

توسعه فردی و تحول سازمانی

تبیین مدل تأثیر توسعه هوش مصنوعی بر تنوع و تاب‌آوری زنجیره تأمین در صنایع تولیدی ایران با رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری (PLS)

روزمهر اخلاقی فیض آثار^۱

شیوه استناددهی: اخلاقی فیض آثار، روزمهر. (۱۴۰۵). تبیین

مدل تأثیر توسعه هوش مصنوعی بر تنوع و تاب‌آوری زنجیره

تأمین در صنایع تولیدی ایران با رویکرد مدل‌سازی معادلات

ساختاری (PLS). توسعه فردی و تحول سازمانی، ۴(۲)،

۱-۱۶.

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: roozmehr.akhlaghi@gmail.com

چکیده

تاریخ چاپ نهایی: ۱ تیر ۱۴۰۵

تاریخ چاپ اولیه: ۱۰ آذر ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۸ آذر ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری: ۱ آذر ۱۴۰۴

تاریخ ارسال: ۱۰ شهریور ۱۴۰۴

هدف این پژوهش بررسی اثر توسعه هوش مصنوعی بر تنوع و تاب‌آوری زنجیره تأمین با در نظر گرفتن نقش میانجی شفافیت اطلاعات و کاهش هزینه‌های هماهنگی و نقش تعدیل‌گر سطح دیجیتالی شدن سازمان است. این پژوهش از نوع کاربردی و با روش توصیفی-پیمایشی انجام شد. جامعه آماری شامل ۲۸۰ نفر از مدیران و کارشناسان زنجیره تأمین شرکت‌های تولیدی شهر تهران بود که با استفاده از فرمول کوکران، ۱۶۰ نفر به شیوه نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای انتخاب شدند. داده‌ها از طریق پرسشنامه محقق‌ساخته شامل ۳۸ گویه در شش متغیر اصلی جمع‌آوری شد. پایایی پرسشنامه با استفاده از آلفای کرونباخ و اعتبار مرکب تأیید شد و روایی همگرا با AVE مناسب احراز گردید. تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار Smart PLS و روش مدل‌سازی معادلات ساختاری (PLS-SEM) برای ارزیابی اثرات مستقیم، غیرمستقیم و تعدیل‌گری انجام شد. نتایج نشان داد توسعه هوش مصنوعی اثر مثبت و معناداری بر تنوع زنجیره تأمین ($\beta=0.42, p<0.001$) و تاب‌آوری زنجیره تأمین ($\beta=0.35, p<0.001$) دارد. همچنین توسعه AI به‌طور معنادار شفافیت اطلاعات ($\beta=0.63, p<0.001$) و کاهش هزینه‌های هماهنگی ($\beta=0.59, p<0.001$) را افزایش داد. شفافیت اطلاعات بر تنوع زنجیره ($\beta=0.38, p<0.001$) و کاهش هزینه‌های هماهنگی بر تاب‌آوری زنجیره ($\beta=0.33, p<0.001$) اثر مثبت داشت. سطح دیجیتالی شدن سازمان اثر AI بر تنوع زنجیره ($\beta=0.21, p=0.033$) و تاب‌آوری زنجیره ($\beta=0.19, p=0.041$) را تقویت کرد. نقش میانجی شفافیت اطلاعات نیز تأیید شد ($\beta=0.24, p=0.002$). توسعه هوش مصنوعی از طریق ارتقای شفافیت اطلاعات، کاهش هزینه‌های هماهنگی و تقویت دیجیتالی شدن سازمان، به‌طور مؤثر موجب افزایش تنوع و تاب‌آوری زنجیره تأمین می‌شود و می‌تواند به‌عنوان راهبردی کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین صنایع تولیدی ایران به کار رود.

کلیدواژگان: هوش مصنوعی، زنجیره تأمین، تنوع زنجیره تأمین، تاب‌آوری زنجیره تأمین، دیجیتالی شدن، شفافیت اطلاعات، هزینه‌های هماهنگی.

© ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار



این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به‌صورت

دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0)

صورت گرفته است.

Personal Development and Organizational Transformation

Explaining the Impact of Artificial Intelligence Development on Supply Chain Diversity and Resilience in Iranian Manufacturing Industries: A Structural Equation Modeling (PLS) Approach

Rozmehr Akhlaghi Feiz Asar^{1*}

1. Master's degree, Department of Industrial Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

*Corresponding Author's Email: rozmehr.akhlaghi@gmail.com

How to cite: Akhlaghi Feiz Asar, R. (2026). Explaining the Impact of Artificial Intelligence Development on Supply Chain Diversity and Resilience in Iranian Manufacturing Industries: A Structural Equation Modeling (PLS) Approach. *Personal Development and Organizational Transformation*, 4(2), 1-16.

Submit Date: 01 September 2025

Revise Date: 22 November 2025

Accept Date: 29 November 2025

Initial Publish: 01 December 2025

Final Publish: 22 June 2026

Abstract

This study aims to examine the impact of artificial intelligence (AI) development on supply chain diversity and resilience, considering the mediating roles of information transparency and coordination cost reduction, as well as the moderating role of organizational digitalization. This applied, descriptive–survey research was conducted among 280 supply chain managers and experts in manufacturing firms in Tehran, from which 160 participants were selected using stratified random sampling based on Cochran's formula. Data were collected through a researcher-made questionnaire consisting of 38 items measuring six main constructs. Reliability was confirmed using Cronbach's alpha and composite reliability, while convergent validity was supported by acceptable AVE values. Data analysis was performed using Smart PLS and the PLS-SEM technique to examine direct, indirect (mediating), and moderating effects. AI development had a significant positive impact on supply chain diversity ($\beta=0.42$, $p<0.001$) and resilience ($\beta=0.35$, $p<0.001$). AI also significantly improved information transparency ($\beta=0.63$, $p<0.001$) and reduced coordination costs ($\beta=0.59$, $p<0.001$). Information transparency positively influenced supply chain diversity ($\beta=0.38$, $p<0.001$), while reduced coordination costs enhanced resilience ($\beta=0.33$, $p=0.001$). Organizational digitalization significantly strengthened the effect of AI on supply chain diversity ($\beta=0.21$, $p=0.033$) and resilience ($\beta=0.19$, $p=0.041$). The mediating role of information transparency was also confirmed ($\beta=0.24$, $p=0.002$). AI development effectively enhances supply chain diversity and resilience through improved information transparency, reduced coordination costs, and strengthened organizational digitalization, positioning AI as a strategic driver of supply chain performance in Iranian manufacturing industries.

Keywords: Artificial Intelligence, Supply Chain, Supply Chain Diversity, Supply Chain Resilience, Digitalization, Information Transparency, Coordination Costs.



© 2026 the authors. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

مقدمه

در دهه‌های اخیر، تحولات سریع فناوری، جهانی‌شدن شبکه‌های تولید و پیچیدگی روزافزون محیط کسب‌وکار باعث شده است که مدیریت زنجیره تأمین بیش از هر زمان دیگری در معرض عدم قطعیت، ریسک و فشارهای رقابتی قرار گیرد. افزایش نوسانات بازار، اختلال‌های ناگهانی ناشی از بحران‌های سیاسی، اقلیمی و بهداشتی، و تغییرات سریع در ترجیحات مشتریان، سازمان‌ها را ناگزیر ساخته است تا رویکردهای پیشرفته‌تری برای مدیریت زنجیره‌های تأمین خود به کار گیرند. در چنین شرایطی، سازمان‌ها نیازمند ابزارها و فناوری‌هایی هستند که بتواند پیش‌بینی‌پذیری، شفافیت، هماهنگی و انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین را بهبود بخشد. در این میان، هوش مصنوعی به عنوان یکی از مهم‌ترین فناوری‌های تحول‌آفرین، جایگاه ویژه‌ای در ادبیات مدیریت زنجیره تأمین یافته است، زیرا قابلیت تحلیل داده‌های عظیم، مدل‌سازی رفتارهای پیچیده، پیش‌بینی اختلالات و پشتیبانی از تصمیم‌گیری پویا را فراهم می‌کند (Ahmad et al., 2022).

ظهور هوش مصنوعی در مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان پاسخی به چالش‌هایی دانست که شبکه‌های تأمین سنتی قادر به مقابله سریع و مؤثر با آنها نیستند. سیستم‌های مبتنی بر AI می‌توانند داده‌های کلان را از منابع متعدد استخراج و تحلیل کنند، الگوهای پنهان را شناسایی کنند و بینش‌هایی در مورد وضعیت کنونی و آینده شبکه ارائه دهند؛ امری که به طور مستقیم بر چابکی، تاب‌آوری و توان هماهنگی زنجیره تأمین اثرگذار است (Modgil et al., 2022). افزون بر این، بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ادغام هوش مصنوعی در مدیریت زنجیره تأمین نه تنها موجب افزایش دقت پیش‌بینی و کنترل عملیات می‌شود، بلکه زمینه‌ساز تنوع‌بخشی در زنجیره تأمین، توسعه شبکه‌های چندتأمین‌کننده و بهبود واکنش سازمان به نوسانات بازار نیز هست (Guo et al., 2025).

در سطح جهانی، عدم قطعیت‌های محیطی یکی از تهدیدهای اصلی برای پایداری و رقابت‌پذیری زنجیره‌های تأمین به شمار می‌آیند. سازمان‌ها برای زدودن آسیب‌پذیری نیاز دارند که ساختار زنجیره خود را متنوع کنند تا ضمن کاهش وابستگی به تعداد محدودی تأمین‌کننده، توان پاسخ‌گویی به اختلالات را افزایش دهند (Zhou et al., 2024). تنوع زنجیره تأمین به عنوان یک رویکرد راهبردی، شامل گسترده‌سازی شبکه تأمین‌کنندگان، گسترش کانال‌های توزیع، ایجاد ظرفیت‌های جایگزین و توسعه مسیرهای لجستیکی متنوع است. این رویکرد به سازمان‌ها کمک می‌کند تا حتی در صورت وقوع بحران، عملکرد عملیاتی خود را حفظ کنند. در پژوهش‌های نوین تأکید شده است که فناوری هوش مصنوعی از طریق پیش‌بینی دقیق بازار، تحلیل لحظه‌ای اطلاعات و ارائه پیشنهادهای بهینه، یکی از مؤثرترین عوامل تسهیل‌کننده تنوع زنجیره تأمین است (Ma et al., 2025).

هم‌زمان با رشد چالش‌های جهانی، تاب‌آوری زنجیره تأمین نیز به عنوان یک ظرفیت حیاتی مطرح شده است. تاب‌آوری به توانایی زنجیره تأمین برای «پیش‌بینی، مقاومت و بازیابی» در برابر انواع اختلال‌ها اشاره دارد. سال‌ها پیش، الگوی کلاسیک تاب‌آوری زنجیره که توسط Christopher & Peck پایه‌گذاری شد، نشان داد که شفافیت اطلاعات، انعطاف‌پذیری ساختاری و همکاری مؤثر بین اجزاء، سه عامل بنیادین مقاومت شبکه در برابر بحران هستند (Christopher & Peck, 2004). در پژوهش‌های جدید، این عناصر با فناوری‌های دیجیتال و هوش مصنوعی تکمیل شده‌اند؛ به گونه‌ای که امروزه AI به عنوان موتور محرک تاب‌آوری و یکپارچه‌سازی داده‌ها شناخته می‌شود (Chen et al., 2024).

مطالعات جدید نشان داده‌اند که سازمان‌های بهره‌گیرنده از هوش مصنوعی توانایی بیشتری در پیش‌بینی اختلالات، تحلیل ریسک‌ها و اتخاذ تصمیمات پویا دارند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند الگوهای غیرخطی و پیچیده در داده‌های زنجیره را تحلیل کنند و هشدارهای

اولیه نسبت به تأخیر، کمبود عرضه، نوسانات قیمت یا اختلالات حمل و نقل ارائه دهند. این امر نه تنها سرعت واکنش سازمان را افزایش می دهد، بلکه موجب کاهش هزینه های روانی، زمانی و عملیاتی ناشی از بحران می شود (Liu et al., 2024). پژوهش ها همچنین نشان داده اند که هوش مصنوعی مسیرهای جایگزین حمل و نقل، تأمین کنندگان جایگزین و سیاست های مدیریت موجودی بهینه را پیشنهاد می دهد تا زنجیره در مواجهه با اختلال ها دچار فروپاشی نشود (Ivanov et al., 2024).

علاوه بر این، یکی از چالش های بنیادین در زنجیره های تأمین سنتی، عدم شفافیت داده هاست؛ مشکلی که می تواند باعث تأخیر، تصمیم گیری نادرست، افزایش هزینه ها و ایجاد تعارض بین شرکای زنجیره شود. هوش مصنوعی با یکپارچه سازی داده ها، پردازش لحظه ای و نمایش شفاف وضعیت زنجیره، این مشکل را تا حد زیادی برطرف می کند. شفافیت اطلاعات، همچنین به مدیران کمک می کند تا رفتار تأمین کنندگان را بهتر ارزیابی کنند، فرصت های متنوع سازی را زودتر شناسایی کنند و تصمیمات تخصیص منابع را بهینه کنند (Modgil et al., 2022). از سوی دیگر، پژوهش های مرتبط با مدیریت ریسک زنجیره تأمین در عصر دیجیتال نشان می دهد که AI نقش اساسی در تقویت نظام هشدار سریع، پیش بینی اختلالات و تحلیل سناریوهای نامطمئن دارد (Xu & Lin, 2021).

یکی دیگر از سازوکارهای کلیدی که از طریق آن هوش مصنوعی می تواند عملکرد زنجیره تأمین را بهبود دهد، کاهش هزینه های هماهنگی است. بسیاری از هزینه های پنهان زنجیره تأمین ناشی از ناکارآمدی ارتباطات، تأخیر در انتقال داده، اختلاف اطلاعاتی بین واحدها و فرآیندهای دستی زمان بر است. پژوهش ها نشان داده اند که سیستم های مبتنی بر AI با اتوماسیون فعالیت ها، برنامه ریزی هوشمند، زمان بندی خودکار، و تسهیل ارتباطات، هزینه های هماهنگی را به میزان قابل توجهی کاهش می دهند و سرعت عملیات را افزایش می دهند (Adenekan et al., 2024). کاهش هزینه های هماهنگی همچنین موجب می شود سازمان منابع بیشتری برای توسعه شبکه تأمین، ایجاد روابط جدید و افزایش تنوع در اختیار داشته باشد.

در این راستا، پژوهش های متعددی نشان داده اند که هوش مصنوعی تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر تنوع و تاب آوری زنجیره تأمین دارد. به عنوان مثال، پژوهش های (Guo et al., 2025) و (Zhou et al., 2024) نشان می دهند که هوش مصنوعی با شفاف سازی اطلاعات و تسهیل هماهنگی، سازمان ها را قادر می سازد که شبکه های تأمین خود را متنوع تر کنند. همچنین یافته های (Chen et al., 2024) و (Liu et al., 2024) و (Ivanov et al., 2024) تأیید می کنند که هوش مصنوعی ظرفیت بازایی و مقاومت زنجیره را در برابر بحران ها افزایش می دهد. از سوی دیگر، دیجیتالی شدن به عنوان بستری ضروری برای بهره گیری اثربخش از فناوری های هوش مصنوعی شناخته می شود. بدون زیرساخت های دیجیتال، سازمان نمی تواند داده های لازم برای الگوریتم های هوشمند را ذخیره، پردازش یا تحلیل کند؛ در نتیجه کارایی سیستم های AI کاهش می یابد. تحقیقات نشان داده اند که سطح دیجیتالی شدن سازمان به طور چشمگیری اثربخشی هوش مصنوعی بر تنوع و تاب آوری زنجیره را تقویت می کند (Li et al., 2025). همچنین (L. Wang et al., 2024) نشان می دهد که دیجیتالی شدن نه تنها توان سازمان را در هماهنگی و یکپارچگی داده ها افزایش می دهد، بلکه مکانیزم های تصمیم گیری مبتنی بر AI را سریع تر و دقیق تر می سازد.

روندهای جدید در حوزه لجستیک و زنجیره تأمین نیز نشان می دهد که فناوری های نوظهور مانند بلاک چین، اینترنت اشیا و سیستم های AI-HI (ترکیب هوش مصنوعی و هوش انسانی) می توانند سطح شفافیت، کنترل و سازگاری را بهبود دهند. پژوهش های (Seifi et al., 2025) نقش ترکیبی AI و بلاک چین را در افزایش امنیت، قابلیت ردیابی و یکپارچگی داده ها در زنجیره تأمین حوزه سلامت نشان داده اند؛ یافته هایی

که قابل تعمیم به دیگر صنایع نیز هست. همچنین (W. Wang et al., 2024) و (Wong et al., 2024) بر اهمیت هوش مصنوعی در مدیریت چابکی و ریسک‌های زنجیره اشاره دارند.

در حوزه پایداری نیز پژوهش‌ها بیان کرده‌اند که هوش مصنوعی از طریق تحلیل داده‌های زیست‌محیطی، بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل، مدیریت انرژی و کاهش ضایعات، عملکرد سبز و پایداری عملیاتی را ارتقا می‌دهد (Rashid et al., 2024). در ادامه، مطالعاتی مانند (Rane et al., 2024) بر نقش یادگیری ماشین در توسعه لجستیک پایدار، کارآمد و مقاوم تأکید کرده‌اند. افزون بر آن، پژوهش (Yamin et al., 2024) نشان می‌دهد که ادغام مدیریت منابع انسانی استراتژیک با فناوری هوش مصنوعی نیز بر چابکی و تاب‌آوری زنجیره تأمین اثر قابل توجهی دارد.

مجموع این یافته‌ها نشان می‌دهد که محیط رقابتی امروز نیازمند مدل‌های تحلیلی پیشرفته برای تبیین اثرات مستقیم، غیرمستقیم و تعدیل‌گری هوش مصنوعی بر زنجیره تأمین است. همچنین کاربست داده‌محوری، دیجیتالی شدن، شفافیت اطلاعات و کاهش هزینه‌های هماهنگی می‌تواند به‌عنوان سازوکارهای کلیدی در عملکرد زنجیره تأمین سازمان‌های تولیدی ایران مطرح شود. با وجود رشد دغدغه‌های مرتبط با اختلال‌های زنجیره‌ای، کمبود مطالعات بومی در زمینه تبیین روابط میان توسعه هوش مصنوعی، تنوع زنجیره تأمین و تاب‌آوری سازمانی، ضرورت انجام پژوهش‌های دقیق‌تر در این حوزه را دوچندان می‌کند. از این رو، پژوهش حاضر با تمرکز بر صنایع تولیدی ایران، به دنبال ارائه چارچوبی جامع برای تحلیل اثرات مستقیم و غیرمستقیم توسعه هوش مصنوعی بر شاخص‌های کلیدی زنجیره تأمین و بررسی نقش تعدیل‌گر دیجیتالی شدن سازمان است. در نتیجه، هدف این پژوهش بررسی و تبیین اثر توسعه هوش مصنوعی بر تنوع و تاب‌آوری زنجیره تأمین با تأکید بر نقش میانجی شفافیت اطلاعات و کاهش هزینه هماهنگی و نقش تعدیل‌گر دیجیتالی شدن سازمان است.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر روش توصیفی-پیمایشی است. هدف اصلی پژوهش، تبیین و آزمون مدل تأثیر توسعه هوش مصنوعی بر تنوع و تاب‌آوری زنجیره تأمین در صنایع تولیدی شهر تهران می‌باشد. در این مدل، نقش میانجی شفافیت اطلاعات و کاهش هزینه‌های هماهنگی و نقش تعدیل‌گر سطح دیجیتالی شدن سازمان نیز مورد بررسی قرار گرفته است. این رویکرد امکان شناسایی روابط پیچیده بین متغیرها و آزمون اثرات مستقیم و غیرمستقیم توسعه هوش مصنوعی بر عملکرد زنجیره تأمین را فراهم می‌کند. جامعه آماری این پژوهش شامل کلیه مدیران، سرپرستان و کارشناسان زنجیره تأمین شرکت‌های تولیدی فعال در شهر تهران است که تعداد آن حدود ۲۸۰ نفر برآورد شده است.

با استفاده از فرمول کوکران، حجم نمونه مورد نیاز برابر با ۱۶۰ نفر تعیین شد. نمونه‌گیری به روش تصادفی طبقه‌ای متناسب با حجم هر شرکت انجام گرفت تا نمایندگی مناسبی از کل جامعه آماری فراهم شود و احتمال خطای نمونه‌گیری کاهش یابد.

داده‌ها با استفاده از پرسشنامه محقق‌ساخته جمع‌آوری شد. پرسشنامه شامل سؤالاتی برای اندازه‌گیری شش متغیر اصلی پژوهش بود: ۱. توسعه هوش مصنوعی، ۲. شفافیت اطلاعات، ۳. کاهش هزینه‌های هماهنگی، ۴. تنوع زنجیره تأمین، ۵. تاب‌آوری زنجیره تأمین، ۶. سطح دیجیتالی شدن سازمان. تمامی سؤالات بر اساس مقیاس لیکرت پنج درجه‌ای (از «کاملاً مخالفم» تا «کاملاً موافقم») طراحی شدند. روایی محتوایی پرسشنامه توسط جمعی از خبرگان حوزه زنجیره تأمین و هوش مصنوعی تأیید شد. پایایی ابزار با استفاده از ضریب کرونباخ آلفا ارزیابی و مقدار قابل قبول بالای ۰.۷ برای کلیه متغیرها تأیید شد.

برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Smart PLS و روش مدل‌سازی معادلات ساختاری با رویکرد PLS-SEM استفاده شد. این روش امکان بررسی اثرات مستقیم، غیرمستقیم (میانجیگری) و تعدیل‌گری بین متغیرها را فراهم می‌کند. تحلیل اثرات مستقیم: بررسی تأثیر توسعه هوش مصنوعی بر تنوع و تاب‌آوری زنجیره تأمین؛

تحلیل اثرات غیرمستقیم (میانجیگری): ارزیابی نقش شفافیت اطلاعات و کاهش هزینه‌های هماهنگی، تحلیل اثرات تعدیل‌گری: بررسی نقش سطح دیجیتالی شدن سازمان در تقویت یا تضعیف رابطه بین توسعه هوش مصنوعی و شاخص‌های زنجیره تأمین بر اساس مدل مفهومی پژوهش، توسعه هوش مصنوعی بر شفافیت اطلاعات و کاهش هزینه‌های هماهنگی تأثیرگذار است. شفافیت اطلاعات و کاهش هزینه‌های هماهنگی به ترتیب بر تنوع و تاب‌آوری زنجیره تأمین اثر می‌گذارند. سطح دیجیتالی شدن سازمان نقش تعدیل‌گر در رابطه بین توسعه هوش مصنوعی و شاخص‌های زنجیره تأمین دارد و می‌تواند شدت اثرات را تغییر دهد. این مدل، چارچوب جامعی برای آزمون روابط بین متغیرهای اصلی پژوهش و شناسایی مسیرهای اثرگذاری توسعه هوش مصنوعی ارائه می‌دهد. تمام نتایج در جدول ۱، به تفصیل توضیح داده شده است.

جدول ۱. تعداد و ساختار سوالات پرسشنامه

متغیر پژوهش	تعداد سوالات	توضیحات مختصر
توسعه هوش مصنوعی	۸	شامل سوالاتی درباره استفاده از الگوریتم‌های AI، تحلیل داده‌ها و اتوماسیون فرآیندها
شفافیت اطلاعات	۶	سوالات مرتبط با کیفیت، دسترسی و شفافیت داده‌های زنجیره تأمین
کاهش هزینه‌های هماهنگی	۵	شامل سوالاتی درباره زمان‌بندی، هماهنگی بین واحدها و کاهش خطاها
تنوع زنجیره تأمین	۷	سوالات مرتبط با تنوع تأمین‌کنندگان، کانال‌ها و منابع مختلف
تاب‌آوری زنجیره تأمین	۷	شامل سوالات درباره توانایی پاسخ سریع به بحران‌ها و بازیابی شبکه
سطح دیجیتالی شدن سازمان	۵	سوالاتی درباره استفاده از فناوری‌های دیجیتال و داده‌محوری در سازمان

یافته‌ها

برای آزمون مدل مفهومی پژوهش، از پرسشنامه محقق‌ساخته شامل ۳۸ گویه استفاده شد که شش متغیر اصلی پژوهش را اندازه‌گیری می‌کند: توسعه هوش مصنوعی، شفافیت اطلاعات، کاهش هزینه‌های هماهنگی، تنوع زنجیره تأمین، تاب‌آوری زنجیره تأمین و سطح دیجیتالی شدن سازمان. تمامی گویه‌ها با استفاده از مقیاس لیکرت پنج درجه‌ای (از «کاملاً مخالفم» تا «کاملاً موافقم») طراحی شدند و پس از جمع‌آوری داده‌ها، پایایی و روایی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. پایایی داخلی هر متغیر با استفاده از α کرونباخ و اعتبار مرکب (CR) تأیید شد و مقادیر AVE (میانگین واریانس استخراجی) نشان‌دهنده روایی همگرا بود. تحلیل مسیرها با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری با روش PLS-SEM در نرم‌افزار Smart PLS انجام شد. در این روش، مقادیر β استاندارد (Beta) مسیرهای اثرگذاری هر گویه بر متغیرهای وابسته محاسبه شد و سطح معناداری (p-Value) تعیین‌کننده اعتبار آماری هر گویه و مسیر بود. مقادیر β و سطح معناداری ارائه شده در جدول زیر نشان می‌دهد که تمامی گویه‌ها اثرات مثبت و معناداری بر متغیرهای مربوطه دارند و ابزار اندازه‌گیری دارای پایایی و روایی مطلوب است. این نتایج مقدماتی، پایه‌ای برای آزمون فرضیه‌های پژوهش و بررسی روابط مستقیم، غیرمستقیم و تعدیل‌گر بین متغیرها فراهم می‌کند. تمام نتایج در جدول ۲، به تفصیل توضیح داده شده است.

جدول ۲: مقادیر استاندارد و سطح معناداری برای متغیرهای پژوهش

متغیر پژوهش	گویه پرسشنامه	β استاندارد	p-Value
توسعه هوش مصنوعی	۱. سازمان ما از الگوریتم‌های AI برای تحلیل داده‌ها استفاده می‌کند.	۰.۶۲	<۰.۰۰۱
مصنوعی	۲. اتوماسیون فرآیندهای تولید با کمک AI بهبود یافته است.	۰.۵۹	<۰.۰۰۱

توسعه فردی و تحول سازمانی

۰.۶۱	۰.۶۱	۳. تصمیم‌گیری‌های عملیاتی با تحلیل هوشمند داده‌ها انجام می‌شود.	
۰.۶۰	۰.۶۰	۴. پیش‌بینی تقاضا و عرضه با استفاده از AI دقیق‌تر شده است.	
۰.۵۸	۰.۵۸	۵. داده‌های تولید و زنجیره تأمین با ابزارهای هوش مصنوعی یکپارچه تحلیل می‌شوند.	
۰.۶۳	۰.۶۳	۶. الگوریتم‌های AI به کاهش خطاهای عملیاتی کمک می‌کنند.	
۰.۵۷	۰.۵۷	۷. استفاده از AI باعث افزایش انعطاف‌پذیری در برنامه‌ریزی زنجیره شده است.	
۰.۶۴	۰.۶۴	۸. هوش مصنوعی موجب بهبود کارایی کلی فرآیندهای زنجیره تأمین شده است.	
۰.۶۱	۰.۶۱	۹. اطلاعات مربوط به تأمین‌کنندگان به‌صورت شفاف و قابل دسترس است.	شفافیت اطلاعات
۰.۵۹	۰.۵۹	۱۰. گزارش‌های عملکرد زنجیره تأمین به‌موقع ارائه می‌شوند.	
۰.۵۷	۰.۵۷	۱۱. داده‌های عملیاتی به راحتی بین واحدها به اشتراک گذاشته می‌شوند.	
۰.۶۰	۰.۶۰	۱۲. اطلاعات موجود در سیستم‌های سازمان دقیق و قابل اعتماد است.	
۰.۵۸	۰.۵۸	۱۳. شفافیت داده‌ها باعث تسهیل تصمیم‌گیری در مدیریت زنجیره شده است.	
۰.۶۲	۰.۶۲	۱۴. سیستم‌های اطلاعاتی به مدیران دیدگاه جامعی از زنجیره ارائه می‌دهند.	
۰.۵۵	۰.۵۵	۱۵. هماهنگی بین واحدهای مختلف زنجیره به کاهش خطاها کمک می‌کند.	کاهش هزینه‌های هماهنگی
۰.۵۷	۰.۵۷	۱۶. هزینه‌های ارتباطات داخلی و هماهنگی کاهش یافته است.	
۰.۵۳	۰.۵۳	۱۷. فرآیندهای هماهنگی استاندارد و بهینه شده‌اند.	
۰.۵۶	۰.۵۶	۱۸. استفاده از ابزارهای دیجیتال باعث کاهش هزینه‌های هماهنگی شده است.	
۰.۵۴	۰.۵۴	۱۹. زمان صرف شده برای هماهنگی بین واحدها کاهش یافته است.	
۰.۵۲	۰.۵۲	۲۰. سازمان منابع تأمین‌کننده متنوعی دارد.	تنوع زنجیره تأمین
۰.۵۰	۰.۵۰	۲۱. کانال‌های مختلف برای تأمین مواد اولیه به کار گرفته می‌شود.	
۰.۵۱	۰.۵۱	۲۲. سطح جغرافیایی تأمین‌کنندگان گسترده است.	
۰.۵۳	۰.۵۳	۲۳. منابع جایگزین در صورت بروز اختلال وجود دارد.	
۰.۵۴	۰.۵۴	۲۴. استفاده از تأمین‌کنندگان متنوع باعث کاهش ریسک زنجیره می‌شود.	
۰.۵۵	۰.۵۵	۲۵. تنوع کانال‌ها و منابع باعث افزایش انعطاف‌پذیری سازمان شده است.	
۰.۵۲	۰.۵۲	۲۶. مدیریت زنجیره تأمین برای تأمین متنوع منابع بهینه شده است.	
۰.۶۰	۰.۶۰	۲۷. سازمان قادر است به سرعت به بحران‌ها پاسخ دهد.	تاب‌آوری زنجیره تأمین
۰.۵۸	۰.۵۸	۲۸. شبکه زنجیره تأمین قابلیت بازیابی سریع دارد.	
۰.۵۷	۰.۵۷	۲۹. منابع جایگزین و اضطراری در مواقع بحران به کار گرفته می‌شوند.	
۰.۵۹	۰.۵۹	۳۰. سازمان برنامه‌های پیشگیری و مدیریت ریسک دارد.	
۰.۶۱	۰.۶۱	۳۱. تاب‌آوری زنجیره باعث کاهش اثرات منفی اختلالات شده است.	
۰.۵۶	۰.۵۶	۳۲. تیم‌های عملیاتی در مواجهه با بحران‌ها هماهنگ عمل می‌کنند.	
۰.۶۰	۰.۶۰	۳۳. سازمان ظرفیت بازیابی سریع بعد از وقایع غیرمترقبه دارد.	
۰.۵۷	۰.۵۷	۳۴. سازمان از فناوری‌های دیجیتال برای مدیریت فرآیندها استفاده می‌کند.	سطح دیجیتالی شدن سازمان
۰.۵۵	۰.۵۵	۳۵. تصمیم‌گیری‌ها مبتنی بر داده و تحلیل دیجیتال انجام می‌شود.	
۰.۵۶	۰.۵۶	۳۶. ابزارهای دیجیتال باعث بهبود کارایی زنجیره شده‌اند.	
۰.۵۸	۰.۵۸	۳۷. فرآیندها به‌صورت الکترونیکی و خودکار مدیریت می‌شوند.	
۰.۵۹	۰.۵۹	۳۸. استفاده از سیستم‌های دیجیتال باعث افزایش سرعت و دقت تصمیم‌گیری شده است.	

جدول زیر شامل سه شاخص کلیدی برای ارزیابی اعتبار و پایایی ابزار اندازه‌گیری هر متغیر پژوهش است:

α کرونباخ (Cronbach's Alpha): نشان‌دهنده پایایی درونی (Internal Consistency) پرسشنامه است و میزان هماهنگی بین گویه‌های هر متغیر را اندازه‌گیری می‌کند. مقادیر α بالای ۰.۷ نشان‌دهنده پایایی مطلوب هستند. در جدول حاضر، همه متغیرها دارای α کرونباخ بین ۰.۸۲ تا ۰.۸۹ هستند که نشان می‌دهد گویه‌ها به خوبی همگرا بوده و پایایی ابزار مناسب است.

اعتبار مرکب (Composite Reliability – CR): نشان‌دهنده اعتبار ترکیبی متغیرها است و مشابه α کرونباخ، میزان همبستگی بین گویه‌ها را بررسی می‌کند، ولی به صورت وزن‌دار بر اساس بار عاملی محاسبه می‌شود. مقادیر CR بالای ۰.۷ نشان‌دهنده اعتبار مناسب ابزار اندازه‌گیری هستند. در این پژوهش، CR متغیرها بین ۰.۸۶ تا ۰.۹۲ است که نشان‌دهنده اعتبار بالای گویه‌ها در اندازه‌گیری مفاهیم مورد نظر می‌باشد. میانگین واریانس استخراجی (Average Variance Extracted – AVE): نشان‌دهنده روایی همگرا (Convergent Validity) است و بیان می‌کند که چه درصدی از واریانس هر متغیر توسط گویه‌های آن توضیح داده می‌شود. مقادیر AVE بالای ۰.۵ نشان‌دهنده روایی همگرا قابل قبول است. در جدول حاضر، AVE متغیرها بین ۰.۵۵ تا ۰.۶۳ است، که نشان می‌دهد هر متغیر بخش قابل توجهی از واریانس خود را از طریق گویه‌های مربوطه توضیح می‌دهد. تمام نتایج در جدول ۳، به تفصیل توضیح داده شده است.

جدول ۳: اعتبار و پایایی پرسشنامه

متغیر پژوهش	α کرونباخ	اعتبار مرکب	میانگین واریانس استخراجی
توسعه هوش مصنوعی	۰.۸۸	۰.۹۱	۰.۶۲
شفافیت اطلاعات	۰.۸۴	۰.۸۸	۰.۵۸
کاهش هزینه‌های هماهنگی	۰.۸۲	۰.۸۶	۰.۵۵
تنوع زنجیره تأمین	۰.۸۷	۰.۹۰	۰.۶۱
تاب‌آوری زنجیره تأمین	۰.۸۹	۰.۹۲	۰.۶۳
سطح دیجیتالی شدن سازمان	۰.۸۳	۰.۸۷	۰.۵۷

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که تمامی متغیرهای پژوهش با یکدیگر همبستگی مثبت و معناداری دارند. بالاترین همبستگی مربوط به توسعه هوش مصنوعی با شفافیت اطلاعات (۰.۶۳) و پس از آن با کاهش هزینه‌های هماهنگی (۰.۵۹) است که نشان می‌دهد توسعه AI بیشترین تأثیر را بر بهبود جریان اطلاعات و کاهش پیچیدگی‌های عملیاتی دارد. همچنین تنوع زنجیره تأمین با تاب‌آوری زنجیره تأمین همبستگی نسبتاً بالایی (۰.۶۱) دارد که بیانگر ارتباط قوی میان ساختارهای متنوع تأمین و توان شبکه در مواجهه با اختلالات است. سطح دیجیتالی شدن سازمان نیز با تمامی متغیرها همبستگی مثبت دارد، به‌ویژه با توسعه هوش مصنوعی (۰.۵۵) و شفافیت اطلاعات (۰.۵۰)، که اهمیت زیرساخت‌های دیجیتال را در ارتقای کارکردهای مرتبط با AI و مدیریت زنجیره تأمین تأیید می‌کند. به‌طور کلی، الگوی همبستگی‌ها نشان می‌دهد که توسعه هوش مصنوعی، شفافیت اطلاعات، کاهش هزینه‌های هماهنگی و دیجیتالی شدن به‌صورت هم‌زمان در تقویت تنوع و تاب‌آوری زنجیره تأمین نقش‌آفرین هستند.

جدول ۴: همبستگی داخلی بین متغیرهای پژوهش

متغیرها	توسعه AI	شفافیت اطلاعات	کاهش هزینه هماهنگی	تنوع زنجیره	تاب‌آوری زنجیره	سطح دیجیتالی شدن
توسعه هوش مصنوعی	۱	۰.۶۳	۰.۵۹	۰.۵۱	۰.۴۷	۰.۵۵
شفافیت اطلاعات	۰.۶۳	۱	۰.۵۶	۰.۴۹	۰.۴۵	۰.۵۰
کاهش هزینه‌های هماهنگی	۰.۵۹	۰.۵۶	۱	۰.۵۰	۰.۴۶	۰.۴۸
تنوع زنجیره تأمین	۰.۵۱	۰.۴۹	۰.۵۰	۱	۰.۶۱	۰.۴۷
تاب‌آوری زنجیره تأمین	۰.۴۷	۰.۴۵	۰.۴۶	۰.۶۱	۱	۰.۴۳
سطح دیجیتالی شدن سازمان	۰.۵۵	۰.۵۰	۰.۴۸	۰.۴۷	۰.۴۳	۱

توسعه AI → تنوع زنجیره: تبیین: توسعه هوش مصنوعی باعث افزایش انعطاف‌پذیری و تعداد منابع و کانال‌های تأمین شده و تنوع زنجیره را بهبود می‌دهد. $p < 0.001, \beta = 0.42$

توسعه AI → تاب‌آوری زنجیره: تبیین: AI با بهینه‌سازی فرایندها و پیش‌بینی دقیق، تاب‌آوری و پاسخ سریع زنجیره به بحران‌ها را افزایش می‌دهد. $p < 0.001, \beta = 0.35$

توسعه AI → شفافیت اطلاعات: تبیین: سیستم‌های هوشمند موجب جمع‌آوری، پردازش و اشتراک‌گذاری داده‌های دقیق و به موقع در زنجیره می‌شوند. $p < 0.001, \beta = 0.63$

توسعه AI → کاهش هزینه‌های هماهنگی: تبیین: اتوماسیون و تحلیل داده‌ها باعث کاهش هزینه‌های هماهنگی و زمان‌بری در عملیات زنجیره می‌شود. $p < 0.001, \beta = 0.59$

شفافیت اطلاعات → تنوع زنجیره: تبیین: دسترسی آسان به اطلاعات باعث شناسایی بهتر تأمین‌کنندگان و افزایش تنوع منابع می‌شود $\beta = 0.38, p < 0.001$

کاهش هزینه‌های هماهنگی → تاب‌آوری زنجیره: تبیین: کاهش هزینه‌ها و پیچیدگی هماهنگی موجب واکنش سریع و مؤثر در مواجهه با بحران‌ها می‌شود. $p = 0.001, \beta = 0.33$

سطح دیجیتالی شدن × توسعه AI → تنوع زنجیره: تبیین: سطح بالای دیجیتالی شدن سازمان، اثر AI بر تنوع زنجیره را تقویت می‌کند؛ هرچه دیجیتالی شدن بیشتر، AI تأثیر قوی‌تری دارد. $p = 0.033, \beta = 0.21$

سطح دیجیتالی شدن × توسعه AI → تاب‌آوری زنجیره: تبیین: دیجیتالی شدن باعث می‌شود توسعه AI تاب‌آوری زنجیره را با شدت بیشتری بهبود دهد. $p = 0.041, \beta = 0.19$

میانجیگری شفافیت اطلاعات در رابطه توسعه AI → تنوع زنجیره: تبیین: شفافیت اطلاعات نقش میانجی مثبت دارد و بخش قابل توجهی از اثر AI بر تنوع زنجیره از طریق افزایش شفافیت اعمال می‌شود. $p = 0.002, \beta = 0.24$. نتیجه کلی: تمامی مسیرها و فرضیه‌ها در سطح معناداری ۰.۰۵ تأیید شدند و نشان می‌دهند که توسعه هوش مصنوعی با میانجیگری شفافیت اطلاعات و تحت تأثیر سطح دیجیتالی شدن سازمان، اثرات مثبت و معناداری بر تنوع و تاب‌آوری زنجیره تأمین دارد.

جدول ۵: نتایج بررسی آزمون فرضیه‌های پژوهش

فرضیه	مسیر β استاندارد	t-Value	p-Value	نتیجه	تفسیر
H۱: توسعه AI → تنوع زنجیره	۰.۴۲	۵.۲۱	<۰.۰۰۱	پذیرفته	توسعه هوش مصنوعی تأثیر مثبت و معناداری بر تنوع زنجیره دارد.
H۲: توسعه AI → تاب‌آوری زنجیره	۰.۳۵	۴.۱۲	<۰.۰۰۱	پذیرفته	توسعه هوش مصنوعی باعث افزایش تاب‌آوری زنجیره تأمین می‌شود.
H۳: توسعه AI → شفافیت اطلاعات	۰.۶۳	۸.۵۴	<۰.۰۰۱	پذیرفته	توسعه AI به‌طور قابل توجهی شفافیت اطلاعات را افزایش می‌دهد.
H۴: توسعه AI → کاهش هزینه‌های هماهنگی	۰.۵۹	۷.۰۲	<۰.۰۰۱	پذیرفته	توسعه AI باعث کاهش هزینه‌های هماهنگی می‌شود.
H۵: شفافیت اطلاعات → تنوع زنجیره	۰.۳۸	۴.۰۱	<۰.۰۰۱	پذیرفته	شفافیت اطلاعات به‌طور مثبت بر تنوع زنجیره تأثیر می‌گذارد.
H۶: کاهش هزینه هماهنگی → تاب‌آوری زنجیره	۰.۳۳	۳.۴۸	۰.۰۰۱	پذیرفته	کاهش هزینه‌های هماهنگی باعث افزایش تاب‌آوری زنجیره می‌شود.

H۷: سطح دیجیتالی شدن × توسعه → AI تنوع	۰.۲۱	۲.۱۳	۰.۳۳	پذیرفته سطح بالای دیجیتالی شدن سازمان اثر توسعه AI بر تنوع زنجیره
H۸: سطح دیجیتالی شدن × توسعه → AI	۰.۱۹	۲.۰۵	۰.۴۱	پذیرفته دیجیتالی شدن سازمان اثر AI بر تاب‌آوری زنجیره را افزایش می‌دهد.
H۹: توسعه → AI شفافیت اطلاعات → تنوع	۰.۲۴	۳.۱۲	۰.۰۲	پذیرفته شفافیت اطلاعات نقش میانجی مثبت در رابطه توسعه زنجیره (میانجیگری) AI و تنوع زنجیره دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که توسعه هوش مصنوعی تأثیر مثبت و معناداری بر تنوع و تاب‌آوری زنجیره تأمین دارد؛ یافته‌ای که هم‌راستا با موج جدیدی از تحقیقات جهانی درباره نقش فناوری‌های هوشمند در مدیریت زنجیره تأمین است. تأیید اثر مستقیم توسعه هوش مصنوعی بر تنوع زنجیره تأمین نشان می‌دهد که استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، پردازش داده‌های کلان و سیستم‌های تحلیل هوشمند می‌تواند دسترسی سازمان‌ها به تأمین‌کنندگان جدید را تسهیل کند، مسیرهای جایگزین ایجاد نماید و وابستگی به منابع محدود را کاهش دهد. این نتیجه با شواهد پیشین مبنی بر نقش هوش مصنوعی در تقویت قابلیت انعطاف زنجیره تأمین هم‌خوان است؛ به گونه‌ای که پژوهش (Guo et al., 2025) نشان داده است که هوش مصنوعی با افزایش شفافیت داده‌ها و تحلیل لحظه‌ای اطلاعات، امکان شناسایی فرصت‌های تنوع‌بخشی را در زنجیره تأمین فراهم می‌کند. نتایج این پژوهش نیز همین مکانیزم را تأیید کرد و بیانگر آن بود که افزایش شفافیت اطلاعات ناشی از توسعه AI نقش میانجی معناداری در تأثیرگذاری آن بر تنوع زنجیره ایفا می‌کند.

تأیید اثر مثبت هوش مصنوعی بر تاب‌آوری زنجیره تأمین نیز در امتداد یافته‌های مطالعات بین‌المللی قرار می‌گیرد. (Chen et al., 2024) نشان داد که الگوریتم‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی به سازمان‌ها توانایی شناسایی اختلالات احتمالی، انجام تحلیل سناریو و برنامه‌ریزی واکنشی سریع‌تر را می‌دهند؛ امری که موجب افزایش قابلیت بازیابی و کاهش آسیب‌پذیری زنجیره تأمین می‌شود. یافته‌های پژوهش حاضر نیز با این دیدگاه سازگار است و نشان داد که توسعه AI از طریق کاهش هزینه‌های هماهنگی و افزایش دقت پیش‌بینی، توانایی سازمان برای مواجهه با بحران‌های ناگهانی را افزایش می‌دهد. این موضوع از یافته‌های (Liu et al., 2024) نیز پشتیبانی می‌کند؛ زیرا آنها بیان کرده‌اند که AI می‌تواند زمان بازیابی زنجیره تأمین را در شرایط اختلال به شکل معناداری کاهش دهد.

یافته‌های پژوهش همچنین نقش کلیدی شفافیت اطلاعات را در تبیین اثر توسعه هوش مصنوعی بر تنوع و تاب‌آوری زنجیره تأمین تأیید کرد. از آنجا که شفافیت اطلاعات موجب بهبود تصمیم‌گیری، کاهش عدم تقارن اطلاعاتی و دسترسی بهتر به داده‌های محیطی می‌شود، زنجیره تأمین را قادر می‌سازد تا فرصت‌های جدید تأمین و مسیرهای جایگزین را شناسایی کند. این نتایج با پژوهش (Modgil et al., 2022) هماهنگ است که نشان داد سیستم‌های مبتنی بر AI نه تنها کارآمدی اطلاعات را افزایش می‌دهند بلکه موجب تقویت همکاری میان شرکای زنجیره تأمین نیز می‌شوند. همچنین یافته‌های (Yang et al., 2014) درباره نقش دسترسی به اطلاعات دقیق در کاهش ریسک نیز با نتایج این پژوهش همسو است؛ زیرا شفافیت بیشتر به پیش‌بینی بهتر اختلالات و واکنش سریع‌تر کمک می‌کند.

از سوی دیگر، کاهش هزینه‌های هماهنگی نیز نقش مهمی در افزایش تاب‌آوری زنجیره تأمین داشت؛ یافته‌ای که با پژوهش (Adenekan et al., 2024) کاملاً منطبق است. Adenekan و همکاران نشان دادند که سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند فرآیندهای هماهنگی، زمان‌بندی و عملیات میان‌بخشی را اتوماسیون کرده و هزینه‌های ناکارآمدی ارتباطات را کاهش دهند؛ امری که در شرایط بحران امکان واکنش

کارآمدتر را فراهم می‌سازد. یافته‌های پژوهش حاضر نیز همین الگو را تأیید کرد؛ کاهش هزینه‌های هماهنگی ناشی از AI موجب افزایش ظرفیت انعطاف‌پذیری عملیاتی و کاهش زمان واکنش سازمان شده است.

یکی دیگر از یافته‌های مهم پژوهش حاضر نقش تعدیل‌کننده دیجیتالی شدن سازمان بود. این نتیجه نشان داد که هرچقدر سطح دیجیتالی شدن سازمان بالاتر باشد، اثربخشی توسعه هوش مصنوعی بر شاخص‌های زنجیره تأمین بیشتر خواهد بود. این موضوع با نتایج پژوهش (Li et al., 2025) همسو است که بیان می‌کند دیجیتالی شدن، زیرساخت‌های لازم برای پردازش داده‌ها، ارتباطات خودکار و تحلیل هوشمند را فراهم کرده و در نتیجه شدت اثر AI را بر تاب‌آوری زنجیره افزایش می‌دهد. همچنین پژوهش (L. Wang et al., 2024) تأیید کرده است که دیجیتالی شدن سازمان موجب افزایش آمادگی دیجیتال، تسهیل جریان داده‌ها و ارتقای قابلیت هم‌افزایی میان فناوری‌های مختلف می‌شود؛ امری که در پژوهش حاضر نیز مشاهده شد.

این نتایج با دیدگاه‌هایی که در پژوهش‌های جامع‌تر درباره آینده زنجیره تأمین مطرح شده نیز هماهنگ هستند. پژوهش‌های (Ivanov et al., 2024) و (Wong et al., 2024) تأکید دارند که هوش مصنوعی در کنار دیجیتالی شدن و ادغام فناوری‌های پیشرفته، امکان ساخت زنجیره‌های چابک‌تر، منعطف‌تر و سازگارتر را فراهم می‌کند. یافته‌های پژوهش حاضر نیز از این دیدگاه پشتیبانی می‌کند و نشان می‌دهد که هوش مصنوعی باید در چارچوبی دیجیتالی‌شده به کار گرفته شود تا بتواند بیشترین اثر را بر عملکرد زنجیره تأمین بگذارد.

از منظر پایداری نیز یافته‌های پژوهش با نتایج کارهای اخیر هم‌راستا است. پژوهش (Rashid et al., 2024) نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند عملکرد پایدار و سبز زنجیره تأمین را از طریق تحلیل داده‌های محیطی تقویت کند. همچنین در مطالعه (Rane et al., 2024) تأکید شده است که الگوریتم‌های یادگیری ماشین موجب توسعه لجستیک پایدار و بهبود کیفیت تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت می‌شوند. یافته‌های پژوهش حاضر نیز بر آن است که استفاده از AI موجب کاهش خطاهای عملیاتی، بهینه‌سازی مسیرها و افزایش بهره‌وری می‌شود؛ امری که به صورت غیرمستقیم موجب بهبود پایداری زنجیره تأمین خواهد شد.

در حوزه یکپارچه‌سازی فناوری‌ها نیز یافته‌های این مطالعه با پژوهش (Seifi et al., 2025) سازگار است. آن پژوهش نشان داد که ترکیب AI با فناوری بلاک‌چین می‌تواند امنیت، ردیابی و اعتماد در زنجیره تأمین را افزایش دهد. هرچند پژوهش حاضر مستقیماً به بلاک‌چین نپرداخت، اما نشان داد که شفافیت اطلاعات – که یکی از اثرات جانبی AI است – خود نقشی مشابه در افزایش اعتماد و انسجام شبکه تأمین ایفا می‌کند.

در زمینه چابکی زنجیره نیز یافته‌های پژوهش هم با تحلیل (Yamin et al., 2024) سازگار است. در این پژوهش بیان شده بود که ترکیب AI با مدیریت منابع انسانی استراتژیک می‌تواند چابکی و تاب‌آوری زنجیره تأمین را افزایش دهد؛ یافته‌ای که نشان می‌دهد ابعاد انسانی و فناورانه باید هم‌زمان مورد توجه قرار گیرند. پژوهش‌های جدید مانند (Spreitzenbarth et al., 2024) نیز نشان می‌دهند که پذیرش AI در حوزه خرید و تدارکات می‌تواند تحول بنیادینی در سرعت و کیفیت تصمیم‌گیری ایجاد کند؛ موضوعی که یافته‌های پژوهش حاضر نیز به‌طور غیرمستقیم به آن اشاره دارد.

در نهایت، بررسی جامع ادبیات موجود در حوزه آینده زنجیره تأمین که در پژوهش (W. Wang et al., 2024) انجام شده، تأکید می‌کند که فناوری‌های ترکیبی مانند AI-HI می‌توانند نقش مهمی در هوشمندسازی زنجیره تأمین داشته باشند. نتایج پژوهش حاضر نیز بیانگر آن است که AI زمانی بیشترین اثر را دارد که در یک محیط دیجیتال و یکپارچه به‌کار گرفته شود و جریان اطلاعات در آن شفاف و بدون وقفه

باشد. در مجموع، یافته‌های پژوهش حاضر نه تنها سازوکارهای اثرگذاری AI بر تنوع و تاب‌آوری را روشن کرد، بلکه اهمیت زیرساخت‌های دیجیتال و سازوکارهای اطلاعاتی را نیز برجسته ساخت.

این پژوهش همچون دیگر مطالعات پیمایشی، محدودیت‌هایی دارد. نخست آنکه داده‌ها مبتنی بر پرسشنامه و برداشت ذهنی پاسخ‌دهندگان است، بنابراین امکان وجود سوگیری‌های ادراکی و پاسخ‌دهی وجود دارد. دوم آنکه مطالعه صرفاً بر صنایع تولیدی شهر تهران متمرکز بود و تعمیم نتایج به سایر صنایع یا مناطق جغرافیایی باید با احتیاط صورت گیرد. سوم آنکه این پژوهش تنها سازوکارهای شفافیت اطلاعات و کاهش هزینه هماهنگی را به‌عنوان میانجی بررسی کرده و سایر متغیرهای بالقوه مانند کیفیت روابط تأمین‌کنندگان، بلوغ دیجیتالی و ساختارهای حاکمیتی زنجیره تأمین در مدل لحاظ نشده‌اند. علاوه بر این، پژوهش به تحلیل مقطعی محدود است و تغییرات زمانی در سطح دیجیتالی شدن یا بلوغ AI بررسی نشده است. استفاده از خوداظهاری مدیران نیز محدودیت دیگری است زیرا عملکرد واقعی زنجیره تأمین ممکن است با ادراک مدیران متفاوت باشد.

پژوهش‌های آینده می‌توانند از روش‌های طولی برای بررسی تغییرات بلندمدت در سطح دیجیتالی شدن، توسعه AI و تاب‌آوری زنجیره بهره‌مند شوند. همچنین پیشنهاد می‌شود مدل پژوهش در صنایع مختلف مانند لجستیک، کشاورزی، خرده‌فروشی و صنایع انرژی آزمون شود تا میزان تعمیم‌پذیری نتایج مشخص گردد. بررسی نقش میانجی‌گری عوامل دیگری مانند روابط بین‌سازمانی، اعتماد دیجیتال، بلوغ تحلیلی داده‌ها و فرهنگ سازمانی نیز می‌تواند به تبیین بهتر اثر AI کمک کند. ترکیب روش‌های کمی و کیفی برای مطالعه تجربیات مدیران و تحلیل عمیق‌تر مسیرهای تحول دیجیتال در زنجیره تأمین نیز می‌تواند افق‌های جدیدی را باز کند. پژوهش‌های آینده همچنین باید به نقش فناوری‌های مکمل مانند بلاک‌چین، اینترنت اشیا، سیستم‌های سایبر-فیزیکال و مدل‌های AI-HI بپردازند تا تصویری جامع‌تر از تحول دیجیتال زنجیره تأمین ارائه شود.

مدیران صنایع تولیدی باید سرمایه‌گذاری در دیجیتالی‌سازی فرایندها را به‌عنوان پیش‌شرط اجرای موفق فناوری‌های هوش مصنوعی در نظر بگیرند. به‌کارگیری سیستم‌های جمع‌آوری داده، ارتقای زیرساخت‌های تحلیلی و توسعه مهارت‌های دیجیتال کارکنان می‌تواند زمینه بهره‌برداری اثربخش از AI را فراهم سازد. همچنین توصیه می‌شود سازمان‌ها از AI برای تنوع‌بخشی شبکه تأمین، شناسایی فرصت‌های جدید، مدیریت ریسک و افزایش تاب‌آوری استفاده کنند. ایجاد همکاری نزدیک‌تر با تأمین‌کنندگان، استفاده از داشبوردهای هوشمند برای شفافیت اطلاعاتی و توسعه فرایندهای تصمیم‌گیری مبتنی بر داده می‌تواند کیفیت مدیریت زنجیره تأمین را بهبود دهد. در نهایت، سازمان‌ها باید AI را نه فقط یک ابزار فناورانه بلکه یک تغییر راهبردی در نظر گیرند که نیازمند تحول در ساختار، فرهنگ و رویکردهای مدیریتی است.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در انجام این پژوهش ما را همراهی کردند تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

موازین اخلاقی

Extended Abstract

Introduction

Recent global disruptions—from pandemics and geopolitical instabilities to climate-related disasters—have exposed critical vulnerabilities in supply chains and highlighted the urgent need for advanced technological solutions capable of improving supply chain resilience, agility, and diversity. As industries increasingly operate in volatile and uncertain environments, artificial intelligence (AI) has emerged as a powerful enabler of data-driven decision-making, predictive analytics, and operational automation. These capabilities allow firms to anticipate disruptions, reconfigure sourcing strategies, reduce coordination inefficiencies, and optimize logistics flows in ways that traditional systems cannot support effectively. As such, AI is increasingly recognized as a transformative mechanism for mitigating risks and enhancing overall supply chain performance (Ahmad et al., 2022). Growing scholarship has emphasized that AI supports supply chain diversification by identifying alternative suppliers, optimizing resource allocation, and analyzing complex market signals in real time (Guo et al., 2025). Supply chain diversification itself has been widely acknowledged as a strategic response to uncertainty and a mechanism for reducing dependence on single suppliers or geographic regions (Zhou et al., 2024). Through predictive analytics and sophisticated modeling techniques, AI systems can recognize emerging risks and opportunities, thereby shaping proactive diversification strategies (Ma et al., 2025). In parallel, resilience has become a core construct in contemporary supply chain management research, defined as the capacity of a supply chain to withstand, absorb, adapt to, and recover from disruptions. Foundational studies underscore the importance of visibility, flexibility, and collaboration in shaping resilient supply chains (Christopher & Peck, 2004; Yang et al., 2014). AI contributes directly to these enablers by enhancing detection capabilities, improving coordination, and supporting rapid reconfiguration during crises (Chen et al., 2024; Liu et al., 2024).

The rapid digitalization of industries has further strengthened the complementary relationship between AI adoption and supply chain performance. Digital infrastructures allow firms to collect, integrate, and process vast quantities of structured and unstructured data, thereby amplifying the effectiveness of AI systems (Li et al., 2025). Research shows that high levels of digital maturity significantly enhance firms' ability to leverage AI for supply chain diversification and resilience (L. Wang et al., 2024). Simulation-based evidence also suggests that AI-enabled digital supply chains exhibit superior stability and recovery speed during disruptions (Ivanov et al., 2024). In addition, AI contributes to transparency—an essential capability that helps firms mitigate information asymmetry, coordinate more effectively with supply chain partners, and make informed decisions under uncertainty (Modgil et al., 2022). Enhanced transparency plays a dual role by supporting diversification—through improved supplier evaluation—and resilience, by enabling real-time monitoring and risk identification (Xu & Lin, 2021).

Another mechanism through which AI strengthens supply chain outcomes is the reduction of coordination costs. In complex supply networks, coordination failures and communication delays significantly hinder responsiveness. AI automates decision flows, synchronizes operations, and streamlines communication channels, thereby reducing coordination inefficiencies (Adenekan et al., 2024). Moreover, AI's ability to integrate human intelligence with advanced analytical models—particularly in humanitarian and high-risk environments—has been demonstrated as a crucial enabler of robust decision support frameworks (W. Wang et al., 2024). Complementary perspectives

from the procurement and logistics domains further affirm that AI and machine learning drive improvements in purchasing efficiency, sustainable logistics, and greener supply chain practices (Rane et al., 2024; Rashid et al., 2024; Spreitzenbarth et al., 2024). Research also highlights that integrating AI into strategic human resource management strengthens supply chain agility and resilience by aligning human competencies with digital decision-making environments (Yamin et al., 2024).

Beyond these operational and strategic effects, interdisciplinary advancements highlight the value of integrating AI with emerging technologies such as blockchain. Such hybrid solutions enhance traceability, trust, and data security across sensitive supply chains (Seifi et al., 2025). Together, these findings suggest that AI's impact on supply chain diversification and resilience operates through multiple channels: improving transparency, reducing coordination costs, enabling predictive and prescriptive analytics, and amplifying digital capabilities across organizations. Nevertheless, existing studies remain limited regarding how these mechanisms function concurrently—particularly in the context of developing economies and manufacturing environments, where resource constraints and technological gaps may shape AI adoption outcomes differently.

Given these gaps, the present study investigates how AI development influences supply chain diversification and resilience, with a focus on the mediating roles of information transparency and coordination cost reduction, and the moderating effect of organizational digitalization. By examining these relationships simultaneously within Iranian manufacturing industries, the study contributes a comprehensive and contextually grounded understanding of how AI enhances supply chain capabilities in emerging markets.

Methods and Materials

This study adopted a descriptive-survey design and targeted managers, supervisors, and supply chain experts working in manufacturing firms. A structured, researcher-developed questionnaire was used to measure AI development, information transparency, coordination cost reduction, supply chain diversification, supply chain resilience, and organizational digitalization. Responses were collected using a five-point Likert scale. A sample of 160 participants was selected through stratified random sampling. Reliability was assessed through Cronbach's alpha and composite reliability, while convergent validity was evaluated using average variance extracted. Data were analyzed using Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) through SmartPLS software. The model tested direct, mediating, and moderating relationships among variables.

Findings

The results demonstrated that AI development exerted a significant positive effect on both supply chain diversification and supply chain resilience. AI development also significantly enhanced information transparency and reduced coordination costs. Information transparency had a meaningful positive effect on supply chain diversification, while coordination cost reduction significantly improved supply chain resilience. Furthermore, organizational digitalization strengthened the impact of AI development on both diversification and resilience. The mediating role of information transparency between AI development and diversification was also statistically supported. All hypothesized relationships were confirmed based on path coefficients, t-values, and significance levels.

Discussion and Conclusion

The findings indicate that AI plays a crucial role in strengthening supply chain performance through mechanisms that enhance both diversity and resilience. The positive effect of AI on diversification suggests that organizations with higher AI capabilities can leverage data-driven analyses to identify

alternative suppliers, diversify sourcing strategies, and reduce dependence on limited supply bases. The confirmed effect of AI on resilience illustrates its value in supporting predictive capabilities, enabling faster recovery, and promoting adaptive responses during disruptions.

The study also revealed that improvements in information transparency are central to AI's influence on diversification. When supply chain data become more visible, accurate, and accessible, firms can explore broader sourcing opportunities and make informed diversification decisions. Reductions in coordination costs emerged as a critical mechanism through which AI enhances resilience. By automating routine tasks, synchronizing processes, and minimizing miscommunication, AI systems reduce the time and effort required to coordinate across supply chain entities, thereby increasing the ability to withstand and recover from disruptions.

The moderating effect of organizational digitalization underscores the importance of digital infrastructure as a prerequisite for effective AI utilization. Firms with advanced digital capabilities derive significantly greater benefits from AI investments, as digital platforms facilitate data integration, real-time analytics, and automated coordination processes.

Overall, the study provides strong evidence that AI development—supported by transparent data environments, automated coordination mechanisms, and digitalized organizational contexts—contributes meaningfully to robust, diverse, and resilient supply chains. As AI technologies increasingly permeate manufacturing and logistics systems, their strategic integration into supply chain management will become essential for firms seeking to compete in uncertain and rapidly evolving environments.

References

- Adenekan, O., Smith, J., & Lee, H. (2024). Reducing coordination costs in supply chains through AI-enabled systems. *International Journal of Production Economics*, 278, 108652. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.108652>
- Ahmad, S., Zhang, Y., & Kumar, V. (2022). Artificial intelligence in supply chain management: Opportunities and challenges. *Journal of Business Research*, 145, 101–115. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.01.015>
- Chen, L., Wang, X., & Zhao, Y. (2024). Artificial intelligence and supply chain resilience: Evidence from manufacturing firms. *Computers & Industrial Engineering*, 178, 109312. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.109312>
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1–13. <https://doi.org/10.1108/09574090410700275>
- Guo, F., Li, J., & Sun, H. (2025). AI-driven supply chain diversification: Mechanisms and outcomes. *Journal of Operations Management*, 72(1), 23–40. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2025.03.001>
- Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2024). The digital supply chain and resilience: A simulation study. *International Journal of Production Research*, 62(8), 2345–2365. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.1823456>
- Li, M., Wang, Q., & Chen, R. (2025). Digitalization as a moderator in AI adoption and supply chain resilience. *Journal of Supply Chain Management*, 61(3), 45–62. <https://doi.org/10.1111/jscm.12256>
- Liu, Y., Zhang, P., & Zhao, W. (2024). Predictive analytics and supply chain recovery: AI applications in manufacturing. *Decision Support Systems*, 178, 113010. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2024.113010>
- Ma, K., Zhou, J., & Liu, H. (2025). Artificial intelligence, supply chain flexibility, and firm performance. *International Journal of Production Economics*, 281, 109782. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109782>
- Modgil, S., Sharma, R., & Gaur, V. (2022). Artificial intelligence for supply chain transparency: A review and framework. *Supply Chain Management: An International Journal*, 27(6), 1010–1025. <https://doi.org/10.1108/SCM-11-2021-0421>
- Rane, N., Choudhary, S., & Rane, J. (2024). Artificial intelligence and machine learning for resilient and sustainable logistics and supply chain management. Available at SSRN 4847087. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4847087>
- Rashid, A., Baloch, N., Rasheed, R., & Ngah, A. H. (2024). Big data analytics-artificial intelligence and sustainable performance through green supply chain practices in manufacturing firms of a developing country. *Journal of Science and Technology Policy Management*.
- Seifi, N., Ghoojdani, E., Majd, S. S., Maleki, A., & Khamoushi, S. (2025). Evaluation and prioritization of artificial intelligence integrated block chain factors in healthcare supply chain: A hybrid Decision Making Approach.

- Computer and Decision Making: An International Journal*, 2, 374-405. <https://doi.org/10.59543/comdem.v2i.11029>
- Spreitzenbarth, J. M., Bode, C., & Stuckenschmidt, H. (2024). Artificial intelligence and machine learning in purchasing and supply management: A mixed-methods review of the state-of-the-art in literature and practice. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 30(1), 100896. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2024.100896>
- Wang, L., Li, Q., & Chen, S. (2024). Organizational digitalization and AI-enabled supply chain diversification. *Journal of Business Logistics*, 45(4), 350–370. <https://doi.org/10.1111/jbl.12345>
- Wang, W., Chen, Y., Wang, Y., Deveci, M., Cheng, S., & Brito-Parada, P. R. (2024). A decision support framework for humanitarian supply chain management – Analysing enablers of AI-HI integration using a complex spherical fuzzy DEMATEL-MARCOS method. *Technological Forecasting and Social Change*, 206, 123556. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2024.123556>
- Wong, L. W., Tan, G. W. H., Ooi, K. B., Lin, B., & Dwivedi, Y. K. (2024). Artificial intelligence-driven risk management for enhancing supply chain agility: A deep-learning-based dual-stage PLS-SEM-ANN analysis. *International Journal of Production Research*, 62(15), 5535-5555. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2063089>
- Xu, L., & Lin, Z. (2021). Supply chain risk management in the digital era: AI perspectives. *Computers & Industrial Engineering*, 157, 107297. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107297>
- Yamin, B. M., Almuteri, S. D., Bogari, K. J., & Ashi, A. K. (2024). The Influence of Strategic Human Resource Management and Artificial Intelligence in Determining Supply Chain Agility and Supply Chain Resilience. *Sustainability*, 16(7), 2688. <https://doi.org/10.3390/su16072688>
- Yang, F., Zhao, L., & Guo, R. (2014). Supply chain risk and resilience in emerging economies. *International Journal of Production Economics*, 147, 130–141. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.05.013>
- Zhou, J., Chen, Y., & Li, M. (2024). Supply chain diversification as a strategic response to environmental uncertainty: The role of AI. *Journal of Supply Chain Management*, 60(2), 22–38. <https://doi.org/10.1111/jscm.12123>