



Identification and Ranking of Factors Influencing the Optimization of Technology-Based Sustainable Supply Chain Management Systems: A Case Study of the Iranian Steel Industry

Alireza Soltan Mohammadi

M.A., Department of Industrial Management, Faculty of Alborz Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.

Alireza.soltanmo@ut.ac.ir

Mohsen Ahmadvand*

Assistant professor, Department of Industrial Management and Entrepreneurship, Faculty of Governance, Shahed University, Tehran, Iran.

MohsenAhmadvand@shahed.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Full Paper

Article history:

Received: 2025-11-28

Revised: 2026-01-05

Accepted: 2026-02-10

Keywords:

Sustainable Supply Chain Management;
Sustainable Supply Chain Management Systems;
Technology;
Foresight Approach.

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives: Today, the utilization of advanced technologies and digital tools, with a focus on intelligent and data-driven algorithms, provides the foundation for optimizing technology-based sustainable supply chain management systems. This approach, by enabling precise risk prediction, improving decision-making, and implementing preventive maintenance, enhances efficiency, reduces unexpected disruptions, and increases safety in production and distribution processes. Therefore, the aim of this study was to identify and rank the factors influencing the optimization of technology-based sustainable supply chain management systems.

Materials and Methods: This research is methodologically based on Structural Self-Interaction Matrix analysis with a foresight approach and is applied in terms of purpose. The statistical population comprised 25 senior managers from the supply chains of Iranian steel industries. Data were collected through literature review, structured interviews, and a Structural Self-Interaction Matrix scoring questionnaire, and subsequently analyzed using the MICMAC statistical software.

Results: The findings indicated that the most influential factors in optimizing technology-based sustainable supply chain management systems are the training and development of technology-driven decision-making skills among supply chain human resources, the development of intelligent supply chain management systems using predictive algorithms, and the application of artificial intelligence analyses in supply chain decision-making systems.

Conclusion: The results demonstrate that identifying and ranking the factors affecting the optimization of technology-based sustainable supply chain management systems in the Iranian steel industry can facilitate the recognition of key opportunities and challenges in this field. This, in turn, helps managers and decision-makers implement effective strategies to enhance supply chain efficiency and resilience. Employing a strategic foresight approach in this process enables the anticipation of environmental

* Corresponding author.

E-mail address: MohsenAhmadvand@shahed.ac.ir
<https://orcid.org/0000-0002-5358-608X>

changes and emerging technologies, thereby improving the adaptation of the steel industry to global developments and supporting sustainable industrial development.

Cite this article as:

Soltan Mohammadi, A; & Ahmadvand, M. (2026). Identification and Ranking of Factors Influencing the Optimization of Technology-Based Sustainable Supply Chain Management Systems: A Case Study of the Iranian Steel Industry. *Journal of Strategic Value Chain Management*, 3(9), 53-73.



DOI: <https://doi.org/10.22075/svcm.2026.39866.1074>

© 2024 authors retain the copyright and full publishing rights. Journal of Strategic Value Chain Management Published by **Semnan University Press**.

This is an open access article under the CC-BY-4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری (مورد مطالعه: صنایع فولادی ایران)

علیرضا سلطان‌محمدی 

کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

Alireza.soltanmo@ut.ac.ir

محسن احمدوند* 

استادیار، گروه مدیریت صنعتی و کارآفرینی، دانشکده حکمرانی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

MohsenAhmadvand@shahed.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: امروزه، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و ابزارهای دیجیتال، با تمرکز بر الگوریتم‌های هوشمند و داده‌محور، زمینه بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری را فراهم می‌کند. این رویکرد با پیش‌بینی دقیق ریسک‌ها، بهبود تصمیم‌گیری و اجرای نگهداری پیشگیرانه، موجب افزایش کارایی، کاهش اختلالات ناگهانی و ارتقای ایمنی در فرآیندهای تولید و توزیع می‌شود. لذا، هدف از انجام این پژوهش، شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۱	روش: پژوهش حاضر از نظر روش انجام، بر پایه تحلیل ماتریس اثرات متقابل ساختاری با رویکرد آینده‌نگاری و از نظر هدف از نوع کاربردی است. جامعه آماری این پژوهش از ۲۵ نفر از مدیران عالی زنجیره تأمین صنایع فولادی ایران تشکیل شده است. داده‌های این پژوهش از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، مصاحبه ساختاریافته و پرسشنامه امتیازدهی ماتریس اثرات متقابل ساختاری جمع‌آوری شده و با نرم‌افزار آماری میک‌مک تجزیه و تحلیل شده‌اند.
واژه‌های کلیدی: مدیریت زنجیره تأمین پایدار؛ سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار؛ فناوری؛ رهیافت آینده‌نگاری.	یافته‌ها: یافته‌های این پژوهش نشان داد که عوامل آموزش و توسعه مهارت‌های تصمیم‌گیری فناورمحور منابع انسانی زنجیره تأمین، توسعه سیستم‌های هوشمند مدیریت زنجیره تأمین با بکارگیری الگوریتم‌های پیش‌بینی‌پذیر، و به‌کارگیری تحلیل‌های هوش مصنوعی در سیستم‌های تصمیم‌گیری زنجیره تأمین به عنوان تأثیرگذارین عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری هستند.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری در صنایع فولادی ایران می‌تواند زمینه‌ساز شناسایی فرصت‌ها و چالش‌های اساسی این حوزه شود و به مدیران و تصمیم‌گیران کمک کند تا با اتخاذ راهبردهای مؤثر، کارایی و تاب‌آوری زنجیره تأمین را ارتقا دهند. به‌کارگیری رویکرد آینده‌پژوهی راهبردی در این فرایند، امکان پیش‌بینی تغییرات محیطی و فناوری‌های نوظهور را فراهم می‌کند و زمینه تطبیق بهتر صنایع فولادی کشور با تحولات جهانی و دستیابی به توسعه پایدار را مهیا می‌سازد.

استناد: سلطان‌محمدی، علیرضا و احمدوند، محسن. (۱۴۰۵). شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری (مورد مطالعه: صنایع فولادی ایران). *مجله مدیریت زنجیره ارزش راهبردی*، ۳ (۹)، ۷۳-۵۲.



DOI: <https://doi.org/10.22075/svcm.2026.39866.1074>

ناشر: دانشگاه سمنان

۱. مقدمه

صنعت فولاد به دلیل وابستگی بالا به مواد اولیه و نیاز به هماهنگی گسترده با تأمین کنندگان، دارای زنجیره تأمین پیچیده و حساس است. چند مرحله‌ای بودن تولید و حجم بالای محصولات، این صنعت را در برابر اختلالات لجستیکی آسیب‌پذیر می‌سازد. بنابراین، استفاده از رویکردهای نوین و فناوری‌های دیجیتال برای مدیریت کارآمد و پایدار زنجیره تأمین فولاد ضروری است. (امیری و بیات‌زاده، ۱۴۰۳). از همین رو، مدیریت زنجیره تأمین پایدار به عنوان رویکردی کلیدی برای مواجهه با این چالش‌ها مطرح است که با ادغام فناوری‌های دیجیتال، رویکردهای سبز و اصول اقتصاد چرخشی به بهبود عملکرد این صنعت کمک می‌کند (گروبارچیک^۱، ۲۰۲۵). در واقع، مدیریت زنجیره تأمین پایدار دیدگاهی جامع و یکپارچه بوده که با هدف ایجاد تعادل میان اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در فرآیندهای تأمین، تولید و توزیع، به استفاده بهینه از منابع، کاهش اثرات زیست‌محیطی و ارتقای مسئولیت‌پذیری اجتماعی سازمان‌ها می‌پردازد و از طریق همکاری مؤثر میان ذینفعان و بهره‌گیری از این مبانی، شفافیت، کارایی و تاب‌آوری زنجیره تأمین را بهبود می‌بخشد (دوبی^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). کارایی مدیریت زنجیره تأمین پایدار به وجود یک سیستم یکپارچه و هوشمند وابسته است که از فناوری‌های نوین بهره می‌گیرد. این سیستم با امکان برنامه‌ریزی، کنترل و پایش دقیق، هماهنگی مؤثری میان بازیگران زنجیره ایجاد می‌کند. در نتیجه، جریان کالا و اطلاعات بهینه شده و بهره‌وری، شفافیت و پایداری در ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی ارتقا می‌یابد (چوی^۳ و همکاران، ۲۰۱۸).

سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری با استفاده از داده‌های بلادرنگ و ابزارهای هوشمند، تصمیم‌گیری مدیران را بهبود می‌بخشند. این سیستم‌ها با بهره‌گیری از فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و بلاکچین، به پیش‌بینی تقاضا، شناسایی اختلالات و افزایش شفافیت کمک می‌کنند. در نتیجه، عملکرد و پایداری زنجیره تأمین به طور چشمگیری ارتقا می‌یابد (دتوال^۴ و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین این سیستم‌ها با ایجاد یکپارچگی میان تأمین کنندگان، تولید کنندگان و مشتریان، فرآیندهای عملیاتی را هماهنگ کرده و هزینه‌ها، ضایعات و زمان‌های انتظار را به شکل قابل توجهی کاهش می‌دهند (پال^۵، ۲۰۲۵). علاوه بر این، این سیستم‌ها نقش مهمی در ارتقای پایداری اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی زنجیره تأمین ایفا می‌کنند، زیرا با ردیابی دقیق منابع و کنترل مصرف انرژی، امکان کاهش اثرات منفی محیطی را فراهم می‌سازند و با تقویت مسئولیت‌پذیری سازمان‌ها نسبت به ذینفعان، تعاملات اجتماعی را بهبود می‌بخشند. در نتیجه، سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری نه تنها کارایی و بهره‌وری عملیاتی را بهبود می‌بخشند، بلکه پایه‌ای مستحکم برای تحقق اهداف پایداری بلندمدت فراهم می‌کنند (علی^۶ و همکاران، ۲۰۲۳). در غیاب سیستم‌های فناورمحور، زنجیره تأمین با چالش‌هایی مانند نبود شفافیت، تأخیر در تصمیم‌گیری و افزایش ریسک اختلالات مواجه می‌شود. کمبود داده‌های دقیق و بلادرنگ مانع پیش‌بینی تغییرات بازار و مدیریت به موقع تأمین می‌گردد، که منجر به کاهش بهره‌وری و افزایش هزینه‌ها می‌شود. همچنین، نبود این سیستم‌ها تحقق پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی را محدود کرده و کارآمدی زنجیره تأمین را کاهش می‌دهد (فواد^۷ و همکاران، ۲۰۲۳).

صنعت فولاد ایران به عنوان یکی از صنایع پایه و حیاتی کشور، نقش مهمی در توسعه اقتصادی، اشتغال‌زایی و زیرساخت‌های صنعتی ایفا می‌کند و هم‌زمان با فشارهای رقابتی داخلی و بین‌المللی، نیازمند سیستم زنجیره تأمین پایدار و کارآمد است. همانطور که بیان شد مواد اولیه کلیدی مانند سنگ آهن، زغال سنگ و قراضه فولادی نیازمند تأمین پایدار و

¹ Gróbarczyk

² Dubey

³ Choi

⁴ Detwal

⁵ Pal

⁶ Ali

⁷ Fuad

هماهنگی دقیق با تأمین کنندگان داخلی و خارجی هستند و هرگونه اختلال در این بخش می تواند کل چرخه تولید را تحت تأثیر قرار دهد. علاوه بر این، فرآیندهای چندمرحله‌ای تولید شامل ذوب، ریخته‌گری، نورد و عملیات تکمیلی، حساسیت و پیچیدگی سیستم زنجیره تأمین پایدار را افزایش می‌دهد و مدیریت ناکارآمد آن هزینه‌ها و ضایعات را به شدت بالا می‌برد. ایجاد سیستم زنجیره تأمین پایدار در این صنعت می‌تواند علاوه بر کاهش اثرات زیست‌محیطی، کارایی و بهره‌وری عملیاتی را افزایش دهد و ضمن ارتقای شفافیت و قابلیت ردیابی محصولات، ریسک‌های مرتبط با اختلالات و نوسانات بازار را کاهش دهد. لذا، مطالب بیان شده نشان می‌دهد که شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری در صنایع فولادی ایران، به مدیران این صنعت امکان می‌دهد تغییرات آینده در محیط کسب و کار و فناوری را پیش‌بینی کرده و استراتژی‌های سازمان را با نیازهای نوین زنجیره تأمین همسو سازند. تصمیم‌گیری‌ها بر پایه داده‌های معتبر و تحلیل‌های فناورمحور انجام می‌شود که بهره‌وری، انعطاف‌پذیری و کارآمدی زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد. همچنین، نتایج این پژوهش به صنایع فولادی کمک می‌کند تهدیدات و فرصت‌های بالقوه پیش رو را شناسایی کنند و در نتیجه ریسک‌های ناشی از ناکارآمدی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین را کاهش دهند، ضمن اینکه موجب حرکت این صنایع در مسیر توسعه پایدار، نوآوری و بهبود مستمر عملکرد و کیفیت خدمات به مشتریان و ذینفعان می‌شود. با این حال، عدم شناسایی دقیق عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار می‌تواند موجب سردرگمی مدیران در مواجهه با تحولات سریع فناوری و بازار شود و در نتیجه تصمیم‌گیری‌های ناکارآمد، کاهش کارایی زنجیره تأمین، از دست رفتن فرصت‌های بهبود و آسیب‌پذیری صنایع فولادی در برابر تهدیدات نوظهور را به همراه داشته باشد. با وجود اهمیت بهره‌وری و پایداری در صنایع فولادی ایران، مطالعات موجود عمدتاً به بررسی فناوری‌های منفرد یا مباحث کلی زنجیره تأمین محدود شده‌اند و شناسایی جامع عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری کمتر انجام شده است. تعامل میان عوامل فناورمحور و غیر فناورمحور و اثرات متقابل آن‌ها به صورت کمی و کیفی تحلیل نشده است. همچنین، کمبود مطالعات آینده‌پژوهانه و فقدان چارچوب رتبه‌بندی عوامل، تصمیم‌گیری راهبردی مدیران را محدود می‌کند. بسیاری از پژوهش‌ها نیز همسوسازی فناوری با اهداف پایداری و مسئولیت اجتماعی را مدنظر قرار نداده‌اند. بنابراین، نیاز به مطالعه‌ای وجود دارد که عوامل کلیدی مؤثر را شناسایی، تحلیل و اولویت‌بندی کرده و راهکارهای عملیاتی و فناورمحور ارائه دهد. با توجه به این مسائل، پژوهش حاضر با تکیه بر مبانی نظری و مطالعات پیشین، عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری را شناسایی کرده و با جمع‌آوری نظرات خبرگان، آن‌ها را از طریق روش امتیازدهی در ماتریس تحلیل اثرات متقابل ساختاری رتبه‌بندی خواهد کرد. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری در صنایع فولادی ایران است.

۲. پیشینه پژوهش

مدیریت زنجیره تأمین پایدار فرآیندی است که با ادغام ملاحظات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی، جریان کالا، اطلاعات و منابع را به گونه‌ای طراحی و کنترل می‌کند که نیازهای فعلی بدون آسیب رساندن به توانایی نسل‌های آینده تأمین شود (تونی^۱ و همکاران، ۲۰۲۵). همچنین، مدیریت زنجیره تأمین پایدار شامل برنامه‌ریزی و هماهنگی فعالیت‌های زنجیره تأمین با هدف کاهش اثرات محیطی، بهبود مسئولیت اجتماعی و افزایش بهره‌وری اقتصادی سازمان‌ها و ذینفعان است (جیا^۲ و همکاران، ۲۰۲۵). مدیریت زنجیره تأمین پایدار رویکردی است که در آن سازمان‌ها تلاش می‌کنند علاوه بر بهره‌وری اقتصادی، به مسئولیت‌های زیست‌محیطی و اجتماعی نیز توجه داشته باشند. این نوع مدیریت با کاهش مصرف منابع، کنترل

¹ Tuni

² Jia

آلاینده‌ها و استفاده از مواد اولیه دوستدار محیط‌زیست همراه است (سورینگ و مولر^۱، ۲۰۰۸). همچنین رعایت حقوق نیروی کار، ایمنی شغلی و شفافیت در روابط با تأمین‌کنندگان از اصول مهم آن به شمار می‌رود. زنجیره تأمین پایدار می‌تواند ریسک‌های بلندمدت سازمان را کاهش داده و اعتماد مشتریان را افزایش دهد. در نهایت، این رویکرد به توسعه پایدار و ایجاد مزیت رقابتی برای سازمان‌ها کمک می‌کند (سورینگ^۲، ۲۰۱۳). در مدیریت زنجیره تأمین پایدار، مجموعه‌ای از سیستم‌های به‌هم‌پیوسته نقش اساسی در تحقق اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی ایفا می‌کنند. سیستم مدیریت تأمین پایدار با ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان بر مبنای معیارهای پایداری، ریسک‌های زنجیره را کاهش می‌دهد. سیستم تولید پایدار از طریق بهینه‌سازی مصرف منابع و کاهش ضایعات، اثرات زیست‌محیطی را کنترل می‌کند. همچنین سیستم لجستیک سبز با بهبود فرآیندهای حمل‌ونقل و توزیع، میزان انتشار آلاینده‌ها را کاهش می‌دهد. در نهایت، سیستم لجستیک معکوس و بازیافت با امکان بازگشت و استفاده مجدد از محصولات، به تکمیل چرخه پایداری در زنجیره تأمین کمک می‌کند (کوبرگ و لانگونی^۳، ۲۰۱۹).

در این میان، سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار، چارچوبی سازمان‌یافته بوده که با ادغام فرآیندها، فناوری‌ها و سیاست‌ها، جریان کالا، اطلاعات و منابع را به گونه‌ای هدایت می‌کند که اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به‌صورت هم‌زمان تحقق یابند (سورینگ^۴ و همکاران، ۲۰۲۲). لذا، سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار مجموعه‌ای از ابزارها و رویه‌هاست که تعامل میان تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مشتریان را مدیریت کرده و با کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی و افزایش مسئولیت اجتماعی، عملکرد کلی زنجیره تأمین را بهینه می‌کند (دومیتراسکو^۵ و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین، سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار رویکردی فناوری‌محور و داده‌محور بوده که با استفاده از نوآوری‌های دیجیتال و ابزارهای تحلیلی، تصمیم‌گیری و عملیات زنجیره تأمین را بهینه می‌کند تا تعادل بین بهره‌وری اقتصادی، پایداری محیطی و مسئولیت اجتماعی حفظ شود (ماروتا^۶ و همکاران، ۲۰۱۷). بر اساس تئوری ذی‌نفعان، این سیستم با در نظر گرفتن انتظارات گروه‌های مختلفی مانند مشتریان، تأمین‌کنندگان، کارکنان، جامعه و نهادهای قانونی عمل می‌کند و تلاش دارد توازن میان منافع اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برقرار سازد (دار^۷ و همکاران، ۲۰۲۴). از سوی دیگر، مطابق تئوری منبع‌محور، مدیریت زنجیره تأمین پایدار به‌عنوان یک قابلیت راهبردی و منبع نامشهود ارزشمند تلقی می‌شود که از طریق هماهنگی فرآیندها، نوآوری‌های سبز و یادگیری سازمانی، مزیت رقابتی پایدار برای سازمان ایجاد می‌کند (توشر^۸ و همکاران، ۲۰۱۷). این سیستم‌ها با مدیریت موجودی و پیش‌بینی تقاضا، تأمین به موقع کالاها و مواد اولیه را تضمین می‌کند و از طریق بهینه‌سازی فرآیندها و کاهش ضایعات، بهره‌وری اقتصادی را افزایش می‌دهند. همچنین، با فراهم کردن شفافیت و قابلیت ردیابی جریان کالا و اطلاعات، پشتیبانی از تصمیم‌گیری فناوری‌محور و هوشمند، مدیریت ریسک و افزایش تاب‌آوری در مواجهه با اختلالات، نقش مؤثری در بهبود عملکرد زنجیره تأمین ایفا می‌کند. علاوه بر این، سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار با رعایت اصول محیط‌زیستی و مسئولیت اجتماعی، کاهش اثرات زیست‌محیطی و ترویج رویه‌های پایدار را در کل زنجیره تأمین تضمین می‌کند (غفران^۹ و همکاران، ۲۰۲۱). لذا، سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار با هدف ایجاد توازن میان عملکرد اقتصادی، مسئولیت‌های اجتماعی و الزامات زیست‌محیطی عمل می‌کند. این سیستم از طریق هماهنگی میان تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و

¹ Seuring & Müller

² Seuring

³ Koberg & Longoni

⁴ Seuring

⁵ Dumitrascu

⁶ Marota

⁷ Dar

⁸ Teuscher

⁹ Ghufraan

توزیع کنندگان، مصرف منابع و ریسک‌های عملیاتی را کاهش می‌دهد. در نهایت، با تقویت پاسخگویی به ذی‌نفعان و توسعه قابلیت‌های راهبردی، به ایجاد مزیت رقابتی پایدار برای سازمان‌ها منجر می‌شود.

۱.۲. پیشینه تجربی پژوهش

در این بخش، ابتدا تحقیقات انجام‌شده در زمینه مدیریت زنجیره تأمین پایدار و فناوری مرور می‌شوند و سپس با رویکردی تحلیلی، جنبه‌های مختلف این تحقیقات مورد بررسی قرار می‌گیرند.

جدول ۱. پیشینه تجربی پژوهش

ردیف	محقق(سال)	عنوان	یافته‌ها
۱	امیری و بیات‌زاده (۱۴۰۳)	شناسایی و رتبه‌بندی راهکارهای دیجیتال برای مدیریت اختلالات زنجیره تأمین (مورد مطالعه: صنعت فولاد)	یافته‌های این پژوهش نشان داد که مدل‌های همزاد دیجیتال در رتبه اول قرار گرفتند و پس از آن، تحلیل پیش‌بینی‌کننده مبتنی بر هوش مصنوعی و سیستم‌های هشدار بلادرنگ مبتنی بر اینترنت اشیا قرار دارند. این راهکارها به دلیل قابلیت بهبود زمان واکنش، افزایش شفافیت و ارتقای انعطاف‌پذیری، از اولویت بالاتری برخوردار شدند.
۲	پشمی و نوربخش سعداباد (۱۴۰۳)	بررسی رابطه سیستم‌های اطلاعاتی و مدیریت زنجیره تأمین پایدار	یافته‌های این پژوهش نشان داد که سیستم‌های اطلاعاتی نقشی کلیدی در پشتیبانی از مدیریت زنجیره تأمین پایدار دارند و می‌توانند عملکرد عملیاتی، مالی و محیطی سازمان‌ها را بهبود بخشند.
۳	دار و همکاران (۲۰۲۴)	چارچوب یکپارچه مبتنی بر فناوری بلاکچین و هوش مصنوعی برای سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار	یافته‌های این پژوهش نشان داد که پیچیدگی فزاینده زنجیره تأمین، اجرای رویه‌های پایدار را دشوار کرده است و فناوری بلاکچین می‌تواند با افزایش شفافیت و قابلیت ردیابی، نقش مهمی در بهبود سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار ایفا کند.
۴	کریم ^۱ و همکاران (۲۰۲۴)	بررسی تحلیل عوامل مؤثر بر مدیریت زنجیره تأمین پایدار	یافته‌های این پژوهش نشان داد که گروه‌های اجتماعی و سازمان‌های زیست‌محیطی به عنوان تأثیرگذارترین عامل در بین تمام عواملی که بالاترین قدرت پیش‌برنده را داشتند، به عنوان عوامل مؤثر بر مدیریت زنجیره تأمین پایدار شناخته شدند.
۵	چیانگ ^۲ و همکاران (۲۰۲۱)	سیستم مدیریت زنجیره تأمین مبتنی بر فناوری اطلاعات با رویکرد مدل مدیریت زنجیره تأمین پایدار	یافته‌های این پژوهش نشان داد که فناوری اطلاعات نقش مهم و رو به رشدی در تحول سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار ایفا می‌کند و با شناسایی ده موضوع تحقیقاتی اصلی، وضعیت فعلی و روند تکامل فناوری اطلاعات در این حوزه روشن شده است.

در پژوهش‌های اخیر، امیری و بیات‌زاده (۱۴۰۳) با بررسی راهکارهای دیجیتال در صنعت فولاد نشان دادند که مدل‌های همزاد دیجیتال، تحلیل پیش‌بینی‌کننده مبتنی بر هوش مصنوعی و سیستم‌های هشدار بلادرنگ مبتنی بر اینترنت اشیا^۳ از اولویت بالاتری برخوردارند، اما تمرکز آن‌ها محدود به یک صنعت خاص و مدیریت اختلالات بود و به شناسایی جامع عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری نپرداخت. پشمی و نوربخش سعداباد (۱۴۰۳) نقش سیستم‌های اطلاعاتی در بهبود عملکرد عملیاتی، مالی و محیطی را برجسته کردند و آن‌ها را به عنوان ابزار

^۱ Karim

^۲ Chiang

^۳ IOT

حمایتی مؤثر برای سازمان‌ها، تأمین‌کنندگان و مشتریان معرفی نمودند، اما پژوهش آن‌ها رتبه‌بندی عوامل و بررسی اولویت نسبی آن‌ها را ارائه نکرد. دار و همکاران (۲۰۲۴) با تمرکز بر ادغام بلاکچین و هوش مصنوعی، چارچوبی برای افزایش شفافیت و قابلیت ردیابی ارائه دادند که مزایا و چالش‌های زنجیره‌های تأمین باز را روشن می‌سازد، ولی تمرکز آن‌ها بیشتر بر فناوری‌های نوظهور و چارچوب کاربردی بود و بررسی جامع عوامل مؤثر و رتبه‌بندی آن‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفت. کریم و همکاران (۲۰۲۴) عوامل انسانی و اجتماعی، به‌ویژه نقش گروه‌های اجتماعی و سازمان‌های زیست‌محیطی را به‌عنوان مؤثرترین عوامل در مدیریت زنجیره تأمین پایدار شناسایی کردند، که وجه متمایز آن‌ها تأکید بر ذینفعان غیرتجاری است، اما ارتباط مستقیم با فناوری و اولویت‌بندی فناوری‌های مؤثر مشخص نشده است. نهایتاً چیانگ و همکاران (۲۰۲۱) با شناسایی ده موضوع تحقیقاتی کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین مبتنی بر فناوری اطلاعات، روند تکامل فناوری را روشن کردند، اما دامنه گسترده و عدم رتبه‌بندی عوامل مؤثر محدودیت اصلی آن بود. بنابراین، وجه تمایز پژوهش‌ها با عنوان کنونی یعنی «شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری» این است که ضمن شناسایی عوامل فناورمحور و غیر فناورمحور، آن‌ها را به صورت اولویت‌بندی شده و کاربردی برای بهینه‌سازی سیستم ارائه می‌دهد و محدودیت‌های مطالعات گذشته را پوشش می‌دهد. با وجود پیشرفت‌های اخیر، پژوهش‌های موجود عمدتاً یا بر یک صنعت خاص و مدیریت اختلالات تمرکز داشته‌اند یا به بررسی فناوری‌های نوظهور محدود شده‌اند و شناسایی جامع عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار را نادیده گرفته‌اند. همچنین، رتبه‌بندی اولویت عوامل فناورمحور و غیر فناورمحور در بسیاری از مطالعات بررسی نشده است. مطالعات قبلی به‌طور کامل تعامل میان عوامل انسانی، اجتماعی و فناوری را منعکس نکرده‌اند و کاربرد عملی آن‌ها برای بهینه‌سازی سیستم محدود است. این شکاف نشان می‌دهد که نیاز به پژوهشی جامع وجود دارد که همه عوامل مؤثر را شناسایی، اولویت‌بندی و در قالب چارچوب کاربردی ارائه دهد. در نتیجه، تحقیق حاضر با تمرکز بر شناسایی و رتبه‌بندی عوامل، خلأ مطالعات پیشین را پوشش می‌دهد و راهکارهای عملی برای بهبود سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری ارائه می‌کند.

۳. روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر روش انجام، بر پایه تحلیل ماتریس اثرات متقابل ساختاری با رویکرد آینده‌نگاری و از نظر هدف از نوع کاربردی است. روش ماتریس تحلیل اثرات متقابل ساختاری با رویکرد آینده‌نگاری، ابزاری کاربردی برای ارزیابی احتمال وقوع یک پدیده در میان مجموعه‌ای از عناصر پیش‌بینی شده است. این روش با هدف درک پویایی‌های سیستم، شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر آینده به کار گرفته می‌شود. در این چارچوب، احتمال بروز هر پدیده با توجه به ارزیابی تأثیرات متقابل بالقوه میان پیشران‌ها و قضاوت‌های دقیق درباره آن‌ها تعیین می‌گردد (اسحاقی‌گرگی و همکاران، ۱۴۰۳). در روش ماتریس اثرات متقابل ساختاری، امتیازدهی به عوامل به این صورت انجام می‌شود که عدد صفر بیانگر «عدم تأثیر»، عدد یک نشان‌دهنده «تأثیر ضعیف»، عدد دو معرف «تأثیر متوسط» و عدد سه بیانگر «تأثیر زیاد» است. این امتیازها توسط خبرگان و از طریق مصاحبه‌های ساختاریافته به هر عامل اختصاص می‌یابد، به گونه‌ای که هر عامل بر اساس میزان و شدت تأثیرگذاری آن بر سایر عوامل در بازه‌ای از صفر تا سه ارزیابی و نمره‌گذاری می‌شود (حمزوی و همکاران، ۱۴۰۳). روش ماتریس تحلیل اثرات متقابل ساختاری با رویکرد آینده‌نگاری، علاوه بر تعیین میزان تأثیر عوامل، امکان تحلیل نقش و جایگاه هر عامل در کل سیستم را نیز فراهم می‌کند. با استفاده از این روش، عوامل به دسته‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند که پیشران‌ها بیشترین اثر را بر سایر عوامل دارند و تابع‌ها بیشتر تحت تأثیر دیگران قرار می‌گیرند. این دسته‌بندی به شناسایی نقاط کلیدی و عوامل راهبردی برای مدیریت و بهینه‌سازی سیستم کمک می‌کند. همچنین، ترکیب ارزیابی خبرگان با تحلیل کمی تأثیرات، دقت و قابلیت اعتماد نتایج را افزایش می‌دهد و چارچوبی منسجم برای اولویت‌بندی و تصمیم‌گیری

در شرایط عدم قطعیت ارائه می‌کند. بدین ترتیب، این روش به عنوان ابزاری کاربردی برای شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر در سیستم‌های پیچیده و پویا مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ به طوری کلی تحلیل اثرات متقابل ساختاری بر اساس شکل ۱ شامل چهار مرحله زیر است (رضایی‌منش و همکاران، ۱۴۰۴):



شکل ۱. مراحل تحلیل اثرات متقابل ساختاری با رویکرد آینده‌نگاری

داده‌های این پژوهش از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه‌های ساختاریافته با خبرگان، با استفاده از روش امتیازدهی ماتریس میک‌مک در بازه صفر تا سه گردآوری شده‌اند. در این فرآیند، خبرگان با توجه به ساختار ماتریس اثرات متقابل ساختاری، به هر یک از عوامل شناسایی شده امتیاز اختصاص داده‌اند.

نکته قابل توجه در این ماتریس آن است که به قطر اصلی، یعنی خانه‌هایی که بیانگر تأثیر یک عامل بر خود آن هستند، امتیازی تعلق نمی‌گیرد؛ زیرا در این روش فرض بر این است که هر عامل بر خود تأثیری ندارد. در نهایت، تحلیل داده‌ها با استفاده از خروجی نرم‌افزار میک‌مک انجام شده و رتبه‌بندی عوامل بر اساس امتیاز نهایی آن‌ها در دو بعد تأثیرگذاری و تأثیرپذیری صورت گرفته است (بخشی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۴).

جامعه آماری این پژوهش ۲۵ نفر از مدیران عالی زنجیره تأمین صنایع فولادی ایران با روش نمونه‌گیری هدفمند است. به این صورت که مدیران زنجیره تأمین صنایع فولادی ایران دارای ویژگی‌هایی از قبیل مدرک دکتری تخصصی، حداقل ۱۵ سال سابقه کاری مرتبط در حوزه زنجیره تأمین، و تجربه سمت مدیریت عالی در صنعت فولاد را داشته‌اند.

به منظور بهره‌گیری از نظرات خبرگان، عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری مطابق با اسناد و مدارک موجود در پایگاه‌های معتبر علمی خارجی (الزویرو، ساینس دایرکت، اسکوپوس، امرالد، گوگل اسکولار) شناسایی گردید.

به این صورت که محقق جهت شناسایی پیشران‌ها از واژگان کلیدی زنجیره تأمین پایدار، سیستم‌های زنجیره تأمین پایدار، زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری، فناوری و سیستم‌های زنجیره تأمین پایدار بهره گرفته است؛ در همین راستا، جهت شناسایی پیشران‌ها از بخش‌های چکیده، محتوای اصلی، مقدمه و بیان مسئله، مبانی نظری، یافته‌ها، بحث و نتیجه‌گیری در بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵ استفاده گردید. در نهایت، ۷ مورد از عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری شناسایی شد، که این عوامل در جدول ۱ مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۲. عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری

ردیف	عوامل	مفهوم	منابع
۱	خودکارسازی فرآیندهای سیستمی با کاربریت سامانه‌ها و داشبوردهای هوشمند	اتوماسیون کامل فرآیندها با ابزارهای دیجیتال و پایش هوشمند سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار.	(بکتسیس ^۱ و همکاران، ۲۰۱۷)، (چینتالا ^۲ ، ۲۰۲۱).
۲	آموزش و توسعه مهارت‌های تصمیم‌گیری فناوری‌محور منابع انسانی زنجیره تأمین	توانمندسازی کارکنان برای تصمیم‌گیری مؤثر و فناوری‌محور در زنجیره تأمین پایدار.	(سونی ^۳ و همکاران، ۲۰۲۲)، (کومار ^۴ و همکاران، ۲۰۲۳).
۳	ارتقاء ظرفیت انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری سیستم‌های زنجیره تأمین در مواجهه با اختلالات	افزایش قابلیت مقابله و سازگاری زنجیره با تغییرات و اختلالات زنجیره تأمین پایدار.	(بونلوا ^۵ و همکاران، ۲۰۲۳)، (چادوری ^۶ و همکاران، ۲۰۲۴).
۴	ترویج فرهنگ سازمانی نوآور و تفکر سیستمی فناوری‌محور در طول زنجیره تأمین	ایجاد نگرش نوآوری و تفکر سیستمی مبتنی بر فناوری سازمانی در مدیریت زنجیره تأمین پایدار.	(لازار ^۷ و همکاران، ۲۰۲۲)، (هونگ ^۸ و همکاران، ۲۰۲۲).
۵	توسعه سیستم‌های هوشمند مدیریت زنجیره تأمین با بکارگیری الگوریتم‌های پیش‌بینی‌پذیر	طراحی سامانه‌های هوشمند مبتنی بر الگوریتم‌های قابل پیش‌بینی و دقیق در طول زنجیره تأمین پایدار.	(استفانویچ ^۹ ، ۲۰۱۴)، (ورما ^{۱۰} ، ۲۰۲۴).
۶	بهره‌برداری از مدل‌سازی و شبیه‌سازی سناریوها در راستای کاهش خطاهای عملیاتی	استفاده از شبیه‌سازی برای پیش‌بینی و کاهش اشتباهات عملیاتی زنجیره تأمین پایدار.	(هوف-دابروسکا و گزبوسکا ^{۱۱} ، ۲۰۲۰)، (گامبوا برنال ^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۰).
۷	به‌کارگیری تحلیل‌های هوش مصنوعی در سیستم‌های تصمیم‌گیری زنجیره تأمین	تحلیل داده‌ها با هوش مصنوعی برای تصمیم‌گیری بهینه در زنجیره تأمین پایدار.	(آیلاک ^{۱۳} ، ۲۰۲۵)، (هائو و دمیر ^{۱۴} ، ۲۰۲۴).

۴. یافته‌ها

مطابق با چارچوب ماتریس اثرات متقابل ساختاری، فرمی حاوی عوامل شناسایی‌شده در اختیار خبرگان قرار گرفت. این خبرگان با استفاده از طیف امتیازدهی میک‌مک، میزان اثرگذاری و اثرپذیری میان عوامل را ارزیابی کردند. پس از تکمیل فرم‌ها، ماتریس اثرات متقابل ساختاری تشکیل شد و روابط میان عوامل با بهره‌گیری از نرم‌افزار میک‌مک مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از پردازش مقدماتی داده‌ها در ماتریس در جدول ۳ و درجه مطلوبیت و بهینه‌شدگی ماتریس در جدول ۴ قابل نمایش است.

¹ Bechtsis

² Chinthala

³ Soni

⁴ Kumar

⁵ Boonlua

⁶ Chowdhury

⁷ Lazar

⁸ Hong

⁹ Stefanovic

¹⁰ Verma

¹¹ Hoffa-Dabrowska & Grzybowski

¹² Gamboa Bernal

¹³ Aylak

¹⁴ Hao & Demir

جدول ۳. ویژگی‌های ماتریس اثرات مستقیم و غیرمستقیم بالقوه

شاخص	ابعاد ماتریس	تعداد تکرار	تعداد صفر	تعداد یک	تعداد دو	تعداد سه	جمع	درجه پرشدگی مقدار
	۷×۷	۲	۷	۲۴	۱۳	۵	۴۲	۸۷ درصد

جدول ۴. درجه مطلوبیت و بهینه‌شدگی ماتریس

چرخش	تأثیرگذاری (نفوذ)	تأثیرپذیری (وابستگی)
۱	۹۵ درصد	۹۳ درصد
۲	۱۰۰ درصد	۱۰۰ درصد

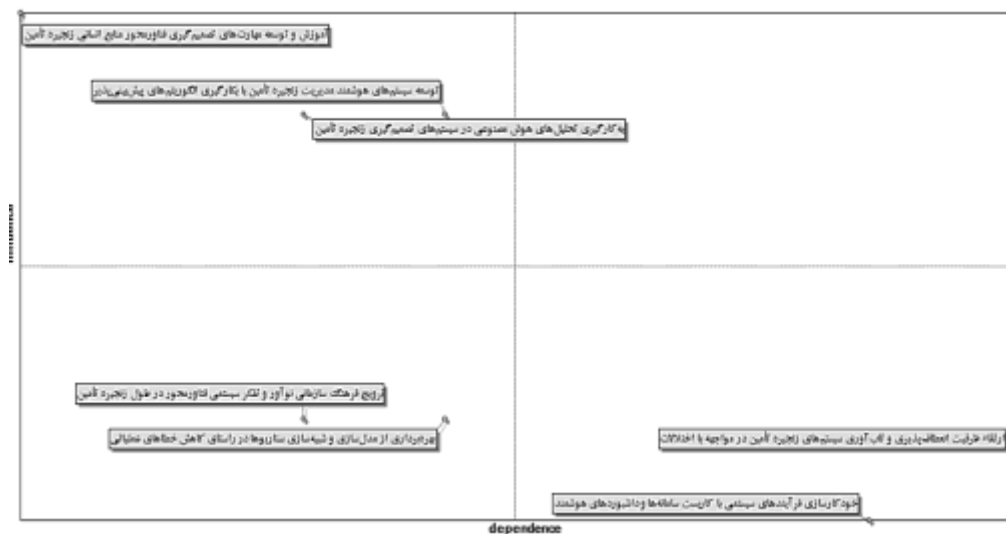
بر اساس جدول ۳، درجه پرشدگی ماتریس برابر با ۸۷ درصد است که بیانگر میزان تأثیرگذاری عوامل انتخاب شده بر یکدیگر می‌باشد. همچنین، بر اساس جدول ۴ ماتریس تحلیل اثرات متقابل ساختاری عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری، با استفاده از شاخص‌های آماری و دو بار چرخش داده‌ها، از درجه مطلوبیت و بهینه‌شدگی صددرصد برخوردار بوده، که نشان‌دهنده روابی و پایداری بالای ابزار پژوهش است. پس از تأیید درجه مطلوبیت و بهینه‌شدگی ماتریس، در ادامه، میزان اثرگذاری یک عامل بر سایر عوامل (حاصل جمع سطرها ماتریس) و میزان اثرپذیری یک عامل از سایر عوامل (حاصل جمع ستون‌های ماتریس)، در جدول ۵ ارائه شده است که امتیاز کل برابر با ۶۵ است.

جدول ۵. میزان اثرگذاری و اثرپذیری عوامل بر یکدیگر

عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری	تعداد امتیاز کل سطرها (تأثیرگذاری)	تعداد امتیاز کل ستون‌ها (تأثیرپذیری)
خودکارسازی فرآیندهای سیستمی با کاربست سامانه‌ها و داشبوردهای هوشمند	۷	۷
آموزش و توسعه مهارت‌های تصمیم‌گیری فناورمحور منابع انسانی زنجیره تأمین	۱۲	۱۲
ارتقاء ظرفیت انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری سیستم‌های زنجیره تأمین در مواجهه با اختلالات	۸	۸
ترویج فرهنگ سازمانی نوآور و تفکر سیستمی فناورمحور در طول زنجیره تأمین	۸	۸
توسعه سیستم‌های هوشمند مدیریت زنجیره تأمین با بکارگیری الگوریتم‌های پیش‌بینی‌پذیر	۱۱	۱۱
بهره‌برداری از مدل‌سازی و شبیه‌سازی سناریوها در راستای کاهش خطاهای عملیاتی	۸	۸
به‌کارگیری تحلیل‌های هوش مصنوعی در سیستم‌های تصمیم‌گیری زنجیره تأمین	۱۱	۱۱
خودکارسازی فرآیندهای سیستمی با کاربست سامانه‌ها و داشبوردهای هوشمند	۷	۷
جمع کل	۶۵	۶۵

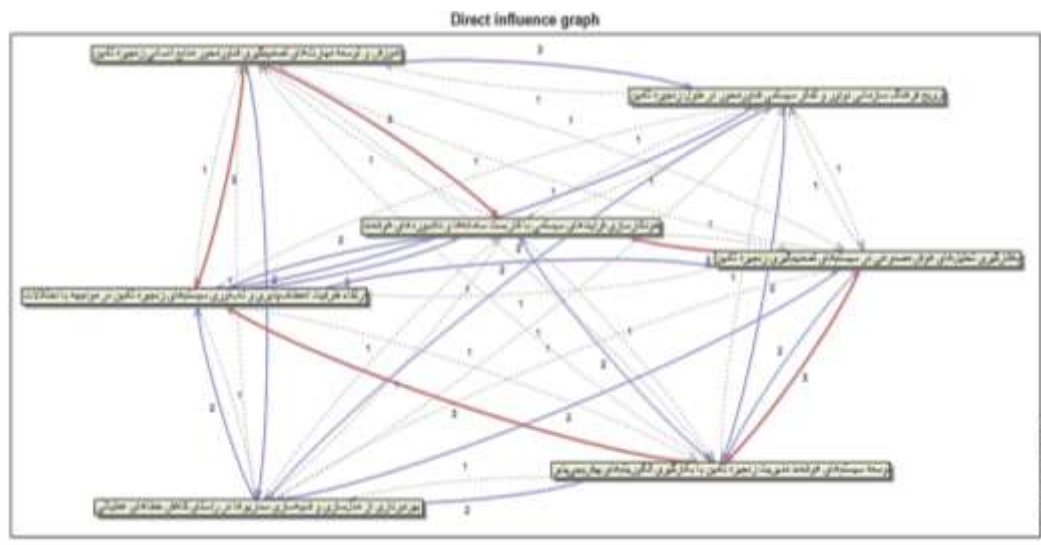
ماتریس اثرات متقابل ساختاری دارای چهار نوع ماتریس تأثیرات مستقیم، تأثیرات غیر مستقیم، تأثیرات مستقیم بالقوه، تأثیرات غیر مستقیم بالقوه است. در این روش، امتیازهای ارائه شده توسط خبرگان به‌طور مستقیم در ماتریس اثرات متقابل وارد می‌شود. پس از آن، ماتریس تأثیرات غیرمستقیم که بر پایه‌ی ماتریس تأثیرات مستقیم شکل می‌گیرد، با انجام تکرارهای متوالی توسط نرم‌افزار تقویت و استخراج می‌شود (حمزوی و همکاران، ۱۴۰۴). بر همین اساس، دو ماتریس تأثیرات مستقیم بالقوه و تأثیرات غیر مستقیم بالقوه نیز با تخصیص یک مقدار متناظر به مقادیر تعریف شده در به دست می‌آیند، که شامل تأثیرگذاری و تأثیرپذیری برای رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری است. در واقع، ماتریس اثر وابستگی مستقیم در تحلیل میک‌مک، میزان تأثیر مستقیم هر عامل بر سایر عوامل و وابستگی آن‌ها به یکدیگر را مشخص می‌کند. این ماتریس با جمع‌آوری نظرات خبرگان و امتیازدهی به روابط مستقیم، چارچوبی کمی برای شناسایی عوامل کلیدی و راهبردی فراهم می‌کند. نتایج آن به تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا تمرکز

خود را بر عوامل پیشران و تعیین‌کننده سیستم معطوف کنند. در شکل ۳ نیز ماتریس اثر وابستگی مستقیم بر اساس تحلیل میک‌مک نیز بدست آمده است.



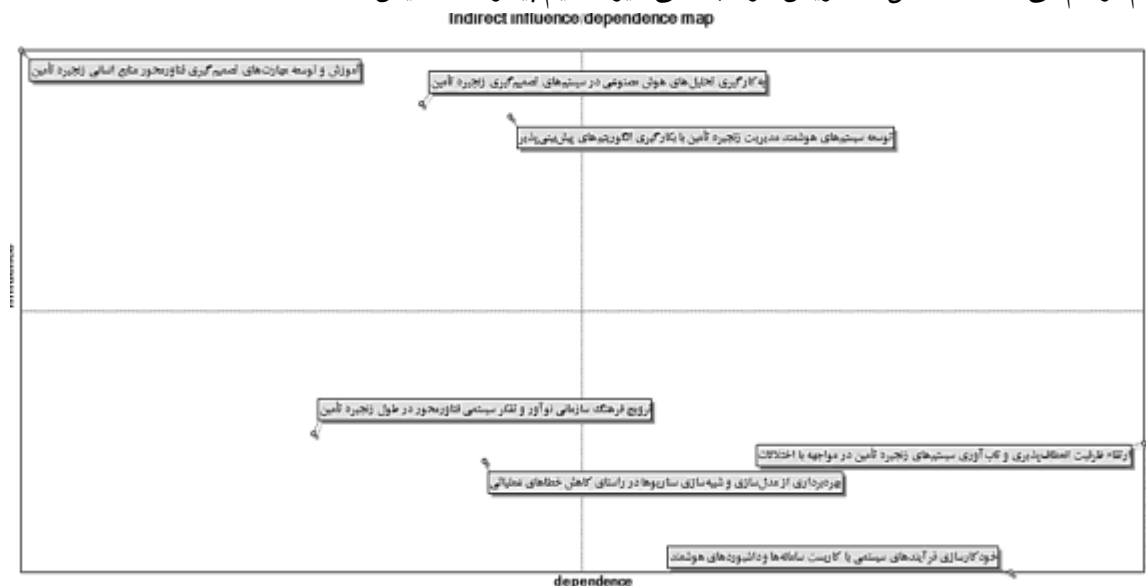
شکل ۲. ماتریس اثر وابستگی مستقیم

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده شماتیک عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری در وضعیت پایدار بوده، به‌طوری که قرارگیری پیشران‌ها از نظر پراکندگی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری به شکل کاملاً واضح در حالت I، و در سه ناحیه متغیرهای تأثیرگذار، تأثیرپذیر و مستقل پراکنده شده‌اند. بنابراین، در این سیستم، جایگاه هر یک از عوامل به‌طور دقیق مشخص شده و نقش آن‌ها به‌وضوح قابل تشخیص است. همچنین، در شکل ۳ به ترتیب ارتباط بین عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری در سطح پوشش ۱۰۰ درصد نمایش داده شده است، که تنها روابط مستقیم بین پیشران‌ها را نشان داده است. در واقع، روابط مستقیم بین پیشران‌ها با پوشش صد درصد به معنای بررسی کامل و جامع تأثیرات هر عامل پیشران بر تمامی پیشران‌های دیگر در سیستم است. این رویکرد اطمینان می‌دهد که هیچ تأثیری نادیده گرفته نمی‌شود و تمامی تعاملات کلیدی میان عوامل اصلی شناسایی و تحلیل می‌شوند. در این شکل، خطوط قرمز نشان‌دهنده تأثیر زیاد، خطوط آبی نمایانگر تأثیر متوسط، خطوط مشکی نشان‌دهنده تأثیر کم و خطوط نقطه‌چین بیانگر تأثیر بسیار کم هستند.



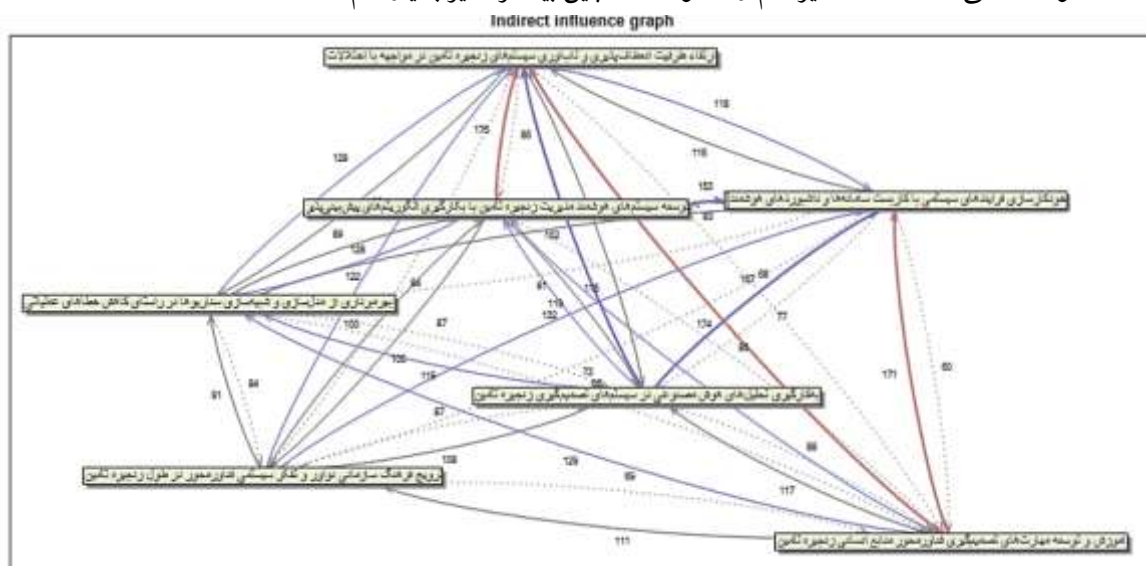
شکل ۳. روابط مستقیم بین پیشران‌ها با پوشش صد درصد

همانطور که قبلاً اشاره شد ماتریس تأثیرات غیر مستقیم متناظر با ماتریس تأثیرات مستقیم است، که توسط نرم افزار میک مک با تکرار پی در پی تقویت شده است. ماتریس تأثیرات غیر مستقیم، اثرات ناشی از روابط چند مرحله ای میان عوامل را بر اساس ماتریس تأثیرات مستقیم محاسبه می کند. در واقع، این ماتریس نشان می دهد که یک عامل چگونه از طریق واسطه های دیگر بر سایر عوامل تأثیر می گذارد و اثر تجمعی سیستم را نمایان می سازد. ترکیب تحلیل تأثیرات مستقیم و غیر مستقیم به شناسایی عوامل کلیدی و پیشران های راهبردی کمک کرده و درک جامع تری از پویایی و وابستگی های سیستم فراهم می کند. در شکل ۴ ماتریس اثر وابستگی غیر مستقیم پیشران ها نمایش داده شده است.



شکل ۴. ماتریس اثر وابستگی غیر مستقیم

شکل ۵ روابط غیر مستقیم بین عوامل مؤثر بر بهینه سازی سیستم های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری در سطح پوشش ۱۰۰ درصد را نشان می دهد. در این شکل، خطوط قرمز نشان دهنده تأثیر زیاد، خطوط آبی نمایانگر تأثیر متوسط، خطوط مشکی نشان دهنده تأثیر کم و خطوط نقطه چین بیانگر تأثیر بسیار کم هستند.



شکل ۵. روابط غیر مستقیم بین پیشران ها با پوشش صد درصد

در نهایت، بر اساس تحلیل ماتریس اثرات متقابل ساختاری، روابط مستقیم و غیرمستقیم بین عوامل، به رتبه‌بندی این عوامل می‌پردازیم. مبنای اولویت‌بندی پیشران‌ها بر اساس دو معیار کلیدی یعنی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری انجام می‌شود. عواملی که تأثیرگذاری بالایی دارند، بیشترین اثر را بر سایر عوامل سیستم می‌گذارند و به عنوان پیشران‌های راهبردی شناخته می‌شوند. عواملی با تأثیرپذیری بالا بیشتر تحت تأثیر دیگر عوامل قرار می‌گیرند و معمولاً تابع سیستم محسوب می‌شوند. با ترکیب این دو معیار در تحلیل ماتریس اثرات مستقیم و غیرمستقیم، می‌توان پیشران‌ها را اولویت‌بندی کرده و تمرکز مدیریت را بر عوامل کلیدی برای بهینه‌سازی سیستم معطوف کرد. در جدول ۶ نیز رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری بر اساس بیشترین تأثیرگذاری و تأثیرپذیری تشریح شده است.

جدول ۶. رتبه‌بندی عوامل بر اساس میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری

رتبه‌بندی به تفکیک تأثیرگذاری		امتیاز نهایی		رتبه‌بندی به تفکیک تأثیرپذیری		امتیاز نهایی	
تأثیرگذاری	غیر مستقیم	تأثیرگذاری	مستقیم	تأثیرپذیری	غیر مستقیم	تأثیرپذیری	مستقیم
آموزش و توسعه مهارت‌های	۱۸۴۶	۱۷۳۴	ارتقاء ظرفیت انعطاف‌پذیری و	۲۰۰۰	۱۹۰۳	تاب‌آوری سیستم‌های زنجیره	
تصمیم‌گیری فناورمحور منابع انسانی			تأمین در مواجهه با اختلالات				
توسعه سیستم‌های هوشمند مدیریت	۱۶۹۲	۱۶۷۲	خودکارسازی فرآیندهای	۱۸۴۶	۱۷۹۵	سیستمی با کاربست سامانه‌ها و	
زنجیره تأمین با بکارگیری			داشبوردهای هوشمند				
به‌کارگیری تحلیل‌های هوش	۱۶۹۲	۱۶۵۷	توسعه سیستم‌های هوشمند	۱۳۸۴	۱۳۸۹	مدیریت زنجیره تأمین با	
مصنوعی در سیستم‌های تصمیم‌گیری			بکارگیری الگوریتم‌های			پیش‌بینی‌پذیر	
زنجیره تأمین			بهره‌برداری از مدل‌سازی و	۱۳۸۴	۱۳۶۸	شبیه‌سازی سناریوها در راستای	
ارتقاء ظرفیت انعطاف‌پذیری و	۱۲۳۰	۱۲۸۵	کاهش خطاهای عملیاتی				
تاب‌آوری سیستم‌های زنجیره تأمین			ترویج فرهنگ سازمانی نوآور و	۱۲۳۰	۱۳۱۷	تفکر سیستمی فناورمحور در طول	
در مواجهه با اختلالات			زنجیره تأمین				
ترویج فرهنگ سازمانی نوآور و تفکر	۱۲۳۰	۱۲۷۴	به‌کارگیری تحلیل‌های هوش	۱۲۳۰	۱۲۳۰	مصنوعی در سیستم‌های	
سیستمی فناورمحور در طول زنجیره			تصمیم‌گیری زنجیره تأمین				
تأمین			آموزش و توسعه مهارت‌های	۹۲۳	93۹	تصمیم‌گیری فناورمحور منابع	
بهره‌برداری از مدل‌سازی و	۱۲۳۰	۱۲۵۳	کاربست سامانه‌ها و داشبوردهای			انسانی زنجیره تأمین	
شبیه‌سازی سناریوها در راستای			هوشمند				
کاهش خطاهای عملیاتی							

مطابق با یافته‌ها و تحلیل روابط بر اساس دو مؤلفه تأثیرپذیری و تأثیرگذاری بین عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری، مشاهده می‌شود که عوامل آموزش و توسعه مهارت‌های تصمیم‌گیری فناورمحور منابع انسانی زنجیره تأمین، توسعه سیستم‌های هوشمند مدیریت زنجیره تأمین با بکارگیری الگوریتم‌های پیش‌بینی‌پذیر، و به‌کارگیری تحلیل‌های هوش مصنوعی در سیستم‌های تصمیم‌گیری زنجیره تأمین به عنوان عوامل تأثیرگذار هستند. همچنین، مشاهده می‌شود که عوامل ارتقاء ظرفیت انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری سیستم‌های زنجیره تأمین

در مواجهه با اختلالات، و خودکارسازی فرآیندهای سیستمی با کاربرست سامانه‌ها و داشبوردهای هوشمند به عنوان عوامل تأثیرپذیر هستند. در نهایت، مشاهده می‌شود که عوامل ترویج فرهنگ سازمانی نوآور و تفکر سیستمی فناورمحور در طول زنجیره تأمین، و بهره‌برداری از مدل‌سازی و شبیه‌سازی سناریوها در راستای کاهش خطاهای عملیاتی به عنوان عوامل مستقل هستند.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری (مورد مطالعه: صنایع فولادی ایران) انجام شد. در همین راستا، با استفاده از تحلیل ماتریس اثرات متقابل ساختاری با رویکرد آینده‌نگاری، عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری شناسایی و بر اساس نظر خبرگان رتبه‌بندی شدند. انتظار می‌رود که مدیران و مسئولان صنایع فولادی ایران در چارچوبی به عملیاتی‌سازی این عوامل بر اساس رتبه‌بندی تعیین شده، در جهت بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری صنعت فولاد کشور بپردازند.

در بخش اول، یافته‌های پژوهش نشان داد که عوامل آموزش و توسعه مهارت‌های تصمیم‌گیری فناورمحور منابع انسانی زنجیره تأمین، توسعه سیستم‌های هوشمند مدیریت زنجیره تأمین با استفاده از الگوریتم‌های پیش‌بینی‌پذیر، و به کارگیری تحلیل‌های هوش مصنوعی در سیستم‌های تصمیم‌گیری زنجیره تأمین، به عنوان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار شناخته شدند. به این معنا که این عوامل قدرت تأثیرگذاری بسیار بالایی نسبت به سایر عوامل شناسایی شده دارند. به عبارت دیگر، شدت تأثیرگذاری آن‌ها موجب می‌شود که نقش قابل توجهی در پایداری سیستم ایفا کنند. بر همین اساس، می‌توان نتیجه گرفت که این عوامل در بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری در سطح بالاترین اولویت قرار دارند. از همین رو، می‌توان استنباط نمود که عامل آموزش و توسعه مهارت‌های فناورمحور منابع انسانی نقش کلیدی در توانمندسازی کارکنان برای تصمیم‌گیری‌های دقیق و سریع در سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری در صنایع فولادی ایران دارد. در واقع، با ارتقای مهارت‌های تصمیم‌گیری فناورمحور، کارکنان صنایع فولادی ایران را قادر می‌شوند از فناوری‌های نوین و داده‌محور به شکل مؤثر بهره ببرند و فرآیندهای عملیاتی بهینه کنند. این مهارت‌ها موجب کاهش خطاهای انسانی، افزایش سرعت واکنش به تغییرات بازار و تقویت فرهنگ نوآوری و تفکر تحلیلی در صنعت فولاد می‌شوند. در نتیجه، این عامل نقش مؤثری در بهبود عملکرد و پایداری سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری ایفا می‌کند. از طرفی، عامل سیستم‌های هوشمند مدیریت زنجیره تأمین با استفاده از الگوریتم‌های پیش‌بینی‌پذیر امکان مدیریت بهینه جریان کالا و اطلاعات در زنجیره تأمین پایدار را در صنایع فولادی ایران فراهم می‌کند. در واقع، این سیستم‌ها با شناسایی نوسانات تقاضا و ریسک‌های احتمالی، تصمیم‌گیری‌های پیشگیرانه و به موقع را تسهیل می‌کنند. از طرفی، بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیش‌بینی‌پذیر موجب کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری، و تقویت انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری زنجیره تأمین پایدار صنایع فولادی ایران می‌شود. این عامل با ایجاد بینش داده‌محور و بهبود هماهنگی بین بخش‌های مختلف، به بهینه‌سازی عملکرد و پایداری کل سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنایع فولادی ایران کمک شایانی می‌کند. در نهایت، عامل به کارگیری تحلیل‌های هوش مصنوعی در سیستم‌های تصمیم‌گیری زنجیره تأمین، توانایی پردازش داده‌های پیچیده و حجم بالای اطلاعات زنجیره تأمین را فراهم می‌کند و امکان شناسایی الگوهای پنهان و روندهای آینده را ایجاد می‌نماید. این تحلیل‌ها موجب کاهش خطاهای فرآیندی و انسانی، افزایش دقت تصمیم‌گیری و بهبود هماهنگی میان بخش‌های مختلف زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری صنایع فولادی ایران می‌شوند. علاوه بر این، هوش مصنوعی امکان پیش‌بینی فرصت‌ها و تهدیدهای بالقوه را در زمان مناسب فراهم می‌آورد و واکنش سریع به تغییرات محیطی را در صنایع فولادی ایران ممکن می‌سازد. به این ترتیب، این عامل نقش حیاتی در ارتقای کارایی، انعطاف‌پذیری و پایداری

سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری ایفا می‌کند. یافته‌های این بخش با یافته‌های پژوهش سونی و همکاران (۲۰۲۲) و ورما (۲۰۲۴) بطور نسبی همخوانی دارد.

در بخش دوم، یافته‌های پژوهش نشان داد که عوامل ارتقای ظرفیت انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری سیستم‌های زنجیره تأمین در مواجهه با اختلالات، و خودکارسازی فرآیندهای سیستمی با بهره‌گیری از سامانه‌ها و داشبوردهای هوشمند، به عنوان عوامل تأثیرپذیر شناخته شدند. به این معنا که این عوامل از قدرت تأثیرپذیری بالایی نسبت به سایر عوامل برخوردارند. به عبارت دیگر، میزان تأثیرپذیری آن‌ها موجب می‌شود که نقش قابل توجهی در پایداری سیستم تحت تأثیر سایر پیشران‌ها ایفا کنند. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که این عوامل در بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری در سطح اولویت پایین‌تری قرار دارند. از همین رو، می‌توان استنباط نمود که عامل ارتقای ظرفیت انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری سیستم‌های زنجیره تأمین در مواجهه با اختلالات به صنایع فولادی ایران اجازه می‌دهد در مواجهه با اختلالات داخلی و خارجی عملکرد خود را حفظ کند. این توانمندی موجب کاهش اثرات منفی وقایع غیرمنتظره بر جریان کالا، اطلاعات و منابع می‌شود. با افزایش تاب‌آوری، زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری قادر است سریع‌تر به تغییرات بازار و نیازهای مشتری پاسخ دهد. همچنین، انعطاف‌پذیری بالا امکان تعدیل فرآیندها و منابع را بدون ایجاد اختلال گسترده در صنایع فولادی ایران فراهم می‌کند. در نتیجه، این عامل نقش کلیدی در حفظ پایداری و تداوم عملکرد سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری دارد. از طرفی، عامل خودکارسازی فرآیندهای سیستمی با استفاده از سامانه‌ها و داشبوردهای هوشمند، امکان پایش لحظه‌ای و مدیریت دقیق داده‌ها را در صنایع فولادی ایران فراهم می‌کند. این قابلیت موجب کاهش ریسک‌های عملیاتی و فرآیندی، و افزایش هماهنگی در طول زنجیره تأمین پایدار می‌شود. بهره‌گیری از داشبوردهای هوشمند، شفافیت اطلاعات و قابلیت رصد وضعیت فرآیندها را ارتقا می‌دهد. همچنین، خودکارسازی فرآیندها سرعت واکنش سیستم به تغییرات محیطی و عملیاتی را در صنایع فولادی ایران بهبود می‌بخشد. بدین ترتیب، این عامل به شکل مؤثری در بهینه‌سازی عملکرد و پایداری سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین فناورمحور نقش ایفا می‌کند. یافته‌های این بخش با یافته‌های پژوهش بونلوا و همکاران (۲۰۲۳) و بکتسیس و همکاران (۲۰۱۷) بطور نسبی همخوانی دارد.

در بخش آخر، یافته‌های پژوهش نشان داد که عوامل ترویج فرهنگ سازمانی نوآور و تفکر سیستمی فناورمحور در طول زنجیره تأمین، و بهره‌برداری از مدل‌سازی و شبیه‌سازی سناریوها برای کاهش خطاهای عملیاتی، به عنوان عوامل مستقل شناخته می‌شوند. به این معنا که این عوامل هم تأثیرگذاری و هم تأثیرپذیری کمی نسبت به سایر عوامل دارند و می‌توان پس از توجه به عوامل مهم، آن‌ها را مورد بررسی قرار داد یا در صورت لزوم حذف نمود. به عبارت دیگر، سطح پایین تأثیرگذاری و تأثیرپذیری این عوامل موجب می‌شود که نقشی در پایداری یا ناپایداری سیستم ایفا نکنند. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که این عوامل در بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری در سطح اولویت بسیار پایین قرار دارند. از همین رو، می‌توان استنباط نمود که عامل ترویج فرهنگ سازمانی نوآور و تفکر سیستمی فناورمحور در طول زنجیره تأمین موجب ایجاد نگرش باز و انعطاف‌پذیر در میان کارکنان زنجیره تأمین پایدار صنایع فولادی ایران می‌شود. این فرهنگ، انگیزه کارکنان برای ارائه راهکارهای نوآورانه و بهره‌گیری مؤثر از فناوری‌های نوین را افزایش می‌دهد. همچنین، تفکر سیستمی کمک می‌کند تا کارکنان روابط بین اجزا و فرآیندهای مختلف زنجیره را بهتر درک کنند و تصمیمات هماهنگ‌تری در صنایع فولادی ایران اتخاذ نمایند. این عامل زمینه‌ای برای بهبود همکاری میان تیم‌ها و افزایش همسویی اهداف سازمانی فراهم می‌آورد. با این حال، نقش مستقیم آن در بهبود عملکرد عملیاتی نسبت به عوامل کلیدی دیگر کمتر است و بیشتر به عنوان عامل پشتیبان عمل می‌کند. در نهایت، عامل بهره‌برداری از مدل‌سازی و شبیه‌سازی سناریوها برای کاهش خطاهای عملیاتی امکان بررسی و تحلیل پیش‌بینی‌شده نتایج تصمیمات

مختلف را در صنایع فولادی ایران فراهم می‌کند. این فرآیند به کاهش خطاهای عملیاتی و شناسایی نقاط ضعف احتمالی در زنجیره تأمین کمک می‌کند. همچنین، شبیه‌سازی سناریوها، امکان آزمون تغییرات و سنجش اثرات آن‌ها بر عملکرد سیستم را بدون ایجاد اختلال واقعی در صنایع فولادی ایران فراهم می‌آورد. به کارگیری این روش موجب افزایش دقت و اعتماد به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی می‌شود. با این حال، اثر آن بیشتر در سطح پشتیبانی تصمیم‌گیری و بهبود فرآیند است و نقش مستقیمی در پایداری کل زنجیره پایدار نسبت به عوامل اصلی ندارد. یافته‌های این بخش با یافته‌های پژوهش لازار و همکاران (۲۰۲۲) و هوف-دایروسکا و گریبوسکا (۲۰۲۰) بطور نسبی همخوانی دارد.

بر اساس نتایج پژوهش، به مدیران و رهبران صنعت فولاد کشور پیشنهاد می‌شود که: تقویت مهارت‌های فناورمحور کارکنان زنجیره تأمین: برگزاری دوره‌های آموزشی ترکیبی (کارگاه عملی و آموزش آنلاین) با تمرکز بر تحلیل داده و تصمیم‌گیری مبتنی بر فناوری، همراه با شبیه‌سازی سناریوهای واقعی، برای ارتقای توانمندی عملی کارکنان.

پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند مدیریت زنجیره تأمین: استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و پیش‌بینی برای مدیریت تقاضا و موجودی، اتصال به پایگاه داده‌ها و ایجاد داشبوردهای تعاملی جهت تصمیم‌گیری سریع و کاهش خطاهای انسانی.

به کارگیری هوش مصنوعی در تصمیم‌گیری‌های زنجیره تأمین: تحلیل داده‌های تاریخی و لحظه‌ای برای شناسایی الگوها و ریسک‌ها، ارائه پیشنهادها و خودکار و نمایش بصری نتایج در داشبوردهای مدیریتی برای واکنش سریع به تغییرات.

تعارض منافع

تعارض منافع ندارم.

سپاسگزاری

نویسندگان صمیمانه از تمامی خبرگان که با همکاری و حمایت‌های ارزشمند خود در انجام این پژوهش یاری رساندند، قدردانی و تشکر می‌کنند.

منابع

- اسحاقی گرجی، مجید، زارعی، عظیم اله، حمزوی، حسین، اسدبک، مهدی و محمدی شیر کلایی، حسینعلی. (۱۴۰۳). اولویت‌بندی مسائل سیاست زیست‌محیطی جمهوری اسلامی ایران. حکمرانی و توسعه، ۴(۱)، ۷۴-۹۲.
- doi:10.22111/jipaa.2024.447250.1166
- امیری، مقصود و بیات زاده، شهاب. (۱۴۰۳). شناسایی و رتبه‌بندی راهکارهای دیجیتال برای مدیریت اختلالات زنجیره تأمین (مورد مطالعه: صنعت فولاد). پژوهش‌های نوین در ارزیابی عملکرد، ۳(۴)، ۲۴۰-۲۵۳.
- doi: 10.22105/mrpe.2025.499771.1137
- بخشی‌زاده برج، کبری، حمزوی، حسین و جمالی، محمدامین. (۱۴۰۳). شناسایی و اولویت‌بندی پیشران‌های بهینه‌سازی زنجیره ارزش پایدار صنعت پتروشیمی ایران با رویکرد آینده‌نگاری راهبردی. مدیریت زنجیره ارزش راهبردی، ۱(۳)، ۱-۲۶.
- doi: 10.22075/svcm.2025.36996.1024
- پشمی، ثنا و نوربخش سعدآباد، آرش. (۱۴۰۳). مروری بر سیستم‌های اطلاعاتی و مدیریت زنجیره تأمین پایدار، هفدهمین کنفرانس بین‌المللی مکانیک، ساخت، صنایع و مهندسی عمران. کنه‌هاگ-دانمارک. <https://civilica.com/doc/2176561>
- حمزوی، حسین، صالحی صدقیانی، جمشید و آذرپرا، رضا. (۱۴۰۴). بازشناسی و رتبه‌بندی پیشران‌های بهسازی و توسعه کاربست هوش مصنوعی در زنجیره ارزش صنعت نفت و گاز ج.ا.ایران. مدیریت زنجیره ارزش راهبردی، ۲(۱)، ۵۹-۸۵.

doi: 10.22075/svcm.2025.38434.1033

حمزوی، حسین، کاملی، محمدجواد و صالحی صدقیانی، جمشید. (۱۴۰۴). آینده‌پژوهشی تأثیرگذارترین و تأثیرپذیرترین عوامل مؤثر بر ترویج و ارتقای فرهنگ حفاظت از محیط‌زیست در سازمان‌های دولتی ج.ا.ایران. *فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست*، ۴(۲)، ۳۶-۵۵

<https://sanad.iau.ir/Journal/jeml/Article/1211146.55>

رضایی‌منش، بهروز، حمزوی، حسین و حسینی، سیده مرضیه. (۱۴۰۴). شناسایی و رتبه‌بندی پیشران‌های بهینه‌سازی عملکرد پایدار سازمان‌های نفت و گاز و پتروشیمی با رویکرد آینده‌پژوهی. *پژوهش‌های نوین در ارزیابی عملکرد*. ۴(۱)، ۱۱-۲۶.

doi: 10.22105/mrpe.2025.506185.1146

References

- Ali, M., Cheema, S. M., Pires, I. M., Naz, A., Aslam, Z., Ayub, N., & Coelho, P. J. (2023, September). An IoT-Based Framework for Sustainable Supply Chain Management System. In *EPIA Conference on Artificial Intelligence* (pp. 483-494). https://doi.org/10.1007/978-3-031-49011-8_38
- Aylak, B. L. (2025). SustAI-SCM: Intelligent Supply Chain Process Automation with Agentic AI for Sustainability and Cost Efficiency. *Sustainability*, 17(6), 2453. <https://doi.org/10.3390/su17062453>
- Bechtsis, D., Tsolakis, N., Vlachos, D., & Iakovou, E. (2017). Sustainable supply chain management in the digitalisation era: The impact of Automated Guided Vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3970-3984. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.057>
- Boonlua, S., Supachaiwat, J., Thongchua, K., & Mohamad, B. (2023). Linking Supply Chain Resilience Strategies for Surviving Major Disruptions. *International Journal of Construction Supply Chain Management*, 13(1), 154-172. <https://doi.org/10.14424/ijscsm2023130109>
- Chiang, C. T., Kou, T. C., & Koo, T. L. (2021). A systematic literature review of the IT-based supply chain management system: towards a sustainable supply chain management model. *Sustainability*, 13(5), 2547. <https://doi.org/10.3390/su13052547>
- Chinthala, L. K. (2021). Future of supply chains: Trends in automation, globalization, and sustainability. *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*, 7(6), 1-10. <https://doi.org/10.61137/ijrsret.vol.10.issue5.795>
- Choi, T. M., Cai, Y. J., & Shen, B. (2018). Sustainable fashion supply chain management: A system of systems analysis. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 66(4), 730-745. <https://doi.org/10.1109/TEM.2018.2857831>
- Chowdhury, M. M. H., Chowdhury, P., Quaddus, M., Rahman, K. W., & Shahriar, S. (2024). Flexibility in enhancing supply chain resilience: developing a resilience capability portfolio in the event of severe disruption. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 25(2), 395-417. <https://doi.org/10.1007/s40171-024-00391-2>
- Dar, A. A., Reegu, F. A., Ahmed, S., & Hussain, G. (2024, February). Blockchain technology and artificial intelligence based integrated framework for sustainable supply chain management system. In *2024 11th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)* (pp. 1392-1397). IEEE. <https://doi.org/10.23919/INDIACom61295.2024.10498149>
- Detwal, P. K., Agrawal, R., Samadhiya, A., Kumar, A., & Garza-Reyes, J. A. (2024). Research developments in sustainable supply chain management considering optimization and industry 4.0 techniques: A systematic review. *Benchmarking: An International Journal*, 31(4), 1249-1269. https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2023-0055?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Papadopoulos, T., Childe, S. J., Shihin, K. T., & Wamba, S. F. (2017). Sustainable supply chain management: framework and further research directions. *Journal of cleaner production*, 142, 1119-1130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.117>
- Dumitrascu, O., Dumitrascu, M., & Dobrotă, D. (2020). Performance evaluation for a sustainable supply chain management system in the automotive industry using artificial intelligence. *Processes*, 8(11), 1384. <https://doi.org/10.3390/pr8111384>
- Fuad, M., Nishat, B. N. A., Fatema, T., Islam, M., Habib, F., Foysal, F., ... & Islam, M. N. (2023, November). A Blockchain-based Framework to Develop a Sustainable Supply Chain Management System for Apparel Industry. In *2023 IEEE 9th International Women in Engineering (WIE) Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE)* (pp. 361-366). IEEE. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.899632>

- Gamboa Bernal, J. P., Orjuela Castro, J. A., & Moreno Mantilla, C. E. (2020). The sustainable supply chain: Concepts, optimization and simulation models, and trends. *Ingeniería*, 25(3), 355-377. <https://doi.org/10.14483/23448393.16926>
- Ghufran, M., Khan, K. I. A., Thaheem, M. J., Nasir, A. R., & Ullah, F. (2021). Adoption of sustainable supply chain management for performance improvement in the construction industry: a system dynamics approach. *Architecture*, 1(2), 161-182. <https://doi.org/10.3390/architecture1020012>
- Gróbarczyk, E. M. (2025). *Sustainable supply chain management in the European union steel industry*. Universidade Católica Portuguesa. <http://hdl.handle.net/10400.14/55419>
- Hao, X., & Demir, E. (2024). Artificial intelligence in supply chain decision-making: an environmental, social, and governance triggering and technological inhibiting protocol. *Journal of Modelling in Management*, 19(2), 605-629. <https://doi.org/10.1108/JM2-01-2023-0009>
- Hoffa-Dabrowska, P., & Grzybowska, K. (2020). Simulation modeling of the sustainable supply chain. *Sustainability*, 12(15), 6007. <https://doi.org/10.3390/su12156007>
- Hong, J., Guo, P., Chen, M., & Li, Y. (2022). The adoption of sustainable supply chain management and the role of organisational culture: A Chinese perspective. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 25(1), 52-76. https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1795094?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate
- Jia, F., Zuluaga-Cardona, L., Bailey, A., & Rueda, X. (2018). Sustainable supply chain management in developing countries: An analysis of the literature. *Journal of cleaner production*, 189, 263-278. https://doi.org/10.3390/su12176972?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate
- Karim, M. R., Dulal, M., Sakila, F., Aditi, P., Smrity, S. J., & Asha, N. N. (2024). Analyzing the factors influencing sustainable supply chain management in the textile sector. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 13, 100183. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2024.100183>
- Koberg, E., & Longoni, A. (2019). A systematic review of sustainable supply chain management in global supply chains. *Journal of cleaner production*, 207, 1084-1098. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.033>
- Kumar, P., Mangla, S. K., Kazancoglu, Y., & Emrouznejad, A. (2023). A decision framework for incorporating the coordination and behavioural issues in sustainable supply chains in digital economy. *Annals of Operations Research*, 326(2), 721-749. DOI: 10.1007/s10479-022-04814-0
- Lazar, S., Potočan, V., Klimecka-Tatar, D., & Obrecht, M. (2022). Boosting sustainable operations with sustainable supply chain modeling: a case of organizational culture and normative commitment. *International journal of environmental research and public health*, 19(17), 11131. <https://doi.org/10.3390/ijerph191711131>
- Marota, R., Ritchi, H., Khasanah, U., & Abadi, R. F. (2017). Material flow cost accounting approach for sustainable supply chain management system. *International Journal of Supply Chain Management*, 6(2), 33-37. <https://doi.org/10.59160/ijscm.v6i2.1519>
- Pal, S. (2025). A Systematic Review on Application of Blockchain Technology in Sustainable Supply Chain Management System. *Strategic Repositioning in Times of Corporate Crisis: Green Management and Technology Adoption*, 57-88. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-5912-9.ch003>
- Seuring, S. (2013). A review of modeling approaches for sustainable supply chain management. *Decision support systems*, 54(4), 1513-1520. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.05.053>
- Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of cleaner production*, 16(15), 1699-1710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>
- Seuring, S., Aman, S., Hettiarachchi, B. D., de Lima, F. A., Schilling, L., & Sudusinghe, J. I. (2022). Reflecting on theory development in sustainable supply chain management. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 3, 100016. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100016>
- Soni, G., Kumar, S., Mahto, R. V., Mangla, S. K., Mittal, M. L., & Lim, W. M. (2022). A decision-making framework for Industry 4.0 technology implementation: The case of FinTech and sustainable supply chain finance for SMEs. *Technological Forecasting and Social Change*, 180, 121686. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121686>
- Stefanovic, N. (2014). Proactive supply chain performance management with predictive analytics. *The Scientific World Journal*, 2014(1), 528917. <https://doi.org/10.1155/2014/528917>
- Teuscher, P., Grüninger, B., & Ferdinand, N. (2006). Risk management in sustainable supply chain management (SSCM): lessons learnt from the case of GMO - free soybeans. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 13(1), 1-10. DOI:10.1002/csr.81
- Tuni, A., Cicerelli, F., & Giorgetti, M. (2025). Power in Sustainable Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 101082. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2025.101082>

Verma, A. (2024). Green thinking: impact of smart technologies on supply chain management. *Journal of Science and Technology Policy Management*. https://doi.org/10.1108/JSTPM-01-2024-0020?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate

References [In Persian]

- Amiri, M. and Bayatzadeh, S. (2025). Identifying and ranking digital solutions for managing supply chain disruptions (case study: steel industry). *Modern Research in Performance Evaluation*, 3(4), 240-253. doi: 10.22105/mrpe.2025.499771.1137
- Bakhshizadeh Borj, K., Hamzavi, H. & Jamali, M. (2025). Identifying and prioritizing drivers for optimizing the sustainable value chain of Iran's petrochemical industry with a strategic foresight approach. *Strategic Value Chain Management*, 1(3), 1-26. doi: 10.22075/svcm.2025.36996.1024
- Eshaghi Gordji, M., Zarei, A.A., Hamzavi, H., Asadbak, M., & Mohammadi Shir Kalai, H. (2024). Prioritizing Environmental Policy Issues of the Islamic Republic of Iran. *Governance and Development Journal*, 4(1), 75-92. doi:10.22111/jipaa.2024.447250.1166
- Hamzavi, H., Hemmatifar, M., fotovat, B. & Hosseini, S. M. (2025). Identifying and prioritizing strategic drivers for developing behavioral competencies of Generation Z employees in government organizations with a futures research approach. *Comparative Public Administration*, 3(1). doi: 10.22098/cpa.2025.17291.1068
- Hamzavi, H., Kameli, M.J. & Salehi Sedqiani, J.M. (2025). Future research on the most influential and influential factors affecting the promotion and enhancement of environmental protection culture in government organizations in the Republic of Iran. *Environmental Management and Law*, 4(2), 36-55. <https://sanad.iau.ir/Journal/jeml/Article/1211146>
- Pashmi, S., & Nourbakhsh Saadabad, A. (2024). A Review of Information Systems and Sustainable Supply Chain Management. *The 17th International Conference on Mechanics, Manufacturing, Industry, and Civil Engineering*. Retrieved from <https://civilica.com/doc/2176561>
- RezaeiManesh, B., Hamzavi, H., & Hosseini, S. M. (2025). Identifying and prioritizing drivers for optimizing sustainable performance of oil, gas and petrochemical organizations with a futures research approach. *Modern Research in Performance Evaluation*. 4(1), 11-26. doi: 10.22105/mrpe.2025.506185.1146

