



Exploring the role of green technology governance on green supply chain management practices with the moderating role of green digital intelligence (Case study: green product manufacturing companies in the cities of Urmia and Tabriz cities)

Ramin Bashir Khodaparasti^{1✉} | Elham Farrokhi Khaje Pasha²

1. Corresponding Author, Department of Business Management, Faculty of Economics and Management, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: r.bashirkhodaparast@urmia.ac.ir

2. Department of Business Management, Faculty of Economics and Management, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: st_e.farrokhi@urmia.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Considering the importance of sustainability and reducing environmental impacts in supply chains, it is essential to examine the role of technologies and management strategies in improving the environmental performance of organizations. The present study aimed to investigate the impact of green technology governance on green supply chain management practices and the moderating role of green digital intelligence. Four key dimensions of green supply chain management were considered, including environmentally friendly design, green purchasing, environmental cooperation, and reverse logistics. This research is of an applied and descriptive-correlation type. The statistical population included 70 green product manufacturing units in Urmia and Tabriz cities, identified as the statistical population based on the Environmental Organization and the Semat Organization of Urmia and Tabriz counties. The required sample size was determined as 59 manufacturers based on the Morgan table. The data collection tool was a standard questionnaire and the analysis method was structural equation modeling. The findings showed that green technology governance has a positive and significant impact on all dimensions of green supply chain management practices. Green digital intelligence also has a positive moderating role, and increasing its level strengthens the effect of green technology governance on supply chain environmental performance. Based on the results, implementing green technology governance frameworks along with developing green digital intelligence can improve supply chain productivity and environmental performance. By providing empirical evidence, this study highlights the importance of combining policies and smart technologies for managers and policymakers, and shows that simultaneous investment in green technology governance and digital intelligence is the key to improving supply chain efficiency and sustainability.
Article history: Received 31 December 2025 Received in revised form 3 July 2026 Accepted 19 July 2026	
Keywords: <i>Green digital intelligence,</i> <i>Green supply chain management practices,</i> <i>Green technology governance.</i>	

Cite this article: Bashir Khodaparasti, R., & Farrokhi Khaje Pasha, E. (2026). Exploring the role of green technology governance on green supply chain management practices with the moderating role of green digital intelligence (Case study: green product manufacturing companies in the cities of Urmia and Tabriz cities). *Journal of Natural Environment*, 79 (3), 511-529. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2026.409165.2879>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

Introduction

Intensifying environmental challenges, limited natural resources, increased pollutant emissions, and increasing pressure from laws and stakeholders have led organizations to adopt new approaches to achieve sustainable development. In the meantime, green supply chain management (GSCM), as one of the most important organizational strategies, has received widespread attention from researchers and managers with the aim of reducing the environmental consequences of supply chain activities and improving resource efficiency. However, success in establishing GSCM practices is not limited to the use of green technologies, but also requires the existence of appropriate governance mechanisms to guide, policy-make, and manage these technologies. On the other hand, the expansion of digital and smart technologies has provided new capacities for intelligent decision-making, data analysis, and optimization of supply chain processes. In this regard, the concept of green digital intelligence (GDI) is proposed as an organizational capability for the integrated use of digital technologies in order to achieve environmental goals. Despite the increasing importance of green technology governance (GTG) and GDI, the simultaneous examination of these two constructs and their interactive role in promoting GSCM practices, especially in manufacturing industries, has not yet received sufficient attention in the research literature. Also, most previous studies have examined the role of digital technologies or artificial intelligence independently and have less addressed the moderating role of GDI in the relationship between GTG and GSCM. Therefore, the present study aimed to investigate the impact of GTG on the dimensions of GSCM and also to examine the moderating role of GDI in these relationships.

Material and Methods

This research is applied in terms of purpose and descriptive-survey in terms of data collection method. The statistical population of the research consisted of green product manufacturing companies located in the cities of Urmia and Tabriz. Out of 70 identified companies, information was collected from 59 companies (about 84% of the statistical population). In order to increase the accuracy and validity of the data, two managers related to supply chain and technology activities from each company were questioned. In total, 118 questionnaires were collected and after aggregating the responses at the company level, data from 59 companies were used for the final analysis. The data collection tool was a standard questionnaire based on previous studies. The validity of the instrument was confirmed through factor loading indices, composite reliability (CR), average variance extracted (AVE), and the Fornell-Larcker criterion. Also, the reliability of the tool was examined using Cronbach's alpha and CR. The full collinearity VIF index was also used to assess the possibility of common method bias, and the results showed the absence of significant bias. Data analysis was performed using SmartPLS 4 software and based on structural equation modeling (SEM) with partial least squares (PLS). The research model included eight hypotheses, four of which were dedicated to examining the direct effect of GTG on the dimensions of GSCM and the other four to examining the moderating role of GDI.

Results

The results of the structural model analysis showed that GTG has a positive and significant effect on all dimensions of GSCM, including green purchasing (GP), eco-friendly design (ECD), environmental cooperation (EC), and reverse logistics (RL); therefore, the first to fourth hypotheses of the study were confirmed. Also, the results showed that GDI positively and significantly moderates the relationship between GTG and all four dimensions of GSCM; in other words, the higher the level of GDI of the organization, the stronger the effect of GTG on GSCM practices. The results of the fit indices, coefficients of determination (R^2), predictive relevance (Q^2), and effect size (f^2) also indicated the suitability of the research model and its desirable explanatory and predictive power.

Discussion and Conclusion

The findings of the study showed that GTG, as a strategic mechanism, provides the basis for the effective establishment of GSCM practices. The existence of transparent policies, regulatory mechanisms, coordination among stakeholders, and targeted management of green technologies improves the performance of organizations in the areas of green purchasing, eco-friendly design, environmental cooperation, and reverse logistics. These findings are consistent with the results of previous studies and confirm the importance of governance in guiding green technologies. On the other hand, the positive and significant role of GDI showed that simply having governance mechanisms is not enough to achieve desired performance, but organizations must also have the necessary digital capabilities for data analysis, smart decision-making, forecasting, and resource optimization. By increasing information transparency, improving coordination among supply chain members, and facilitating data-based decision-making, GDI increases the effectiveness of GTG and helps organizations achieve sustainable development goals. From a practical perspective, the research results indicate that organizational managers should simultaneously pursue the development of digital infrastructure, the enhancement of analytical capabilities, human resource training, and the establishment of GTG systems. Combining these two capabilities can create a sustainable competitive advantage for organizations while increasing productivity, reducing waste, improving collaboration with stakeholders, and improving environmental performance. However, the findings of the study should be interpreted with its limitations in mind. The statistical population of the study was limited to green product manufacturing companies located in Urmia and Tabriz cities; therefore, generalization of the results to other industries and geographical regions requires caution. Therefore, it is suggested that future studies test this model in other industries and provinces and examine the role of other mediating and moderating variables, including organizational culture, technology maturity, organizational dynamic capabilities, digital transformation readiness, and senior management support. Also, conducting longitudinal studies can provide a more accurate understanding of the changes in these relationships over time and the long-term effects of GTG and GDI on GSCM.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

CRedit authorship contribution statement

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank anonymous reviewers for their valuable suggestions in manuscript revision.

واکاوی نقش حکمرانی فناوری سبز بر شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز با نقش تعدیل گر هوش دیجیتال سبز (مطالعه شرکت‌های تولیدی محصولات سبز در شهرستان ارومیه و تبریز)

رامین بشیرخداپرستی^۱ | الهام فرخی خواجه‌پاشا^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه مدیریت بازرگانی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: r.bashirkhodaparast@urmia.ac.ir

۲. گروه مدیریت بازرگانی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: st_e.farrokhi@urmia.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۱۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۸	
کلیدواژه‌ها:	
حکمرانی فناوری سبز، شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز، هوش دیجیتال سبز.	توجه به اهمیت پایداری و کاهش اثرات محیط‌زیستی در زنجیره‌های تأمین، بررسی نقش فناوری‌ها و راهبردهای مدیریتی در بهبود عملکرد محیط‌زیستی سازمان‌ها ضروری است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر حکمرانی فناوری سبز بر شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز و نقش تعدیل‌گری هوش دیجیتال سبز انجام شد. چهار بعد کلیدی مدیریت زنجیره تأمین سبز شامل طراحی سازگار با محیط‌زیست، خرید سبز، همکاری محیط‌زیستی و لجستیک معکوس در نظر گرفته شد. این تحقیق از نوع کاربردی و توصیفی-همبستگی است. جامعه آماری شامل ۷۰ شرکت تولیدی محصولات سبز در شهر ارومیه و شهر تبریز به استناد از سازمان محیط‌زیست و سازمان صمت شهرستان ارومیه و تبریز، به‌عنوان جامعه آماری شناسایی شدند. حجم نمونه مورد نیاز براساس جدول مورگان، ۵۹ شرکت تولیدی تعیین گردید. ابزار گردآوری داده‌ها پرسشنامه استاندارد و روش تحلیل، مدل‌سازی معادلات ساختاری بود. یافته‌ها نشان داد که حکمرانی فناوری سبز تأثیر مثبت و معنی‌داری بر تمامی ابعاد شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز دارد. همچنین هوش دیجیتال سبز نقش تعدیل‌گری مثبت دارد و افزایش سطح آن اثر حکمرانی فناوری سبز بر عملکرد محیط‌زیستی زنجیره تأمین را تقویت می‌کند. براساس نتایج، پیاده‌سازی چارچوب‌های حکمرانی فناوری سبز همراه با توسعه هوش دیجیتال سبز می‌تواند بهره‌وری و عملکرد محیط‌زیستی زنجیره تأمین را بهبود دهد. این پژوهش با ارائه شواهد تجربی، اهمیت ترکیب سیاست‌ها و فناوری‌های هوشمند را برای مدیران و سیاست‌گذاران برجسته می‌سازد و نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری همزمان در حکمرانی فناوری سبز و هوش دیجیتال، کلید ارتقای کارایی و پایداری زنجیره تأمین است.

استناد: بشیرخداپرستی، رامین؛ و فرخی خواجه‌پاشا، الهام (۱۴۰۵). واکاوی نقش حکمرانی فناوری سبز بر شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز با نقش تعدیل گر هوش دیجیتال سبز (مطالعه شرکت‌های تولیدی محصولات سبز در شهرستان ارومیه و تبریز). محیط زیست طبیعی، ۷۹ (۳)، ۵۲۹-۵۱۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2026.409165.2879>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

پیشرفت‌های فناوری در مقیاس بزرگ، ناشی از تغییرات قابل توجه مرتبط با اولین انقلاب صنعتی و تحولات سیاسی و اقتصادی پس از جنگ‌های جهانی قرن بیستم است. این تحولات موجب افزایش تصاعدی مصرف انرژی و منابع طبیعی، تولید آلودگی، افزایش ضایعات و کاهش تنوع زیستی شده و نحوه استخراج و استفاده از منابع در تولید، مصرف، توزیع و دفع کالاها را تغییر داده است. به دنبال این تغییرات، مدیریت توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی بلندمدت اهمیت یافته و نگرانی‌های اجتماعی و محیط‌زیستی افزایش یافته است (Jesus et al., 2021). در این راستا، پایداری محیط‌زیست به یک دغدغه جهانی تبدیل شده و دولت‌ها، دانشگاه‌ها و شرکت‌ها، تعادل میان رشد اقتصادی و حفظ محیط‌زیست را مدنظر قرار داده و به دنبال استراتژی‌های بهینه هستند. به عنوان نمونه، کنفرانس جهانی محیط زیست^۱ (WEC) از سال ۲۰۰۸ سالانه برگزار می‌شود همه کشورهای را ملزم می‌کند تا مدل‌های توسعه خود را به مدل‌های سبز و پایدار تبدیل کنند (Li et al., 2020). در پاسخ به این نیاز، زنجیره تأمین سبز^۲ (GSC) به عنوان یک مدل مدیریتی مدرن مطرح شده است که تأثیر محیط‌زیستی و بهره‌وری منابع را در کل زنجیره تأمین ادغام می‌کند (Shi et al., 2022). این مدل شامل حفاظت و توسعه محیط طبیعی است و از تکنیک‌های مدیریتی بهره می‌برد که می‌توانند آلودگی محیط‌زیستی را کاهش دهند (Nassani et al., 2023)، از جمله استفاده از تکنیک‌های فناوری‌های سبز و هوش دیجیتال سبز. در واقع، زنجیره تأمین سبز یک رویکرد عملیاتی است که با هدف کاهش تأثیرات محیط‌زیستی و افزایش چرخه عمر محصولات سبز به کار می‌رود. از این طریق، پیشرفت فناوری سبز سازگار با محیط‌زیست ارتقا یافته و می‌تواند به مدیریت پسماند صفر منجر شود (Azevedo et al., 2019). بنابراین، فناوری‌های سبز با بهینه‌سازی فرآیندهای تولید، حفاظت از محیط‌زیست را تسهیل می‌کنند (Sun et al., 2019) و به عنوان عاملی کلیدی در تولید محصولات و خدمات سازگار با محیط‌زیست شناخته می‌شوند. به همین دلیل، زنجیره تأمین سبز نقش مهمی در تطبیق و توسعه فناوری‌های نوآورانه برای بهبود عملکرد محیط‌زیستی شرکت‌ها ایفا می‌کند (Nassani et al., 2023).

با توجه به تحولات اخیر در فناوری‌های دیجیتال، شرکت‌ها به دنبال نوآوری در زنجیره تأمین سبز از طریق برنامه‌های کاربردی نوظهور مانند هوش مصنوعی، بلاکچین، اتوماسیون و رباتیک، تجزیه و تحلیل داده‌ها، محاسبات ابری و کوانتومی، چاپ سه بعدی و اینترنت اشیا هستند تا هزینه‌ها و کارایی خدمات را بهبود بخشند و عملکرد زنجیره تأمین و توسعه صنعت را ارتقا دهند (Queiroz et al., 2021). در میان ویژگی‌های مختلف فناوری، هوش دیجیتال به دلیل تأثیر عمیق آن بر پاسخگویی زنجیره تأمین و قابلیت‌های تصمیم‌گیری، توجه علمی فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است (J.-Y. Ma and Kang, 2025). این هوش امکان تصمیم‌گیری سریع‌تر، دقیق‌تر و پیشگیرانه را در محیط‌های زنجیره تأمین که به سرعت در حال تغییر هستند، فراهم می‌کند (Liu and Jiang, 2025). به این ترتیب، کل چرخه عمر طراحی و تولید محصول، زنجیره تأمین بالادستی و پایین دستی، بازیافت و سایر پیوندها، با هوش دیجیتال سبز مدیریت می‌شود. توسعه هوش دیجیتال سبز به یک انتخاب اجتناب‌ناپذیر برای شرکت‌ها تبدیل شده است تا بتوانند توسعه با کیفیت بالا داشته باشند و به اهداف کربن مضاعف دست یابند. در نهایت، ظهور فناوری‌های دیجیتال و هوشمند، راه‌حلی برای حل چالش‌های تحول سبز زنجیره تأمین ارائه می‌دهد و شرکت‌ها را قادر می‌سازد طراحی محصول و فرآیندهای خود را بهینه کنند (Ma, 2025). تشدید الزامات توسعه پایدار، افزایش فشارهای قانونی و انتظارات ذی‌نفعان موجب شده است که سازمان‌ها علاوه بر استقرار شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز، به بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال و سازوکارهای حکمرانی اثربخش نیز توجه ویژه‌ای داشته باشند. مطالعات نشان می‌دهند که فناوری‌های دیجیتال با افزایش شفافیت، بهبود تصمیم‌گیری و ارتقای هماهنگی میان اعضای زنجیره تأمین، نقش مهمی در تحقق اهداف پایداری ایفا می‌کنند، اما اثربخشی این فناوری‌ها تا حد زیادی به وجود سازوکارهای حکمرانی مناسب برای هدایت و مدیریت آنها وابسته است (Hong and Xiao, 2024; Winkelmann et al., 2024; Alkaraan et al., 2025). همچنین، توسعه هوش مصنوعی و فناوری‌های هوشمند، ظرفیت جدیدی برای بهبود عملکرد زنجیره‌های تأمین سبز ایجاد کرده است و ضرورت بررسی تعامل میان حکمرانی فناوری سبز و قابلیت‌های هوشمند دیجیتال را بیش از پیش آشکار می‌سازد (Ruan, 2024). با وجود پژوهش‌های متعدد در حوزه فناوری‌های سبز و هوش دیجیتال، بررسی تعامل بین حکمرانی فناوری سبز و هوش دیجیتال سبز در بهبود شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز هنوز محدود است. مطالعاتی مانند Kashmiri Haq و Bagheri (۲۰۲۵) بر نقش هوش مصنوعی و تحول دیجیتال بر

^۱World Environment Conference^۲Green Supply Chain

تاب‌آوری زنجیره تأمین تأکید دارند، اما نقش حکمرانی فناوری سبز و تأثیر تعدیلگری هوش دیجیتال سبز در این رابطه به‌طور مستقیم مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین، تحقیقات Keskin و همکاران (۲۰۲۵) و Jasrotia و همکاران (۲۰۲۴) اثر فناوری‌های نوآورانه مانند بلاکچین بر زنجیره تأمین سبز را نشان داده‌اند، ولی تعامل ساختارهای حکمرانی و ظرفیت‌های دیجیتال هوشمند در سازمان‌ها هنوز کم توجه بوده است. مطالعات Liu و Jiang (۲۰۲۵) و Abdullah و همکاران (۲۰۲۵) نقش هوش دیجیتال را به‌عنوان تعدیلگر بررسی کرده‌اند، اما به ترکیب آن با چارچوب حکمرانی فناوری سبز و تأثیر بر چهار بعد مدیریت زنجیره تأمین سبز (خرید سبز، طراحی سبز، همکاری محیط‌زیستی و لجستیک معکوس) پرداخته نشده است. بر این اساس، پژوهش حاضر با ارائه چارچوبی یکپارچه، به توسعه ادبیات حکمرانی فناوری سبز، هوش دیجیتال سبز و شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز کمک می‌کند. این پژوهش تعامل حکمرانی فناوری سبز، هوش دیجیتال سبز و شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز را در یک مدل مفهومی واحد تبیین و به‌صورت تجربی آزمون می‌کند. همچنین، با بررسی نقش تعدیلگر هوش دیجیتال سبز، شرایطی را تبیین می‌کند که در آن اثربخشی حکمرانی فناوری سبز در بهبود شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز تقویت می‌شود و بدین ترتیب، درک عمیق‌تری از سازوکارهای پیوند میان قابلیت‌های دیجیتال و سازوکارهای حکمرانی در ارتقای عملکردهای سبز سازمان ارائه می‌دهد. بنابراین، پژوهش حاضر با تمرکز بر این تعامل و استفاده از داده‌های میدانی در شهرستان‌های ارومیه و تبریز، تلاش می‌کند این شکاف علمی را پر کرده و چارچوبی عملی و نظری برای تقویت مدیریت زنجیره تأمین سبز ارائه دهد.

بر این اساس، پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به سؤالات زیر است: حکمرانی فناوری سبز چه تأثیری بر مدیریت زنجیره تأمین سبز دارد؟ هوش دیجیتال سبز چگونه این رابطه را تعدیل می‌کند؟

مبانی نظری و توسعه فرضیات

مدیریت زنجیره تأمین سبز: مدیریت زنجیره تأمین به هماهنگی و مدیریت شبکه‌ای پیچیده از فعالیت‌ها اشاره دارد که هدف آن تحویل محصول نهایی به کاربر نهایی یا مشتری است. این مفهوم به‌عنوان یکی از عملکردهای حیاتی کسب‌وکار شناخته می‌شود و شامل تأمین مواد اولیه و قطعات، تولید و مونتاژ محصولات، ذخیره‌سازی، ثبت و ردیابی سفارش‌ها، توزیع از طریق کانال‌های مختلف و در نهایت تحویل به مشتری است (Hervani et al., 2005). در سال‌های اخیر، به دلیل تشدید نگرانی‌های محیط‌زیستی، پیوند میان مدیریت محیط‌زیستی و مدیریت زنجیره تأمین به یک موضوع راهبردی تبدیل شده است، به گونه‌ای که ابعاد رقابتی و جهانی این دو حوزه دیگر نمی‌تواند توسط سازمان‌ها نادیده گرفته شود. در این راستا، مدیریت زنجیره تأمین سبز به‌عنوان یک فلسفه سازمانی مهم مطرح شده است که به شرکت‌ها امکان می‌دهد ضمن دستیابی به اهداف سودآوری و سهم بازار، از طریق کاهش ریسک‌ها و اثرات محیط‌زیستی، کارایی اکولوژیک خود و شرکای زنجیره تأمین را نیز بهبود بخشند (Zhu et al., 2008). Webb (۱۹۹۴) برای نخستین بار اصطلاح «زنجیره تأمین سبز» را مطرح کرد و بر اهمیت مسئولیت‌پذیری محیط‌زیستی شرکت‌ها، تأمین مواد اولیه مطابق با استانداردهای محیط‌زیستی و اجرای شیوه‌های بازیافت و استفاده مجدد تأکید نمود. در ادامه، در سال ۱۹۹۶، انجمن تحقیقات تولید دانشگاه ایالتی میشیگان، مفهوم زنجیره تأمین سبز را به‌طور رسمی تعریف کرد و اصول حفاظت از محیط‌زیست و صیانت از منابع را در فرآیندهای تدارکات، تولید، توزیع و فروش گنجانده. این رویکرد، یک سیستم حلقه‌بسته را شکل می‌دهد که شامل تأمین، لجستیک، مصرف و داده‌ها بوده و موجب تقویت چرخه سبز و توسعه پایدار می‌شود (Chin et al., 2015). در این پژوهش، چهار شیوه اصلی مدیریت زنجیره تأمین سبز مورد بررسی قرار گرفته است که شامل: الف) خرید سبز، ب) طراحی سازگار با محیط‌زیست، ج) همکاری محیط‌زیستی و د) لجستیک معکوس می‌باشند (Laosirihongthong et al., 2013; Younis et al., 2016).

خرید سبز به‌عنوان رویکردی در خرید تعریف می‌شود که بر آگاهی محیط‌زیستی و تأمین مواد اولیه‌ای تمرکز دارد که پایداری محیط‌زیستی را در اولویت قرار می‌دهند؛ از جمله کاهش ضایعات، ترویج بازیافت و استفاده مجدد، کاهش مصرف منابع و استفاده از مواد سازگار با محیط‌زیست (Min & Galle, 2001). خرید سبز تضمین می‌کند که مدیریت زنجیره تأمین، پایداری منابع مواد اولیه، کیفیت و تحویل را به‌طور همزمان مدنظر قرار دهد (Sugandini et al., 2020). طراحی سازگار با محیط‌زیست، که با عناوینی همچون طراحی برای محیط‌زیست یا طراحی سبز نیز شناخته می‌شود، به مجموعه اقداماتی اشاره دارد که در مرحله توسعه محصول انجام می‌شود و هدف آن، به حداقل رساندن اثرات محیط‌زیستی محصول در کل چرخه عمر آن، از تهیه مواد اولیه و تولید گرفته تا استفاده و دفع نهایی، بدون

قربانی کردن معیارهای اساسی محصول مانند عملکرد و هزینه است (Abdullah et al., 2019; Wungkana et al., 2023). همکاری زمانی به‌عنوان همکاری محیط‌زیستی تلقی می‌شود که صرف‌نظر از نیت طرفین، به کاهش اثرات محیط‌زیستی منجر شود. در این راستا، همکاری محیط‌زیستی میان شرکای زنجیره تأمین می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای دستیابی به عملیات پایدار در نظر گرفته شود (Singh et al., 2025). در این تحقیق، همکاری با تأمین‌کنندگان یا مشتریان تحت عنوان همکاری محیط‌زیستی مورد بررسی قرار می‌گیرد. لجستیک معکوس به فرآیند بازگشت یا پس‌گیری محصولات و مواد از نقطه مصرف به زنجیره تأمین رو به جلو اطلاق می‌شود که هدف آن بازیافت، استفاده مجدد، تولید مجدد، تعمیر، نوسازی یا دفع ایمن محصولات و مواد است (Younis et al., 2016).

در مجموع، مؤلفه‌های اصلی مدیریت زنجیره تأمین سبز شامل خرید سبز، مواد سبز، تولید سبز، بازیافت سبز، حمل‌ونقل سبز و مصرف سبز می‌باشند (Lotfi et al., 2017). این مدل مبتنی بر نظریه تولید سبز و فناوری مدیریت زنجیره تأمین است و هدف آن این است که کل چرخه عمر محصول، از تأمین مواد اولیه و فرآوری گرفته تا بسته‌بندی، ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل، استفاده و دفع نهایی، کمترین اثر منفی را بر محیط‌زیست داشته و در عین حال، بالاترین بهره‌وری منابع را فراهم آورد (Shi et al., 2022).

حکمرانی فناوری سبز: حکمرانی به‌عنوان مجموعه‌ای از ترتیبات نهادی، قواعد و سازوکارهای هماهنگ‌کننده، با هدف مدیریت تعارض منافع میان ذی‌نفعان و تسهیل تصمیم‌گیری و اقدام جمعی شکل می‌گیرد (Li et al., 2016). با وجود آنکه پژوهشگران به‌تدریج به این جمع‌بندی رسیده‌اند که الگوهای توسعه مبتنی بر بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی، یکی از مهم‌ترین موانع تحقق توسعه پایدار است، توجه به نقش حکمرانی در ایجاد تعادل میان نیازهای توسعه اقتصادی و الزامات حفاظت از محیط‌زیست همچنان محدود بوده است. از این‌رو، حکمرانی با فراهم کردن سازوکارهای نهادی و هماهنگی میان ذی‌نفعان، می‌تواند زمینه هم‌سویی اهداف اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی را فراهم سازد (Li et al., 2018). در همین راستا، مفهوم حکمرانی فناوری به‌عنوان یکی از ابعاد تخصصی حکمرانی مطرح شده است که بر هدایت و تنظیم تصمیمات مرتبط با توسعه، انتشار و به‌کارگیری فناوری‌ها تمرکز دارد. براساس گزارش سازمان همکاری و توسعه اقتصادی^۳ (۲۰۱۵)، حکمرانی فناوری به مجموعه‌ای از سیاست‌ها، ساختارها و سازوکارهای نهادی اطلاق می‌شود که تصمیمات مرتبط با توسعه، انتشار و به‌کارگیری فناوری‌ها را هدایت و تنظیم می‌کند. در این چارچوب، حکمرانی فناوری با ایجاد سازوکارهای مناسب برای سیاست‌گذاری، نظارت و هماهنگی، تلاش می‌کند توسعه و به‌کارگیری فناوری را با اهداف راهبردی و الزامات توسعه پایدار همسو سازد (Paic and Viros, 2019).

فناوری سبز به مجموعه‌ای از فرآیندها، محصولات و خدماتی اطلاق می‌شود که با هدف کاهش اثرات منفی محیط‌زیستی، ارتقای بهره‌وری انرژی و منابع، کاهش انتشار آلاینده‌ها و حفاظت از سلامت انسان و کیفیت اکوسیستم توسعه می‌یابند. این فناوری‌ها با تکیه بر استفاده کارآمد از منابع، انرژی‌های تجدیدپذیر و راهکارهای نوآورانه، نقش مهمی در کاهش شدت کربن، مدیریت پایدار پسماند و تحقق اهداف توسعه پایدار ایفا می‌کنند. از این‌رو، توسعه و به‌کارگیری فناوری‌های سبز به‌عنوان یکی از ابزارهای کلیدی برای دستیابی به رشد اقتصادی پایدار و حفاظت از محیط‌زیست شناخته می‌شود (Pan et al., 2019). گسترش فناوری‌های سبز، ضرورت استقرار سازوکارهای مؤثر حکمرانی فناوری سبز را بیش از پیش آشکار ساخته است (Xu et al., 2023; Handayani et al., 2025). براساس تعاریف ارائه‌شده در ادبیات، در این پژوهش حکمرانی فناوری سبز به چارچوبی نهادی و راهبردی اطلاق می‌شود که از طریق سیاست‌گذاری، تنظیم مقررات، هماهنگی میان ذی‌نفعان، تخصیص منابع و نظارت بر توسعه و به‌کارگیری فناوری‌های سبز، تحقق اهداف توسعه پایدار را تسهیل می‌کند. در این چارچوب، تمرکز حکمرانی فناوری سبز نه بر خود فناوری، بلکه بر هدایت و مدیریت فرآیندهای تصمیم‌گیری مرتبط با توسعه، استقرار و بهره‌برداری از فناوری‌های سبز است؛ به‌گونه‌ای که میان اهداف اقتصادی، الزامات محیط‌زیستی و مسئولیت‌های اجتماعی سازمان تعادل برقرار شود. از این‌رو، حکمرانی فناوری سبز را می‌توان سازوکاری دانست که با ایجاد بسترهای نهادی و مدیریتی مناسب، زمینه بهره‌گیری اثربخش از فناوری‌های سبز و تحقق عملکرد پایدار سازمان را فراهم می‌سازد (Li et al., 2018; Paic and Viros, 2019). در همین راستا، پژوهش‌های انجام‌شده بیانگر آن است که توسعه و به‌کارگیری فناوری‌های سبز می‌تواند از طریق افزایش بهره‌وری منابع، کاهش انتشار آلاینده‌ها و بهبود عملکرد محیط‌زیستی، مزیت رقابتی و عملکرد پایدار سازمان‌ها را تقویت کند (Xu et al., 2023; Handayani et al., 2025). از سوی دیگر، تحقیقات انجام‌شده در حوزه مدیریت زنجیره تأمین نشان می‌دهد که به‌کارگیری فناوری‌های سبز و توسعه قابلیت‌های فناورانه، اجرای مؤثرتر شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز، از جمله خرید سبز، طراحی سبز،

³Organization for Economic Cooperation and Development

همکاری محیط‌زیستی و لجستیک معکوس را تسهیل می‌کند (Keskin et al., 2025) و در نهایت به بهبود عملکرد زنجیره تأمین و انطباق بیشتر سازمان با الزامات محیط‌زیستی منجر می‌شود (Shi et al., 2022; Nassani et al., 2023). بر این اساس، انتظار می‌رود حکمرانی فناوری سبز، با ایجاد بسترهای نهادی و مدیریتی مناسب برای توسعه و استقرار فناوری‌های سبز، زمینه ارتقای شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز را فراهم سازد. با وجود این، میزان اثربخشی حکمرانی فناوری سبز در همه سازمان‌ها یکسان نیست و می‌تواند تحت تأثیر سطح قابلیت‌های دیجیتال آن‌ها قرار گیرد. در این میان، هوش دیجیتال سبز با فراهم کردن امکان تحلیل داده‌های محیط‌زیستی، تصمیم‌گیری هوشمند، پیش‌بینی تغییرات و بهینه‌سازی مصرف منابع، سازمان‌ها را در اجرای اثربخش‌تر سیاست‌ها و تصمیمات مرتبط با حکمرانی فناوری سبز یاری می‌دهد (Jiang, 2025; Ma, 2025). از این رو، انتظار می‌رود هوش دیجیتال سبز، رابطه میان حکمرانی فناوری سبز و شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز را تقویت کرده و نقش تعدیل‌گر در این رابطه ایفا کند (Long et al., 2023).

براساس مبانی نظری فوق فرضیات زیر مطرح می‌گردد:

فرضیه اول: حکمرانی فناوری سبز بر خرید سبز اثر مثبت و معنی‌داری دارد.

فرضیه دوم: حکمرانی فناوری سبز بر طراحی سازگار با محیط‌زیست اثر مثبت و معنی‌داری دارد.

فرضیه سوم: حکمرانی فناوری سبز بر همکاری با محیط‌زیست اثر مثبت و معنی‌داری دارد.

فرضیه چهارم: حکمرانی فناوری سبز بر لجستیک معکوس اثر مثبت و معنی‌داری دارد.

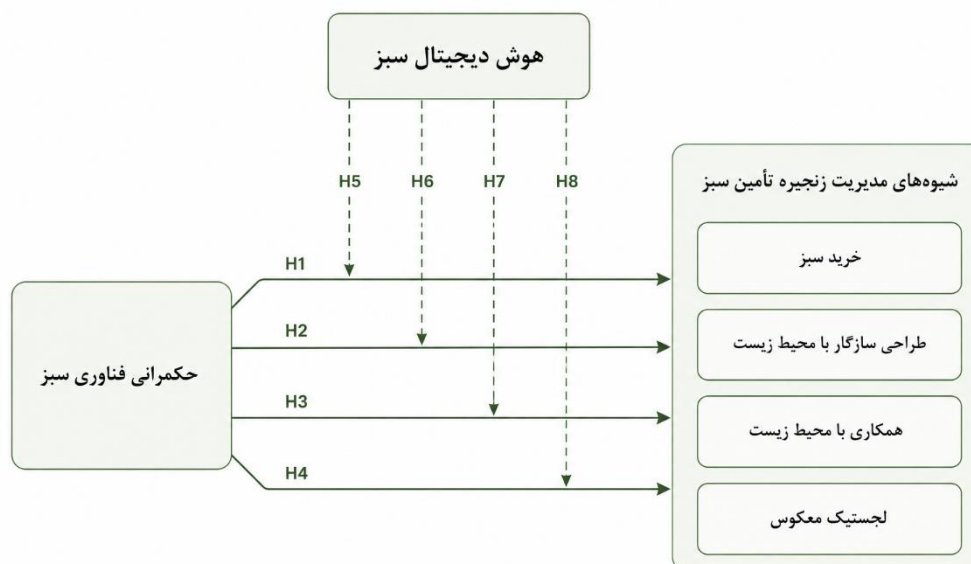
هوش دیجیتال سبز: به مجموعه‌ای از شایستگی‌های فنی، شناختی، فراشناختی و اجتماعی-هیجانی مبتنی بر ارزش‌های اخلاقی اطلاق می‌شود که افراد را قادر می‌سازد از فناوری‌های دیجیتال به‌صورت مسئولانه، ایمن و اثربخش استفاده کرده و با الزامات و چالش‌های زندگی در محیط دیجیتال سازگار شوند (Avci and Adiguzel, 2020). با وجود اهمیت این دیدگاه، مفهوم هوش دیجیتال در مطالعات اولیه عمدتاً در سطح فردی تعریف شده است. با این حال، در پژوهش حاضر، واحد تحلیل سازمان است؛ از این رو، تبیین نقش هوش دیجیتال مستلزم بازتعریف آن در سطح سازمانی است.

براساس نظریه قابلیت‌های پویا، سازمان‌ها با توسعه و بازیگربندی مستمر منابع و قابلیت‌های خود می‌توانند به تغییرات محیطی پاسخ داده و مزیت رقابتی پایدار ایجاد کنند (Teece et al., 1997). در راستای این نظریه، پژوهش‌های حوزه تحول دیجیتال نشان می‌دهند که موفقیت سازمان‌ها در تحول دیجیتال به برخورداری از مجموعه‌ای از قابلیت‌های سازمانی شامل زیرساخت‌های دیجیتال، توانمندی‌های مدیریتی، یادگیری سازمانی و توانایی بهره‌برداری از فناوری‌های دیجیتال وابسته است (Konopik et al., 2022). همچنین، در چارچوب تحول دیجیتال پایدار، توسعه قابلیت‌های دیجیتال به سازمان‌ها امکان می‌دهد منابع، داده‌ها و فناوری‌های دیجیتال را در راستای تحقق اهداف اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی یکپارچه سازند (Feroz et al., 2023). از سوی دیگر، مطالعات اخیر نشان داده‌اند که قابلیت‌های دیجیتال سازمانی، از طریق تسهیل یادگیری سبز و نوآوری مشارکتی، نقش مهمی در ارتقای عملکردهای محیط‌زیستی و توسعه نوآوری سبز ایفا می‌کنند (Jasrotia et al., 2024; Xie and Wang, 2025). بر این اساس، با توجه به فقدان تعریف واحد از هوش دیجیتال سبز در ادبیات، پژوهش حاضر با تلفیق ادبیات هوش دیجیتال، قابلیت‌های دیجیتال سازمانی و تحول دیجیتال پایدار، هوش دیجیتال سبز را به‌عنوان قابلیت سازمان در بهره‌گیری یکپارچه از فناوری‌های دیجیتال، تحلیل داده‌ها، زیرساخت‌های هوشمند و شایستگی‌های مدیریتی به‌منظور تصمیم‌گیری مؤثر، بهینه‌سازی فرآیندها و تحقق اهداف محیط‌زیستی در زنجیره تأمین مفهوم‌سازی می‌کند. در همین راستا، برخورداری از هوش دیجیتال سبز، سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا از طریق بهره‌گیری از تحلیل داده‌ها، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و سایر فناوری‌های دیجیتال، فرآیندهای تولید و زنجیره تأمین را به‌صورت هوشمند مدیریت کرده و تصمیمات محیط‌زیستی را با دقت و سرعت بیشتری اتخاذ کنند. این قابلیت با بهینه‌سازی مصرف انرژی و منابع، کاهش ضایعات، برنامه‌ریزی هوشمند تولید و ارتقای بهره‌وری عملیاتی، زمینه تحقق اهداف توسعه پایدار را فراهم می‌سازد (Ma, 2025). مطالعات تجربی نیز نشان داده‌اند که به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند و قابلیت‌های دیجیتال، عملکردهای کلیدی زنجیره تأمین از جمله پیش‌بینی تقاضا، برنامه‌ریزی موجودی، بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل و تخصیص منابع را بهبود می‌بخشد (Long et al., 2023). همچنین، Abdullah و همکاران (۲۰۱۹) نشان

دادند که ادغام هوش مصنوعی و فناوری‌های دیجیتال، اجرای شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز را بهبود داده و موجب افزایش کارایی فرایندها و بهره‌وری منابع می‌شود. در همین راستا، Bagheri Qarabolagh و Keshmiri Haq (۲۰۲۵) نیز گزارش کردند که به‌کارگیری هوش مصنوعی نقش مؤثری در ارتقای عملکرد مدیریت زنجیره تأمین و افزایش تاب‌آوری آن دارد. از سوی دیگر، Jiang و Liu (۲۰۲۵) نشان دادند که هوش دیجیتال می‌تواند نقش تعدیل‌گر میان شیوه‌های مدیریتی و عملکرد سازمان را ایفا کند؛ به‌گونه‌ای که هرچه سطح هوش دیجیتال سازمان بالاتر باشد، اثربخشی اقدامات مدیریتی نیز افزایش می‌یابد. با اتکا به این مبانی نظری، انتظار می‌رود هوش دیجیتال سبز نیز با تقویت قابلیت‌های تحلیلی، افزایش شفافیت اطلاعات، تسهیل تصمیم‌گیری هوشمند و بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع، اثربخشی حکمرانی فناوری سبز را در بهبود شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز تقویت کند. براساس مطالب فوق فرضیات زیر مطرح می‌گردد:

فرضیه پنجم: هوش دیجیتال سبز بین رابطه حکمرانی فناوری سبز با خرید سبز اثر تعدیل‌گری دارد.
فرضیه ششم: هوش دیجیتال سبز بین رابطه حکمرانی فناوری سبز با طراحی سازگار با محیط‌زیست اثر تعدیل‌گری دارد.
فرضیه هفتم: هوش دیجیتال سبز بین رابطه حکمرانی فناوری سبز با همکاری محیط‌زیست اثر تعدیل‌گری دارد.
فرضیه هشتم: هوش دیجیتال سبز بین رابطه حکمرانی فناوری سبز با لجستیک معکوس اثر تعدیل‌گری دارد.

مدل مفهومی



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش (پژوهش یافته)

Figure 1. Research conceptual framework (research findings)

روش‌شناسی پژوهش

جمع‌آوری داده‌ها و حجم نمونه: پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از حیث ماهیت و روش اجرا، توصیفی-پیمایشی است. در این پژوهش به‌منظور گردآوری داده‌ها از ترکیب مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی استفاده شده است؛ به‌گونه‌ای که در مرحله مطالعات کتابخانه‌ای، مبانی نظری و پیشینه پژوهش از منابع علمی معتبر استخراج گردید و در مرحله میدانی، داده‌های مورد نیاز از طریق پرسشنامه استاندارد جمع‌آوری شد. جامعه آماری پژوهش شامل مدیران شرکت‌های تولیدی محصولات سبز در شهرهای ارومیه و تبریز است؛ به‌طوری‌که ۳۰ شرکت تولیدی محصولات سبز در شهر ارومیه و ۴۰ شرکت تولیدی محصولات سبز در شهر تبریز به استناد از سازمان محیط‌زیست و سازمان صمت شهرستان ارومیه و تبریز، به‌عنوان نمونه آماری شناسایی شدند. براساس جدول مورگان، حجم نمونه مورد نیاز ۵۹ شرکت تولیدی تعیین گردید. به‌منظور افزایش دقت و کاهش سوگیری پاسخ‌ها، از هر شرکت دو نفر از مدیران آگاه نسبت به فعالیت‌های زنجیره تأمین و فناوری‌های سازمانی به‌عنوان پاسخ‌دهنده انتخاب شدند. در مجموع، ۱۱۸ پرسشنامه از ۵۹ شرکت گردآوری

شد. پس از بررسی کامل بودن و کیفیت پاسخها، داده‌های مربوط به دو مدیر هر شرکت با استفاده از میانگین‌گیری تجمیع شد و برای هر شرکت یک مشاهده نهایی در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد که نتایج طبق جدول ۱ نشان می‌دهد که به غیر از طراحی سازگار با محیط‌زیست و حکمرانی فناوری سبز داده‌ها غیر نرمال می‌باشد. همچنین، سنجش پایایی ابزار گردآوری داده‌ها، از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد که نتایج آن طبق جدول ۲ نشان داد تمامی سازه‌های پژوهش دارای ضرایب بالاتر از ۰/۷ هستند و از پایایی قابل قبولی برخوردارند. داده‌های گردآوری شده پس از کدگذاری اولیه، در قالب فایل با فرمت سازگار ذخیره شده و برای تحلیل‌های آماری مورد استفاده قرار گرفتند. به‌منظور بررسی کفایت حجم نمونه برای انجام تحلیل عاملی، از شاخص کایزر-مایر-اولکین (KMO) و آزمون بارتلت استفاده شد. نتایج نشان داد مقدار شاخص KMO برابر با ۰/۸۵۹ بوده و سطح معنی‌داری آزمون بارتلت کمتر از ۰/۰۵ است که این نتایج، کفایت مناسب حجم نمونه و امکان انجام تحلیل‌های عاملی را تأیید می‌کند. در نهایت، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SPSS23 و Smart-PLS4 انجام شد.

جدول ۱- آزمون نرمال بودن داده‌ها
Table 1. Normality test of the data

نتیجه	تأیید فرض	مقدار خطا	سطح معنی‌داری	متغیر
نرمال	H ₀	0.05	0.166	طراحی سازگار با محیط زیست
غیرنرمال	H ₁	0.05	0.014	خرید سبز
غیرنرمال	H ₂	0.05	0.032	همکاری محیط‌زیستی
غیرنرمال	H ₃	0.05	0.034	لجستیک معکوس
نرمال	H ₄	0.05	0.079	حکمرانی فناوری سبز
غیرنرمال	H ₅	0.05	0.000	هوش دیجیتال سبز

تحلیل داده‌ها: برای تحلیل و ارزیابی مدل معادلات ساختاری، از روش حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM) استفاده شد. این تحلیل با نرم‌افزار SmartPLS در دو مرحله انجام گرفت: مدل اندازه‌گیری و مدل ساختاری. رعایت این توالی تضمین می‌کند که پیش از بررسی روابط بین سازه‌ها، اعتبار و پایایی سازه‌ها به‌طور کامل مورد سنجش قرار گیرد. روش SEM به‌ویژه برای مطالعات با رویکرد توسعه نظریه اکتشافی و شناسایی محرک‌های مؤثر بر سازه‌ها مناسب است. نتایج آمار توصیفی نشان داد که ۲۸/۸۱ درصد از پاسخگویان زن و ۷۱/۱۸ درصد مرد بودند. از نظر شهر، ۴۳ درصد مدیران تولیدی شهر تبریز و ۴۸ درصد به شهر ارومیه اختصاص داشت. همچنین، ۴۲/۳۷ درصد پاسخ‌دهندگان مدیر عامل، ۲۰/۳۳ درصد مدیر بازاریابی، ۲۴/۵۷ درصد مدیر تولید و ۱۲/۷۱ درصد مدیر فناوری اطلاعات بودند. برای ارزیابی برازش مدل اندازه‌گیری و مدل ساختاری، شاخص‌هایی مانند میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE)، پایایی ترکیبی (CR)، آلفای کرونباخ (α)، ضریب تعیین (R^2) و فورنل-لارکر محاسبه شد. نتایج این تحلیل‌ها در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. به‌طور مشخص، بارهای عاملی برای تمامی آیتم‌ها بالاتر از ۰/۴، پایایی ترکیبی بیشتر از ۰/۷ و میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE) بیش از ۰/۵ است، همچنین، نتایج جدول ۳ فورنل-لارکر نشان می‌دهد روایی و اگرایی سازه‌های پژوهش تأیید شده است؛ زیرا مقدار جذر AVE هر سازه از ضرایب همبستگی آن با سایر سازه‌ها بیشتر است. بنابراین، پایایی و روایی مدل مورد پذیرش می‌باشد.

جدول ۲- ساختار و اندازه‌گیری آیتم‌ها
Table 2. Structure and measurement of items

نقشه	گویه	λ	AVE	CR	α
شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز	طراحی سازگار با محیط زیست	-	0.654	0.846	0.822
	محصولات شرکت به گونه‌ای طراحی می‌شوند که مصرف مواد اولیه و انرژی در آنها کاهش یابد.	0.892			
	در طراحی محصولات، امکان استفاده مجدد، بازیافت و بازیابی مواد و قطعات در نظر گرفته می‌شود.	0.799			
	در فرایند طراحی محصولات، استفاده از مواد خطرناک و آلاینده به حداقل می‌رسد.	0.716			
	فرآیندهای تولید به گونه‌ای طراحی می‌شوند که میزان ضایعات و پسماند کاهش یابد.	0.818			
	خرید سبز	-	0.650	0.869	0.865
	شرکت، مشخصات طراحی محصولات را به تأمین کنندگان ارائه می‌دهد که شامل الزامات محیط‌زیستی برای اقلام خریداری شده است.	0.749			
	شرکت، ممیزی‌ها و ارزیابی‌های محیط‌زیستی از سیستم‌های مدیریتی تأمین کنندگان انجام می‌دهد.	0.848			
	عملکرد محیط‌زیستی تأمین کنندگان سطح دوم (تأمین کنندگان تأمین کنندگان) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.	0.805			
	انتخاب تأمین کنندگان شرکت بر اساس معیارهای محیط‌زیستی انجام می‌شود.	0.794			
	از تأمین کنندگان خواسته می‌شود از بسته‌بندی‌های سازگار با محیط‌زیست (قابل تجزیه و غیرخطرناک) استفاده کنند.	0.834			
	همکاری محیط‌زیستی	-	0.659	0.930	0.926
	شرکت با تأمین کنندگان و مشتریان در زمینه طراحی سازگار با محیط‌زیست همکاری می‌کند.	0.817			
	شرکت با تأمین کنندگان و مشتریان برای اجرای تولید پاک و کاهش آلودگی همکاری دارد.	0.826			
حکمرانی فناوری سبز	همکاری محیط‌زیستی با شرکای زنجیره تأمین در زمینه بسته‌بندی سبز انجام می‌شود.	0.725			
	شرکت با تأمین کنندگان و مشتریان برای کاهش مصرف انرژی در حمل‌ونقل محصولات همکاری می‌کند.	0.815			
	در زنجیره تأمین، درک مشتری از مسئولیت‌ها در قبال عملکرد محیط‌زیستی وجود دارد.	0.817			
	اعضای زنجیره تأمین برای کاهش اثرات محیط‌زیستی فعالیت‌ها به صورت مشترک اقدام می‌کنند.	0.778			
	برنامه‌ریزی مشترک با سایر اعضای زنجیره تأمین برای پیش‌بینی و حل مسائل محیط‌زیستی انجام می‌شود.	0.857			
	تصمیم‌گیری‌های مشترک با سایر اعضای زنجیره تأمین برای کاهش اثرات محیط‌زیستی کلی محصولات صورت می‌گیرد.	0.849			
	لجستیک معکوس	-	0.721	0.817	0.805
	شرکت از فرآیندهای بازتولید (Remanufacturing) در محصولات خود استفاده می‌کند.	0.799			
	شرکت، محصولات پایان عمر خود را از بازار جمع‌آوری و بازیابی می‌کند.	0.716			
	شرکت، بسته‌بندی‌های مصرف‌شده محصولات را از مشتریان بازپس می‌گیرد.	0.818			
	حکمرانی فناوری سبز	-	0.580	0.831	0.818
	سیاست‌ها و رویه‌های فناوری اطلاعات در شرکت، استفاده از فناوری‌های دوستدار محیط‌زیست را هدایت می‌کنند.	0.744			
	فناوری‌های دیجیتال در شرکت ما به طور مؤثری از تصمیم‌گیری‌های مرتبط با پایداری محیط‌زیستی پشتیبانی می‌کنند.	0.745			
	رضایت مدیران از فناوری اطلاعات زمانی افزایش می‌یابد که این فناوری‌ها به کاهش اثرات محیط‌زیستی کمک کنند	0.738			
هوش دیجیتال سبز	حکمرانی فناوری اطلاعات در شرکت، اجرای شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز را تسهیل می‌کند.	0.685			
	عملکرد حکمرانی فناوری اطلاعات در شرکت، با اهداف توسعه پایدار و حفاظت از محیط‌زیست همسو است.	0.882			
	هوش دیجیتال سبز	-	0.636	0.870	0.858
	شرکت از فناوری‌های هوشمند برای کنترل و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید با رویکرد محیط‌زیستی استفاده می‌کند.	0.739			
	شرکت از فناوری‌های هوشمند برای تحلیل داده‌ها و پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی سبز بهره می‌برد.	0.847			
	فناوری‌های هوشمند برای برنامه‌ریزی و تخصیص بهینه منابع با هدف کاهش مصرف انرژی و منابع به کار گرفته می‌شوند.	0.821			
هوش دیجیتال سبز	شرکت از فناوری‌های هوشمند برای پایش و کنترل موجودی‌ها به منظور کاهش ضایعات استفاده می‌کند.	0.772			
	فناوری‌های هوشمند به شرکت کمک می‌کنند هزینه‌ها و مصرف منابع را دقیق‌تر برآورد و کنترل کنند.	0.804			

جدول ۳. فورنل-لارکر

Table 3. Fornell-Larcker

متغیر	همکاری محیط‌زیستی	طراحی سازگار با محیط زیست	هوش دیجیتال سبز	خرید سبز	حکمرانی فناوری سبز	لجستیک معکوس
همکاری محیط‌زیستی	0.811					
طراحی سازگار	0.766	0.809				
هوش دیجیتال سبز	0.635	0.681	0.797			
خرید سبز	0.615	0.656	0.784	0.807		
حکمرانی فناوری سبز	0.671	0.567	0.562	0.682	0.761	
لجستیک معکوس	0.770	0.748	0.643	0.662	0.634	0.849

یافته‌های پژوهش

برآورد مدل ساختاری: مدل ساختاری این پژوهش از طریق ضریب تعیین (R^2)، توان پیش‌بینی (Q^2)، آزمون نیکویی برازش کلی (GOF) و بررسی فرضیه‌ها ارزیابی شد. مقادیر R^2 به‌دست‌آمده برای سازه‌های درون‌زا نشان می‌دهد که مدل پژوهش، ۷۲ درصد از خرید سبز، ۵۲ درصد از طراحی سازگار با محیط‌زیست، ۵۸ درصد از لجستیک معکوس و ۵۶ درصد از همکاری محیط‌زیست را تبیین می‌کند. همچنین، مقادیر Q^2 نشان می‌دهد که مدل دارای توان پیش‌بینی کافی است، زیرا این مقادیر بالاتر از آستانه تعیین‌شده قرار دارند. شاخص GOF در مدل PLS ابزاری برای بررسی برازش کلی مدل است و مقادیر آن بین صفر تا یک در نظر گرفته می‌شوند؛ مقادیر نزدیک به یک نشان‌دهنده کیفیت مناسب مدل است. این شاخص توانایی مدل را در پیش‌بینی سازه‌های درون‌زا ارزیابی می‌کند و نشان می‌دهد که مدل در توضیح و پیش‌بینی متغیرهای مکنون موفق بوده است. برای سنجش اعتبار مدل‌های PLS، مقادیر ۰٫۱، ۰٫۳ و ۰٫۵ به‌ترتیب به‌عنوان ضعیف، قوی و متوسط در نظر گرفته می‌شوند. مقدار GOF به‌دست‌آمده در جدول ۴ که عدد ۰/۶۲۵ می‌باشد، نشان‌دهنده برازش مناسب مدل را تأیید می‌کند. همچنین، با توجه به اینکه تمامی مقادیر Q^2 بزرگ‌تر از صفر بوده و در دامنه ۰/۳۰۹ تا ۰/۴۲۸ قرار دارند، مدل پژوهش از قدرت پیش‌بینی مناسب برخوردار است. نتایج شاخص اندازه اثر (f^2) نشان داد که اثر حکمرانی فناوری سبز بر همکاری با محیط‌زیست ۰/۳۷۵، خرید سبز ۰/۳۹۹ و لجستیک معکوس ۰/۳۵۱ و بر طراحی سازگار با محیط‌زیست ۰/۱۳۱ است. این نتایج بیانگر آن است که حکمرانی فناوری سبز نقش قابل‌توجهی در تبیین بیشتر ابعاد مدیریت زنجیره تأمین سبز، به‌ویژه خرید سبز، همکاری با محیط زیست و لجستیک معکوس، ایفا می‌کند.

جدول ۴- بررسی برازش مدل

Table 4. Assessment of Model Fit

متغیرها	طراحی با سازگار محیط زیست	خرید سبز	همکاری محیط‌زیستی	لجستیک معکوس	حکمرانی فناوری سبز	هوش دیجیتال سبز	میانگین
ضریب تعیین	0.529	0.729	0.567	0.580	-	-	0.601
Q^2	0.309	0.428	0.335	0.351	-	-	-
مقادیر اشتراکی	0.654	0.650	0.659	0.721	0.580	0.636	0.650

$$GOF = \sqrt{Communality \times R^2} = \sqrt{0/650 \times 0/582} = 0/625$$

با توجه به اینکه داده‌های پژوهش از طریق پرسشنامه خودگزارشی و در یک مقطع زمانی گردآوری شدند، احتمال بروز سوگیری روش مشترک با استفاده از شاخص ضریب تورم واریانس (Full Collinearity VIF) بررسی شد. براساس معیار پیشنهادی Kock (۲۰۱۵)، چنانچه مقادیر VIF کمتر از ۳/۳ باشند، می‌توان نتیجه گرفت که سوگیری روش مشترک مشکل جدی برای پژوهش ایجاد نکرده است. نتایج این پژوهش نشان داد تمامی مقادیر ضریب تورم واریانس کمتر از ۳/۳ بوده و بنابراین، احتمال بروز سوگیری روش مشترک در داده‌ها تأیید نشد (Kock, 2015).

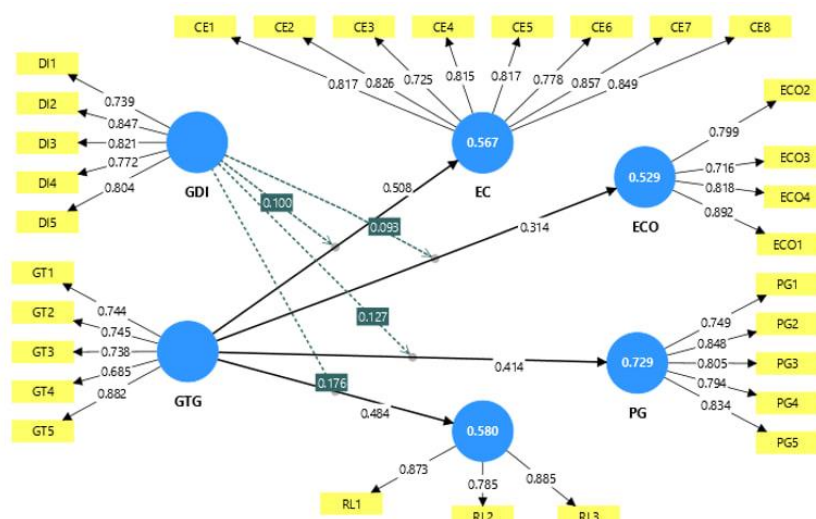
جدول ۵- ضریب تورم واریانس

Table 5. Variance inflation factor

VIF	گویه	VIF	گویه
3.083	EC7	2.436	ECO1
2.965	EC8	2.160	ECO2
2.079	RL1	1.683	ECO3
1.485	RL2	2.495	ECO4
2.020	RL3	1.657	PG1
1.896	GTG1	2.574	PG2
1.695	GTG2	1.932	PG3
2.010	GTG3	2.011	PG4
1.671	GTG4	2.410	PG5
2.806	GTG5	2.579	EC1
2.162	GDI1	2.767	EC2
2.330	GDI2	2.201	EC3
2.124	GDI3	2.955	EC4
2.113	GDI4	2.698	EC5
2.274	GDI5	2.201	EC6

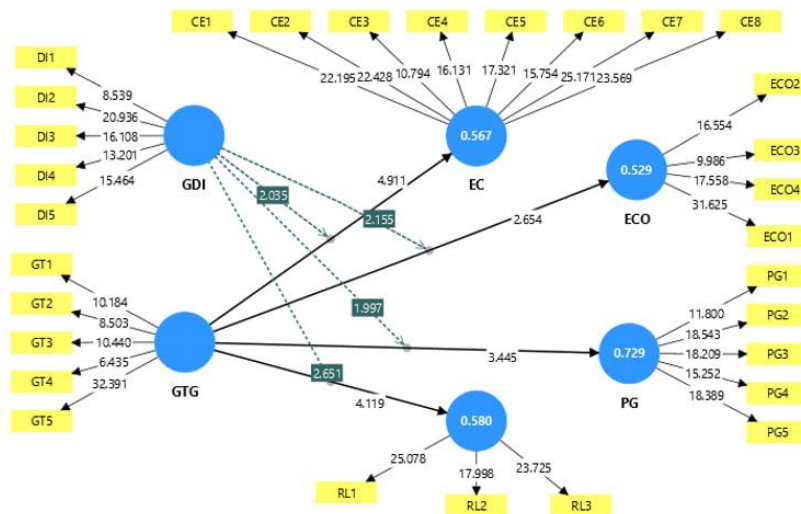
خروجی نرم‌افزار SmartPLS ضریب مسیر، ضریب تعیین و بارهای عاملی متغیرها را نشان می‌دهد و مقادیر T-value برای آزمون فرضیه‌ها ارائه شده است. در سطح اطمینان ۹۵٪، مقادیر T بیشتر ۱/۹۶ نشان‌دهنده ارتباط مستقیم معنی‌دار بین متغیرهاست. نتایج آزمون فرضیه‌ها در جدول ۴ ارائه شده و روش بوت‌استرپینگ برای تأیید اعتبار ضریب بتا و آماره T به کار گرفته شد.

به منظور تفسیر دقیق‌تر اثرات تعدیل‌گر، نمودارهای اثر تعاملی (Simple Slope) برای هر چهار رابطه تعدیل‌شده در نرم‌افزار SmartPLS ترسیم شد. نتایج آزمون مدل ساختاری نشان داد که تمامی اثرات تعاملی از نظر آماری معنی‌دار بوده‌اند و ضرایب مسیر نیز مثبت بوده است؛ بنابراین، نقش تعدیل‌گر هوش دیجیتال سبز در هر چهار رابطه مورد تأیید قرار گرفت. همچنین، بررسی نمودارهای شیب ساده نشان می‌دهد که در تمامی روابط، خطوط دارای شیب مثبت و صعودی هستند؛ به گونه‌ای که با افزایش سطح هوش دیجیتال سبز، اثر مثبت حکمرانی فناوری سبز بر ابعاد مدیریت زنجیره تأمین سبز تقویت می‌شود.



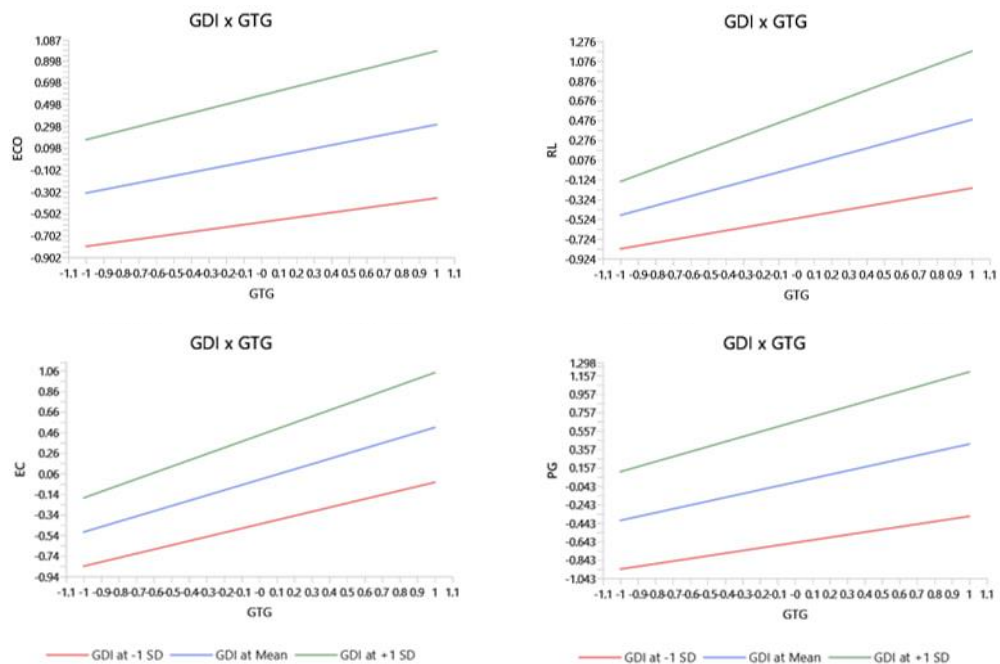
شکل ۲. ضرایب مسیر و بارهای عاملی مدل تحقیق

Figure 2. Path coefficients and factor loadings



شکل ۳- مدل معادلات ساختاری در ضریب معنی‌داری

Figure 3. Structural equation modeling: significance coefficients



شکل ۴- نمودار اثر تعاملی

Figure 4. Simple slope plot

جدول ۶- نتایج تجزیه و تحلیل

Table 6. Results of data analysis

نتیجه	P-value	T-value	β	مسیر
تایید	0.001	3.445	0.414	حکمرانی فناوری سبز بر خرید سبز
تایید	0.008	2.654	0.314	زیست‌حکمرانی فناوری سبز بر طراحی سازگار با محیط
تایید	0.000	4.911	0.508	زیستی‌حکمرانی فناوری سبز بر همکاری محیط
تایید	0.001	4.119	0.484	حکمرانی فناوری سبز بر لجستیک معکوس
تایید	0.047	1.997	0.127	گری هوش دیجیتال سبز در رابطه بین حکمرانی فناوری سبز بر خرید سبز نقش تعدیل
تایید	0.032	2.155	0.093	گری هوش دیجیتال سبز در رابطه بین حکمرانی فناوری سبز بر طراحی سازگار نقش تعدیل
تایید	0.043	2.035	0.100	زیستی‌گری هوش دیجیتال سبز در رابطه بین حکمرانی فناوری سبز بر همکاری محیط نقش تعدیل
تایید	0.008	2.651	0.176	گری هوش دیجیتال سبز در رابطه بین حکمرانی فناوری سبز بر لجستیک معکوس نقش تعدیل

بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج پژوهش نشان داد که حکمرانی فناوری سبز تأثیر مثبت و معنی‌داری بر تمامی ابعاد مدیریت زنجیره تأمین سبز شامل خرید سبز، طراحی سازگار با محیط‌زیست، همکاری محیط‌زیستی و لجستیک معکوس دارد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های پیشین از جمله Keskin و همکاران (۲۰۲۵)، Jasorita و همکاران (۲۰۲۴) و Wang و همکاران (۲۰۲۱) همسو است و بیانگر آن است که وجود سازوکارهای شفاف حکمرانی فناوری سبز، از طریق سیاست‌گذاری، استانداردسازی و هدایت تصمیمات مدیریتی، سازمان‌ها را به سمت به‌کارگیری مؤثر فناوری‌های دوستدار محیط‌زیست سوق می‌دهد. در این چارچوب، حکمرانی فناوری سبز به‌عنوان یک رویکرد راهبردی، امکان هم‌راستاسازی تصمیمات مربوط به تأمین، طراحی محصول، همکاری‌های بین‌سازمانی و مدیریت جریان‌های معکوس را با اهداف محیط‌زیستی فراهم می‌سازد. همچنین نتایج آزمون فرضیه‌های تعدیل‌گر نشان داد که هوش دیجیتال سبز نقش تعدیل‌گری مثبت و معنی‌داری در رابطه بین حکمرانی فناوری سبز و ابعاد مدیریت زنجیره تأمین سبز ایفا می‌کند؛ به‌گونه‌ای که با افزایش سطح هوش دیجیتال سبز، اثرگذاری حکمرانی فناوری سبز بر خرید سبز، طراحی سبز، همکاری محیط‌زیستی و لجستیک معکوس تقویت می‌شود. این یافته با نتایج پژوهش‌های Abdullah و همکاران (۲۰۲۵) و Jiang و Liu (۲۰۲۵) همسو است و نشان می‌دهد که فناوری‌های هوشمند، علاوه بر بهبود تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری، نقش مهمی در توانمندسازی فرآیندهای زنجیره تأمین و ارتقای عملکرد محیط‌زیستی دارند. در واقع، ترکیب حکمرانی قوی فناوری سبز با ظرفیت‌های هوش دیجیتال سبز موجب افزایش بهره‌وری، کاهش ضایعات و بهبود هماهنگی میان اعضای زنجیره تأمین می‌شود. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که حکمرانی فناوری سبز به‌عنوان یک سازوکار کلان راهبری، نقش بنیادینی در بهبود و هدایت شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز ایفا می‌کند. وجود چارچوب‌های حکمرانی شفاف، سیاست‌های فناورانه منسجم و رویه‌های استاندارد، زمینه هم‌راستاسازی تصمیمات عملیاتی سازمان‌ها با اهداف پایداری محیط‌زیستی را فراهم می‌سازد و موجب می‌شود ابعاد مختلف زنجیره تأمین سبز، از خرید و طراحی گرفته تا همکاری‌های محیط‌زیستی و لجستیک معکوس، به‌صورت نظام‌مند تقویت شوند. این یافته‌ها تأیید می‌کند که تحقق زنجیره تأمین سبز، صرفاً وابسته به به‌کارگیری فناوری‌های دوستدار محیط‌زیست نیست، بلکه نیازمند حکمرانی مؤثر و هدفمند این فناوری‌ها در سطح سازمانی است. افزون بر این، نتایج نشان داد که هوش دیجیتال سبز نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش اثربخشی حکمرانی فناوری سبز دارد و به‌عنوان یک عامل توانمندساز، روابط بین حکمرانی فناوری سبز و ابعاد مدیریت زنجیره تأمین سبز را تقویت می‌کند. به‌بیان دقیق‌تر، هوش دیجیتال سبز با ارتقای قابلیت تحلیل داده‌ها، بهبود کیفیت تصمیم‌گیری، افزایش شفافیت اطلاعاتی و تسهیل هماهنگی میان اعضای زنجیره تأمین، امکان تبدیل سیاست‌ها و راهبردهای حکمرانی فناوری سبز به اقدامات عملی و اثربخش را فراهم می‌سازد. این امر نشان می‌دهد که در محیط‌های پیچیده و پویای کسب‌وکار، حکمرانی فناوری سبز زمانی بیشترین کارایی را خواهد داشت که با ظرفیت‌های دیجیتال هوشمند همراه شود. از این منظر، یافته‌های پژوهش بر ضرورت اتخاذ رویکردی یکپارچه تأکید دارد که در آن، حکمرانی فناوری سبز و هوش دیجیتال سبز نه به‌صورت مجزا، بلکه به‌عنوان دو مؤلفه مکمل در نظر گرفته شوند. چنین رویکردی می‌تواند منجر به بهبود هماهنگی بین تصمیمات راهبردی و عملیاتی، کاهش عدم قطعیت‌های محیط‌زیستی، افزایش بهره‌وری منابع و در نهایت، ارتقای پایداری عملکرد زنجیره تأمین شود. بنابراین، این پژوهش نشان می‌دهد که دستیابی به مدیریت زنجیره تأمین سبز کارآمد، مستلزم تلفیق همزمان ساختارهای حکمرانی فناوری و قابلیت‌های هوش دیجیتال سبز در سطح سازمانی و بین‌سازمانی است. براساس نتایج پژوهش، پیشنهاد می‌شود سازمان‌ها چارچوب‌های حکمرانی فناوری سبز را به‌صورت منسجم و نظام‌مند در ساختارهای مدیریتی خود پیاده‌سازی کرده و سیاست‌ها و رویه‌های محیط‌زیست‌محور را تقویت نمایند. همچنین توسعه ظرفیت‌های هوش دیجیتال سبز در حوزه تحلیل داده‌ها، برنامه‌ریزی منابع و پایش عملکرد زنجیره تأمین می‌تواند اثربخشی حکمرانی فناوری سبز را افزایش دهد. تقویت همکاری‌های محیط‌زیستی با تأمین‌کنندگان و مشتریان، به‌ویژه در فرآیندهای طراحی و خرید سبز، و به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند در لجستیک معکوس و بازتولید محصولات، می‌تواند ضمن کاهش ضایعات، کارایی و بهره‌وری سازمان‌ها را ارتقا دهد. در نهایت، جمع‌آوری و تحلیل مستمر داده‌های عملیاتی و محیط‌زیستی، زمینه بهبود مستمر عملکرد سبز سازمان‌ها را فراهم می‌سازد. با توجه به محدودیت‌های پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی این مدل در صنایع، مناطق جغرافیایی و جوامع آماری متفاوت مورد آزمون قرار گیرد تا قابلیت تعمیم یافته‌ها افزایش یابد. همچنین، بررسی نقش سایر

متغیرهای تعدیل گر و میانجی، از جمله فرهنگ سازمانی، بلوغ فناوری، قابلیت‌های پویای سازمان، آمادگی تحول دیجیتال و حمایت مدیریت ارشد، می‌تواند در تبیین بهتر روابط میان حکمرانی فناوری سبز و مدیریت زنجیره تأمین سبز مؤثر باشد. علاوه بر این، انجام مطالعات طولی به منظور بررسی تغییرات این روابط در طول زمان و ارزیابی اثرات بلندمدت استقرار حکمرانی فناوری سبز و توسعه هوش دیجیتال سبز، می‌تواند شواهد جامع‌تر و دقیق‌تری برای توسعه مبانی نظری و کاربردی این حوزه فراهم آورد.

محدودیت‌های پژوهش

پژوهش حاضر دارای محدودیت‌هایی است که در تفسیر و تعمیم یافته‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. نخست، جامعه آماری پژوهش به شرکت‌های تولیدکننده محصولات سبز مستقر در شهرستان‌های ارومیه و تبریز محدود بوده است؛ از این رو، تعمیم نتایج باید در چارچوب همین جامعه و با احتیاط انجام شود. انتخاب این دو شهرستان به دلیل تمرکز قابل توجه واحدهای تولیدکننده محصولات سبز و امکان دسترسی به بخش عمده جامعه هدف صورت گرفت. همچنین، از میان ۷۰ شرکت شناسایی شده، اطلاعات ۵۹ شرکت (حدود ۸۴ درصد جامعه آماری) گردآوری و تحلیل شد که از نظر پوشش جامعه هدف، نمونه‌ای مناسب و نماینده محسوب می‌شود. از سوی دیگر، اگرچه محل استقرار شرکت‌های مورد مطالعه به دو شهرستان محدود است، اما فعالیت‌های آنها در زنجیره تأمین صرفاً به این محدوده جغرافیایی محدود نمی‌شود. این شرکت‌ها در تأمین مواد اولیه، تولید، توزیع، همکاری با تأمین‌کنندگان و مشتریان و سایر تعاملات زنجیره تأمین، با بازیگران خارج از محدوده جغرافیایی مورد مطالعه نیز در ارتباط هستند. بنابراین، پژوهش حاضر عملکرد و شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین شرکت‌های مورد مطالعه را بررسی کرده است، نه صرفاً تعاملات محلی آنها. با این وجود، با توجه به محدود بودن دامنه مکانی پژوهش، تعمیم نتایج به سایر استان‌ها، صنایع و محیط‌های کسب‌وکار مستلزم انجام پژوهش‌های مشابه در جوامع و بسترهای جغرافیایی متفاوت است.

ملاحظات اخلاقی

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به‌طور مساوی در کلیه مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش نویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان (نویسنده مسئول) قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به‌خاطر ارائه نظرات ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

References

- Abdullah, R., Mohamad, M.N., Thurasamy, R. 2019. Towards sustainable performance: Promoting eco-design in green supply chain management practices. *International Journal of Supply Chain Management* 8(3), 609-616.
- Alkaraan, F., Elmarzouky, M., de Sousa Jabbour, A.B.L., Jabbour, C.J.C., Gulko, N., 2025. Maximising sustainable performance: Integrating servitisation innovation into green sustainable supply chain management under the influence of governance and Industry 4.0. *Journal of Business Research* 186, 115029.
- Avci, H., Adiguzel, T., 2020. Leveraging digital intelligence in generation alpha. *The Teacher of Generation Alpha*, 119-132.

- Azevedo, B.D., Scavarda, L.F., Caiado, R.G.G., 2019. Urban solid waste management in developing countries from the sustainable supply chain management perspective: A case study of Brazil's largest slum. *Journal of Cleaner Production* 233, 1377-1386.
- Carter, C. R., & Ellram, L. M. (1998). Reverse logistics: A review of the literature and framework for future investigation. *Journal of Business Logistics*, 19(1), 85-102.
- Chin, T. A., Tat, H. H., & Sulaiman, Z. (2015). Green supply chain management, environmental collaboration and sustainability performance. *Procedia CIRP* 26, 695-699.
- de Jesus, A., Lammi, M., Domenech, T., Vanhuyse, F., Mendonça, S., 2021. Eco-innovation diversity in a circular economy: Towards circular innovation studies. *Sustainability* 13(19), 10974. .
- Feroz, A.K., Zo, H., Eom, J., Chiravuri, A., 2023. Identifying organizations' dynamic capabilities for sustainable digital transformation: A mixed methods study. *Technology in Society* 73, 102257.
- Handayani, W., Yaacob, Z., Utomo, S. S., Majid, N., & Mandasari, V. (2025). Green technology as an indispensable mediator of leadership and vision for green product development in Surabaya MSMEs. *Discover Sustainability* 6(1), 1-18.
- Hervani, A.A., Helms, M.M., Sarkis, J., 2005. Performance measurement for green supply chain management. *Benchmarking: An International Journal* 12(4), 330-353.
- Hong, Z., & Xiao, K., 2024. Digital economy structuring for sustainable development: The role of blockchain and artificial intelligence in improving supply chain and reducing negative environmental impacts. *Scientific Reports* 14(1), 3912.
- Jasrotia, S.S., Rai, S.S., Rai, S., Giri, S., 2024. Stage-wise green supply chain management and environmental performance: Impact of blockchain technology. *International Journal of Information Management Data Insights* 4(2), 100241.
- Keshmiri Haq, M.A., Bagheri Qarabolagh, H., 2025. Examining the role of adoption of artificial intelligence and digital transformation on supply chain resilience and value co-creation: The moderating role of market uncertainty. *Supply Chain Management*, 26(85), 35-46. (In Persian)
- Keskin, H., Tatoglu, E., Akgün, A.E., Esen, E., 2025. Linking green supply chain management and blockchain technology to green marketing and environmental performance: The mediating role of green technology innovation. *International Marketing Review* 1-40.
- Kock, N., 2015. Common method bias in PLS-SEM: A full collinearity assessment approach. *International Journal of e-Collaboration* 11(4), 1-10.
- Konopik, J., Jahn, C., Schuster, T., Hoßbach, N., Pflaum, A., 2022. Mastering the digital transformation through organizational capabilities: A conceptual framework. *Digital Business* 2(2), 100019.
- Laosirihongthong, T., Adebajo, D., Choon Tan, K., 2013. Green supply chain management practices and performance. *Industrial Management & Data Systems* 113(8), 1088-1109.
- Lee, K.L., Wong, S.Y., Alzoubi, H.M., Al Kurdi, B., Alshurideh, M.T., El Khatib, M., 2023. Adopting smart supply chain and smart technologies to improve operational performance in manufacturing industry. *International Journal of Engineering Business Management* 15.
- Li, G., Li, L., Choi, T.M., Sethi, S.P., 2020. Green supply chain management in Chinese firms: Innovative measures and the moderating role of quick response technology. *Journal of Operations Management* 66(7-8), 958-988.
- Li, W., Li, Y., Shi, D., 2016. Research on the theory of supply chain governance: Concept, connotation and normative analysis framework. *Nankai Management Review* 19(1), 4-15.
- Li, W., Xu, J., Zheng, M., 2018. Green governance: New perspective from open innovation. *Sustainability* 10(11), 3845.
- Liu, Y., Jiang, Y., 2025. The impact of supply chain quality management on firm performance in manufacturing business: The moderating role of digital intelligence. *Sustainability* 17(9), 4165.
- Long, P., Lu, L., Chen, Q., Chen, Y., Li, C., Luo, X., 2023. Intelligent selection of healthcare supply chain mode – an applied research based on artificial intelligence. *Frontiers in Public Health* 11.
- Lotfi, A., Gholami, M., Loofti Jalalabadi, M., Saadatian Asl, A., 2017. Analyzing the factors affecting the green supply chain management in logistic systems. *Supply Chain Management* 19(55), 18-31. (In Persian)
- Ma, J.-Y., Kang, T.-W., 2025. Digital intelligence and decision optimization in healthcare supply chain management: The mediating roles of innovation capability and supply chain resilience. *Sustainability* 17(15), 6706.

- Ma, Y., 2025. Research on the influence of digital economy on green innovation of enterprises. *Proceedings of the 2025 International Conference on Financial Risk and Investment Management* 1-8.
- Min, H., Galle, W.P., 2001. Green purchasing practices of US firms. *International Journal of Operations & Production Management* 21(9), 1222-1238. doi:<https://doi.org/10.1108/eum0000000005923>
- Nassani, A. A., Hussain, H., Condrea, E., Grigorescu, A., Yousaf, Z., Haffar, M., 2023. Zero waste management: Investigation of green technology, the green supply chain, and the moderating role of CSR intentions. *Sustainability* 15(5), 4169.
- Paic, A., & Viros, C., 2019. Governance of science and technology policies. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers. OECD Publishing.
- Pan, S.-Y., Fan, C., Lin, Y.-P., 2019. Development and deployment of green technologies for sustainable environment. *Sustainability* 6(1), 114-129.
- Queiroz, M.M., Pereira, S.C.F., Telles, R., Machado, M.C., 2021. Industry 4.0 and digital supply chain capabilities: A framework for understanding digitalisation challenges and opportunities. *Benchmarking: An International Journal* 28(5), 1761-1782.
- Rao, P., 2007. Greening of the supply chain: An empirical study for SMEs in the Philippine context. *Journal of Asia Business Studies* 1(2), 55-66.
- Ruan, M., 2024. The application of multimodal AI large model in the green supply chain of energy industry. *Energy Informatics* 7(1), 98.
- Setyadi, R., Rahman, A., Subiyakto, A., 2019. Statistical and interpretative analyses for testing customer trust questionnaires on IT governance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Shi, X., Wu, B., Zhu, Y., 2022. Green supply chain driven by digital intelligence: The case of Schneider. *BCP Business & Management* 34, 1272-1280.
- Singh, R.K., Mishra, R., He, Q., 2025. Sustainable supply chain and environmental collaboration in the supply chain management: Agenda for future research and implications. *Business Strategy and the Environment* 34(1), 1-25.
- Sugandini, D., Susilowati, C., Siswanti, Y., Syafri, W., 2020. Green supply management and green marketing strategy on green purchase intention: SMEs cases. *Journal of Industrial Engineering and Management* 13(1), 79-92.
- Sun, H., Edziah, B.K., Sun, C., Kporsu, A.K., 2019. Institutional quality, green innovation and energy efficiency. *Energy Policy* 135, 111002.
- Teece, D.J., Pisano, G., Shuen, A., 1997. Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal* 18(7), 509-533.
- Vachon, S., Klassen, R.D., 2006. Extending green practices across the supply chain: The impact of upstream and downstream integration. *International Journal of Operations & Production Management* 26(7), 795-821.
- Walton, S.V., Handfield, R.B., Melnyk, S.A. 1998. The green supply chain: Integrating suppliers into environmental management processes. *International Journal of Purchasing and Materials Management* 34(1), 2-11.
- Webb, L., 1994. Green purchasing: Forging a new link in the supply chain. *Resources* 1(6), 14-18.
- Winkelmann, S., Guennoun, R., Möller, F., Schoormann, T., van der Valk, H., 2024. Back to a resilient future: Digital technologies for a sustainable supply chain. *Information Systems and e-Business Management* 22(2), 315-350.
- Wungkana, F.A., Siagian, H., & Tarigan, Z.J.H., 2023. The influence of eco-design, green information systems, green manufacturing, and green purchasing on manufacturing performance. *International Journal of Data & Network Science* 7(3), 1235-1246.
- Xie, X., Wang, M., 2025. Firms' digital capabilities and green collaborative innovation: The role of green relationship learning. *Journal of Innovation & Knowledge* 10(2), 100663.
- Xu, S., Chen, Y., Liulov, O.V., Pimonenko, T.V., 2023. Green technology innovation and high-quality economic development: Spatial spillover effect. *Prague Economic Papers* 32(2), 145-168.
- Younis, H., Sundarakani, B., Vel, P., 2016. The impact of implementing green supply chain management practices on corporate performance. *Competitiveness Review* 26(3), 216-245.

- Zhu, Q., Sarkis, J., Lai, K.-h., 2008. Confirmation of a measurement model for green supply chain management practices implementation. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 261-273.
- Zsidisin, G.A., Hendrick, T.E., 1998. Purchasing's involvement in environmental issues: A multi-country perspective. *Industrial Management & Data Systems* 98(7), 313-320.