



Analysis of the Impact of Investment in Green Technologies on the Sustainability of the Food Supply Chain, with a Focus on Environmental Risk Reduction

Morteza Pourjafari¹, Zeynolabedin Jouyban², Aref Erfani^{3*}

¹Associate Professor, Department of Production and Industry Relations, Research Institute of Logistics and Defense Technology, National Defense University, Tehran, Iran. Email Address: pjafarimorteza@gmail.com

²Associate Professor, Crop Plant Physiology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email Address: abed_jouyban88@yahoo.com

³Correspondence: PhD in Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
Email Address: a.erfani@urmia.ac.ir

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research Paper

Received: 29 May 2025

Received in revised form: 3 September 2025

Accepted: 31 December 2025

Available online: 15 June 2026

Keywords:

Technological Governance

Green Investment

Food System Resilience

Technology Transformation

Food Supply Chain

ABSTRACT

In today's world, where food supply chains are increasingly exposed to the adverse effects of climate change and the degradation of natural resources, the relationship between investments in emerging green technologies and the mitigation of environmental risks has become a critical area of inquiry. This study seeks to provide an in-depth examination of this relationship by moving beyond general assumptions and identifying the underlying mechanisms through which green technology investments contribute to environmental risk reduction. Accordingly, the present research aims to investigate the role of investments in green technologies in reducing environmental risks within Iran's food supply chain. From the perspective of purpose, this study is applied-developmental in nature, while methodologically it adopts a descriptive-analytical approach using a mixed-methods design. The research was conducted in Iran during 2024. In the qualitative phase, thematic analysis was employed, and sixteen semi-structured interviews were conducted with subject-matter experts until theoretical saturation was achieved. The identified themes related to green technology investment were subsequently validated using the Delphi technique. In the quantitative phase, data were collected from 395 managers and experts working in relevant organizations through a researcher-developed questionnaire. The questionnaire's validity was confirmed by experts, and its reliability was assessed using Cronbach's alpha coefficient. Quantitative data were analyzed through Structural Equation Modeling (SEM) using the Partial Least Squares (PLS) approach in SmartPLS software. The qualitative findings revealed three overarching themes (technological governance structures, transformative technologies, and sustainable ecosystem requirements), nine organizing themes (driving policy frameworks, transformative financial structures, participatory technology governance, advanced production technologies, intelligent distribution technologies, integrated recycling technologies, natural resource sustainability, climate adaptability, and food system resilience), and thirty-six basic themes. The Delphi analysis confirmed the validity of all identified themes, which subsequently formed the basis for questionnaire development. The quantitative findings further confirmed the significant effect of green technology investments on reducing environmental risks in the food supply chain. The results demonstrated that all three dimensions—technological governance, green technologies, and ecosystem requirements—exert a significant negative effect on environmental risks within the food supply chain. The findings contribute to the existing body of knowledge on sustainable food supply chain governance and provide a practical roadmap for policymakers, food industry managers, and investors. By adopting an integrated and evidence-based approach, stakeholders can effectively reduce environmental risks and promote the development of a resilient and sustainable food system.

Cite this article: M. Pourjafari, M. S. Alamdari, and A. Erfani, "Analysis of the Impact of Investment in Green Technologies on the Sustainability of the Food Supply Chain, with a Focus on Environmental Risk Reduction, vol. 28, no. 1, pp. 21-50, 2026. DOI: <https://doi.org/10.47176/scmj.2026.1631>



Introduction

The growing pressures of climate change, environmental degradation, resource scarcity, and increasing sustainability requirements have transformed environmental risk management into a strategic priority for food supply chains. In recent years, investment in green technologies has emerged as a critical mechanism for enhancing sustainability and mitigating environmental risks across agricultural and food systems. Despite the growing body of literature on green innovation and sustainable supply chains, a significant research gap remains regarding the identification of the specific technological, governance, and ecosystem-related factors through which green technology investments can effectively reduce environmental risks in the Iranian food supply chain. Previous studies have often focused either on isolated technological solutions or on broad sustainability frameworks, while lacking an integrated perspective that captures the interactions among governance structures, transformative technologies, and ecosystem requirements. Therefore, this study aims to develop and empirically validate a comprehensive framework for understanding the role of green technology investments in reducing environmental risks and improving the sustainability of Iran's food supply chain.

Research Objectives and Questions

Research Objectives

The primary objective of this study is to examine the role of investments in green technologies in reducing environmental risks and enhancing the sustainability of Iran's food supply chain. More specifically, the study seeks to develop and validate a comprehensive framework that explains how technological governance structures, transformative technologies, and sustainable ecosystem requirements contribute to environmental risk mitigation across different stages of the food supply chain. The specific objectives of the study are:

- To identify the key dimensions and components of green technology investment in the food supply chain.
- To develop an integrated conceptual framework linking green technology investments to environmental risk reduction.
- To investigate the effects of technological governance structures on environmental sustainability within the food supply chain.
- To assess the contribution of transformative green technologies to environmental risk mitigation.
- To examine the role of sustainable ecosystem requirements in enhancing food system resilience and sustainability.
- To provide practical recommendations for policymakers, investors, and food industry managers regarding green investment priorities.

Research Questions

To achieve the above objectives, the study addresses the following research questions:

1. What are the key dimensions and components of green technology investment in the context of Iran's food supply chain?
2. How can an integrated framework of green technology investment for environmental risk reduction be developed and validated?

3. What is the effect of technological governance structures on reducing environmental risks in the food supply chain?
4. How do transformative green technologies contribute to the sustainability of the food supply chain?
5. What role do sustainable ecosystem requirements play in enhancing food system resilience and reducing environmental risks?
6. To what extent do investments in green technologies contribute to the overall sustainability of the food supply chain?

Methodology

This study adopted an applied-developmental orientation and employed a sequential mixed-methods design within an interpretive–analytical paradigm. In the qualitative phase, thematic analysis based on the Attride-Stirling approach was conducted to identify the dimensions and components of green technology investment. Data were collected through sixteen semi-structured interviews with academic experts and practitioners specializing in food supply chains, sustainability, and environmental management. Participants were selected using snowball sampling until theoretical saturation was achieved.

To ensure the reliability and validity of the qualitative findings, a Delphi process was conducted, allowing experts to evaluate and refine the identified themes through iterative rounds of consensus building. Subsequently, a researcher-developed questionnaire was designed based on the validated themes.

In the quantitative phase, data were collected from 395 managers, logistics specialists, environmental experts, quality-control officers, and supply chain practitioners operating within Iran’s food industry. Structural Equation Modeling (SEM) using the Partial Least Squares (PLS) approach in SmartPLS software was employed to evaluate the proposed conceptual model and test the research hypotheses.

Findings

The qualitative analysis revealed three overarching themes representing the key dimensions of green technology investment:

1. **Technological Governance Structures**
2. **Transformative Technologies**
3. **Sustainable Ecosystem Requirements**

These overarching themes were further decomposed into nine organizing themes and thirty-six basic themes.

The dimension of **Technological Governance Structures** included driving policy frameworks, transformative financial structures, and participatory technology governance mechanisms. These themes emphasized the importance of supportive regulations, innovative financing arrangements, stakeholder collaboration, and institutional coordination in facilitating green technology adoption.

The dimension of **Transformative Technologies** comprised advanced production technologies, intelligent distribution technologies, and integrated recycling technologies. These technologies contribute to reducing resource consumption, minimizing waste generation, improving traceability, and enhancing operational efficiency throughout the food supply chain.

The dimension of **Sustainable Ecosystem Requirements** encompassed natural resource sustainability, climate adaptability, and food system resilience. These factors reflect the necessity of preserving environmental resources, strengthening adaptive capacities against climate-related disruptions, and enhancing the long-term resilience of food systems.

The Delphi analysis confirmed the reliability and relevance of all identified themes, providing a robust foundation for the quantitative phase.

The quantitative results demonstrated that investments in green technologies exert a significant negative effect on environmental risks within the food supply chain. Specifically, all three dimensions—technological governance structures, transformative technologies, and sustainable ecosystem requirements—were found to significantly reduce environmental risks. The findings indicate that effective governance mechanisms create an enabling environment for technological innovation, while investments in advanced green technologies improve environmental performance through resource optimization, waste reduction, and emission control. Furthermore, ecosystem-oriented investments strengthen resilience and adaptive capacity, thereby reducing vulnerability to environmental disturbances.

Discussion

The results highlight that environmental risk reduction cannot be achieved solely through technological innovation. Rather, a comprehensive and integrated approach is required, combining supportive governance frameworks, technological transformation, and ecosystem-based sustainability strategies. The findings reinforce the argument that green technology investment should be viewed not merely as a financial expenditure but as a strategic instrument for systemic transformation across the food supply chain.

The study further demonstrates that the effectiveness of green technologies is contingent upon the presence of enabling institutional structures and coordinated stakeholder engagement. Therefore, policymakers and industry leaders should prioritize long-term investments that simultaneously strengthen technological capabilities, governance quality, and environmental resilience.

Conclusions and Implications

This study provides a comprehensive framework explaining how investments in green technologies contribute to the reduction of environmental risks and the enhancement of sustainability within Iran's food supply chain. The integrated model developed in this research emphasizes the interconnected roles of technological governance, transformative technologies, and ecosystem requirements in achieving sustainable food systems.

The findings contribute to the theoretical advancement of sustainable supply chain governance and offer practical guidance for policymakers, investors, and food industry managers. By adopting evidence-based investment strategies and promoting coordinated technological transformation, stakeholders can significantly reduce environmental risks while fostering resilient, sustainable, and environmentally responsible food supply chains.

تحلیل تأثیر سرمایه گذاری در فناوری های سبز بر پایداری زنجیره تأمین مواد غذایی؛ با تمرکز

بر کاهش ریسک های زیست محیطی

مرتضی پورجعفری^۱، زین العابدین جویبان^۲، عارف عرفانی^{۳*}

^۱دانشیار، پژوهشکده آحاد و فناوری دفاعی، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران. رایانامه: pjafarimorteza@gmail.com

^۲دانشیار، فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: abed_jouyban88@yahoo.com

^۳دکترای تخصصی علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: a.erfani@urmia.ac.ir

چکیده

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:
نوع مقاله: علمی پژوهشی
دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۸
بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۲
پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۰
ارائه آنلاین: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵

کلیدواژه‌ها:
حکمرانی فناوریانه
سرمایه گذاری سبز
تاب آوری غذایی
تحول فناوری
زنجیره تأمین غذایی

در جهان امروز که زنجیره های تأمین مواد غذایی تحت فشار تغییرات اقلیمی و تخریب منابع طبیعی قرار دارند، پیوند میان سرمایه گذاری در فناوری های نوپهور و کاهش ریسک های زیست محیطی به موضوعی مهم تبدیل شده است. این پژوهش در جست و جوی واکاوی دقیق این پیوند است تا با عبور از گزاره های کلی، سازوکارهای مؤثر در این مسیر را آشکار کند. هدف از پژوهش حاضر نقش سرمایه گذاری در فناوری های سبز در کاهش ریسک های زیست محیطی زنجیره تأمین غذایی ایران بود. این پژوهش از منظر هدف، توسعه ای-کاربردی و از نظر روش، توصیفی-تحلیلی است که با رویکرد آمیخته در سال ۱۴۰۳ و در قلمرو مکانی ایران انجام پذیرفته است. در بخش کیفی، با به کارگیری روش تحلیل مضمون و انجام ۱۶ مصاحبه نیم ساختاریافته با خبرگان تا رسیدن به اشباع نظری، مضامین سرمایه گذاری در فناوری های سبز شناسایی و با استفاده از تحلیل دلفی اعتبارسنجی شد. در بخش کمی، داده ها از طریق پرسش نامه ای محقق ساخته که روایی آن توسط متخصصان تأیید و پایایی آن با محاسبه آلفای کرونباخ سنجیده شد، از ۳۹۵ نفر از مدیران و کارشناسان سازمان های مرتبط گردآوری شد. تحلیل داده های کمی با استفاده از مدل سازی معادلات ساختاری (SEM) و به کارگیری روش حداقل مربعات جزئی (PLS) در نرم افزار Smart-PLS صورت پذیرفت. یافته های کیفی نشان دهنده ۳ مضمون فراگیر (سازه های حکمرانی فناوریانه، فناوری های تحول ساز و الزامات بوم سامانه ای پایدار)، ۹۰ مضمون سازمان دهنده (چارچوب های سیاستی پیشران، ساختارهای مالی تحول آفرین، حکمرانی مشارکتی فناوریانه، فناوری های تولید پیشرفته، فناوری های توزیع هوشمند، فناوری های باز یافت یکپارچه، پایداری منابع پایه، انطباق پذیری اقلیمی، تاب آوری نظام های غذایی) و ۳۶ مضمون پایه بود. بر اساس نتایج تحلیل دلفی کلیه مضامین شناسایی شده از اعتبار لازم برخوردار بوده و بر این اساس اقدام به طراحی پرسشنامه مرتبط گردید. نتایج کمی نیز تأثیر معنادار سرمایه گذاری در فناوری های سبز بر کاهش ریسک های زیست محیطی زنجیره تأمین غذایی را تأیید کرد و نشان داد هر سه بُعد حکمرانی فناوریانه، فناوری های سبز و الزامات بوم سامانه ای تأثیر کاهشی معناداری بر ریسک های زیست محیطی زنجیره تأمین غذایی دارند. این یافته ها نه تنها به غنای ادبیات موجود در زمینه حکمرانی پایدار زنجیره تأمین مواد غذایی می افزاید، بلکه نقشه راه عملیاتی مشخصی را در اختیار سیاست گذاران، مدیران صنایع غذایی و سرمایه گذاران قرار می دهد تا با رویکردی یکپارچه و مبتنی بر شواهد، به سمت کاهش ریسک های زیست محیطی و تحقق نظام غذایی تاب آور گام بردارند.

استناد: پورجعفری، مرتضی، علمداری، محمد سعید، عرفانی، عارف، "تحلیل تأثیر سرمایه گذاری در فناوری های سبز بر پایداری زنجیره

تأمین مواد غذایی؛ با تمرکز بر کاهش ریسک های زیست محیطی، دوره ۲۸، شماره ۱، صفحات ۵۰-۲۱، ۱۴۰۵.

DOI: <https://doi.org/10.47176/scmj.2026.1631>

© نویسنده (گان) حق نشر و حقوق کامل انتشار را برای خود محفوظ می دارند.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع).



۱- مقدمه

امروزه، زنجیره تأمین به عنوان اساس و پایه اقتصاد جهانی، نقش اساسی و تعیین کننده‌ای در حفظ پایداری و امنیت سامانه‌های حیاتی ایفا می‌کند [۱]. در این میان، زنجیره تأمین غذایی به دلیل ارتباط مستقیم با امنیت غذایی جمعیت رو به رشد و سلامت بوم سامانه‌ها، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. حرکت به سوی زنجیره تأمین پایدار مواد غذایی به یک ضرورت جهانی تبدیل شده است؛ ضرورتی که در چارچوب نظری پایداری، در سه بُعد کلیدی اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی تعریف می‌شود [۲ و ۳]. از منظر زیست محیطی، هدف کاهش ردپای بوم‌شناختی و حفظ سلامت بوم سامانه‌ها از طریق مدیریت بهینه منابع و کاهش آلاینده‌هاست [۳]. در بُعد اقتصادی، تمرکز بر ایجاد ارزش افزوده پایدار، توجیه پذیری مالی سرمایه‌گذاری‌ها و تقویت رقابت پذیری زنجیره تأمین قرار دارد [۱]. در حوزه اجتماعی نیز برقراری عدالت در توزیع منافع، مشارکت ذی‌نفعان محلی و تضمین امنیت غذایی برای نسل‌های حاضر و آینده مورد توجه است. این سه بُعد در تعاملی پویا، اساس تحقق زنجیره تأمین غذایی پایدار را تشکیل می‌دهند [۴].

در سطح جهان، فشار بر منابع آب و خاک و انتشار آلاینده‌ها از زنجیره تأمین غذا، نگرانی‌های جدی ایجاد کرده است [۵ و ۶]. در ایران نیز این چالش‌ها با شدت بیشتری نمایان است؛ به طوری که بخش کشاورزی به تنهایی مسئول حدود ۹۰ درصد مصرف آب کشور است [۷]. در حالی که بازدهی آبیاری اغلب پایین‌تر از ۴۵ درصد برآورد می‌شود. افزون بر این، سالانه بیش از ۳۵ درصد از فرآورده‌های کشاورزی در مرحله‌های مختلف زنجیره تأمین از بین می‌روند که معادل حدود ۱۵ میلیون تن ضایعات غذایی است. [۸ و ۹]. از سوی دیگر، داده‌ها نشان می‌دهند حدود ۴۰ درصد از آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی کشور و حدود ۱۷ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای ایران، ناشی از فعالیت‌های این زنجیره است [۹].

در مواجهه با این ریسک‌های پیچیده زیست محیطی، فناوری‌های سبز به عنوان راهکاری کلیدی برای تحقق پایداری در ابعاد سه‌گانه مطرح می‌شوند [۱۰]. این فناوری‌ها توانمندی آن را دارند که با ایجاد تحول در معماری زنجیره تأمین، از مرحله تولید (نظیر کشاورزی هوشمند و آبیاری دقیق) تا پردازش، توزیع و

مصرف (نظیر لجستیک هوشمند و بسته‌بندی‌های پیشرفته)، به صورت سامانه‌ای موجب بهینه‌سازی مصرف منابع، کاهش ضایعات و کاهش ردپای کربن شوند [۱۱].

باین حال، علی‌رغم توجه روزافزون به این موضوع، شکاف پژوهشی قابل توجهی در ادبیات موجود مشاهده می‌شود. مرور پژوهش‌های پیشین از جمله هی و همکاران^۱ (۲۰۲۵) در زمینه بلاک چین [۴]، یادو و همکاران^۲ (۲۰۲۴) در زمینه فناوری‌های دیجیتال [۱] و لیو (۲۰۲۴) در راهبردهای سرمایه‌گذاری [۲] نشان می‌دهد که اگرچه این پژوهش‌ها به جنبه‌های فنی و اقتصادی فناوری‌های سبز پرداخته‌اند، اما عمدتاً رویکردی تقلیل‌گرا و تک‌بعدی داشته و از تحلیل جامع ابعاد سازمانی، نهادی و بوم سامانه‌ای غافل مانده‌اند. پژوهش‌هایی همچون ال ایوبی و رادمر^۳ (۲۰۲۳) و شی و همکاران^۴ (۲۰۲۳) نیز نتوانسته‌اند به مفهوم پردازی کاملی از سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز در بستر خاص یک زنجیره تأمین غذایی ملی دست یابند [۳ و ۵]. در پژوهش ابراهیم‌پور سامانی و همکاران (۱۴۰۴) با به کارگیری روش دیمتل فازی، شاخص‌های کلیدی زنجیره تأمین پایدار مواد غذایی شناسایی و اولویت‌بندی شده است. یافته‌های ایشان نشان می‌دهد که بُعد اقتصادی در کنار دو بُعد اجتماعی و زیست محیطی، نقش محوری در پایداری این زنجیره ایفا می‌کند و معیارهایی نظیر عملکرد پشتیبانی، استفاده از فناوری‌های منطقه محور و ارتقای دانش کشاورزان بیشترین تأثیر را در بهبود پایداری دارند. این نتایج به طور مستقیم باهدف پژوهش حاضر که بررسی نقش سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز برای کاهش ریسک‌های زیست محیطی است، همسو است. همچنین، تأکید ابراهیم‌پور سامانی و همکاران بر چالش‌های مدیریت زیست محیطی به عنوان یکی از عوامل کلیدی، ضرورت پرداختن به ریسک‌های زیست محیطی در زنجیره تأمین غذایی ایران را تقویت می‌کند. از این رو، پژوهش حاضر با الهام از این یافته‌ها، در پی تکمیل ادبیات موجود از طریق تمرکز بر سازوکارهای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز به عنوان راهکاری برای تقویت پایداری در ابعاد سه‌گانه است. با توجه به مطالب ذکر شده

¹ He et al

² Yadav et al

³ El Ayoubi & Radmehr

⁴ Shi et al

دهد. سوم، کمبود پژوهش‌هایی که با واکاوی عمیق تجربیات ذی‌نفعان کلیدی، الگویی بومی و زمینه آگاه برای شرایط خاص ایران ارائه دهد و چهارم، نادیده‌گرفتن کنش و واکنش پویا بین عامل‌های نهادی، فناورانه و زیست‌محیطی در پژوهش‌های پیشین.

بنابراین، این پژوهش باهدف پر کردن این کاستی‌ها و با تمرکز بر زنجیره تأمین مواد غذایی ایران، در پی آن است تا از طریق توسعه یک چارچوب جامع، نقش سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز را در کاهش ریسک‌های زیست‌محیطی مورد تحلیل قرار دهد. این مطالعه از طریق تلفیق یافته‌های کیفی و کمی، درصدد است تا درکی عمیق‌تر از سازوکارهای اثرگذاری سرمایه‌گذاری سبز بر پایداری زیست‌محیطی در ایران ارائه نماید. این پژوهش از آن سو حائز اهمیت است که با تحلیل سیستماتیک تأثیر فناوری‌های سبز، راهکارهای عملی برای کاهش مخاطرات محیط‌زیستی در زنجیره تأمین مواد غذایی ارائه می‌دهد. یافته‌های این تحقیق می‌تواند به سیاست‌گذاران در تدوین برنامه‌های کارآمد برای انتقال به نظام‌های غذایی پایدار یاری رساند، همچنین برای فعالان صنعت، چارچوبی شفاف برای سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی همسو با معیارهای محیط‌زیستی فراهم می‌آورد. در مقابل، بی‌توجهی به این زمینه می‌تواند موجب تشدید چالش‌ها و مسائل موجود گردند؛ تداوم روش‌های ناپایدار نه تنها ذخایر طبیعی را بیش‌ازپیش تحلیل خواهد برد، بلکه هزینه‌های سازگاری با پیامدهای تغییرات آب‌وهوایی را به سطحی غیرقابل‌تحمل افزایش خواهد داد. این پژوهش با ترسیم مسیرهای جایگزین، از تبدیل چالش‌های کنونی به بحران‌های غیرقابل‌جبران جلوگیری می‌کند. این رویکرد جامع، این پژوهش را از پژوهش‌های مشابه متمایز می‌سازد و آن را به منبعی ارزشمند برای کلیه ذی‌نفعان زنجیره تأمین غذایی، از سیاست‌گذاران کلان تا تولیدکنندگان محلی، تبدیل می‌کند. بااین‌حال در بیشتر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه به موضوع موردبحث پرداخته نشده است و یک خلأ تئوریک در پژوهش‌های پیرامون این موضوع وجود دارد؛ لذا پژوهش حاضر درصدد یافتن پاسخی برای این سؤال است که چارچوب مناسب برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز چگونه است؟ و آیا

می‌توان بیان داشت که با استناد به مطالعات معتبر بین‌المللی، اهمیت راهبردی سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز در بخش مواد غذایی به‌طور فزاینده‌ای در حال ابعاد جهانی پیدا کردن است. بر اساس گزارش برنامه محیط‌زیست ملل متحد (۲۰۲۴)، سیستم‌های غذایی — که تولید، فرآوری، توزیع و مصرف مواد غذایی را در بر می‌گیرد — مسئول حدود ۸۰٪ از تخریب تنوع‌زیستی و ۳۰٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح جهان هستند. در همین راستا، پژوهش‌هایی مانند هی و همکاران (۲۰۲۵) نشان می‌دهند که فناوری‌های نوظهور مربوط به بخش غذا مانند بلاک‌چین برای ردیابی و شفاف‌سازی، می‌توانند تا ۴۰٪ در کاهش ریسک‌های زیست‌محیطی مربوط به ضایعات غذایی و ردپای کربن مؤثر باشند. در سطح ملی، مطالعاتی مانند ابراهیم‌پور سامانی و همکاران (۱۴۰۴) مؤید این واقعیت است که صنعت تولید و فرآوری مواد غذایی در ایران با چالش‌های ساختاری عمیقی از جمله مصرف بی‌رویه منابع آبی (بیش از ۹۰٪ از آب تجدیدپذیر کشور در بخش کشاورزی که مواد خام این صنعت را تأمین می‌کند)، وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی در فرآیندهای تولید، نگهداری و حمل‌ونقل مواد غذایی و عدم تاب‌آوری کافی در برابر تغییرات اقلیمی و شوک‌های محیطی مواجه است. این در حالی است که پژوهش حاضر، با تمرکز ویژه بر صنعت مواد غذایی و تلفیق یافته‌های کمی و کیفی، نه تنها شکاف موجود در ادبیات موضوع در این بخش خاص را پر می‌کند، بلکه الگویی بومی و کاربردی برای تحول پایدار زنجیره ارزش مواد غذایی ایران ارائه می‌نماید. این الگو به‌طور مستقیم همسو با راهبردهای کلان توسعه پایدار کشور و تعهدات بین‌المللی در حوزه محیط‌زیست و امنیت غذایی است و مسیر مشخصی برای کاهش ریسک‌های زیست‌محیطی در صنایع غذایی، از طریق سرمایه‌گذاری هدفمند در فناوری‌های سبز مناسب این بخش ترسیم می‌کند.

کاستی‌های اصلی این پژوهش در چهار محور قابل‌شناسایی است: نخست، عدم وجود یک چارچوب مفهومی یکپارچه که بتواند هم‌زمان کلیه ابعاد سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز را در قالب یک الگوی جامع برای زنجیره تأمین مواد غذایی تبیین نماید. دوم، فقدان رویکرد سامانه‌ای که اثرات این سرمایه‌گذاری‌ها را بر تمامی حلقه‌های زنجیره، از مزرعه تا سفره، موردبررسی قرار

سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز در کاهش ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی تأثیر دارد؟

۲- مبانی نظری و تدوین فرضیه پژوهش

در جهان امروز، زنجیره تأمین مواد غذایی به‌عنوان سیستمی پیچیده و حیاتی، در معرض چالش‌های فزاینده زیست‌محیطی قرار دارد که پایداری آن را با تهدیدات جدی مواجه ساخته است [۵]. در این میان، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز به‌عنوان راهبردی تحول‌آفرین مطرح می‌گردد که می‌تواند با ایجاد تغییرات بنیادین در ساختارهای تولید، توزیع و مصرف، گامی اساسی در جهت کاهش ریسک‌های زیست‌محیطی بردارد [۸ و ۱۱]. این پژوهش با درک ضرورت این گذار، در پی آن است تا با بررسی ابعاد نظری این موضوع، چارچوبی مفهومی برای تبیین نقش سرمایه‌گذاری سبز در کاهش ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی ارائه نماید. بر این اساس، مبانی نظری حاضر باهدف تدوین بنیان‌های علمی لازم برای درک عمیق‌تر ارتباط بین فناوری‌های سبز و کاهش ریسک‌های زیست‌محیطی در زنجیره تأمین مواد غذایی تنظیم گردیده است. در این بخش در آغاز به بررسی مبانی نظری و ادبیات مطرح شده در خصوص هر یک از متغیرهای پژوهش پرداخته شده و در انتها به بررسی ارتباط بین این متغیرهای پرداخته می‌شود.

۲-۱- سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز

سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز به‌عنوان پارادایمی نوین در عرصه مالی پایدار شناخته می‌شود که دربرگیرنده تخصیص منابع مالی به پروژه‌ها و خدمات فناورانه‌ای است که کاهش ردپای بوم‌شناسی، ارتقای کارایی انرژی و تحقق اهداف توسعه پایدار را دنبال می‌نماید [۱۰ و ۱۱]. این مفهوم بر مبنای سه رکن اساسی استوار است: نخست، رویکرد سیستمی که تعامل پیچیده بین مؤلفه‌های اقتصادی، فناورانه و محیط‌زیستی را مدنظر قرار می‌دهد [۹]؛ دوم، چارچوب حکمرانی چندسطحی که هماهنگی بین بازیگران مختلف از سطح محلی تا بین‌المللی را ضروری می‌سازد؛ و سوم، مدل ارزش‌گذاری چندبعدی که فراتر از معیارهای مالی متعارف، منافع اجتماعی و محیط‌زیستی را نیز در محاسبات سرمایه‌گذاری وارد می‌نماید [۱۲]. بنابر پژوهش‌های آژانس بین‌المللی انرژی، این نوع سرمایه‌گذاری‌ها از ویژگی‌های

منحصر به فردی از جمله افق زمانی بلندمدت (معمولاً ۷ تا ۱۵ سال)، حساسیت بالا به سیاست‌های تنظیمی، و وابستگی به پیشرفت‌های فناورانه. برخوردارند که آن‌ها را از سرمایه‌گذاری‌های متعارف متمایز می‌سازد.

۲-۲- ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی و کشاورزی

ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی و کشاورزی به مجموعه‌ای از مخاطرات سیستماتیک و غیرسیستماتیک اطلاق می‌شود که ناشی از تعامل بین فعالیت‌های انسانی و بوم سامانه‌های طبیعی در چرخه تولید [۹]، توزیع و مصرف مواد غذایی و کشاورزی است [۱۳]. این ریسک‌ها بر اساس چارچوب سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد^۱ (FAO: ۲۰۲۳) در چهار دسته اصلی قابل طبقه‌بندی هستند: نخست، ریسک‌های اقلیمی شامل تغییر الگوهای بارش، افزایش دما و وقوع پدیده‌های حدی آب‌وهوایی که بر تولید فراورده‌ها کشاورزی تأثیر می‌گذارند [۱۴]، دوم، ریسک‌های مربوط به تنوع زیستی نظیر کاهش جمعیت گرده‌افشان‌ها و فرسایش ژنتیکی که تاب‌آوری سیستم‌های کشاورزی را تهدید می‌کنند؛ سوم، ریسک‌های ناشی از آلودگی‌های محیط‌زیستی شامل آلاینده‌های شیمیایی [۱۵]، میکروپلاستیک‌ها و فلزات سنگین که وارد زنجیره غذایی می‌شوند؛ و چهارم، ریسک‌های مرتبط با تخریب منابع پایه نظیر فرسایش خاک، کاهش منابع آب زیرزمینی و تخریب جنگل‌ها که ظرفیت تولید بلندمدت سیستم‌های غذایی را به خطر می‌اندازند [۴]. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که این ریسک‌ها دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند از جمله پیچیدگی علیتی، اثرات تجمعی، غیرخطی بودن واکنش‌های سیستم و مرزهای سیستمی نامشخص که ارزیابی و مدیریت آن‌ها را با چالش‌های جدی مواجه می‌سازد [۱ و ۲]. از سویی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی از طریق مکانیسم‌های متعددی بر امنیت غذایی جهانی تأثیر می‌گذارند [۸]. از منظر کمی، برآوردها حاکی از آن است که تغییرات اقلیمی می‌تواند تا سال ۲۰۵۰ بین ۱۰ تا ۲۵ درصد از تولید جهانی فراورده‌ها اساسی نظیر گندم، ذرت و برنج را کاهش دهد [۱۶].

¹ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

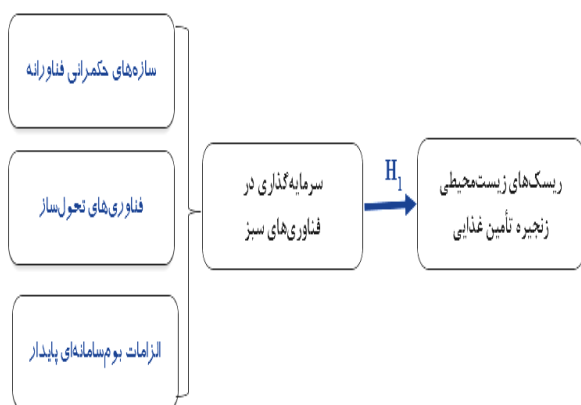
۲-۳- چارچوب نظری و تدوین فرضیه پژوهش

سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز با ایجاد تحولات بنیادین در ساختارهای تولید و توزیع مواد غذایی، به‌عنوان نیروی محرکه اصلی در کاهش مخاطرات محیط‌زیستی نظام تأمین غذا عمل می‌نماید [۵]. این تحولات از طریق مکانیزم‌های پیچیده و چندلایه‌ای صورت می‌پذیرد که در چهارچوب نظریه‌های نوین توسعه پایدار قابل تحلیل و تبیین است [۱۱ و ۱۲]. در سطح خرد، این سرمایه‌گذاری‌ها با به کارگیری سیستم‌های هوشمند نظارت بر منابع، امکان مدیریت دقیق‌تر نهاده‌های کشاورزی را فراهم می‌آورند که نتیجه آن کاهش چشمگیر آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی است [۸]. در سطح کلان، توسعه فناوری‌های پیشرفته در زمینه بازیافت مواد و انرژی، چرخه تولید را به نظامی بسته و خودکفا تبدیل می‌کند که وابستگی آن به منابع خارجی به کمترین میزان می‌رسد [۱۱]. یکی از مهم‌ترین آثار این سرمایه‌گذاری‌ها، افزایش مقاومت زنجیره تأمین غذا در برابر نوسانات اقلیمی است [۱۷]. با بهره‌گیری از سامانه‌های پیش‌بینی هوشمند و روش‌های کشت سازگار با محیط‌زیست، تولیدکنندگان قادر خواهند بود در برابر تغییرات غیرمنتظره آب‌وهوایی از خود انعطاف‌پذیری نشان دهند. همچنین، توسعه روش‌های نوین بسته‌بندی و نگهداری مواد غذایی با استفاده از فناوری‌های سبز، ضایعات غذایی را در طول زنجیره تأمین به شدت کاهش می‌دهد [۱۰]. این تحولات نه تنها موجب پایداری محیط‌زیستی می‌شود، بلکه از منظر اقتصادی نیز به صرفه‌جویی قابل توجه در هزینه‌های تولید و توزیع منجر می‌گردد [۵ و ۹]. نکته حائز اهمیت آنکه این سرمایه‌گذاری‌ها باعث ایجاد نوعی همگرایی مثبت بین منافع اقتصادی و الزامات محیط‌زیستی می‌شود. به عبارت دیگر، با گذر زمان و افزایش مقیاس تولید، هزینه‌های فناوری‌های سبز کاهش یافته و در عین حال مزایای محیط‌زیستی آن‌ها تشدید می‌شود. این پدیده که از آن به‌عنوان اثر چرخه‌ی مثبت یاد می‌شود، امکان تحول عمیق‌تر در ساختارهای تولید و مصرف مواد غذایی را فراهم می‌آورد [۲]. در نهایت، این روند به ایجاد نظام غذایی منجر می‌شود که نه تنها نیازهای کنونی بشر را تأمین می‌کند، بلکه توانایی نسل‌های آینده را در برآوردن نیازهای خود به خطر نمی‌اندازد [۱۸]. این همان مفهوم واقعی توسعه پایدار است که در قلب سرمایه‌گذاری‌های

سبز در فناوری‌های غذایی نهفته است، بنابراین باتوجه‌به مبانی نظری ذکر شده، فرضیه پژوهش به ترتیب زیر تدوین می‌گردد:

فرضیه پژوهش: سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز بر کاهش ریسک‌های زیست‌محیطی زنجیره تأمین غذایی تأثیر معناداری دارد.

جهت انجام آزمون فرضیه پژوهش از چارچوب نظری زیر استفاده می‌شود.



شکل (۱): مدل مفهومی پژوهش

۳-پیشینه پژوهش

بررسی مبانی نظری در زمینه سرمایه‌گذاری سبز و مدیریت ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی نشان‌دهنده غنای ادبیات این زمینه و وجود شکاف‌های مهمی است که پژوهش حاضر در صدد پر کردن آن برآمده است. ادبیات موجود را می‌توان در سه زمینه کلیدی و به‌هم‌پیوسته زیر دسته‌بندی نمود:

۳-۱- زمینه اول: حکمرانی فناورانه

پژوهش‌های این زمینه بر چارچوب‌های نهادی، سیاستی و مدیریتی لازم برای هدایت و بهره‌برداری از فناوری‌های نوین تمرکز دارند.

هی و همکاران^۱ (۲۰۲۵) باهدف بررسی تأثیر فناوری بلاک‌چین بر تصمیمات سرمایه‌گذاری سبز در زنجیره تأمین، به این نتیجه رسیدند که منافع این فناوری برای تولیدکنندگان مشروط به پایین بودن هزینه‌های عملیاتی آن است. نتایج آن‌ها

¹ He et al

بود. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که عامل‌هایی نظیر همکاری محیط‌زیستی، لجستیک معکوس و مدیریت محیط داخلی، ارتباط معناداری با سلامت محیط دارند [۵].

شی و همکاران^۵ (۲۰۲۳) در پژوهشی بر روی "زنجیره تأمین کشاورزی قراردادی تحت بیمه عملکرد" نشان دادند که این نوع بیمه می‌تواند اندازه مزارع را افزایش و مصرف نهاده‌های شیمیایی را کاهش دهد. با این حال، یافته‌های مهم آن‌ها حاکی از آن بود که تأثیر نهایی این مکانیزم بر رفاه اجتماعی، به میزان آسیب‌پذیری محیط‌زیست بستگی دارد [۳].

خلفی و اشرفی (۱۴۰۴) در پژوهشی به بررسی "تأثیر نوآوری فین‌تک بر نوآوری سبز" پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که نوآوری فین‌تک هم به‌طور مستقیم و هم غیرمستقیم از طریق تأمین مالی سبز بر نوآوری سبز تأثیر مثبت دارد و مدیریت منابع انسانی سبز نیز این رابطه را تقویت می‌کند [۲۰].

ابراهیم‌پور سامانی و همکاران (۱۴۰۴) در پژوهشی به "شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های کلیدی در زنجیره تأمین پایدار مواد غذایی با تکنیک دیمتل فازی" پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که بعد اقتصادی در میان ابعاد پایداری اهمیت بیشتری را دارد. در این بعد، معیارهایی همچون عملکرد پشتیبانی، استفاده از فناوری‌های متناسب با شرایط منطقه‌ای و ارتقای سطح دانش کشاورزان، به‌عنوان عوامل کلیدی شناخته شدند. در بعد اجتماعی، عوامل سیاسی، اجتماعی و فرهنگی و رفع تحریم‌ها و در بعد زیست‌محیطی، چالش‌های مدیریت زیست‌محیطی از اهمیت بالایی برخوردارند. همچنین، نتایج این پژوهش نشان داد که چالش‌های مدیریت زیست‌محیطی، عوامل سیاسی، اجتماعی و فرهنگی و مسئله رفع تحریم‌ها از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پایداری زنجیره تأمین مواد غذایی کشاورزی به شمار می‌روند. علاوه بر این، معیارهایی نظیر عملکرد پشتیبانی، بهره‌گیری از فناوری‌های متناسب با شرایط منطقه‌ای و ارتقای سطح دانش کشاورزان، بیشترین تأثیر را در بهبود پایداری این زنجیره دارند [۳۵].

ابراهیم‌پور سامانی و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهشی به "طراحی مدل پایدار زنجیره تأمین در صنایع غذایی و کشاورزی با تأکید بر ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی" پرداختند. نتایج پژوهش منجر به شناسایی و اعتبارسنجی ۱۶ عامل کلیدی

نشان داد که فناوری بلاک‌چین می‌تواند سود تولیدکننده و رفاه اجتماعی را افزایش دهد، اما سودآوری آن برای خرده‌فروشان به سطح اعتماد تولیدکننده بستگی دارد [۴].

لیو^۱ (۲۰۲۴) در پژوهشی با عنوان "استراتژی‌های سرمایه‌گذاری و هماهنگی برای زنجیره تأمین غذای سبز" به بررسی مکانیزم‌های هماهنگی نظیر قراردادهای اشتراک هزینه پرداخت. یافته‌های تحقیق وی نشان داد که این قراردادها تنها در صورت قرارگیری هزینه‌های سرمایه‌گذاری در محدوده‌ای مشخص و همچنین بهبود سطح داده‌ها سبز و کیفیت فراورده‌ها، می‌توانند منجر به هماهنگی و افزایش درآمد اعضای زنجیره تأمین شوند [۲].

۳-۲- زمینه دوم: فناوری‌های تحول‌ساز

محور اصلی پژوهش‌های این خوشه، بررسی نقش فناوری‌های نوظهور به‌عنوان موتور محرک تحول در زنجیره تأمین است. یادو و همکاران^۲ (۲۰۲۴) در پژوهشی با عنوان "تأثیر متقابل فناوری‌های دیجیتال، ادغام سبز و نوآوری سبز" دریافتند که فناوری‌های دیجیتال تأثیر مثبتی بر ادغام سبز و نوآوری سبز دارند. نتایج پژوهش آن‌ها حاکی از آن بود که این امر در نهایت منجر به بهبود عملکرد پایدار و ایجاد مزیت رقابتی بلندمدت برای زنجیره تأمین مواد غذایی می‌شود [۱].

قوش و همکاران^۳ (۲۰۲۰) با به‌کارگیری یک "رویکرد مدل‌سازی ریاضی" به بررسی اثر سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز تحت سیاست محدودیت کربن پرداختند. آن‌ها به‌طور ریاضی اثبات کردند که این سرمایه‌گذاری می‌تواند به‌طور هم‌زمان منجر به کاهش هزینه‌های کل و نیز کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره تأمین گردد [۱۹].

۳-۳- زمینه سوم: الزامات بوم سامانه‌ای

پژوهش‌های این زمینه بر درک پیچیدگی‌های محیطی، اجتماعی و نهادی حاکم بر زنجیره تأمین غذایی متمرکز شده‌اند. ال ایوبی و رادمر^۴ (۲۰۲۳) به بررسی "مدیریت زنجیره تأمین غذای سبز به‌عنوان راه‌حلی برای کاهش ریسک" پرداختند. هدف آن‌ها واکاوی تأثیر این مدیریت بر بهبود سطح بهداشت محیط

1 Liu

2 Yadav et al

3 Ghosh et al

4 El Ayoubi & Radmehr

پژوهش نشان داد که رابطه معنادار قوی بین مدیریت منابع انسانی سبز و زنجیره تأمین سبز وجود دارد. همچنین، یافته‌های تحقیق نشان داد که بین ابعاد مدیریت منابع انسانی سبز (جذب و استخدام سبز، آموزش و توسعه سبز، جبران خدمات سبز و ارزیابی عملکرد سبز) و متغیر زنجیره تأمین سبز رابطه مثبت و معناداری وجود دارد [۲۴].

۳-۴- جمع‌بندی و شکاف پژوهش

بررسی پژوهش‌های پیشین در سه حوزه کلیدی حکمرانی فناوریانه، فناوری‌های تحول‌ساز و الزامات بوم‌سامانه‌ای، شکاف‌های دانشی متعددی در ادبیات موضوع شناسایی شده است. مطالعات بین‌المللی همچون هی و همکاران (۲۰۲۵) در حوزه بلاک‌چین، لیو (۲۰۲۴) در زمینه راهبردهای سرمایه‌گذاری و یادو و همکاران (۲۰۲۴) در حوزه فناوری‌های دیجیتال، اگرچه ابعاد فنی و اقتصادی فناوری‌های سبز را مورد بررسی قرار داده‌اند، اما عمدتاً رویکردی تقلیل‌گرا داشته و از تحلیل جامع ابعاد سازمانی، نهادی و بوم‌سامانه‌ای غافل مانده‌اند.

در همین راستا، پژوهش‌های داخلی از جمله ابراهیم‌پور سامانی و همکاران (۱۴۰۴) با شناسایی شاخص‌های کلیدی پایداری، و ابراهیم‌پور سامانی و همکاران (۱۴۰۳) با طراحی مدل پایدار زنجیره تأمین، گام‌های ارزشمندی در جهت بومی‌سازی ادبیات موضوع برداشته‌اند. یافته‌های ایشان نشان می‌دهد که بُعد اقتصادی در کنار دو بُعد اجتماعی و زیست‌محیطی، نقش محوری در پایداری این زنجیره ایفا می‌کند و معیارهایی مانند عملکرد پشتیبانی، استفاده از فناوری‌های منطقه‌محور و ارتقای دانش کشاورزان بیشترین تأثیر را در بهبود پایداری دارند. با این حال، این مطالعات نتوانسته‌اند به مفهوم‌پردازی نظام‌مند و چندسطحی از سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز در بستر خاص زنجیره تأمین غذایی ایران دست یابند.

شکاف اصلی پژوهش حاضر در چهار محور قابل شناسایی است:

نخست، فقدان چارچوب مفهومی یکپارچه‌ای که بتواند همزمان کلیه ابعاد سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز را در قالب یک الگوی جامع برای زنجیره تأمین مواد غذایی تبیین نماید. دوم، عدم وجود رویکرد سیستمی که اثرات این سرمایه‌گذاری‌ها را بر تمامی حلقه‌های زنجیره از مزرعه تا سفره مورد بررسی قرار دهد.

در زنجیره تأمین صنایع غذایی کشاورزی شد و سطوح و روابط میان این عوامل با استفاده از دلفی فازی و مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) تعیین گردید. یافته‌ها نشان می‌دهد که عوامل کلیدی نظیر پاسخگویی به مشتریان، بسته‌بندی، برندینگ و قابلیت ردیابی، به بهبود زنجیره تأمین کمک می‌کنند. همچنین، عواملی مانند تولید و عملیات، مسئولیت اجتماعی، و ایمنی و سلامت محصول به عنوان عوامل اساسی در پایداری زنجیره تأمین شناخته شدند. علاوه بر این، عوامل جدیدی مانند تحریم‌های تجاری و تشکیل اتحادیه‌ها نیز بر رقابت‌پذیری و توزیع بهینه منابع تأثیرگذار بودند [۳۶].

فارس‌سجانی و چوپانی (۱۴۰۲) در بررسی تأثیر مدیریت زنجیره تأمین سبز بر عملکرد زیست‌محیطی و عملکرد سازمانی باتوجه به نقش تعدیلگر رقابت‌پذیری؛ نشان دادند مدیریت زنجیره تأمین سبز به طور مستقیم و غیرمستقیم از طریق نقش میانجی عملکرد زیست‌محیطی بر عملکرد سازمانی تأثیرگذار است. ضمن اینکه رقابت‌پذیری نیز تأثیر مدیریت زنجیره تأمین سبز بر عملکرد سازمانی را تعدیل می‌کند [۲۱].

رحمانی (۱۴۰۲) تحقیقی با عنوان «آیا یک سیستم مدیریت محیط‌زیستی بر نوآوری سبز (پایدار) تأثیر می‌گذارد: نقش تأمین مالی سبز در بخش گردشگری در یک اقتصاد دایره‌ای» انجام داد. یافته‌های مطالعه تأیید کرد که سیستم مدیریت محیط‌زیستی به طور مثبت بر نوآوری سبز تأثیر می‌گذارد، درحالی‌که تأمین مالی سبز واسطه ارتباط بین سیستم مدیریت محیط‌زیستی و نوآوری سبز است. از این رو، این مطالعه پیشنهادهاى عملی متعددی برای بهبود نوآوری سبز بخش گردشگری در اقتصاد دایره‌ای در حال ظهور ارائه می‌دهد [۲۲].

آسایش و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی مدیریت زنجیره تأمین سبز بر عملکرد پایدار سازمان پرداختند. در سال‌های اخیر، رشد روزافزون ارتباطات، کشورهای جهان را به هم نزدیک نموده است. از سویی، آلودگی‌های محیط‌زیستی که در نتیجه کیفیت و نوع فرآورده‌ها و مصارف انسانی پدید آمده‌اند، از جمله مسائلی هستند که بارها توسط سازمان‌های فعال در این زمینه به عنوان تهدیدی برای بشر شناخته شده‌اند. در تحلیل داده‌ها، همه فرضیه‌ها به جز دو فرضیه تأیید شدند. به این ترتیب که ابعاد مدیریت زنجیره تأمین سبز بر عملکرد پایدار سازمان تأثیر مستقیمی دارد [۲۳].

رجب‌پور و افخمی اردکانی (۱۳۹۹) به بررسی رابطه بین مدیریت منابع انسانی سبز و زنجیره تأمین سبز پرداختند. نتایج

سوم، کمبود مطالعاتی که با واکاوی عمیق تجربیات ذی‌نفعان کلیدی، الگویی بومی و زمینه‌آگاه برای شرایط خاص ایران ارائه دهد.

و چهارم، نادیده گرفتن تعامل پویا بین عامل‌های نهادی، فناورانه و زیست‌محیطی در پژوهش‌های پیشین.

جدول (۱): جدول تحلیل پژوهش‌های پیشین و شکاف‌ها

پژوهشگر (سال)	تمرکز اصلی پژوهش	محدودیت‌ها/شکاف‌های شناسایی‌شده مرتبط با پژوهش حاضر
هی و همکاران (۲۰۲۵)	بررسی تأثیر فناوری بلاک‌چین بر تصمیمات سرمایه‌گذاری سبز در زنجیره تأمین با معیار سودآوری برای تولیدکنندگان و خرده‌فروشان.	تمرکز صرف بر یک فناوری خاص (بلاک‌چین) و تحلیل اقتصادی دوسویه؛ غفلت از تحلیل اثرات شبکه‌ای این فناوری بر تمام حلقه‌های زنجیره غذا و در نظر نگرفتن الزامات نهادی و بستر سیاستی لازم برای تحقق منافع آن در شرایط واقعی.
لیو (۲۰۲۴)	تحلیل مکانیزم‌های هماهنگ‌کننده (مانند قرارداد اشتراک هزینه) برای سرمایه‌گذاری سبز در زنجیره تأمین غذا.	محدود کردن تحلیل به قراردادهای دوطرفه و شرایط ایده‌آل (هزینه در محدوده مشخص)؛ عدم توجه به موانع اجرایی، عدم تقارن اطلاعاتی شدید و نیاز به سازوکارهای حکمرانی جمعی برای هماهنگی بین چندین ذی‌نفع ناهمگن در زنجیره غذایی ایران.
یادو و همکاران (۲۰۲۴)	بررسی تأثیر فناوری‌های دیجیتال بر ادغام سبز، نوآوری سبز و عملکرد پایدار.	ارائه یک دیدگاه کلی از رابطه مثبت، بدون واکاوی عمیق مکانیزم‌های علی و چالش‌های عملیاتی ادغام فناوری‌های دیجیتال با فرآیندهای سبز در هر مرحله از زنجیره تأمین غذا (مانند کشاورزی، فراوری، توزیع).
قوش و همکاران (۲۰۲۰)	مدلسازی ریاضی اثر سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز بر کاهش هزینه و انتشار کربن تحت سیاست محدودیت کربن.	اتکا به مدل‌های ایستا با فرضیات ساده‌کننده؛ نادیده گرفتن عدم قطعیت‌های محیطی، تغییرات رفتاری بازیگران و پیچیدگی‌های اعمال سیاست‌هایی مانند محدودیت کربن در بافت نهادی کشورهای در حال توسعه مانند ایران.
ال ایوبی و رادمر (۲۰۲۳)	واکاوی تأثیر مدیریت زنجیره تأمین غذای سبز بر سلامت محیط با تمرکز بر عواملی مانند همکاری محیطی.	تمرکز بر همبستگی بین عوامل و سلامت محیط به عنوان یک برون‌داد؛ عدم تبیین نقش سرمایه‌گذاری فناورانه به عنوان یک ورودی محرک برای تقویت همکاری محیطی و بهبود مدیریت داخلی در جهت کاهش ریسک.
شی و همکاران (۲۰۲۳)	تحلیل اثر بیمه عملکرد بر اندازه مزرعه و مصرف نهاده‌ها در زنجیره تأمین کشاورزی قراردادی.	محدودیت به مرحله تولید کشاورزی و یک مکانیزم مالی خاص (بیمه)؛ عدم گسترش تحلیل به تأثیر ترکیب این مکانیزم با فناوری‌های سبز برای مدیریت ریسک محیطی در کل زنجیره و وابستگی نتایج به آسیب‌پذیری محیط (بدون ارائه راهکار فناورانه برای کاهش آن).
ابراهیم‌پور سامانی و همکاران (۱۴۰۴)	شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های کلیدی پایداری در زنجیره تأمین مواد غذایی ایران.	ارائه یک فهرست جامع از عوامل مؤثر (اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی)؛ اما عدم ارائه یک چارچوب عمل‌گرا برای چگونگی به کارگیری سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز به عنوان اهرمی برای تأثیرگذاری همزمان بر این شاخص‌های کلیدی شناسایی‌شده (مانند دانش کشاورزان، فناوری منطقه‌محور).
ابراهیم‌پور سامانی و همکاران (۱۴۰۳)	طراحی مدل ساختاری عوامل کلیدی پایداری زنجیره تأمین در صنایع غذایی ایران.	تمرکز بر روابط ساختاری بین عوامل (مانند برندینگ، مسئولیت اجتماعی)؛ بدون اینکه سرمایه‌گذاری سبز به عنوان یک متغیر محوری در این مدل قرار گیرد و نقش آن در تقویت یا ایجاد این روابط مشخص شود.

معادلات ساختاری، اثرات سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز، بر ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی بررسی می‌شود. روش‌شناسی این پژوهش با به‌کارگیری رویکرد آمیخته متوالی و در چارچوب پارادایم تفسیری-تحلیلی طراحی گردید. انتخاب این طرح پژوهشی مبتنی بر ماهیت چندبعدی پدیده مورد مطالعه و ضرورت تلفیق عمق بخشی کیفی با تعمیم‌پذیری کمی بود. این طراحی روش‌شناختی تضمین می‌کند که داده‌های کیفی از عمق کافی برخوردار باشند، تمامی ابعاد پدیده به دقت کاوش شوند، زمینه برای تدوین ابزار کمی معتبر فراهم گردد، و پیوندی ناگسستنی بین فاز کیفی و کمی ایجاد شود. این پیوند روش‌شناختی، امکان کشف عمیق مفاهیم را فراهم ساخته و همزمان قابلیت آزمون تجربی مدل پژوهش را تضمین نموده است.

داده‌های پژوهش با استفاده از روش کتابخانه‌ای و مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با خبرگان جمع‌آوری شد. دلیل استفاده از مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته این است که علاوه بر امکان تبادل نظر و افکار می‌توان گفت‌وگو و موضوع مصاحبه را در جهت دستیابی به اهداف تحقیق هدایت کرد. علاوه بر این، در طی فرایند مصاحبه، می‌توان دیدگاه‌ها را بررسی کرد و به باورهای پاسخ‌دهندگان در مورد موضوع تحقیق دست‌یافت؛ بنابراین جامعه آماری در بخش کیفی متشکل از خبرگان و استادان دانشگاهی صاحب‌نظر و دارای تجربه حرفه‌ای در زمینه زنجیره تأمین است. روش نمونه‌گیری گلوله‌برفی است. بدین منظور در گام اول از بین اعضای جامعه آماری سه نفر که بر اساس مقالات منتشر شده در زمینه‌های مرتبط با موضوعات پژوهشی یا سوابق علمی به‌عنوان خبره شناخته می‌شوند، در مرحله دوم، هر یک از خبرگان اولیه، افراد واجد شرایط دیگری را که از نظر تخصص و تجربه می‌توانستند به پژوهش کمک کنند، معرفی نمودند. این فرایند تا رسیدن به نقطه اشباع نظری ادامه یافت.

در نهایت بر اساس داده‌های جدول (۱)، ۱۶ نفر بر اساس نقطه اشباع نظری در پایان مصاحبه‌ها در این تحقیق شرکت کردند. از سوی دیگر، شناسایی مضامین کلی ابعاد سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز مقالات و کتاب‌های منتشر شده در وبسایت‌هایی نظیر جهاد دانشگاهی (SID) در ایران؛ بانک داده‌های نشریه کشور ایران؛ مرکز تحقیقات علوم کامپیوتر اسلامی (NOORSOFR) ایران؛ مرجع ساینس دایرکت؛ از مرجع امرالد و آنلاین لایبرری استفاده شد.

به طور خلاصه، شکاف اصلی که جدول (۱) آن را برجسته می‌کند، فقدان یک چارچوب یکپارچه و زمینه‌آگاه است که سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز را نه به عنوان یک اقدام مجزا یا مکانیزمی صرفاً اقتصادی، بلکه به عنوان محور و اهرم تحول در نظر بگیرد. این چارچوب باید بتواند نحوه تعامل این سرمایه‌گذاری را با سه سطح کلان (حکمرانی و سیاست)، میانی (همه‌نگی زنجیره و فناوری‌های تحول‌ساز) و خرد (الزامات بوم‌سامانه‌ای و رفتار ذی‌نفعان) در زنجیره تأمین غذایی ایران تبیین کند. پژوهش‌های پیشین یا بسیار جزئی و فناوری‌محور هستند، یا بسیار کلی و فهرست‌محور. هیچ‌کدام به طور نظام‌مند پاسخ نمی‌دهند که با توجه به شناسایی شاخص‌های کلیدی پایداری در ایران، اولویت‌های سرمایه‌گذاری سبز در کدام فناوری‌ها و در کدام حلقه‌های زنجیره باید باشد تا بیشترین کاهش را در ریسک‌های خاص زیست‌محیطی ایران (اتلاف آب، ضایعات، آلودگی آب و خاک) ایجاد کند؟ این پژوهش مستقیماً درصدد پر کردن این شکاف است.

۴- روش‌شناسی پژوهش

هر پژوهش در یک دسته‌بندی کلی از حیث ماهیت نتیجه؛ هدف و نوع داده، تفکیک می‌شود. این پژوهش از لحاظ نتیجه، جزء تحقیقات توسعه‌ای/کاربردی قلمداد می‌گردد؛ زیرا ضمن طراحی مدل سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز، به دنبال بررسی تأثیر آن بر ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی است. از سویی دیگر به لحاظ نوع هدف می‌بایست این پژوهش را اکتشافی تلقی نمود، چراکه به دلیل نوظهور بودن پدیده موردبررسی، تلاش می‌شود تا از طریق ابزار مصاحبه، نسبت به شناخت مضامین سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز اقدام شود. در نهایت به لحاظ نوع داده، می‌بایست این پژوهش را ترکیبی تلقی نمود، چراکه در بخش کیفی از طریق روش کیفی تحلیل مضمون، ابتدا مضامین سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز شناسایی می‌شود تا با تأیید پایایی آن‌ها بر اساس تحلیل دلفی، امکان تدوین پرسش‌نامه محقق ساخته وجود داشته باشد. با توجه به ماهیت پژوهش حاضر، ابتدا در بخش کیفی از طریق تحلیل مضمون، نسبت به تعیین مضامین اصلی ابعاد سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز اقدام می‌شود و در ادامه از طریق تحلیل دلفی، پایایی ابعاد شناسایی شده موردبررسی قرار می‌گیرد و سپس بر اساس مدل‌سازی

پیچیدگی ذاتی و ماهیت میان‌رشته‌ای برخوردار است، تبدیل نموده است.

جامعه آماری بخش کمی در این پژوهش شامل کلیه مدیران ارشد عملیات و لجستیک شرکت‌های تولیدکننده مواد غذایی، مسئولان کنترل کیفیت و استانداردهای محیط‌زیستی در صنایع کشاورزی، کارشناسان مدیریت ریسک در شرکت‌های توزیع و خرده‌فروشی فراورده‌ها غذایی و مدیران پروژه‌های پایدار در سازمان‌های مرتبط با زنجیره تأمین، در بازه زمانی پژوهش است که به دلیل نبود آمار رسمی، نامحدود فرض شده است. لذا برای تعیین حجم نمونه از فرمول کوکران با فرض جامعه آماری نامعلوم و به شرح زیر استفاده می‌گردد:

رابطه (۱)

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q}{d^2}$$

n=حجم نمونه

Z = مقدار متغیر نرمال واحد استاندارد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر ۱,۹۶ است

P=مقدار نسبت صفت موجود در جامعه است. اگر در اختیار نباشد می‌توان آن را ۰,۵ در نظر گرفت. در این حالت مقدار واریانس به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

q = درصد افرادی که فاقد آن صفت در جامعه هستند

d = مقدار اشتباه مجاز

در فرمول کوکران برای جامعه نامحدود در سطح اطمینان ۰/۹۵ ($\alpha=0/05$) تعداد نمونه $n=384$ نفر است.

باتوجه به فرمول بالا، تعداد تقریبی حجم نمونه ۳۸۴ نفر به دست آمد، اما برای افزایش اعتبار تحقیق، شمار ۴۶۰ پرسش‌نامه به صورت در دسترس بین شرکت‌کنندگان توزیع شد و در نهایت، از این تعداد ۳۹۵ پرسش‌نامه برگشت داده شد. باتوجه به ماهیت جامعه آماری متشکل از مدیران و متخصصان زمینه صنایع غذایی، از روش نمونه‌گیری هدفمند و در دسترس استفاده شد. پرسشنامه‌ها به صورت حضوری و با مراجعه مستقیم به دفاتر شرکت‌های تولیدکننده مواد غذایی، اتحادیه‌های مرتبط و مراکز صنفی توزیع گردید. این رویکرد امکان برقراری ارتباط مستقیم با پاسخ‌دهندگان، شفاف‌سازی ابهامات و افزایش نرخ بازگشت پرسش‌نامه را فراهم نمود. به منظور پوشش حداکثری و جلوگیری از سوگیری، سعی شد تا نمونه‌ها از بین شرکت‌هایی با اندازه‌های مختلف (خرد، متوسط و بزرگ) و در سطوح مختلف مدیریتی (ارشد، میانی و عملیاتی) انتخاب شوند.

پژوهش حاضر با انجام ۱۶ مصاحبه، اشباع نظری را بر اساس معیارهای سخت‌گیرانه‌تر از استاندارد گست و همکاران (۲۰۲۰) احراز کرد. درحالی که گست و همکاران (۲۰۲۰) ظهور نیافتن مضامین جدید در دو مصاحبه متوالی را نشانه اشباع می‌داند این پژوهش:

۱- اشباع اولیه را در مصاحبه دهم (پس از ده مصاحبه حاوی مضامین جدید) شناسایی کرد،

۲- برای اطمینان، ۴ مصاحبه متوالی اضافی (تا خبره ۱۴) انجام داد که سه برابر استاندارد گست است،

۳- و با ۲ مصاحبه تأییدی نهایی (خبره‌های ۱۵ و ۱۶)، در مجموع ۶ مصاحبه پس از اشباع اولیه انجام شد. این رویکرد نه تنها «اشباع معنایی» (عدم ظهور مضامین جدید) و «اشباع فراوانی» (ثبیت الگوها) را تأیید می‌کند، بلکه از نظر تعداد مصاحبه‌های تأییدی نیز فراتر از معیارهای مرجع عمل کرده است.

در این پژوهش، برای آزمون فرضیه و تحلیل روابط بین متغیرهای پژوهش از مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) با استفاده از روش حداقل مربعات جزئی (PLS) در نرم‌افزار SmartPLS بهره گرفته شده است. این روش به‌ویژه برای مدل‌های پیچیده با نمونه‌های کوچک‌تر و زمانی که هدف پیش‌بینی متغیرهای وابسته یا توسعه نظریه باشد، مناسب تشخیص داده شده است. تحلیل داده‌ها در دو بخش مدل اندازه‌گیری (شامل بررسی پایایی و روایی شاخص‌ها) و مدل ساختاری (شامل بررسی ضرایب مسیر و معنی‌داری روابط) انجام پذیرفت. شایان ذکر است که رویکرد PLS-SEM به دلیل عدم نیاز به توزیع نرمال داده‌ها و توانایی آن در مدل‌سازی هم‌زمان متغیرهای پنهان و مشاهده شده، برای این پژوهش که ماهیتی اکتشافی - توصیفی دارد، انتخاب شد. این گزینش روش شناختی مبتنی بر ملاحظات نظری و روش‌شناختی متعددی صورت پذیرفت که از آن جمله می‌توان به قابلیت ذاتی این روش در تحلیل هم‌زمان متغیرهای مکنون و مشاهده شده، عدم نیازمندی آن به توزیع نرمال داده‌ها، تناسب آن با طرح‌های پژوهشی با حجم نمونه متوسط، توانایی منحصر به فردش در مدل‌سازی ساختارهای پیچیده با تعداد زیادی متغیر و کارایی اثبات‌شده‌اش در مراحل اولیه توسعه نظریه و مدل‌های در حال تکوین اشاره نمود. این ویژگی‌ها در مجموع، رویکرد PLS-SEM را به عنوان روشی بهینه برای آزمون مدل مفهومی پژوهش حاضر که از

در نهایت و پس از تأیید پایایی مضامین از طریق اجماع خبرگان در روش دلفی، پرسش‌نامه نهایی پژوهش با اطمینان از روایی و پایایی لازم تهیه گردید.

۴-۱-۲- ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی

ابزار گردآوری داده‌ها در این پژوهش، پرسش‌نامه استاندارد فریز و سرینگ (۲۰۱۵) بوده که برای سنجش متغیر ریسک‌های زیست‌محیطی زنجیره تأمین غذایی طراحی شده است. این پرسش‌نامه شامل ۱۰ گویه است که بر اساس طیف پنج‌گزینه‌ای لیکرت (از کاملاً مخالفم=۱ تا کاملاً موافقم=۵) نمره‌دهی شده‌اند. جهت اطمینان از روایی محتوایی، پرسش‌نامه در اختیار تعدادی از متخصصان حوزه مدیریت زنجیره تأمین و محیط‌زیست قرار گرفت و نظرات آنان اعمال شد. برای سنجش پایایی نیز از ضریب آلفای کرونباخ استفاده گردید که مقدار آن ۰/۸۷ به دست آمد که نشان‌دهنده پایایی مطلوب ابزار پژوهش است.

۵- یافته‌های پژوهش

داده‌های جمعیت‌شناختی پژوهش در جدول (۲) ارائه شده است.

در نهایت، به‌منظور بررسی تأثیر سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز در کاهش ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی، فرضیه پژوهش بر اساس معادلات ساختاری به روش حداقل مربعات جزئی (PLS) مورد آزمون تجربی قرار می‌گیرد.

۴-۱-۱- اندازه‌گیری متغیرهای پژوهش

۴-۱-۱- سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز

در این پژوهش، مضامین مرتبط با سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز در گام نخست و از طریق روش بررسی ادبیات موضوع و با بهره‌گیری از تحلیل مضمون بر اساس رویکرد آتراید-استرلینگ (۲۰۰۱) استخراج گردید. در گام دوم و به‌منظور اعتبارسنجی و اجماع‌پذیری یافته‌های کیفی، از تکنیک دلفی استفاده شد. در این مرحله، مضامین شناسایی‌شده در قالب پرسشنامه‌ای ساختاریافته در اختیار پانل خبرگان قرار گرفت و طی چندین دور تکراری، نظرات آنان جمع‌آوری و تجمیع گردید تا به اجماع در مورد پایایی و اهمیت هریک از مضامین دست یابد. این فرایند تعاملی دلفی، ارتباط مستقیم و توالی منطقی بین یافته‌های بخش کیفی (مرور نظام‌اند و تحلیل مضمون) و بخش کمی آتی را تضمین نمود.

جدول (۲): داده‌های جمعیت‌شناختی پژوهش

بخش کمی			بخش کیفی			متغیر
درصد	تعداد	معیارها	درصد	تعداد	معیارها	
۸۱/۰۱٪	۳۲۰	مرد	۸۱/۲۵٪	۱۳	مرد	جنسیت
۱۸/۹۹٪	۷۵	زن	۱۸/۷۵٪	۳	زن	
۱۰۰٪	۳۹۵	جمع	۱۰۰٪	۱۶	جمع	
۱۰/۱۳٪	۴۰	تا ۴۵ سال	۱۸/۷۵٪	۳	تا ۴۵ سال	سن
۷۳/۴۲٪	۲۹۰	۴۶ تا ۵۵ سال	۳۱/۲۵٪	۵	۴۶ تا ۵۵ سال	
۱۶/۴۵٪	۶۵	بالای ۵۶ سال	۵۰٪	۸	بالای ۵۶ سال	
۱۰۰٪	۳۹۵	جمع	۱۰۰٪	۱۶	جمع	
۳۵/۴۴٪	۱۴۰	زیر ۱۰ سال	۳۱/۲۵٪	۵	زیر ۱۰ سال	سابقه کاری
۶۴/۵۶٪	۲۵۵	بالای ۱۰ سال	۶۸/۷۵٪	۱۱	بالای ۱۰ سال	
۱۰۰٪	۳۹۵	جمع	۱۰۰٪	۱۶	جمع	

¹ Partial Least Squares

روایی پژوهش: در این بخش باهدف سنجش اعتبار کدگذاری، از روش مثلث‌بندی در مطالعه کیفی استفاده شد. در واقع،

مثلث‌سازی برگرفته از دانش هندسه، قابلیت اطمینان را در تحقیقات کیفی از طریق حداقل سه منبع ارزیابی می‌کند تا مشخص کند که کدهای ایجاد شده از اعتبار و اعتماد کافی برخوردار هستند و این مطالعه به اصطلاح از «سوگیری ذاتی» رنج نمی‌برد؛ بنابراین در این پژوهش برای دستیابی به این امر در ۴ بعد پس از نظرسنجی و پایان کدگذاری، اعتبارسنجی در بخش کیفی انجام شد. اما در بخش کمی از تحلیل دلفی برای سنجش روایی استفاده شد. در واقع به‌منظور کسب کفایت نظری در جامعه هدف در خصوص ابعاد و مؤلفه‌های شناسایی شده، تحلیل دلفی برای بررسی میزان کاربرد مفهوم‌ها در جامعه هدف انجام شد.

باتوجه به اینکه، چارچوب منسجمی پیرامون سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز وجود ندارد، لذا در این پژوهش ابتدا از طریق تحلیل مضمون نسبت به تعیین مؤلفه‌های و مضامین آن استفاده می‌شود. تحلیل مضمون به‌عنوان فرایند اجرایی تحلیل محتوا به شمار می‌آید که اقدام به تجزیه و تحلیل مبانی و مفهوم‌های موضوع از طریق بررسی محتوایی هم‌زمان در پژوهش‌های مشابه و انجام مصاحبه برای تعیین ابعاد آن می‌نماید.

جدول (۳): جستجوی کلمات کلیدی در انتخاب پژوهش‌های مشابه

مدل‌های مالی ترکیبی	Hybrid financial models
ساختارهای مالی تحول‌آفرین	Transformative Financial Structures
فناوری‌های توزیع هوشمند	Smart Distribution Technologies
الگوهای نوین سرمایه‌گذاری	New Investment Models
چارچوب‌های سیاستی	Policy Frameworks
چارچوب‌های ارزیابی تاب‌آوری بوم‌شناسی	Ecological Resilience Assessment Frameworks

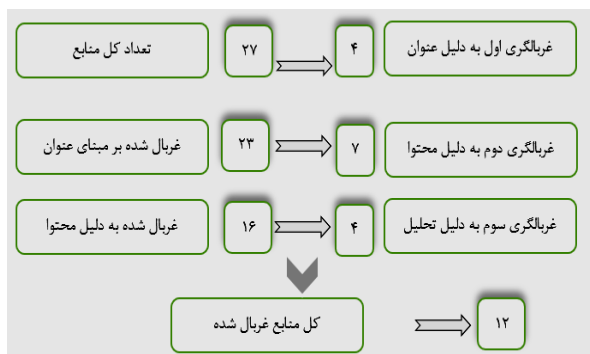
لذا با عنایت به تعیین کلیدواژگان مرتبط با سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز در ادامه، به‌منظور یافتن پژوهش‌های مشابه جهت تعیین مضامین سازمان‌دهنده ابعاد سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز از مقالات و کتاب‌های منتشر شده در وبگاه‌هایی نظیر جهاد دانشگاهی (SID) در ایران؛ بانک داده‌های نشریه کشور ایران؛ مرکز تحقیقات علوم کامپیوتر اسلامی

۱. محدوده زمانی انتشار مقاله‌ها بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ (برای دستیابی به جدیدترین یافته‌ها)،

۲. ارتباط مستقیم با حوزه تخصصی سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز،

۳. انتشار در مجلات معتبر علمی-پژوهشی.

۴. تعداد استنادات قابل توجه و تأثیرگذاری علمی، متون اولیه مورد ارزیابی قرار گرفتند. در نهایت، پس از غربالگری اولیه، تعداد ۱۲ مقاله که به‌صورت متعادل به جنبه‌های نظری و کاربردی موضوع سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز پرداخته بودند انتخاب شدند. کیفیت این مقالات در ابتدا بر اساس ۳ شاخص عنوان، محتوا و تحلیل توسط خبرگان مورد سنجش قرار گرفت. این فرایند با دقت بالا و به‌منظور حفظ اعتبار علمی پژوهش انجام پذیرفت.



نمودار (۱): غربالگری پژوهش‌های اولیه

همان‌طور که در نمودار (۱) نشان داده شده است، تعداد کل منابع اولیه شناسایی شده ۲۷ مورد بود، پس از چندین مرحله از فرایند غربالگری از نظر محتوا، عنوان و تحلیل، در نهایت، ۱۲ مقاله با محتوا، عنوان و فرایند تحلیل تحقیق مطابقت داشتند.

در مرحله دوم مرور مطالعات پیشین، روش ارزیابی انتقادی مبتنی بر چارچوب معیارهای تلفیقی برای گزارش تحقیقات کیفی^۱ طراحی و اجرا شد که شامل ۹ حوزه کلیدی ارزیابی

¹ Consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ)

(شامل: هدف، روش، طرح نمونه‌گیری، جمع‌آوری، تعمیم، اخلاقی، تحلیل، تئوریک و ارزش) بود. به‌عنوان نمونه، دلیل در نظر گرفتن امتیاز ۱ برای برخی پژوهش‌ها شامل: (۱) عدم شفافیت در بیان فلسفه پژوهش (پارادایم تحقیق مشخص نبود)، (۲) فقدان توضیح درباره تناسب روش‌شناسی با سؤالات تحقیق، و (۳) نبود توصیف کافی از مراحل اجرای پژوهش؛ بود. در مقابل، پژوهش حاضر برای هر معیار، شاخص‌های عینی تعریف کرد؛ مثلاً در معیار "منطق روش تحقیق"، همسویی کامل بین سؤالات پژوهش، روش گردآوری داده‌ها (مصاحبه نیمه‌ساختاریافته) و روش تحلیل (تماتیک) با مستندات روش‌شناختی تأیید شد. برای معیار "انعکاس‌پذیری"، ثبت روزانه پیش‌فرض‌های محققان و تأثیر آن بر فرایند تحلیل به‌صورت سیستماتیک انجام گرفت.

بر اساس نتایج این تحلیل، ۳ مطالعه که امتیاز لازم (بیش از ۳۰ امتیاز) را کسب نکرده بودند از بررسی حذف شدند. در ادامه به‌منظور تعیین برخی مضامین الگوی سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز، از روش‌های امتیازدهی زیر استفاده شد. بر اساس این روش تمامی زیرمعیارهای استخراج شده از متن مقالات تأیید شده در ستون‌های جدول (۴) نوشته می‌شود و پس از آن در هر ردیف جدول (۴) نام محقق مورد تأیید مطالعه درج می‌شود. بر اساس استفاده از زیرمعیارهای نوشته شده توسط هر محقق در ستون جدول، علامت "تیک" وارد می‌شود، سپس مقدار هر ستون زیرمعیار اضافه می‌شود و مقدار میانگین بالاتر از میانگین مطالعات انجام شده ۱,۵ است. به‌عنوان مضامین پژوهش انتخاب شد.

جدول (۴): واکوی مضامین پژوهش

مضامین	وانگ و همکاران ^۱ (۲۰۲۵)	امین و همکاران ^۲ (۲۰۲۴)	دی پیناگا و همکاران ^۳ (۲۰۲۳)	چیتیمیا و همکاران ^۴ (۲۰۲۱)	سیمبیاوا و همکاران ^۵ (۲۰۲۳)	تاکاس ^۶ (۲۰۲۳)	ژانگ و همکاران ^۷ (۲۰۲۲)	بیس و لاندیر ^۸ (۲۰۲۲)	قوش و همکاران ^۹ (۲۰۲۰)
مدل‌های مالی ترکیبی	-	-		✓	-	-	-	-	-
ساختارهای مالی تحول‌آفرین	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
فناوری‌های توزیع هوشمند	-	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓
الگوهای نوین سرمایه‌گذاری	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	---
چارچوب‌های سیاستی	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	-
چارچوب‌های ارزیابی تاب‌آوری بوم‌شناسی	-	✓	-	-	-	✓	✓	✓	-

¹ Wang et al² Amin et al³ De Pinaga et al⁴ Chițimiea et al⁵ Sembieva et al⁶ Takacs⁷ Zhang et al⁸ Biais & Landier⁹ Ghosh et al

باتوجه به تأیید ۹ پژوهش از مرحله ارزیابی انتقادی، برای تعیین مضامین، تمرکز بر سوال‌های مصاحبه برای رسیدن به مضامین فراگیر و پایه، ابعاد اصلی که بیش از نصف پژوهش‌های تأیید شده را کسب نمودند، به‌عنوان اصلی‌ترین مضامین الگوی سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز شناسایی شدند و مضامین مدل‌های مالی ترکیبی، الگوهای نوین سرمایه‌گذاری و

چارچوب‌های ارزیابی تاب‌آوری بوم‌شناسی باتوجه به اینکه امتیاز کمتر از میانگین کسب نمودند، حذف گردیدند. که در ادامه به بررسی نتایج پژوهش‌های موردبررسی و مصاحبه با خبرگان و شناسایی جامع مضامین فراگیر، سازمان‌دهنده و پایه پرداخته شده است. مضامین پایه، فراگیر و سازمان‌دهنده در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): شناسایی مضامین فراگیر، سازمان‌دهنده و پایه

مضامین فراگیر	مضامین سازمان‌دهنده	مضامین پایه
سازه‌های حکمرانی فناوریانه	چارچوب‌های سیاستی پیشران	الزامات قانونی برای جذب سرمایه‌گذاری در زیست‌فناوری‌ها
		استانداردهای بین‌المللی برای توسعه فناوری‌های محیط‌زیست پسند در کشاورزی
		مکانیسم‌های حمایتی دولتی برای تسهیل پذیرش فناوری‌های کم‌کربن
		چالش‌های هماهنگی مقررات ملی با پروتکل‌های جهانی پایداری
	ساختارهای مالی تحول‌آفرین	مدل‌های تأمین مالی ترکیبی برای پروژه‌های فناوری‌های سبز
		نقش سرمایه‌گذاری خطرپذیر در توسعه زیست‌فناوری‌های کشاورزی
		اوراق سبز به‌عنوان ابزاری برای جذب سرمایه‌های کلان در بخش غذایی پایدار
		کاربرد فناوری‌های مالی در تسهیل سرمایه‌گذاری‌های خرد سبز
	حکمرانی مشارکتی فناوریانه	نقش جامعه محلی در پذیرش فناوری‌های محیط‌زیست محور صنایع غذایی
		تأثیر فشارهای اجتماعی بر جهت‌گیری سرمایه‌گذاری‌های سبز در زنجیره تأمین
همکاری‌های بین‌المللی برای انتقال فناوری‌های صنایع غذایی کم‌آب‌تر		
چالش‌های شفافیت در توزیع منافع فناوری‌های سبز صنایع غذایی		
فناوری‌های تحول‌ساز	فناوری‌های تولید پیشرفته	سیستم‌های صنایع غذایی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا
		کاربرد نانوفناوری در افزایش بهره‌وری منابع صنایع غذایی
	فناوری‌های توزیع هوشمند	استفاده از هوش مصنوعی در بهینه‌سازی مصرف نهاده‌های صنایع غذایی
		زیست‌فناوری‌های نوین برای تولید فراورده‌ها مقاوم به تغییرات اقلیمی
		سیستم‌های لجستیک سبز با کمترین ردپای کربنی
		بلاک‌چین برای ردیابی پایدار زنجیره ارزش فراورده‌ها غذایی
		سکوهای دیجیتال توزیع فراورده‌ها صنایع غذایی با کمترین ضایعات
		انبارداری هوشمند با استفاده از فناوری‌های کنترل محیطی
	فناوری‌های بازیافت یکپارچه	سیستم‌های تبدیل پسماندهای صنایع غذایی به انرژی پاک
		فناوری‌های استخراج مواد باارزش از ضایعات غذایی
مدل‌های چرخه بسته برای بازیافت کامل منابع در زنجیره تأمین		
بیورآکتورهای پیشرفته برای مدیریت پسماندهای ارگانیک		
الزامات بوم سامانه‌ای پایدار	پایداری منابع پایه	فناوری‌های نوین حفاظت و احیای خاک‌های صنایع غذایی
		سیستم‌های هوشمند مدیریت منابع آب در صنایع غذایی

جدول (۵): شناسایی مضامین فراگیر، سازمان‌دهنده و پایه

مضامین فراگیر	مضامین سازمان‌دهنده	مضامین پایه
	انطباق‌پذیری اقلیمی	راهکارهای فناورانه حفظ تنوع زیستی در نظام‌های صنایع غذایی
		مدل‌های پایش لحظه‌ای کیفیت منابع طبیعی
		سامانه‌های پیش‌بینی و مدیریت ریسک‌های اقلیمی
	تاب‌آوری نظام‌های غذایی	فناوری‌های صنایع غذایی مقاوم به تنش‌های محیطی
		مدل‌های شبیه‌سازی اثرات تغییرات آب‌وهوایی بر محصول‌های بخش غذایی
		راهکارهای فناورانه کاهش آسیب‌پذیری در برابر بلایای طبیعی
		فناوری‌های افزایش ذخایر استراتژیک فراورده‌ها اساسی
		سیستم‌های جایگزین تولید در شرایط بحرانی
		مدل‌های توزیع هوشمند در شرایط اضطراری
		راهکارهای فناورانه حفظ امنیت غذایی در بلندمدت

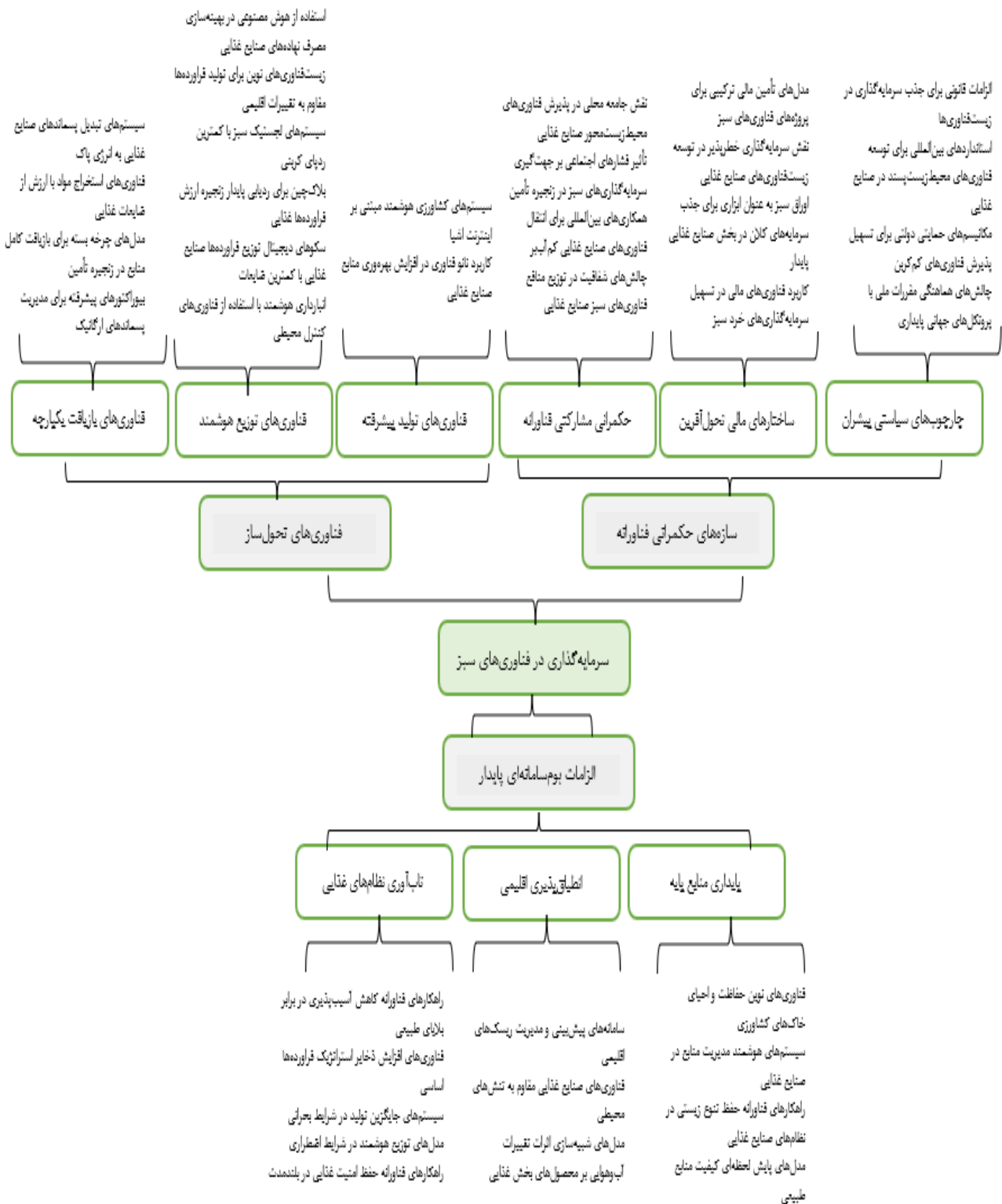
بین اعضای پانل توزیع گردد و بر اساس چند دور رفت‌وبرگشت پرسش‌نامه، سطح پایایی مضامین پژوهش مورد سنجش قرار گیرد.

باتوجه به اینکه میانگین مضامین اصلی ۵ و از ۵ بالاتر بود و از طرف دیگر چون ضریب توافق به‌دست‌آمده بیش از ۰/۵ است؛ می‌توان بیان نمود که تمامی مضامین شناسایی شده در بخش کیفی، تأیید شده است. شکل (۲) شبکه مضامین (مدل نهایی) سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز را نشان می‌دهد، که می‌توان از آن به‌عنوان یک سازوکار تصویری برای تفسیر متن استفاده کرد تا نتایج حاصل برای پژوهشگران قابل فهم و روشن باشد.

تحلیل دلفی به‌عنوان پلی میان روش‌های کیفی و کمی عمل می‌کند، چراکه با ارزیابی پایایی و اعتبار ابعاد مدل طراحی‌شده، امکان تبدیل مؤلفه‌های کیفی به شاخص‌های کمی را فراهم می‌سازد. این روش، با ایجاد اجماع خبرگان و تبیین دقیق مؤلفه‌ها، زمینه را برای طراحی ابزارهای پژوهشی معتبر و قابل اجرا در جامعه هدف در بخش کمی فراهم می‌کند. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی پایایی مضامین مدل ارائه شده از تحلیل دلفی استفاده شده است. این تحلیل مبتنی بر دو معیار ضریب توافق و میانگین است. به‌منظور انجام این سنجش ابتدا مؤلفه‌های پژوهش در قالب یک پرسش‌نامه هفت‌گزینه‌ای ترتیب داده شد تا

جدول (۶): تحلیل دلفی مضامین شناسایی شده

نتیجه	دور دوم دلفی		دور اول دلفی		مضامین
	ضریب توافق	میانگین	ضریب توافق	میانگین	
تأیید	۰/۸۱	۵/۶۹	۰/۸۷	۵/۹۸	چارچوب‌های سیاستی پیشران
تأیید	۰/۸۰	۶/۴۴	۰/۷۰	۶/۳۲	ساختارهای مالی تحول‌آفرین
تأیید	۰/۸۴	۵/۷۴	۰/۸۲	۵/۰۶	حکمرانی مشارکتی فناورانه
تأیید	۰/۸۷	۶/۱۱	۰/۹۰	۵/۷۸	فناوری‌های تولید پیشرفته
تأیید	۰/۷۹	۵/۶۹	۰/۸۵	۶/۳۶	فناوری‌های توزیع هوشمند
تأیید	۰/۸۳	۶/۰۳	۰/۷۳	۵/۴۰	فناوری‌های بازیافت یکپارچه
تأیید	۰/۸۱	۵/۶۳	۰/۸۸	۶/۳۵	پایداری منابع پایه
تأیید	۰/۸۳	۶/۳۲	۰/۷۴	۵/۵۵	انطباق‌پذیری اقلیمی
تأیید	۰/۸۱	۵/۴۵	۰/۶۵	۵/۳۰	تاب‌آوری نظام‌های غذایی



شکل (۲) مدل نهایی سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز

جدول (۷): ترسیم مسیر استخراج گویه‌ها، منابع و پشتیبان‌های پژوهشی

مضمون سازمان دهنده	مضمون پایه	بُعد سازه	گویه پرسش‌نامه	منبع / مرجع	پژوهش‌های پشتیبان
چارچوب‌های سیاستی پیش‌ران	الزامات قانونی برای جذب سرمایه‌گذاری در زیست‌فناوری‌ها	حکمرانی فناوریانه	وجود قوانین شفاف و تسهیل‌گر برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز، سرمایه‌گذاری در این زمینه را افزایش می‌دهد.	(آمین و همکاران، ۲۰۲۴؛ چیتیمیا و همکاران، ۲۰۲۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲؛ بیس و لاندیر، ۲۰۲۲)	
	استانداردهای بین‌المللی برای توسعه فناوری‌های محیط‌زیست‌پسند در صنایع غذایی	حکمرانی فناوریانه	هماهنگی استانداردهای ملی با معیارهای بین‌المللی پایداری، برای صادرات فرآورده‌ها صنایع غذایی ضروری است.	(تاکاکس، ۲۰۲۳؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲)	
	مکانیسم‌های حمایتی دولتی برای تسهیل‌پذیرش فناوری‌های کم‌کربن	حکمرانی فناوریانه	اعطای یارانه و معافیت‌های مالیاتی به کشاورزان، انگیزه آنان برای به‌کارگیری فناوری‌های کم‌کربن را افزایش می‌دهد.	(وانگ و همکاران، ۲۰۲۵؛ آمین و همکاران، ۲۰۲۴)	
ساختارهای مالی تحول‌آفرین	اوراق سبز به‌عنوان ابزاری برای جذب سرمایه‌های کلان در بخش غذایی پایدار	حکمرانی فناوریانه	انتشار "اوراق سبز" می‌تواند منبع مالی مناسبی برای پروژه‌های بزرگ صنایع غذایی پایدار باشد.	(دی‌پیناگا و همکاران، ۲۰۲۳؛ چیتیمیا و همکاران، ۲۰۲۱؛ سیمبیاوا و همکاران، ۲۰۲۳؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲؛ بیس و لاندیر، ۲۰۲۲؛ قوش و همکاران، ۲۰۲۰)	
	کاربرد فناوری‌های مالی در تسهیل سرمایه‌گذاری‌های خرد سبز	حکمرانی فناوریانه	پلتفرم‌های مالی دیجیتال، امکان مشارکت کشاورزان خرد در پروژه‌های سرمایه‌گذاری سبز را فراهم می‌کنند.	(وانگ و همکاران، ۲۰۲۵؛ آمین و همکاران، ۲۰۲۴؛ دی‌پیناگا و همکاران، ۲۰۲۳؛ چیتیمیا و همکاران، ۲۰۲۱؛ سیمبیاوا و همکاران، ۲۰۲۳)	
	بلاک‌چین برای ردیابی پایدار زنجیره ارزش فرآورده‌ها غذایی	فناوری تحول‌ساز	فناوری بلاک‌چین شفافیت و قابلیت ردیابی فرآورده‌ها ارگانیک از مزرعه تا سفره را تضمین می‌کند.	(آمین و همکاران، ۲۰۲۴؛ دی‌پیناگا و همکاران، ۲۰۲۳؛ چیتیمیا و همکاران، ۲۰۲۱؛ بیس و لاندیر، ۲۰۲۲؛ قوش و همکاران، ۲۰۲۰)	
فناوری‌های توزیع هوشمند	انبارداری هوشمند با استفاده از فناوری‌های کنترل محیطی	فناوری تحول‌ساز	سامانه‌های انبارداری هوشمند، ضایعات فرآورده‌ها صنایع غذایی را از طریق کنترل دما و رطوبت کاهش می‌دهند.	(آمین و همکاران، ۲۰۲۴؛ دی‌پیناگا و همکاران، ۲۰۲۳؛ چیتیمیا و همکاران، ۲۰۲۱؛ سیمبیاوا و همکاران، ۲۰۲۳)	
	سامانه‌های پیش‌بینی و مدیریت ریسک‌های اقلیمی	الزام بوم‌سامانه‌ای	دسترسی به سامانه‌های هشدار سریع خشکسالی، به کشاورزان در برنامه‌ریزی بهتر کمک می‌کند.	(آمین و همکاران، ۲۰۲۴؛ تاکاکس، ۲۰۲۳؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲؛ بیس و لاندیر، ۲۰۲۲)	
چارچوب‌های ارزیابی تاب‌آوری بوم‌شناسی	راهکارهای فناورانه کاهش آسیب‌پذیری در برابر بلایای طبیعی	الزام بوم‌سامانه‌ای	توسعه گونه‌های مقاوم به شوری، امنیت غذایی را در شرایط تغییر اقلیم تضمین می‌کند.	(آمین و همکاران، ۲۰۲۴؛ تاکاکس، ۲۰۲۳؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲)	

جدول (۹): نتایج برازش مدل کلی

شاخص	نماد انگلیسی	مقدار برآورد شده	معیار قابل قبول
ریشه دوم میانگین مربعات پسماند	SRMR	۰/۰۵۶	کوچکتر از ۰/۸۰
فاصله اقلیدسی به توان دو	d_ULS	۰/۷۸۲	کمتر از صدک ۹۵
فاصله ژئودزیک	d_G	۰/۴۳۱	کمتر از صدک ۹۵
شاخص برازش هنجارشده	NFI	۰/۹۱۸	بزرگتر از ۰/۹۰
ریشه دوم میانگین مربعات واریانس	RMS_Theta	۰/۱۰۳	کوچکتر از ۰/۱۲

بر اساس مقادیرهای مندرج در جدول (۹)، کلیه شاخص‌های برازش مدل در محدوده مطلوب و قابل قبول قرار دارند. مقدار SRMR برابر با ۰/۰۵۶ است که از حد آستانه سختگیرانه ۰/۰۸ کمتر بوده و نشان‌دهنده برازش عالی مدل با داده‌ها است. مقادیرهای d_ULS و d_G نیز به ترتیب برابر با ۰/۷۸۲ و ۰/۴۳۱ هستند که هر دو از مقادیرهای صدک ۹۵ مدل پراکنده (که به عنوان معیار مقایسه استفاده می‌شود) کمتر هستند و این نتیجه، برازش مدل را تأیید می‌کند. شاخص NFI با مقدار ۰/۹۱۸ بالاتر از آستانه ۰/۹۰ قرار دارد که نشان از برازش نسبی مناسب مدل دارد. نهایتاً، مقدار RMS_Theta برابر با ۰/۱۰۳ محاسبه شد که کمتر از آستانه ۰/۱۲ است و این امر نشان می‌دهد که مدل اندازه‌گیری از همگرایی لازم برخوردار است. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که مدل پژوهش از برازش مطلوب و کافی با داده‌ها برخوردار است.

۵-۲-۲- آزمون فرضیه های پژوهش

به منظور بررسی پایایی ابزار سنجش از روایی همگرا^۱ و روایی افتراقی^۲ به روش‌های تحلیل عاملی تأییدی و میانگین واریانس استخراج شده (AVE)^۳ استفاده شده است. روش تأییدی هماهنگی داده‌ها با یک ساختار عاملی معین را بررسی می‌نماید.

جدول «ترسیم مسیر» به منظور شفاف‌سازی فرایند طراحی پرسش‌نامه و تضمین اعتبار محتوایی آن ارائه شده است. این جدول، مسیر منطقی استخراج گویه‌های نهایی را از سطوح مختلف تحلیل مضمون (شامل تم‌های پایه، سازمان‌دهنده و فراگیر) تا تبدیل آن‌ها به ابعاد سازه‌های قابل سنجش و در نهایت گویه‌های پرسش‌نامه، به طور کامل نشان می‌دهد (جدول ۶).

۵-۲- یافته های معادلات ساختاری

مرحله‌های انجام مدل‌سازی معادلات ساختاری بدین ترتیب است که ابتدا به بررسی برازش مدل (شامل برازش مدل‌های اندازه‌گیری، برازش مدل ساختاری و برازش مدل کلی) و آن‌گاه به آزمون فرضیه پژوهش پرداخته می‌شود. در برازش مدل‌های اندازه‌گیری از سه معیار پایایی، روایی همگرا و روایی واگرا استفاده شد. به منظور بررسی پایایی مدل اندازه‌گیری پژوهش، از ضرایب بارهای عاملی، ضرایب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی استفاده می‌گردد.

۵-۲-۱- آزمون های تشخیصی

قابلیت پیش‌بینی مدل نیز با استفاده از آزمون نا پارامتری استون گیسر مورد ارزیابی قرار گرفته است. بررسی مقادیرهای Q^2 در جدول (۷) نشان می‌دهد که هیچ یک از مقادیرهای Q^2 منفی نبوده و کمترین میزان مقادیرهای لازم برای پیش‌بینی، برآورده شده است.

جدول (۸): شاخص های نیکویی برازش

ابعاد	CV.Communality(Q^2)
الزامات بوم سامانه‌ای پایدار	۰/۶۶۷
ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی	۰/۷۱۰
سازه‌های حکمرانی فناورانه	۰/۵۰۹
سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز	۰/۶۳۴
فناوری‌های تحول‌ساز	۰/۵۹۷

به منظور ارزیابی کیفیت و دقت مدل ساختاری پژوهش، شاخص‌های برازش مختلفی مورد محاسبه قرار گرفت. این شاخص‌ها نشان می‌دهند که مدل پیشنهادی تا چه حد با داده‌های جمع‌آوری شده سازگاری دارد. نتایج حاصل از تحلیل این شاخص‌ها در جدول (۹) ارائه شده است:

^۱ Convergent Validity

^۲ Discriminant Validity

^۳ Average Variance Extracted (AVE)

همان‌طور که در جدول (۱۱) مشاهده می‌شود میانگین واریانس استخراج شده برای همه متغیرها بالاتر از ۰/۵ بوده و در حد مناسبی قرار دارد. بنابراین روایی همگرایی سازه‌ها در این قسمت نیز تأیید می‌شود. همچنین پایایی ترکیبی و ضریب آلفای کرونباخ به‌دست‌آمده برای تمامی سازه‌ها نشان می‌دهد که سازگاری درونی مدل‌های سنجش سازه‌ها در حد مطلوب قرار دارد.

جدول (۱۱): روایی همگرا و پایایی

ابعاد	آلفای کرونباخ	Rho	پایایی ترکیبی	AVE
الزامات بوم سامانه‌ای پایدار	۰/۹۳۶	۰/۹۳۷	۰/۹۵۹	۰/۸۸۸
ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی	۰/۹۷۲	۰/۹۸۱	۰/۹۷۶	۰/۸۰۲
سازه‌های حکمرانی فناورانه	۰/۸۵۶	۰/۸۵۷	۰/۹۱۴	۰/۷۸۱
سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز	۰/۹۵۴	۰/۹۵۸	۰/۹۶۱	۰/۷۳۶
فناوری‌های تحول‌ساز	۰/۹۰۵	۰/۹۱۲	۰/۹۴۱	۰/۸۴۱

برای بررسی روایی افتراقی، روش فرنل و لارکر (۱۹۸۱) به کار برده شده است؛ به‌این‌ترتیب که اگر ریشه دوم (جذر) مقدارهای میانگین واریانس استخراج شده (AVE) هر سازه، بزرگ‌تر از مقدارهای همبستگی آن سازه با سازه‌های دیگر باشد، روایی افتراقی تأیید می‌شود. جدول شماره (۱۲) نتایج آزمون میانگین واریانس بین سازه‌ها (بررسی روایی افتراقی) را نشان می‌دهد. مقدارهای قطری، جذر مقدارهای AVE هستند.

در واقع تحلیل عاملی تأییدی شایستگی گویه‌هایی که برای معرفی سازه یا متغیر مکنون برگزیده شده‌اند را بررسی می‌نماید. تحلیل عاملی تأییدی به‌واقع بسط تحلیل عاملی معمولی است و یکی از جنبه‌های مهم معادلات ساختاری است که در آن فرضیه‌های معینی درباره ساختار بارهای عاملی مورد آزمون قرار می‌گیرند. باتوجه‌به معیار فرنل و لارکر (۱۹۸۱) بارهای عاملی بزرگ‌تر از ۰/۵ از اعتبار مناسبی برخوردارند. همچنین میانگین واریانس استخراج شده در بین سازه‌ها نیز باید بزرگ‌تر مساوی از ۰/۵ باشد. بر اساس نتایج تحقیق حاضر همه بارهای عاملی کمترین میزان در سطح ۰/۷ هستند؛ بنابراین روایی همگرایی داده‌ها در این قسمت به‌طور کامل مورد تأیید قرار می‌گیرد. همچنین مقدار آماره تی تمامی متغیرها مقدارهای بیش از ۱/۹۶ را دارا هستند که بیان‌کننده تأثیرگذار بودن آن‌ها بر سازه متناظر است (جدول ۱۰).

جدول (۱۰): بارهای عاملی و آماره تی سؤالات پرسشنامه‌ها

متغیرها	مؤلفه‌ها	بارعاملی	آماره تی
سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز	سازه‌های حکمرانی فناورانه	۰/۹۲۲	۸۹/۱۷۱
	فناوری‌های تحول‌ساز	۰/۹۱۵	۸۶/۳۱۶
	الزامات بوم سامانه‌ای پایدار	۰/۹۴۶	۲۰/۵۰۰
	ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی	۰/۹۳۷	۸۰/۹۹۳
		۰/۹۴۶	۲۰/۵۶۵
		۰/۹۴۹	۴۶/۹۹۳
		۰/۹۳۸	۷۷/۹۵۱
		۰/۹۱۷	۷۶/۳۱۵
		۰/۸۹۸	۴۰/۳۶۰
ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی	الزامات بوم سامانه‌ای پایدار	۰/۹۶۶	۲۹/۲۸۱
	فناوری‌های تحول‌ساز	۰/۸۷۴	۴۰/۷۰۰
	سازه‌های حکمرانی فناورانه	۰/۸۸۹	۴۳/۲۲۱
	ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی	۰/۹۰۴	۵۷/۰۶۵
		۰/۹۳۷	۸۰/۹۹۳
		۰/۹۴۶	۲۰/۵۶۵
		۰/۹۴۹	۴۶/۹۹۳
		۰/۹۳۸	۷۷/۹۵۱
		۰/۹۱۷	۷۶/۳۱۵

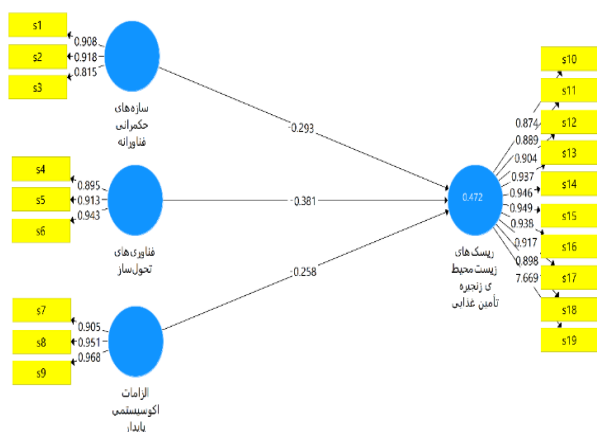
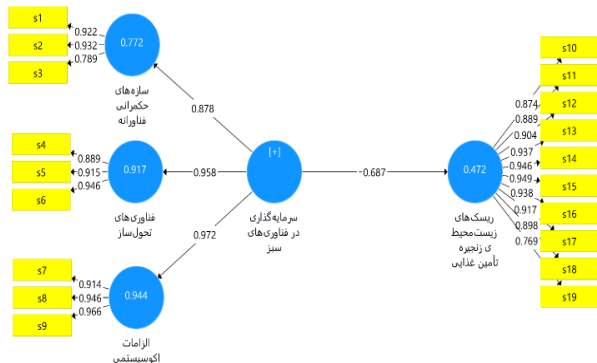
باتوجه به جدول (۱۳) تمامی مقادیرهای HTMT کمتر از ۰/۸۵ هستند که نشان دهنده برقراری روایی تشخیصی مطلوب بین تمامی سازه‌های پژوهش است.

همان‌طور که در جدول (۱۴) مشاهده می‌گردد مقادیرهای R^2 برای متغیرهای مکنون مدل، بیان‌کننده میزان تأثیرپذیری متغیرهای وابسته از متغیر مستقل است. براین اساس ۴۷/۲ درصد از تغییرات ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی توسط سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز تبیین شده است.

جدول (۱۴): مقادیرهای R^2 مدل تحقیق

ابعاد	ضریب تعیین
ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی	۰/۴۷۲

پس از بررسی برازش مدل‌های اندازه‌گیری و مدل ساختاری و داشتن برازش مناسب مدل کلی و باتوجه به شکل‌های (۳)، (۴) و (۵)، به بررسی نتایج آزمون فرضیه پژوهش پرداخته می‌شود که نتایج آن در جدول (۱۵)، ارائه شده است.



شکل (۳): مدل ساختاری فرضیه پژوهش همراه با ضرایب بارهای عاملی

جدول (۱۲): روایی افتراقی، روش فرنل و لارکر

سازه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵
الزامات بوم سامانه‌ای پایدار	۰/۹۴۲				
ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی	۰/۶۶۹	۰/۸۹۵			
سازه‌های حکمرانی فناورانه	۰/۴۷۳	۰/۵۹۳	۰/۸۸۴		
سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز	۰/۶۷۲	۰/۶۸۷	۰/۵۷۸	۰/۸۵۸	
فناوری‌های تحول‌ساز	۰/۵۳۹	۰/۶۶۵	۰/۴۳۳	۰/۴۵۸	۰/۹۱۷

شاخص HTMT معیاری پیشرفته برای ارزیابی روایی تشخیصی در مدل‌سازی معادلات ساختاری است. این شاخص میانگین همبستگی بین سازه‌های مختلف را با میانگین همبستگی بین درون یک سازه مقایسه می‌کند. مقدار HTMT کمتر از ۰/۸۵ (یا به صورت محافظه کارانه تر ۰/۹۰) نشان می‌دهد که دو سازه از یکدیگر متمایز هستند و روایی تشخیصی برقرار است (جدول ۱۳).

جدول (۱۳): ارزیابی روایی تشخیصی بر اساس شاخص HTMT

سازه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵
الزامات بوم سامانه‌ای پایدار	—				
ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی	۰/۶۶۹	—			
سازه‌های حکمرانی فناورانه	۰/۵۰۲	۰/۶۳۲	—		
سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز	۰/۷۲۱	۰/۷۳۱	۰/۶۱۲	—	
فناوری‌های تحول‌ساز	۰/۵۷۹	۰/۷۱۱	۰/۴۶۷	۰/۴۹۰	—

باتوجه به مدل ساختاری و ضرایب بار عاملی، در قالب جدول (۱۴)

می‌توان نتیجه آزمون فرضیه پژوهش را مشاهده نمود:

جدول (۱۵): نتایج مربوط به آزمون فرضیه پژوهش

فرضیه	ضریب مسیر	معناداری	نتیجه
سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز بر کاهش ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی تأثیر معناداری دارد.	-۰/۶۸۷	۲۲/۰۰۵	تأیید فرضیه

باتوجه به شکل، ضریب استاندارد شده (ضریب مسیر)، سرمایه‌گذاری در ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی تأثیر منفی و معناداری دارد، چراکه ضریب مسیر منفی و برابر با $-۰/۶۸۷$ است و آماره t نیز برابر با $۲۲/۰۰۵$ است، که باتوجه به اینکه بزرگ‌تر از $۱/۹۶$ است، در نتیجه فرضیه پژوهش تأیید می‌شود.

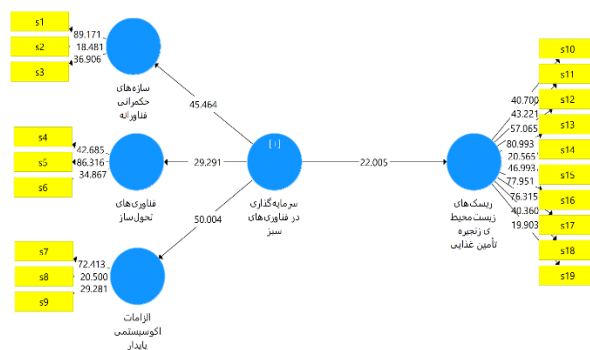
همچنین دیگر نتایج نشان داد:

❖ ضریب استاندارد شده (ضریب مسیر)، حکمرانی فناورانه در ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی تأثیر منفی و معناداری دارد، چراکه ضریب مسیر منفی و برابر با $-۰/۲۹۳$ است و آماره t نیز برابر با $۲/۸۹۲$ است، که باتوجه به اینکه بزرگ‌تر از $۱/۹۶$ است، در نتیجه معناداری این مسیر تأیید می‌شود.

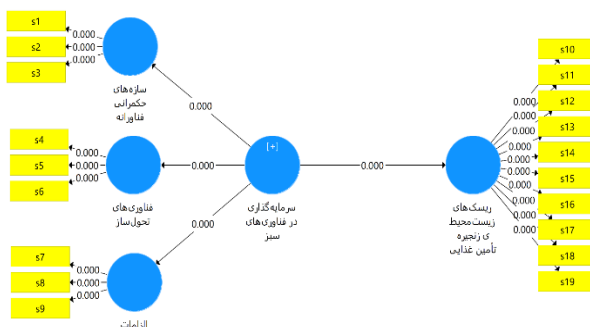
❖ ضریب استاندارد شده (ضریب مسیر)، فناوری‌های سبز در ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی تأثیر منفی و معناداری دارد، چراکه ضریب مسیر منفی و برابر با $-۰/۳۸۱$ است و آماره t نیز برابر با $۲/۴۹۶$ است، که باتوجه به اینکه بزرگ‌تر از $۱/۹۶$ است، در نتیجه معناداری این مسیر تأیید می‌شود.

❖ ضریب استاندارد شده (ضریب مسیر)، الزامات بوم سامانه‌ای پایدار در ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی تأثیر منفی و معناداری دارد، چراکه ضریب مسیر منفی و برابر با $-۰/۲۵۸$ است و آماره t نیز برابر با $۲/۰۹۳$ است، که باتوجه به اینکه بزرگ‌تر از $۱/۹۶$ است، در نتیجه معناداری این مسیر تأیید می‌شود.

تحلیل مقایسه‌ای نظام‌مند یافته‌های پژوهش حاضر با ادبیات موضوع، وجوه اشتراک و افتراق معناداری را نمایان می‌سازد. جدول ذیل این مقایسه را در چارچوبی ساختاریافته ارائه می‌نماید:



شکل (۴): مدل ساختاری فرضیه پژوهش همراه با مقدارهای آماره تی



شکل (۵): مدل ساختاری فرضیه پژوهش همراه با ضرایب معناداری

جدول (۱۶): مقایسه تطبیقی یافته‌ها با مطالعات پیشین

مؤلفه	یافته‌های کنونی	پژوهش‌های همسو	ناهمخوانی‌های پژوهشی
سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز (۰۰/۶۸۷-)	تأثیر قوی و معنی‌دار	یادو و همکاران (۲۰۲۴): تأثیر مثبت فناوری‌های دیجیتال بر نوآوری سبز قوش و همکاران (۲۰۲۰): کاهش همزمان هزینه و انتشار گازهای گلخانه‌ای	هی و همکاران (۲۰۲۵): مشروط بودن منافع به پایین بودن هزینه‌های عملیاتی
حکمرانی فناوریانه (۰۰/۲۹۳-)	تأثیر متوسط و معنی‌دار	لیو (۲۰۲۴): اثربخشی قراردادهای اشتراک هزینه در شرایط مشخص خلفی و اشرفی (۱۴۰۴): تأثیر مستقیم و غیرمستقیم فین‌تک	ال ایوبی و رادمر (۲۰۲۳): نیاز به همکاری محیط‌زیستی گسترده
فناوری‌های سبز (۰۰/۳۸۱-)	تأثیر متوسط و معنی‌دار	یادو و همکاران (۲۰۲۴): ایجاد مزیت رقابتی بلندمدت فارس‌یجانی و چوپانی (۱۴۰۲): تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر عملکرد سازمانی	شی و همکاران (۲۰۲۳): وابستگی تأثیر به میزان آسیب‌پذیری محیط‌زیست
الزامات بوم‌سامانه‌ای (۰۰/۲۵۸-)	تأثیر متوسط و معنی‌دار	رحمانی (۱۴۰۲): نقش واسطه‌ای تأمین مالی سبز آسایش و همکاران (۱۴۰۰): تأثیر مستقیم بر عملکرد پایدار	ابراهیم‌پور سامانی (۱۴۰۴): اولویت ابعاد اقتصادی بر زیست‌محیطی

این مقایسه نظام‌مند، هم اعتبار یافته‌ها را تصدیق کرده و هم سهم پژوهش حاضر را در توسعه ادبیات موجود به‌وضوح تبیین می‌کند.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

در دنیای امروز، زنجیره تأمین مواد غذایی به‌عنوان یک سیستم حیاتی و پیچیده، با چالش‌های محیط‌زیستی بی‌سابقه‌ای مواجه است. پدیده‌هایی همچون تغییرات اقلیمی، کاهش شدید و آلودگی منابع آب و خاک، و افزایش آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و لجستیکی، ثبات و امنیت این

تحلیل تطبیقی انجام‌شده حاکی از آن است که یافته‌های حاضر از یکسو از همسویی کلان با پژوهش‌های پیشین در جهت تأثیر و معناداری آماری برخوردار بوده که مؤید اعتبار درونی مدل پیشنهادی است، و از سوی دیگر با غنای مفهومی ناشی از دربرگیری همزمان چهار بعد کلیدی، گسترشی فراتر از مطالعات تک‌بعدی قبلی محسوب می‌شود. همچنین، ابعاد بومی پژوهش از طریق تأثیر نسبتاً بالای الزامات بوم‌سامانه‌ای، اهمیت ملاحظات بوم‌شناختی خاص ایران را نمایان ساخته و تقدم راهبردی بعد سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز، یافته‌های مطالعات داخلی در خصوص اولویت‌بندی اقتصادی-زیست‌محیطی را تأیید می‌نماید.

مضمون فراگیر دوم، فناوری‌های تحول‌ساز است که مستقیماً به کاهش ریسک‌های محیط‌زیستی در مراحل مختلف زنجیره ارزش مواد غذایی می‌پردازد. این مضمون نیز شامل سه مضمون سازمان‌دهنده است: فناوری‌های تولید پیشرفته نظیر کشاورزی دقیق و سیستم‌های آبیاری هوشمند که مصرف آب و نهاده‌ها را در مرحله تولید اولیه مواد خام غذایی بهینه کرده و ردپای بوم‌شناسی این مواد را کاهش می‌دهند؛ فناوری‌های توزیع هوشمند که با بهره‌گیری از سیستم‌های لجستیک سبز، انبارداری هوشمند با کنترل دما و رطوبت، و پلتفرم‌های دیجیتال مدیریت زنجیره تأمین، ضایعات و فسادپذیری مواد غذایی را در طول مراحل حمل‌ونقل، نگهداری و توزیع به حداقل می‌رسانند؛ و فناوری‌های بازیافت یکپارچه که با تبدیل پسماندها و ضایعات کشاورزی و صنایع غذایی به منابع ارزشمندی مانند کمپوست، خوراک دام یا انرژی زیستی، یک اقتصاد چرخشی در بخش مواد غذایی ایجاد می‌کنند که وابستگی به منابع خارجی و دفع پسماند را کاهش می‌دهد.

مضمون فراگیر سوم، الزامات بوم‌سامانه‌ای پایدار است که به پایداری بلندمدت نظام تولید و تأمین مواد غذایی کمک می‌کند. این مضمون شامل پایداری منابع پایه از طریق فناوری‌های حفاظت از خاک و آب که پایه تولید مواد خام غذایی هستند و ظرفیت تولیدی بوم‌سامانه‌های زراعی و دامی را حفظ می‌کند؛ انطباق‌پذیری اقلیمی با بهره‌گیری از سیستم‌های پیش‌بینی هواشناسی دقیق، ارقام گیاهی و نژادهای دامی مقاوم به تنش‌های خشکی و گرما که مواد اولیه صنعت غذا را تأمین می‌کنند؛ و تاب‌آوری نظام‌های غذایی که با ایجاد ذخایر استراتژیک مواد غذایی اساسی، تنوع بخشیدن به منابع تأمین و طراحی سیستم‌های توزیع انعطاف‌پذیر، امنیت غذایی را در شرایط بحرانی تضمین می‌نماید، است.

تحلیل داده‌های کمی نشان می‌دهد که این تأثیر از طریق مکانیسم‌های متعددی محقق می‌شود که مهم‌ترین آنها شامل افزایش بهره‌وری در مصرف منابع پایه (آب، خاک، انرژی) در فرآیندهای تولید مواد غذایی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول تمامی مراحل زنجیره تأمین مواد غذایی از مزرعه تا سفره، کاهش ضایعات و افت مواد غذایی در مراحل پس از برداشت، فراآوری و توزیع و ایجاد اقتصاد چرخشی در نظام تولید، فراآوری و توزیع مواد غذایی است. این مکانیسم‌ها در تعامل با یکدیگر موجب ارتقای پایداری محیط‌زیستی کل زنجیره تأمین مواد

نظام را به طور جدی تهدید می‌کنند. این پژوهش به‌طور خاص به بررسی راهکارهای عملیاتی برای کاهش ریسک‌های محیط‌زیستی در زنجیره تأمین مواد غذایی، از طریق سرمایه‌گذاری هدفمند در فناوری‌های سبز مرتبط با این بخش، پرداخته و با تحلیل داده‌های میدانی و پژوهش‌های موردی، الگوهای مؤثری را برای ایجاد یک زنجیره تأمین مواد غذایی پایدار و تاب‌آور ارائه می‌دهد. نتایج پژوهش حاضر، نشان‌دهنده ظهور ۳ مضمون فراگیر اصلی (سازه‌های حکمرانی فناورانه، فناوری‌های تحول‌ساز و الزامات بوم‌سامانه‌ای پایدار)، ۹ مضمون سازمان‌دهنده (شامل چارچوب‌های سیاستی پیشران، ساختارهای مالی تحول‌آفرین، حکمرانی مشارکتی فناورانه، فناوری‌های تولید پیشرفته، فناوری‌های توزیع هوشمند، فناوری‌های بازیافت یکپارچه، پایداری منابع پایه، انطباق‌پذیری اقلیمی و تاب‌آوری نظام‌های غذایی) و ۳۶ مضمون پایه بود. همچنین یافته‌های ناشی از تحلیل کمی نشان داد که سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز مختص زنجیره تأمین مواد غذایی بر کاهش ریسک‌های محیط‌زیستی آن تأثیر معناداری دارد.

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، سه مضمون فراگیر به‌عنوان ارکان اصلی سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز در بخش مواد غذایی شناسایی شد. این مضامین در تعامل پویا با یکدیگر، الگویی نظام‌مند را شکل می‌دهند که می‌تواند مبنای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در این حوزه قرار گیرد. مضمون فراگیر اول، سازه‌های حکمرانی فناورانه است که نقش زیرساختی در هدایت سرمایه‌گذاری‌ها به سمت فناوری‌های سبز در صنعت غذا ایفا می‌کند. این مضمون شامل سه مضمون سازمان‌دهنده است: چارچوب‌های سیاستی پیشران که با ایجاد مشوق‌های مالی و تنظیم مقررات هوشمند (مانند استانداردهای زیست‌محیطی برای محصولات غذایی)، بستری مناسب برای توسعه فناوری‌های کم‌کربن و کم‌آب در تولید و فراآوری مواد غذایی فراهم می‌آورند؛ ساختارهای مالی تحول‌آفرین که از طریق مکانیسم‌های نوین تأمین مالی نظیر صکوک سبز و سرمایه‌گذاری خطرپذیر، منابع لازم برای توسعه و نفوذ این فناوری‌ها را در بنگاه‌های غذایی کوچک و متوسط بسیج می‌کنند؛ و حکمرانی مشارکتی فناورانه که با درگیرکردن کلیه ذی‌نفعان زنجیره تأمین مواد غذایی از کشاورزان و تولیدکنندگان اولیه تا فراآوران، توزیع‌کنندگان و مصرف‌کنندگان نهایی، پذیرش اجتماعی و هماهنگی عملیاتی فناوری‌های سبز را افزایش می‌دهد.

غذایی می‌گردند. یافته‌های این پژوهش مؤید آن است که تحقق پایداری محیط‌زیستی در زنجیره تأمین مواد غذایی مستلزم اتخاذ رویکردی یکپارچه و نظام‌مند است که در آن سازه‌های حکمرانی فناورانه، فناوری‌های تحول‌ساز و الزامات بوم‌سامانه‌ای پایدار در تعامل پویا با یکدیگر قرار گیرند. این تعامل می‌تواند زمینه‌ساز تحولی اساسی در جهت کاهش ریسک‌های محیط‌زیستی مختص این صنعت و حرکت به سوم یک نظام غذایی پایدار، منصفانه و تاب‌آور باشد.

در مقایسه تطبیقی یافته‌های این پژوهش با ادبیات پیشین، همسویی قابل توجهی در سطح فرضیه اصلی تحقیق مشاهده می‌شود. فرضیه "سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز بر کاهش ریسک‌های محیط‌زیستی زنجیره تأمین غذایی تأثیر معناداری دارد" که در بخش کمی این پژوهش به اثبات رسید، کاملاً با یافته‌های قوش و همکاران (۲۰۲۰) که به طور ریاضی نشان دادند سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز می‌تواند هم‌زمان منجر به کاهش هزینه‌های کل و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در یک زنجیره تأمین گردد، همخوانی دارد. همچنین این نتیجه با پژوهش فارسیجانی و چوپانی (۱۴۰۲) که تأثیر مستقیم غیرمستقیم مدیریت زنجیره تأمین سبز بر عملکرد زیست‌محیطی را نشان دادند، همسو است. از سوی دیگر، در سطح مضامین سازمان‌دهنده، یافته‌های این پژوهش در مورد "ساختارهای مالی تحول‌آفرین" با نتایج خلفی و اشرفی (۱۴۰۴) در زمینه تأثیر تأمین مالی سبز بر نوآوری سبز، و نیز با مطالعه رحمانی (۱۴۰۲) که نقش تأمین مالی سبز را بین سیستم مدیریت محیط‌زیستی و نوآوری سبز شناسایی کرد، هماهنگی کامل دارد. در بعد فناوری‌های تحول‌ساز، نتایج این تحقیق با یافته‌های یادو و همکاران (۲۰۲۴) در خصوص تأثیر مثبت فناوری‌های دیجیتال بر ادغام سبز و نوآوری سبز همسوست. با این حال، تمایز اصلی و ارزش افزوده این پژوهش در ارائه چارچوب یکپارچه و زمینه‌آگاهی است که تعامل پویا و سه‌گانه حکمرانی، فناوری و بوم‌سامانه را به‌طور خاص در بستر زنجیره تأمین مواد غذایی به‌صورت نظام‌مند تبیین می‌نماید، درحالی‌که مطالعات پیشین عمدتاً به بررسی جداگانه این ابعاد یا در بسترهای عمومی‌تر پرداخته‌اند. این یکپارچگی مفهومی و عملیاتی ویژه صنعت غذا، ارزش افزوده اصلی تحقیق حاضر محسوب می‌شود.

از منظر کاربردی، این یافته‌ها برای مدیران، سیاست‌گذاران و فعالان زنجیره تأمین مواد غذایی سه دسته راهبرد عملیاتی به

همراه دارد: در سطح راهبردی، تدوین چارچوب حکمرانی مشارکتی با همکاری تمام ذی‌نفعان زنجیره تأمین مواد غذایی؛ در سطح عملیاتی، سرمایه‌گذاری هم‌زمان در سبزی به هم پیوسته از فناوری‌های سبز تولیدی، فرآوری، توزیعی و بازیافتی مرتبط با مواد غذایی؛ و در سطح نظارتی و پایشی، استقرار نظام پایش یکپارچه برای ردیابی مستمر شاخص‌های پایداری منابع پایه (مانند کیفیت آب و خاک زراعی) و شاخص‌های تاب‌آوری نظام غذایی (مانند ذخایر استراتژیک و تنوع تأمین). این چارچوب یکپارچه می‌تواند به‌عنوان نقشه راهی بومی و عملیاتی برای تحول پایدار صنعت مواد غذایی ایران در شرایط اقلیمی و اقتصادی پیچیده کنونی مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

در راستای نتایج کسب شده، به سیاست‌گذاران و فعالان صنعت غذا پیشنهاد می‌شود با اتخاذ رویکردی نظام‌مند، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز را از طریق سه مسیر کلیدی تسهیل نمایند: نخست، طراحی چارچوب‌های سیاستی هوشمند که مشوق‌های مالی و تنظیمی هدفمندی را برای توسعه فناوری‌های تولید پیشرفته و سیستم‌های توزیع هوشمند فراهم آورد. دوم، ایجاد سازوکارهای مالی نوآورانه نظیر صندوق‌های سرمایه‌گذاری تخصصی و ابزارهای تأمین مالی جمعی تا منابع موردنیاز برای به‌کارگیری راهکارهای فناورانه را در اختیار تولیدکنندگان قرار دهد. سوم، تقویت همکاری‌های بین‌بخشی میان نهادهای حکومتی، مراکز تحقیقاتی و بخش خصوصی به‌منظور توسعه و بومی‌سازی فناوری‌های بازیافت یکپارچه و نظام‌های پایش پایدار منابع. این اقدام‌ها به‌صورت ترکیبی می‌توانند تاب‌آوری زنجیره تأمین غذایی را در برابر ریسک‌های محیط‌زیستی افزایش دهند.

همچنین با توجه به یافته‌های پژوهش به سیاست‌گذاران ملی توصیه می‌شود با تدوین "سند راهبردی تحول دیجیتال سبز" که شامل شاخص‌های پایش بلادرنگ کربن و نظام پاداش مبتنی بر عملکرد زیست‌محیطی است، چارچوبی یکپارچه برای حکمرانی پایدار زنجیره تأمین غذایی ایجاد نمایند. مدیران اجرایی نیز می‌توانند با استقرار "سامانه هوشمند ردیابی کربن" در کل زنجیره ارزش، بهینه‌سازی الگوی توزیع با استفاده از الگوریتم‌های کمینه‌سازی ردپای بوم‌سامانه‌ای، و اجرای "مدل مالی ترکیبی" شامل صکوک سبز و قراردادهای عملکرد پایدار، همسویی عملیاتی با اهداف توسعه پایدار را محقق سازند. این راهکارها

[6] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *Water Use Efficiency in Iranian Agriculture: Challenges and Opportunities*. Tehran, Iran: FAO, 2021.

<http://www.fao.org/iran/en/>

[7] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*. Rome, Italy: FAO, 2023.

<https://doi.org/10.4060/cc3017en>

[8] United Nations Development Programme (UNDP), *Iran's Greenhouse Gas Inventory Report to UNFCCC*. Tehran, Iran: UNDP, 2020.

<https://www.ir.undp.org/>

[9] A. Chițimiea, M. Minci, A. M. Manta, C. N. Ciocoiu, and C. Veith, "The drivers of green investment: A bibliometric and systematic review," *Sustainability*, vol. 13, no. 6, p. 3507, 2021.

<https://doi.org/10.3390/su13063507>

[10] L. Sembiyeva, A. Zhagyparova, E. Zhusupov, and A. Bekbolsynova, "Impact of investments in green technologies on energy security and sustainable development in the future," *Futurity Soc. Sci.*, vol. 1, no. 4, pp. 61–74, 2023.

[11] A. Takacs, "The positive effects of green technology investments on growth expectations," *Technol. Soc.*, vol. 75, p. 102407, 2023.

<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102407>

[12] اسکندری، محمد، دارابی، مسعود و اصغری، حامد، شناسایی و ارزیابی موانع زمینه فروش به‌منظور کاهش بحران‌های زنجیره تأمین مواد غذایی، مدیریت زنجیره تأمین، دوره ۲۷، صص. ۱۹–۲۹، ۱۴۰۴.

<https://doi.org/10.12345/scm.2025.123456>

[13] شهبازی، میثم، ابراهیمی، کریم و عالی، مینو، «شناسایی و تحلیل اثرات بیماری کرونا بر زنجیره تأمین مواد غذایی با رویکرد مطالعه موردی چندگان»، مدیریت زنجیره تأمین، دوره ۲۷، شماره ۸۶، صص. ۴۷–۶۰، ۱۴۰۴.

<https://doi.org/10.12345/scm.2025.123457>

[14] United Nations Environment Programme (UNEP), *United Nations Environment Programme Annual Report 2022*. Nairobi, Kenya: UNEP, 2022.

<https://www.unep.org/annualreport/2022>

[15] A. Ghosh, S. P. Sarmah, and R. K. Kanauzia, "The effect of investment in green technology in a two-echelon supply chain under strict carbon-cap policy," *Benchmarking Int. J.*, vol. 27, no. 6, pp. 1875–1891, 2020.

<https://doi.org/10.1108/BIJ-08-2019-0376>

[16] خلفی، سپیده، اشرفی، زهره، «تأثیر نوآوری مبتنی بر فین تک بر نوآوری سبز با در نظر گرفتن نقش تأمین مالی سبز و مدیریت منابع انسانی سبز در نهادهای مالی پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران»، راهبرد اقتصادی، دوره ۱۳، شماره ۵۱، صص. ۱۸–۱، ۱۴۰۴.

<https://doi.org/10.30486/ees.2025.1234567.1234>

[17] فارسیجانی، حسن، چوپانی، مهناز، «بررسی تأثیر مدیریت زنجیره تأمین سبز بر عملکرد زیست محیطی و عملکرد سازمانی با توجه به نقش تعدیلگر رقابت پذیری»، مجله بین‌المللی مدیریت و صنعت، دوره ۶، شماره ۲، صص. ۵۶–۷۸، ۱۴۰۲.

<https://doi.org/10.30474/imj.2023.123456>

[18] رحمانی، محمد، «آیا یک سیستم مدیریت محیط زیستی بر نوآوری سبز (پایدار) تأثیر می‌گذارد: نقش تأمین مالی سبز در بخش گردشگری در یک اقتصاد دایره‌ای»، مجله مطالعات گردشگری خلاق، دوره ۱، شماره ۱، صص. ۱۲۳–۱۴۵، ۱۴۰۲.

<https://doi.org/10.30474/cts.2023.123456>

[19] N. Amin, A. Sharif, M. Tayyab, and Y. Pan, "Green technological advances and resource rents as levers for carbon reduction in BRICS: Implications for SDGs 7, 8, 9, 12, and 13," *Sustain. Dev.*, vol. 32, no. 2, pp. 1234–1250, 2024.

<https://doi.org/10.1002/sd.2890>

ضمن دارا بودن قابلیت اجرای فوری، اثر تجمعی در کاهش سیستماتیک ریسک‌های زیست محیطی ایجاد می‌نماید.

۶-۱- محدودیت‌ها و پیشنهادهای آتی

اگرچه این پژوهش به طور سیستماتیک به مفهوم‌پردازی سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز و اثر آن بر ریسک‌های محیط‌زیستی پرداخته است، اما محدودیت‌هایی داشته که می‌تواند زمینه‌ساز تحقیقات آینده باشد. مهم‌ترین محدودیت، تمرکز بر بستر ملی و عدم بررسی تطبیقی بین کشورهای مختلف با سیاست‌های محیط‌زیستی متفاوت است. همچنین، رویکرد آمیخته حاضر اگرچه غنای تحلیلی بالایی دارد، اما تعمیم‌پذیری یافته‌های کیفی آن نیازمند احتیاط است. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی به بررسی مقایسه‌ای این رابطه در بافت‌های فرهنگی - اقتصادی مختلف بپردازند و با استفاده از روش‌های طولی، تأثیر بلندمدت این سرمایه‌گذاری‌ها را بر پایداری زنجیره تأمین غذایی ارزیابی کنند. افزون بر این، توسعه مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای اولویت‌بندی فناوری‌های سبز بر اساس میزان اثرگذاری بر کاهش ریسک‌های خاص، می‌تواند به مدیران در تخصیص بهینه منابع کمک شایانی نماید.

۷- مراجع

[1] S. Yadav, A. Samadhiya, A. Kumar, S. Luthra, V. Kumar, J. A. Garza-Reyes, & A. Upadhyay, "The interplay effects of digital technologies, green integration, and green innovation on food supply chain sustainable performance: An organizational information processing theory perspective," *Technology in Society*, vol. 77, p. 102550, 2024.

[2] P. Liu, "Investment strategies and coordination for green food supply chain: A further research considering the inputs of the blockchain-based traceability system," *Kybernetes*, vol. 53, no. 3, pp. 901–934, 2024.

<https://doi.org/10.1108/K-03-2023-0411>

[3] L. Shi, T. Pang, and H. Peng, "Production and green technology investment strategy for contract-farming supply chain under yield insurance," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 74, no. 1, pp. 225–238, 2023.

<https://doi.org/10.1080/01605682.2022.2035250>

[4] J. He, Y. Zhao, B. Zhang, L. Chen, and X. Ma, "The impact of blockchain technology on green investment decisions for a sustainable supply chain with an overconfident manufacturer," *Sustainability*, vol. 17, no. 1, pp. 284–302, 2025.

<https://doi.org/10.3390/su17010284>

[5] M. S. El Ayoubi and M. Radmehr, "Green food supply chain management as a solution for the mitigation of food supply chain management risk for improving the environmental health level," *Heliyon*, vol. 9, no. 2, p. e13418, 2023.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13418>

- [25] United Nations Environment Programme (UNEP), *United Nations Environment Programme Annual Report 2022*. Nairobi, Kenya: UNEP, 2022.
<https://www.unep.org/annualreport/2022>
- [26] S. Yadav, A. Samadhiya, A. Kumar, S. Luthra, V. Kumar, J. A. Garza-Reyes, and A. Upadhyay, "The interplay effects of digital technologies, green integration, and green innovation on food supply chain sustainable performance: An organizational information processing theory perspective," *Technol. Soc.*, vol. 77, p. 102550, 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102550>
- [27] ابراهیم‌پور سامانی، جمشید، داودی، سید محمد رضا، «شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های کلیدی در زنجیره تأمین پایدار مواد غذایی با تکنیک دیمتل فازی»، *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، دوره ۲۷، شماره ۸۴، صص. ۱-۲۷، ۱۴۰۴.
<https://doi.org/10.30490/aead.2025.367399.1663>
- [28] ابراهیم‌پور سامانی، جمشید، خانی، ناصر، یزدانی، بیتا، داودی، سید محمد رضا، «طراحی مدل پایدار زنجیره تأمین در صنایع غذایی و کشاورزی با تأکید بر ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی: کاربرد روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری»، *مدیریت زنجیره تأمین*، دوره ۲۶، شماره ۸۴، صص. ۷۷-۱۰۲، ۱۴۰۳.
<https://doi.org/10.1001.1.20089198.140>
- [20] B. Biais and A. Landier, "Emission caps and investment in green technologies," *J. Financ. Econ.*, vol. 145, no. 3, pp. 701-725, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2022.05.003>
- [21] R. Guo, S. Lv, T. Liao, F. Xi, J. Zhang, X. Zuo, and Y. Zhang, "Classifying green technologies for sustainable innovation and investment," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 153, p. 104580, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104580>
- [22] P. Liu, Y. Long, H. C. Song, and Y. D. He, "Investment decision and coordination of green agri-food supply chain considering information service based on blockchain and big data," *J. Clean. Prod.*, vol. 277, p. 123646, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123646>
- [23] L. Wang, X. Yu, and Y. Zhang, "The effects of outward foreign direct investment on green technological innovation: A quasi-natural experiment based on Chinese enterprises," *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 110, p. 107666, 2025.
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107666>
- [24] H. Zhang, Y. Shao, X. Han, and H. L. Chang, "A road towards ecological development in China: The nexus between green investment, natural resources, green technology innovation, and economic growth," *Resour. Policy*, vol. 77, p. 102746, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102746>