, A. (Eds.). (2025). *The Routledge handbook of artificial intelligence and international relations*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group.
- Bui, H. T., Aboutorab, H., Mahboubi, A., Gao, Y., Sultan, N. H., Chauhan, A., ... & Yan, S. (2024). Agriculture 4.0 and beyond: Evaluating cyber threat intelligence sources and techniques in smart farming ecosystems. *Computers & Security*, 140, 103754.
<https://doi.org/10.1016/j.cose.2024.103754>
- Campi, M., Asai, M., McFadden, J., Pindado, E., & Rosburg, A. (2024 August 22). The evolving profile of new entrants in agriculture and the role of digital technologies. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers. Retrieved from:
https://www.oecd-ilibrary.org/en/publications/the-evolving-profile-of-new-entrants-in-agriculture-and-the-role-of-digital-technologies_d15ea067-en.html
- Change, I. C. (2013). The physical science basis [Report]. Retrieved from:
<https://cir.nii.ac.jp/crid/1371413280484207233>
- Châteauvieux, C., & Baddache, F. (2024 October 21). Digital tools: Empowering smallholder farmers [Policy brief]. Retrieved from:
<https://ksapa.org/digital-tools-empowering-small-holder-farmers/>
- Cheng, C., Gao, Q., Ju, K., & Ma, Y. (2024). How digital skills affect farmers' agricultural entrepreneurship? An explanation from factor availability. *Journal of Innovation & Knowledge*, 9(2), 100477.
<https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100477>
- Choudhary, V., Guha, P., Pau, G., & Mishra, S. (2025). An overview of smart agriculture using Internet of Things (IoT) and web services. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26, 100607.
<https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100607>
- European Commission (2026 July 2). Digitalising agriculture

- large-scale pilots and innovation hubs [Report]. Retrieved from:
<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digitalising-agriculture-large-scale-pilots>
- Davies, A. R. (2020). Toward a sustainable food system for the European Union: Insights from the social sciences. *One Earth*, 3(1), 27-31.
<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.06.008>
- Eastwood, C., Klerkx, L., Ayre, M., & Dela Rue, B. (2019). Managing socio-ethical challenges in the development of smart farming: From a fragmented to a comprehensive approach for responsible research and innovation. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 32(5), 741-768.
<https://doi.org/10.1007/s10806-017-9704-5>
- Ehlers, M.-H., Huber, R., & Finger, R. (2021). Agricultural policy in the era of digitalization. *Food Policy*, 100, 102019.
<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.102019>
- Esri. (2025). *GIS supports climate change monitoring in Azerbaijan*. Retrieved from:
<https://www.esri.com/en-us/lg/industry/government/stories/gis-supports-climate-change-monitoring-in-azerbaijan>
- FAO, U. (2019). *The state of food and agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction* [Report]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from:
<https://openknowledge.fao.org/items/ba08937f-4a41-4ff5-a4c7-e495e5f5f599>
- FAO. (2010). *Price volatility in agricultural markets: Evidence, impact on food security and policy responses* [Report]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from:
<https://ideas.repec.org/p/fao/pbrief/12en.html>
- FAO. (2022a December 02). *The future of food and agriculture- drivers and triggers for transformation* [Report]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from:
<https://www.fao.org/north-america/resources/publications/The-future-of-food-and-agriculture-Drivers-and-triggers-for-transformation/en>
- FAO. (2022b). *The state of food and agriculture 2022: Leveraging agricultural automation for transforming agrifood systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<https://doi.org/10.4060/cb9479en>
- FAO. (2022c). *The state of food and agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems* [Report]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from:
<https://digitallibrary.un.org/record/3993910?v=pdf>
- FAO. (2025a June 02). *FAO and Iran to exchange advanced agricultural knowledge and practices between countries* [Press release]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from:
<https://www.fao.org/iran/news/detail/fao-and-iran-to-exchange-advanced-agricultural-knowledge-and-practices-between-countries/en>
- FAO. (2025b). *Improve agricultural monitoring systems through satellite imagery for Iran*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from:
<https://openknowledge.fao.org/items/0b7bee9f-5413-4c39-abad-ce7410eca5eb>
- Far, S. T., & Rezaei-Moghaddam, K. (2018). Impacts of the precision agricultural technologies in Iran: An analysis experts' perception & their determinants. *Information Processing in Agriculture*, 5(1), 173-184. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.09.001>
- Farmonaut. (2025). *Status of digital agriculture in 18 countries: 2025 insights* [Market report].
<https://farmonaut.com/europe/status-of-digital-agriculture-in-18-countries-2025-insights>
- Fartash, K., Ghorbani, A., & Bagheri, M. (2023). Slow adoption of EVs under a weak policy regime: Future scenarios of EVs development and diffusion in Iran. *Futures*, 151, 103196.
<https://doi.org/10.1016/j.futures.2023.103196>
- Finger, R. (2023). Digital innovations for sustainable and resilient agricultural systems. *European Review of Agricultural Economics*, 50(4), 1277-1309.
<https://doi.org/10.1093/erae/jbad021>
- 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(c), 103120.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103120>
- Geng, W., Liu, L., Zhao, J., Kang, X., & Wang, W. (2024). Digital technologies adoption and economic benefits in agriculture: A mixed-methods approach. *Sustainability*, 16(11), 4431.
<https://doi.org/10.3390/su16114431>
- Ghooshchi, F. (2014). Futures studies in Iranian agriculture. *Journal of Agriculture and Sustainable Development*, 53-54, 1-2. (Persian)
- Green, A. G., Abdulai, A. R., Duncan, E., Glaros, A.,

- Campbell, M., Newell, R., ... & Fraser, E. D. (2021). A scoping review of the digital agricultural revolution and ecosystem services: Implications for Canadian policy and research agendas. *Facets*, 6(1), 1955-1985. <https://doi.org/10.1139/facets-2021-0017>
- Hakkim, V. A., Joseph, E. A., Gokul, A. A., & Mufeedha, K. (2016). Precision farming: The future of Indian agriculture. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 4(6), 068-072. <https://doi.org/10.7324/JABB.2016.40609>
- <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.20215>
- Jouanjean, M. A., Casalini, F., Wiseman, L., & Gray, E. (2020). *Issues around data governance in the digital transformation of agriculture: The farmers' perspective*. Paris: OECD Publishing.
- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23-37. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037>
- Klerkx, L., & Rose, D. (2020). Dealing with the game-changing technologies of agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? *Global Food Security*, 24, 100347. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>
- Klump, M., Clausen, U., & Ten Hompel, M. (2013). *Logistics research and the logistics world of 2050*. In *Efficiency and logistics* (pp. 1-6). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32838-1_1
- Kumar, V., Sharma, K. V., Kedam, N., Patel, A., Kate, T. R., & Rathnayake, U. (2024). A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies. *Smart Agricultural Technology*, 100487. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100487>
- La Rocca, P. (2023). Towards a methodology to consider the environmental impacts of digital agriculture. arXiv preprint arXiv:2305.09250. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.09250>
- Larch, M., Luckstead, J., & Yotov, Y. V. (2024). Economic sanctions and agricultural trade. *American Journal of Agricultural Economics*, 106(4), 1477-1517. <https://doi.org/10.1111/ajae.12473>
- Lasdun, V. (2021). *Peer learning in a digital farmer-to-farmer network: Effects on technology adoption and self-efficacy beliefs* [Master's thesis]. McGill University, Montreal.
- Latino, M. E., Corallo, A., Menegoli, M., & Nuzzo, B. (2021). Agriculture 4.0 as enabler of sustainable agri-food: A proposed taxonomy. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(10), 3678-3696. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3101548>
- Li, C., & Freeborn, D. P. W. (2025). *Exploring AI-powered digital innovations from a transnational governance perspective: Implications for market acceptance and digital accountability*. arXiv preprint arXiv:2504.20215.
- Mabele, L., & Mutegi, L. (2019). Leveraging low-power wide area networks for precision farming: Limbora—A smart farming case using LoRa modules, gateway, TTN and Firebase in Kenya. In: *Mobile Technologies and Applications for the Internet of Things: Proceedings of the 12th IMCL Conference*.
- MacPherson, J., Rosman, A., Helming, K., & Burkhard, B. (2025). A participatory impact assessment of digital agriculture: A Bayesian network-based case study in Germany. *Agricultural Systems*, 224, 104222. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2024.104222>
- MacPherson, J., Voglhuber-Slavinsky, A., Olbrisch, M., Schöbel, P., Dönitz, E., Mouratiadou, I., & Helming, K. (2022). Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals. A review: Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(4), 70. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00792-6>
- Magesa, M., Jonathan, J., & Urassa, J. (2023). Digital literacy of smallholder farmers in Tanzania. *Sustainability*, 15(17), 13149. <https://doi.org/10.3390/su151713149>
- Maroofi, A., Hasanpour, S., Omid Shahabadi, O., Hoseini, A., & Azizpour, F. (2022). Foresight of the Iran's agricultural sector in 2024 using structural analysis and system dynamics. *Quarterly Journal of The Macro and Strategic Policies*, 10(39), 610-642. (Persian) <https://doi.org/10.30507/jmsp.2022.331083.2386>
- Martelli, A. (2001). Scenario building and scenario planning: State of the art and prospects of evolution. *Futures Research Quarterly*, 17(2), 57-74.
- McFadden, J., Njuki, E., & Griffin, T. (2023). Precision agriculture in the digital era: Recent adoption on U.S. farms [Research report]. Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture. Retrieved from: <https://www.ers.usda.gov/publications/105893>
- Meshram, K., Mishra, U., & Rathnayake, U. (2025). Application of artificial intelligence in agri-tech, environmental and biodiversity conservation. *Array*, 26, 100412. <https://doi.org/10.1016/j.array.2025.100412>

- Miller, T., Mikiciuk, G., Durlík, I., Mikiciuk, M., Łobodzińska, A., & Śnieg, M. (2025). The IoT and AI in agriculture: The time is now- A systematic review of smart sensing technologies. *Sensors (Basel)*, 25(12), 3583. <https://doi.org/10.3390/s25123583>
- Mirpanahi, S., & Javadi, A. (2022 May 18). Investigating the importance and necessity of transition from traditional agriculture to digital agriculture in Iran's food security [Paper presentation]. In *The 7th International congress on agricultural development and environment with an emphasis on the UN development program*, Tehran, Iran.
- Niftiyev, I. (2023). Third-country economic consequences of Western sanctions on Russia: a thematic analysis of expert opinions in Azerbaijan. *SocioEconomic Challenges*, 7(3), 113-140. [https://doi.org/10.61093/sec.7\(3\).113-140.2023](https://doi.org/10.61093/sec.7(3).113-140.2023)
- OECD. (2022b). *Digital opportunities for better agricultural policies* [Report]. OECD Publishing. Retrieved from: https://www.oecd.org/en/publications/digital-opp-ortunities-for-better-agricultural-policies_571a0812-en.html
- Osorio, C. P., Leucci, F., & Porrini, D. (2024). Analyzing the relationship between agricultural AI adoption and government-subsidized insurance. *Agriculture*, 14(10), 1804. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101804>
- Ozdogan, B., Gacar, A., & Aktas, H. (2017). Digital agriculture practices in the context of agriculture 4.0. *Journal of Economics Finance and Accounting*, 4(2), 186-193. <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.448>
- Pakzat, M., & Rezvani, M. (2025). Assessment of the relationships between the agricultural sector and the macroeconomy in Iran with emphasis on structural breaks. *Scientific Quarterly Journal of Majlis and Economy*, 1(2), 265-277. (Persian) <https://doi.org/10.22034/mec.2025.17746.1104>
- Panahian, P., Borimnejad, V., Samari, D., & Nozari, N. (2025). Shaping farmers' purchase intentions: The role of agricultural input subsidies and marketing strategies in Iran. *Discover Sustainability*, 6(1), 567. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01307-5>
- Papadopoulos, G., Papantonatou, M.-Z., Uyar, H., Kriezi, O., Mavrommatis, A., Psiroukis, V., Kasimati, A., Tsiplakou, E., & Fountas, S. (2025). Economic and environmental benefits of digital agricultural technological solutions in livestock farming: A review. *Smart Agricultural Technology*, 100783. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100783>
- Parson, E. A., Burkett, V., Fisher-Vanden, K., Keith, D., Mearns, L., Pitcher, H., ... & Webster, M. (2007). *Global-change scenarios: their development and use* [Report]. University of Michigan Law School. Retrieved from: <https://repository.law.umich.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1034&context=other>
- Petrović, B., Bumbálek, R., Zoubek, T., Kuneš, R., Smutný, L., & Bartoš, P. (2024). Application of precision agriculture technologies in Central Europe- review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 101048. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101048>
- Pigford, A.-A. E., Hickey, G. M., & Klerkx, L. (2018). Beyond agricultural innovation systems? Exploring an agricultural innovation ecosystems approach for niche design and development in sustainability transitions. *Agricultural Systems*, 164, 116-121. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.04.007>
- Prause, L., Hackfort, S., & Lindgren, M. (2021). Digitalization and the third food regime. *Agriculture and Human Values*, 38(3), 641-655. <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10161-2>
- Rezvani, M., Shamshiri, R., Moghaddam, J., Balasundram, S., & Hameed, I. (2022). Digital agriculture in Iran: Use cases, opportunities, and challenges. In R. R. Shamshiri, & S. Shafian (Eds.), *Digital Agriculture, Methods and Applications*. London: IntechOpen Publishing. <https://doi.org/10.5772/intechopen.103967>
- Rose, D. C., & Chilvers, J. (2018). Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 87. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>
- Ryan, M., Atik, C., Rijswijk, K., Bogaardt, M. J., Maes, E., & Deroo, E. (2024). The future of agricultural data-sharing policy in Europe: Stakeholder insights on the EU Code of Conduct. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 1-15. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03710-1>
- Saini, A. K., & Yadav, A. K. (2025). A comprehensive review on technological breakthroughs in precision agriculture: IoT and emerging data analytics. *European Journal of Agronomy*, 163, 127440. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127440>
- Samuels, J. (2024). Digital agriculture: Revolutionizing farming practices through technology integration. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17600.51204>
- Sharifi Tehrani, A., & Mahdavi Damghani, A. (2023). Evaluation of modern eco-based technologies

- application in the agriculture and natural resource management of Iran. *Journal of Strategic Research in Agricultural Sciences and Natural Resources*, 8(1), 1-16. (Persian)
- Sharma, K., & Shivandu, S. K. (2024). Integrating artificial intelligence and internet of things (IoT) for enhanced crop monitoring and management in precision agriculture. *Sensors International*, 5(1), 100292. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2024.100292>
- Simion, G., & Simion, P.-S. (2024). Transforming agriculture: The impact of digital technologies on biodiversity conservation. Digitization & sustainability in the financial sector - regulations and best practices. Braşov, Romania.
- Sloat, S. (2025). Farmers are using IoT to take the guesswork out of growing. Business Insider. Retrieved from: <https://www.businessinsider.com/iot-technology-precision-agriculture-transforming-farming-2025-5>
- Stoian, M., Dobre, I., Popescu, C. G., Vasile, M. C., Dimitriu, A. T., & Ion, A. (2022). Increasing sustainability of food production and ensuring human health through agriculture digitalization. *Economic of Agriculture*, 69(4), 1209-1223.
- Sumihiro, G. (2025). Precision agriculture is an investment in food security. My Journal Courier. Retrieved from: <https://www.myjournalcourier.com/opinion/article/precision-agriculture-investment-food-security-20260610.php>
- Taghibaygi, M., & Alibaygi, A. (2024). The impact of ethical commitments on the intention to adopt digital agricultural technologies. *Scientific Reports*, 14(1), 23035. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71723-6>
- Trendov, N. M., Varas, S., & Zeng, M. (2019). *Digital technologies in agriculture and rural areas*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- U.S. Government Accountability Office. (2024 January 31). Precision Agriculture: Benefits and challenges for technology adoption and use [Report]. Retrieved from: <https://www.gao.gov/products/gao-24-105962>
- Vahdanjoo, M., Sørensen, C. G., & Nørremark, M. (2025). Digital transformation of the agri-food system. *Current Opinion in Food Science*, 63, 101287. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2025.101287>
- Van der Burg, S., Bogaardt, M. J., & Wolfert, S. (2019). Ethics of smart farming: Current questions and directions for responsible innovation towards the future. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 90, 100289. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.01.001>
- Van der Heijden, K. (2005). *Scenarios: The art of strategic conversation*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Velten, S., Leventon, J., Jager, N., & Newig, J. (2015). What is sustainable agriculture? A systematic review. *Sustainability*, 7(6), 7833-7865. <https://doi.org/10.3390/su7067833>
- Von Schomberg, R. (2013). A vision of responsible research and innovation. In R. Owen, J. Bessant, M. Heintz (Eds.), *Responsible innovation: Managing the responsible emergence of science and innovation in society* (pp. 51-74). Hoboken: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118551424.ch3>
- Wang, Z., Jang, W., Ruan, B., Wang, J., & Xiao, S. (2026). Developing and integrating trust modeling into multi-objective reinforcement learning for intelligent agricultural management. *Smart agricultural technology*, 102145. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.10803>
- Wilkinson, A., & Eidinow, E. (2008). Evolving practices in environmental scenarios: A new scenario typology. *Environmental Research Letters*, 3(4), 045017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/4/045017>
- Wolfert, S., & Isakhanyan, G. (2022). Sustainable agriculture by the internet of things- A practitioner's approach to monitor sustainability progress. *Computers and Electronics in Agriculture*, 200, 107226. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107226>
- Yane, D. (2011 October 22-25). Research and analysis about system of digital agriculture based on a network platform. In *Computer and computing technologies in agriculture* (pp. 274-282). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Yeo, M. L., & Keske, C. M. (2024). From profitability to trust: Factors shaping digital agriculture adoption. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1456991. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1456991>
- Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture- A worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2-3), 113-132. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0)



مصطفی صفدری رنجبر

دانش‌آموخته دکتری مدیریت فناوری از دانشگاه علامه طباطبائی و دانشیار دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران است. او مدیر اندیشکده سیاست‌پژوهان علم، فناوری و نوآوری است و سابقه فعالیت به‌عنوان مشاور معاونت فناوری و نوآوری وزارت عتف و مشاوره به معاونت سیاست‌گذاری و توسعه معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان ریاست جمهوری را در کارنامه خود دارد. زمینه‌های پژوهشی وی شامل حکمرانی و سیاست‌گذاری علم، فناوری و نوآوری با تمرکز بر گفتمان‌های نوآیند، همچون سیاست‌گذاری فناوری‌های نوظهور و دیجیتال و گذارهای پایداری و رویکردهای فراگیر و انسان‌محور است.



زهره کریمی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت فناوری اطلاعات از دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران است. حوزه‌های پژوهشی وی شامل مدیریت فناوری اطلاعات، سناریونویسی و آینده‌پژوهی با تمرکز بر تحول دیجیتال و کاربرد فناوری‌های نوین در توسعه پایدار است. پژوهش‌های ایشان بر طراحی سناریوهای آینده، تحلیل روندهای فناورانه و بررسی نقش فناوری‌های دیجیتال در تحول بخش‌های راهبردی، به‌ویژه کشاورزی هوشمند و دیجیتال، متمرکز است.



کیارش فرتاش

دانش‌آموخته دکتری مدیریت فناوری از دانشگاه علامه طباطبائی و دانشیار پژوهشکده مطالعات بنیادین علم و فناوری دانشگاه شهید بهشتی است. او دارای سابقه فعالیت‌های مشاوره‌ای و پژوهشی در حوزه‌های سیاست‌گذاری علم و فناوری و آینده‌نگاری علم و فناوری است و حوزه‌های علاقه‌مندی وی شامل توسعه پایدار، آینده‌نگاری علم و فناوری، سیاست فناوری و نوآوری است.

