



Identification and Structural Analysis of Key Success Factors and Supply Chain Challenges in Companies Providing Technology-Based Products and Services

Mahdi Mohammad Kazemi¹, Malihe Ebrahimi^{2*} 

¹MSc Student in Business Administration, Faculty of Financial Science, Management and Entrepreneurship, University of Kashan, Kashan, Iran. Email Address: mahdi.kazemi59@grad.kashanu.ac.ir

²Correspondence: Assistant professor, Department of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran. Email Address: a.namazian@kashanu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research Paper

Received: 2 November 2025

Received in revised form: 27 December 2025

Accepted: 4 June 2026

Available online: 15 June 2026

Keywords:

Supply Chain Management

DEMATEL Analysis

Interpretive Structural Modeling (ISM)

ABSTRACT

In today's world, technology companies face complex challenges such as rapid technological shifts, the globalization of supply chains, and the constant pressure for innovation. This research aims to identify Critical Success Factors (CSFs) and supply chain challenges within tech firms, evaluate their importance through expert consensus, and perform a structural analysis using DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) and ISM (Interpretive Structural Modeling). The study analyzes the causal relationships between success factors and supply chain challenges, ultimately providing a hierarchical model of influence based on these structural analyses. To achieve this, factors were first identified through a literature review and screened by experts. Subsequently, the DEMATEL technique was applied to determine cause-and-effect relationships, while the ISM method was used for structural modeling and establishing hierarchical levels. The results indicate that technology integration, digital transformation, and data-driven decision-making are recognized as the primary driving (causal) factors for supply chain success in tech companies. Furthermore, challenges such as intense competition, cybersecurity threats, and intellectual property protection were identified as fundamental factors contributing to supply chain disruptions. These findings assist supply chain managers in tech firms to enhance resilience and efficiency more effectively by gaining a deeper understanding of structural relationships and focusing on root driving factors. This research also paves the way for future studies in this field.

Cite this article: M. Mohammad Kazemi and M. Ebrahimi, "Identification and Structural Analysis of Key Success Factors and Supply Chain Challenges in Companies Providing Technology-Based Products and Services, vol. 28, no. 1, pp. 87-106, 2026. DOI: <https://doi.org/10.47176/scmj.2026.1677>



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights

Publisher: Imam Hossein University

Introduction

In recent years, technology-driven companies have faced highly complex and turbulent environments characterized by rapid technological advancements, shortened product life cycles, and intense market competition. These dynamic conditions have drawn critical attention to the strategic management of supply chains. Supply Chain Management (SCM) has emerged as an essential capability to mitigate operational risks, enhance organizational agility, and maintain sustainability. Despite numerous studies on general supply chains, there remain specific research gaps in concurrently identifying industry-specific success factors and structurally mapping operational vulnerabilities within technology sectors. This study aims to identify, categorize, and structurally analyze the critical success factors (CSFs) and supply chain challenges in Iranian technology-providing firms using advanced multi-criteria decision-making (MCDM) techniques.

Research Objectives and Questions

The research seeks to answer the following main question:

What are the key success factors and operational challenges influencing the supply chain performance of technology companies, and how can their structural relationships be modeled to improve resilience?

The objectives are:

- To identify critical success factors and primary challenges throughout the technology supply chain.
- To determine the causal dependencies between the identified success factors.
- To analyze the mutual influence, driving power, and dependence lines among the core challenges using DEMATEL.
- To establish a clear, level-based structural hierarchy among these challenges via Interpretive Structural Modeling (ISM).

Methodology

The study adopts an applied research design with a descriptive-survey and quantitative-qualitative hybrid approach. It was conducted in four main stages between 2025 and 2026:

- **Identification of Core Factors:** A comprehensive literature review followed by field interviews and Delphi screening with 10 industry experts and senior managers (with over 10 years of experience) was conducted to finalize 8 Critical Success Factors (A1 to A8) and 8 Supply Chain Challenges (B1 to B8).
- **Data Collection:** Structured matrix questionnaires were distributed among 60 specialized operations, procurement, and IT professionals across the target high-tech companies. Data

reliability was confirmed through Cronbach's alpha ($\alpha = 0.938$), and sampling adequacy was validated by $KMO = 0.862$ and Bartlett's test significance ($p < 0.001$).

- **Causal Analysis Using DEMATEL:** The Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory method was applied to determine the prominence and net cause-and-effect boundaries among the factors.

- **Hierarchical Modeling via ISM and MICMAC:** Interpretive Structural Modeling was used to partition variables into hierarchical levels, and MICMAC analysis classified them into driving, dependent, autonomous, and linkage quadrants.

Findings

The results of the analysis successfully mapped the behavioral patterns of the supply chain factors. For the challenges, the MICMAC and DEMATEL analyses identified specific structural distributions:

- **Driving and Autonomous Factors:** Intense Market Competition (B2), Cybersecurity Threats (B3), and Regulatory Shifts (B7) emerged as the dominant net causes with high driving power. Notably, B2, B3, and T7 showed zero dependence power, marking them as absolute independent and exogenous inputs. Intellectual Property (B5) and Legal Ambiguities (B6) were also classified as autonomous elements with low dependence.

- **Dependent Factors:** Resistance to Technological Change (B1), Counterfeit Components (B4), and Lack of Transparency/Tariff Impacts (B8) were identified as net effects with the highest dependence power.

- **Linkage Factors:** The Linkage quadrant was completely vacant, indicating a highly stable system free of unpredictable feedback loops.

The ISM hierarchy mapped these challenges into a three-tiered model, positioning the root drivers (B2, B3, B7, B5, B6) at the foundational base (Level III) and the operational vulnerabilities (B1, B4, B8) at the top outcome layer (Level I).

Discussion

The research highlights that the structural dimensions of high-tech supply chains are governed by a clear linear flow from macro-environmental pressures to operational outcomes. The results support the argument that localized attempts to resolve top-level symptoms (such as forcing tech adoption to fight employee resistance or running basic audits to stop counterfeit parts) are statistically ineffective unless the foundational driving layers are addressed first.

Furthermore, the study emphasizes that implementing proactive policies, such as securing digital platforms and deploying flexible IT infrastructures, can substantially isolate the internal chain from external market disruptions. The combination of DEMATEL and ISM provides a

structured, realistic systemic approach tailored to the technology sector, an area often overlooked by conventional, isolated assessment methods.

Conclusions and Implications

The proposed hybrid model offers a practical diagnostic framework for managing vulnerabilities in technology supply chains. The results suggest that managers and strategic decision-makers should focus on:

- Shifting from symptomatic operational fixes to root-cause strategic interventions.
- Establishing zero-trust, secure data-exchange frameworks to proactively counter independent cybersecurity threats.
- Actively leveraging core success factors like top management commitment and data-driven decision-making to build supply chain resilience.
- Diversifying strategic sourcing networks to buffer against sudden regulatory shifts and intellectual property vulnerabilities.

The study's outcomes provide valuable systemic insights for industry leaders aiming to develop long-term sustainable operations in the high-tech market. Despite its contributions, limitations such as the localized expert sample size restrict immediate global generalizability. Future studies could expand this framework by using structural equation modeling (SEM) to statistically validate the hierarchical paths on a larger scale.

شناسایی و تحلیل ساختاری عوامل کلیدی موفقیت و چالش‌های زنجیره تامین شرکت‌های

ارائه‌دهنده محصولات و خدمات فناورانه

مهدی محمد کاظمی^۱، علی نمازیان^{۲*} 

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت کسب و کار، دانشکده علوم مالی، مدیریت و کارآفرینی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

رایانامه: mahdi.kazemi59@grad.kashanu.ac.ir

^۲ استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: a.namazian@kashanu.ac.ir

چکیده

در دنیای امروز، شرکت‌های فناور با چالش‌های پیچیده‌ای نظیر تغییرات سریع فناوری، جهانی‌شدن زنجیره تامین و فشار برای نوآوری‌های مستمر روبرو هستند. هدف این تحقیق، شناسایی عوامل کلیدی موفقیت (CSFs) و چالش‌های زنجیره تامین در شرکت‌های فناور، ارزیابی اهمیت این عوامل از طریق نظر خبرگان و سپس تحلیل ساختاری آن‌ها با استفاده از روش‌های دیمتل (DEMATEL) و مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) است. این تحقیق بر آن است تا روابط علی میان عوامل موفقیت و چالش‌های زنجیره تامین این شرکت‌ها را تحلیل کرده و بر اساس تحلیل‌های ساختاری، مدل سلسله‌مراتبی نفوذ این عوامل را ارائه دهد. برای این منظور، پس از شناسایی عوامل از طریق مرور ادبیات و غربال‌گری آن‌ها توسط خبرگان، از روش دیمتل برای تعیین روابط علت و معلولی و از روش ISM برای مدل‌سازی ساختاری و تعیین سطوح سلسله‌مراتبی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهند که یکپارچه‌سازی فناوری، تحول دیجیتال و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده به‌عنوان عوامل اصلی و محرک (علت) در موفقیت زنجیره تامین شرکت‌های فناور شناخته می‌شوند. همچنین، چالش‌هایی مانند رقابت شدید، تهدیدات امنیت سایبری و حفاظت از مالکیت فکری به‌عنوان عوامل زیربنایی و تأثیرگذار در بروز اختلالات زنجیره تامین شناسایی شدند. یافته‌های این پژوهش به مدیران زنجیره تامین شرکت‌های فناور کمک می‌کند تا با درک عمیق‌تر از روابط ساختاری و تمرکز بر عوامل ریشه‌ای و محرک، تاب‌آوری و کارایی زنجیره تامین خود را به شکلی مؤثرتر افزایش دهند. این تحقیق همچنین زمینه‌ساز پژوهش‌های آتی در این حوزه خواهد بود.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: علمی پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱

بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۰۶

پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۴

ارائه آنلاین: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵

کلیدواژه‌ها:

مدیریت زنجیره تامین

تحلیل دیمتل

مدل‌سازی ساختاری تفسیری

استناد: محمد کاظمی، مهدی، نمازیان، علی، "شناسایی و تحلیل ساختاری عوامل کلیدی موفقیت و چالش‌های زنجیره تامین شرکت‌های ارائه‌دهنده

محصولات و خدمات فناورانه، دوره ۲۸، شماره ۱، صفحات ۸۷-۱۰۶، ۱۴۰۵. DOI: <https://doi.org/10.47176/scmj.2026.1677>

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



ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع).

OPEN ACCESS

۱- مقدمه

امروزه مدیریت زنجیره تأمین به یک منبع مزیت رقابتی کلیدی برای شرکت‌های فناور تبدیل شده است. رقابت دیگر صرفاً بین محصولات یا شرکت‌ها نیست، بلکه میان زنجیره‌های تأمین صورت می‌گیرد و موفقیت شرکت‌ها وابسته به توانایی آن‌ها در مدیریت مؤثر زنجیره تأمین است [۱]. شرکت‌های فعال در حوزه محصولات و خدمات فناورانه (که در ادامه به اختصار شرکت‌های فناور نامیده می‌شوند) شامل شرکت‌های نرم‌افزاری، فناوری اطلاعات، الکترونیک، استارت‌آپ‌های دیجیتال و شرکت‌های دانش‌بنیان فناوری‌محور؛ با زنجیره تأمینی پیچیده، جهانی و پویایی روبه‌رو هستند که باید مواد اولیه، قطعات و محصولات را در سطح بین‌المللی تأمین و توزیع کنند [۲]. ویژگی‌هایی مانند چرخه عمر کوتاه محصولات، سرعت بالای نوآوری و تغییرات سریع فناوری، فشار زیادی بر زنجیره تأمین این شرکت‌ها وارد می‌کند [۳]. مدیران زنجیره تأمین در شرکت‌های فناور تحت فشارند تا ضمن کاهش زمان عرضه به بازار و کنترل هزینه‌ها، فرایند تولید و تحویل محصولات پیچیده را بهینه‌سازی کنند [۴].

بالین حال، بروز اختلالات و تغییرات محیطی (مانند نوسانات تقاضا، تحریم‌ها و همه‌گیری‌ها) نشان داده است که بسیاری از زنجیره‌های تأمین فناوری از نظر تاب‌آوری و چابکی با چالش‌های جدی مواجه‌اند؛ به‌عنوان نمونه، افزایش رقابت و تغییرات فناوری سبب بی‌ثباتی عوامل محیطی شده و مدیریت زنجیره تأمین را دشوارتر کرده است [۵]. در چنین شرایطی، شناسایی و ارزیابی عوامل کلیدی موفقیت (CSFs) و همچنین درک چالش‌های اساسی زنجیره تأمین برای شرکت‌های فناور از اهمیت زیادی برخوردار است. مطالعات پیشین نشان می‌دهد به‌کارگیری مناسب عوامل موفقیت‌آمیز در زنجیره تأمین می‌تواند به بهبود عملکرد عملیاتی و کسب مزیت رقابتی منجر شود. برای مثال، اشتراک‌گذاری اطلاعات در طول زنجیره، اعتماد و همکاری بین شرکا، و یکپارچگی فرایندها از جمله عواملی هستند که مزایای استراتژیک در عملکرد زنجیره ایجاد می‌کنند [۱]. در مقابل، عدم توجه به چالش‌هایی نظیر کمبود منابع، نوسانات بازار یا نبود نیروی انسانی متخصص می‌تواند به اختلال در جریان تأمین و شکست برنامه‌های تولید منجر شود [۵].

اگرچه ادبیات پژوهش با احصای مؤلفه‌های متعدد، زیربنای نظری ارزشمندی را فراهم آورده است؛ اما بسنده کردن مطالعات پیشین به ارائه فهرست‌های توصیفی و ایستا، منجر به ترسیم

تصویری مسطح از واقعیت شده که در آن، پویایی‌های سیستمی و تعاملات پیچیده میان عوامل مغفول مانده است. این خلأ ساختاری باعث می‌شود مدیران در مواجهه با انبوهی از متغیرها، در تمیزدادن علت‌های ریشه‌ای از نشانه‌های معلولی دچار ابهام شده و منابع سازمان را صرفاً صرف درمان نشانه‌ها کنند. براین اساس، نوآوری و تمایز بنیادین پژوهش حاضر، گذار از سطح شناسایی صرف به مدل‌سازی ساختاری است. این مطالعه با بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی و ریاضی‌محور DEMATEL-ISM، نه تنها شبکه پیچیده روابط علی را بازگشایی می‌کند، بلکه با اتخاذ رویکردی جامع و دوگانه در بستر اختصاصی شرکت‌های فناور، هم‌زمان به واکاوی پیشران‌های موفقیت و موانع بازدارنده می‌پردازد. خروجی این تحلیل، نقشه‌ای سلسله‌مراتبی و عملیاتی است که به‌جای ارائه فهرست‌های پراکنده، اهرم‌های کلیدی مداخله را برای ارتقای تاب‌آوری و عملکرد زنجیره تأمین در اختیار مدیران قرار می‌دهد. ساختار مقاله نیز به این‌گونه تنظیم شده است که در بخش دوم، مبانی نظری مرتبط با زنجیره تأمین در شرکت‌های فناور مورد بررسی قرار می‌گیرد و به شناسایی عوامل کلیدی موفقیت و چالش‌های موجود در ادبیات تخصصی این حوزه پرداخته می‌شود. در بخش سوم، روش‌شناسی پژوهش شامل نحوه گردآوری داده‌ها و ابزارهای به‌کاررفته برای تحلیل آن‌ها تشریح می‌گردد. بخش چهارم به تحلیل داده‌ها از طریق رویکرد ISM و تکنیک دیمتل اختصاص دارد. در بخش پنجم، نتایج به‌دست‌آمده مورد بحث و تفسیر قرار گرفته و در نهایت، بخش ششم به جمع‌بندی یافته‌ها و ارائه پیشنهادها کاربردی برای مدیران و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی اختصاص یافته است.

۲- ادبیات نظری

۲-۱- زنجیره تأمین در شرکت‌های فناور

زنجیره تأمین شامل تمامی فعالیت‌ها و عناصر درگیر از تأمین مواد اولیه تا تحویل محصول نهایی به مشتری است [۶]. مدیریت زنجیره تأمین^۱ در شرکت‌های فناور به دلیل ماهیت محصولات پیشرفته و سرعت بالای نوآوری^۲، پیچیدگی‌ها و ویژگی‌های خاصی دارد [۷]. محصولات فناورانه معمولاً چرخه عمر کوتاه و

^۱ SCM (Supply Chain Management)

^۲ High-Tech

چنین زنجیره‌ای را ممکن می‌سازند و نیز چالش‌های راهبردی پیشروی آن، بر اساس مرور مطالعات معتبر، تشریح می‌گردند.

۲-۲- عوامل کلیدی موفقیت زنجیره تأمین

عوامل کلیدی موفقیت به آن دسته از حوزه‌ها یا متغیرهای حیاتی گفته می‌شود که دستیابی سازمان به نتایج برتر، وابسته به عملکرد بسیار خوب در آن حوزه‌ها است [۱۳]. به بیان دیگر، اگر اهداف مرتبط با این عوامل برآورده نشوند، موفقیت کلی سازمان در اجرای راهبردها با مخاطره مواجه خواهد شد [۱۴]. در زمینه مدیریت زنجیره تأمین، شناسایی عوامل کلیدی موفقیت از دهه‌های گذشته به این سو موردتوجه پژوهشگران بوده است و بررسی مطالعات مختلف نشان می‌دهد که بسیاری از این عوامل در پژوهش‌های گوناگون به صورت مکرر گزارش شده و ماهیتی نسبتاً مشترک دارند. جدول (۱)، برخی از مهم‌ترین عوامل کلیدی موفقیت زنجیره تأمین را که در ادبیات بین‌المللی و داخلی این حوزه شناسایی شده‌اند، همراه با منبع هر کدام فهرست می‌کند. شایان‌ذکر است جهت تنوع‌بخشی به منابع، برای هر عامل عمده‌تاً به یک منبع شاخص اکتفا شده است.

جدول (۱): عوامل کلیدی موفقیت زنجیره تأمین شرکت‌های فناوری

کد	نام عامل	تأثیر	منبع
A1	یکپارچه‌سازی فناوری	فرایندهای خودکار و هماهنگی در زنجیره تأمین را بهبود می‌بخشد.	[۱۶]، [۱۵]، [۱۷]
A2	همکاری با شرکای زنجیره تأمین	از طریق روابط قوی و اشتراک اطلاعات، کارایی و یکپارچگی را افزایش می‌دهد.	[۱۹]، [۱۸]
A3	تصمیم‌گیری مبتنی بر داده	با استفاده از داده‌های لحظه‌ای، خطاها را کاهش داده و فرایندها را بهینه می‌کند.	[۲۱]، [۲۰]
A4	تحول دیجیتال	توانمندی‌ها و رقابت‌پذیری را از طریق فناوری‌های دیجیتال یکپارچه افزایش می‌دهد.	[۲۲]
A5	مقیاس‌پذیری عملیات زنجیره تأمین	امکان افزایش سریع ظرفیت برای پاسخ به تقاضا را فراهم می‌کند.	[۲۳]
A6	هم‌راستاسازی با نیازهای مشتری	رضایت مشتری را با تطبیق محصولات با خواسته‌های آنان افزایش می‌دهد.	[۲۵]، [۲۴]
A7	سیستم‌های اطلاعاتی قدرتمند	به اشتراک‌گذاری داده‌های لحظه‌ای و تصمیم‌گیری سریع کمک می‌کند.	[۲۶]
A8	راهبرد مؤثر زنجیره تأمین	عملیات زنجیره تأمین را با اهداف کسب‌وکار هماهنگ می‌سازد.	[۲۷]

تقاضای نوسانی و غیرقابل پیش‌بینی دارند. برای مثال، در صنعت الکترونیک مشاهده شده است که تقاضا برای قطعات نیمه‌هادی می‌تواند تحت تأثیر چرخه‌های فناوری به شدت متغیر باشد و پیش‌بینی تقاضا را دشوار کند [۸]. همچنین این شرکت‌ها اغلب با زنجیره‌های تأمین جهانی سروکار دارند و تأمین اجزا و مواد از تأمین‌کنندگانی در اقصی نقاط جهان صورت می‌گیرد. این امر اگرچه امکان بهره‌گیری از مزیت‌های هزینه‌ای و تخصصی را فراهم می‌کند، اما ریسک‌ها و عدم قطعیت‌های محیطی (مانند تغییرات مقررات صادرات/ واردات، جنگ‌های تجاری و حوادث ژئوپلیتیکی) را نیز به همراه دارد [۹]. علاوه بر این، سرعت بالای تغییرات فناوری ایجاب می‌کند زنجیره تأمین این شرکت‌ها از انعطاف‌پذیری و چابکی بالایی برخوردار باشد تا بتواند خود را با معرفی محصولات جدید و تغییر در طرح‌ها وفق دهد. به بیان دیگر، در صنعت فناوری پیشرفته، مزیت رقابتی نه تنها در نوآوری محصول، بلکه در توانایی زنجیره تأمین برای واکنش سریع و کارا به تغییرات بازار و فناوری نهفته است [۸].

از منظر نظری، مدیریت زنجیره تأمین در شرکت‌های فناور می‌توان بر اساس مفاهیمی همچون چابکی، انعطاف‌پذیری، یکپارچگی زنجیره و مدیریت ریسک توصیف کرد. نظریه چابکی زنجیره تأمین^۱ بیان می‌کند که شرکت‌های با فناوری پیشرفته به زنجیره‌هایی نیاز دارند که بتوانند به نوسانات شدید بازار به سرعت پاسخ دهند و تأخیرها را به حداقل برسانند [۱۰]. یکپارچگی اطلاعاتی و فرایندی میان شرکای زنجیره نیز برای این شرکت‌ها حیاتی است؛ زیرا مشارکت نزدیک تأمین‌کنندگان در برنامه‌ریزی تولید و اشتراک به هنگام اطلاعات تقاضا، عدم قطعیت را کاهش داده و کارایی را افزایش می‌دهد [۱۱]. با این حال، دستیابی به این یکپارچگی به دلیل پراکندگی جغرافیایی و تنوع فرهنگی شرکا آسان نیست و خود یکی از چالش‌های عمده محسوب می‌شود (عدم شفافیت کافی داده‌ها میان شرکا و وجود سیلوهای اطلاعاتی در سازمان‌های مختلف مانع دید جامع زنجیره می‌شود [۱۲]. ادبیات موجود نشان می‌دهد زنجیره تأمین شرکت‌های فناور برای موفقیت باید در عین چابکی و انعطاف‌پذیری، یکپارچه و قابل اطمینان باشد و هم‌زمان بتواند ریسک‌های پیرامونی را به خوبی مدیریت کند. در ادامه، عوامل کلیدی موفقیت که تحقق

¹ Supply Chain Agility

عوامل کلیدی موفقیت در مدیریت زنجیره تأمین پایدار را شناسایی نمود. چنین پژوهش‌هایی مؤید اهمیت موضوع در صنایع مختلف است. با این حال، درباره شرکت‌های فناور به طور خاص، همچنان پژوهش جامع و یکپارچه‌ای که مجموعه عوامل موفقیت و چالش‌های این حوزه را هم‌زمان بررسی کند، محدود است. این شکاف در انتهای این بخش بیشتر تشریح شده است.

۲-۳- چالش‌های زنجیره تأمین شرکت‌های فناور

زنجیره تأمین شرکت‌های فناور علاوه بر عوامل موفقیت یادشده، با چالش‌های متعدد و پیچیده‌ای نیز روبه‌رو است که می‌توانند مانع تحقق عملکرد مطلوب شوند. نخستین دسته از این چالش‌ها از ماهیت بازار و محصول فناوری ناشی می‌شود. عدم قطعیت تقاضا و نوسانات شدید بازار یکی از چالش‌های اصلی است؛ به‌طوری که پیش‌بینی تقاضا برای محصولات با فناوری پیشرفته دشوار بوده و خطای پیش‌بینی می‌تواند منجر به نارسایی یا مازاد عرضه در زنجیره گردد؛ این امر پدیده اثر شلاق چرمی^۲ را تشدید می‌کند و زنجیره تأمین را از تعادل خارج می‌سازد [۳۰]. چالش مرتبط دیگر چرخه عمر کوتاه محصولات است که فرصت کمی برای جبران کاستی‌های عملیاتی باقی می‌گذارد. شرکت‌های فناور ناچارند در مدت‌زمان کوتاهی پس از معرفی محصول، به سوددهی برسند و سپس برای نسل بعدی محصول برنامه‌ریزی کنند؛ در نتیجه مدیریت موجودی و تأمین به‌موقع در این بازه فشرده چالش‌برانگیز است [۳۱].

دسته دوم چالش‌ها مربوط به پیچیدگی و جهانی بودن زنجیره تأمین این شرکت‌هاست. تأمین بسیاری از قطعات و مواد اولیه ممکن است تنها از تعداد محدودی تأمین‌کننده در سطح جهان امکان‌پذیر باشد (مانند تکیه صنعت الکترونیک بر چند تولیدکننده اصلی تراشه) [۳۲]. این تمرکز، خطر وابستگی بیش از حد به تأمین‌کنندگان انحصاری و آسیب‌پذیری در برابر اختلالات را به همراه دارد. برای مثال، کمبود جهانی تراشه در سال‌های اخیر نشان داد که حتی شرکت‌های بزرگ فناوری نیز چگونه تحت تأثیر اختلال در تأمین یک جزء کلیدی قرار می‌گیرند [۳۳]. علاوه بر این، عدم شفافیت و دید انتها - به - انتها در زنجیره‌های تأمین طولانی، یک چالش اساسی است؛ هنگامی که ده‌ها شرکت

مطابق جدول (۱)، ادبیات موضوع بر اهمیت عواملی نظیر همکاری زنجیره‌ای، اعتماد، ارتباطات، فناوری اطلاعات، حمایت مدیریتی، چابکی، کیفیت، مدیریت ریسک، بهبود مستمر و نظایر آن تأکید دارد که هر یک به‌نوعی عملکرد زنجیره تأمین را بهبود داده و موفقیت آن را تضمین می‌کنند. برای نمونه، شاهابی و همکاران (۲۰۱۷) در یک مرور نظام‌مند نشان دادند که اعتماد متقابل، تعهد و ارتباطات مؤثر از ارکان اساسی مشارکت موفق در زنجیره تأمین هستند. همچنین فناوری اطلاعات تقریباً در تمامی پژوهش‌های مرتبط به‌عنوان یک عامل کلیدی تکرار شده است و بهبود یکپارچگی اطلاعات و هماهنگی زنجیره را به دنبال دارد. البته این نکته نیز مورد تأکید قرار گرفته که فناوری به‌تنهایی کافی نیست و باید با حمایت سازمانی و فرهنگ مشارکتی همراه شود تا به نتایج مطلوب بینجامد [۲۸]. عامل دیگری که در بسیاری از مطالعات برجسته شده، انعطاف‌پذیری زنجیره در برابر تغییرات محیطی و تقاضاست که در شرکت‌های فناور برای واکنش سریع به نوسانات بازار ضروری است. ازسوی دیگر، در سال‌های اخیر پایداری و تاب‌آوری زنجیره تأمین نیز به جمع عوامل موفقیت پیوسته و مطالعاتی به شناسایی عوامل کلیدی موفقیت زنجیره تأمین پایدار و تاب‌آور^۱ پرداخته‌اند [۲۹]. به‌عنوان مثال، حسن و همکاران (۲۰۲۳) تعهد مدیریت ارشد، به‌کارگیری فناوری‌های نوین، مشارکت اطلاعاتی با شرکا، اعتمادسازی و توسعه تأمین‌کنندگان را از مهم‌ترین عوامل موفقیت در دستیابی به زنجیره تأمین تاب‌آور برشمرده‌اند.

شایان ذکر است که در ادبیات داخلی نیز موضوع عوامل موفقیت مدیریت زنجیره تأمین مورد توجه بوده است. برای نمونه، نصیری و مروتی شریف‌آبادی (۱۴۰۰) با رویکرد فراترکیب، ۳۱ عامل کلیدی موفقیت را در قالب ۸ بعد (شامل طراحی زنجیره تأمین، مدیریت فرایند/تولید، منابع انسانی، محیط بیرونی، فرهنگ سازمانی، مدیریت روابط مشتری، مسائل زیست‌محیطی و تعاملات زنجیره) برای پیاده‌سازی زنجیره تأمین بزرگ استخراج کردند. هرچند رویکرد آنان معطوف به پارادایم بزرگ (ادغام ناب، چابک، تاب‌آور و سبز) بود، نتایج نشان‌دهنده گستردگی عوامل اثرگذار بر موفقیت زنجیره تأمین است. همچنین، جعفری (۱۳۹۸) در صنایع نفت و گاز با مدل‌سازی تفسیری، مهم‌ترین

² Bullwhip Effect

¹ Sustainable and Resilient Supply Chain

تصویر برند و کارایی منابع داشته باشد، اما در کوتاه‌مدت به منزله چالش تطبیق فرایندها و احتمال افزایش هزینه‌ها است. به‌ویژه برای استارت‌آپ‌ها و شرکت‌های فناور کوچک‌تر، اجرای الزامات پایداری بدون حمایت نهادهای بالادستی دشوار خواهد بود [۳۹]. در جدول (۲)، برخی از مهم‌ترین چالش‌های کلیدی ذکر شده است.

جدول (۲): چالش‌های کلیدی زنجیره تأمین شرکت‌های فناور

کد	نام عامل	تأثیر	منبع
B1	مقاومت در برابر تغییرات فناورانه	نیاز به سازگاری مداوم، تأخیر در اجرا و خطر منسوخ‌شدن فرایندها را به دنبال دارد	[۴۰]
B2	رقابت شدید	فشار برای کاهش هزینه، منابع و حاشیه سود را تحت‌فشار قرار می‌دهد	[۴۱]
B3	تهدیدات امنیت سایبری	خطر نفوذ داده‌ها و اختلال در عملکرد زنجیره تأمین دیجیتال را افزایش می‌دهد	[۴۲]
B4	قطعات تقلبی	کیفیت محصول و اعتماد مشتری را به‌خاطر ضعف امنیت زنجیره تأمین تهدید می‌کند	[۴۳]
B5	حفاظت از مالکیت فکری	خطر سرقت یا سوءاستفاده از طراحی‌ها، ناشی از امنیت ضعیف و شبکه‌های جهانی است	[۴۴]
B6	بی‌ثباتی اقتصادی جهانی	نوسانات در عرضه و تقاضا، سطح عدم اطمینان در زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد	[۴۵]
B7	تغییرات مقررات	هزینه‌های تطابق را افزایش داده و فرایندهای موجود را مختل می‌سازد	[۴۶]، [۴۷]
B8	تأثیر تعرفه بر استارت‌آپ‌ها	تعرفه‌های واردات، هزینه‌ها را بالا برده و بودجه و عملیات شرکت‌های نوپا را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد	[۴۸]

اگرچه مطالعات پیشین در شناسایی مؤلفه‌های مؤثر بر زنجیره تأمین گام‌های مؤثری برداشته‌اند، اما بدنه دانش موجود با سه خلأ اساسی مواجه است که ضرورت و جهت‌گیری متدولوژیک پژوهش حاضر را تبیین می‌کند: نخست، فقدان یک دیدگاه یکپارچه‌نگر^۲ که عوامل موفقیت (به‌عنوان پیشران) و چالش‌ها (به‌عنوان بازدارنده) را به‌صورت توأمان در یک مدل واحد تحلیل کند؛ چراکه اکثر پژوهش‌ها این دو بعد را به‌صورت جزایری مجزا

در لایه‌های مختلف مشارکت دارند، کسب اطلاعات دقیق از موجودی، ظرفیت و وضعیت تولید در کل شبکه دشوار می‌شود [۳۴]. همان‌گونه که مینیک (۲۰۱۷) اشاره می‌کند، داده‌های حیاتی زنجیره تأمین در سامانه‌های اطلاعاتی پراکنده ده‌ها شرکت پنهان شده و هماهنگی تصمیم‌گیری را مختل می‌سازد. این عدم شفافیت می‌تواند منجر به تصمیمات نادرست و واکنش‌های کند در مواجهه با تغییرات شود.

دسته سوم، ریسک‌ها و اختلالات زنجیره تأمین هستند که به‌ویژه در سال‌های اخیر برجسته‌تر شده‌اند. شرکت‌های فناور به دلیل گستره بین‌المللی عملیات خود، در معرض ریسک‌های گوناگون از حوادث طبیعی (زلزله، سیل و...)، بحران‌های بهداشتی (مانند پاندمی)، تغییرات مقرراتی و تعرفه‌ای، تا مسائل سیاسی و ژئوپلیتیکی قرار دارند [۳۵]. هر یک از این رخدادها می‌تواند جریان تأمین مواد و توزیع محصولات را مختل کند. به‌عنوان نمونه، پاندمی کووید-۱۹ باعث تعطیلی موقت کارخانه‌ها، محدودیت‌های لجستیکی و تغییر الگوی تقاضا شد و بسیاری از زنجیره‌های تأمین فناوری از کمبود قطعات تا تأخیر در تحویل کالا آسیب دیدند [۳۶]. همچنین تنش‌های تجاری بین قدرت‌های اقتصادی (مانند جنگ تجاری آمریکا و چین) منجر به محدودیت دسترسی به برخی فناوری‌ها و مواد اولیه برای شرکت‌های فناور گردیده است؛ در مجموع، عدم قطعیت محیطی به سطح بی‌سابقه‌ای رسیده و نیاز به تاب‌آوری زنجیره تأمین بیش‌ازپیش احساس می‌شود [۳۷]. مطالعاتی نظیر واراداراجان و همکاران (۲۰۲۳) نیز تأکید دارند که شرکت‌های فناوری باید خطر ژئوپلیتیک^۱ را در کانون برنامه‌ریزی راهبردی زنجیره تأمین خود قرار دهند و برای وضعیت‌های احتمالی مختلف، از پیش تمهیداتی بیندیشند.

از دیگر چالش‌ها، فشار فزاینده برای رعایت ملاحظات پایداری و محیط‌زیست در زنجیره تأمین است. ذی‌نفعان و مقررات جدید از شرکت‌های فناوری می‌خواهند که زنجیره تأمین خود را سبزتر و مسئولانه‌تر کنند (برای مثال، کاهش کربن در تولید و توزیع تجهیزات الکترونیکی، بازیافت محصولات مستعمل و رعایت استانداردهای زیست‌محیطی توسط تأمین‌کنندگان) [۳۸]. هرچند این امر در بلندمدت می‌تواند مزایایی چون بهبود

^۲ Integrated Perspective

^۱ Geopolitical Risk

در گام سوم (سطح بندی و اولویت بندی)، نتایج به دست آمده از تحلیل دیمتل به عنوان ورودی روش مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM) مورد استفاده قرار گرفت تا ساختار سلسله مراتبی و سطح بندی نهایی عوامل مشخص گردد.

۱-۳- روش دیمتل و ISM

روش دیمتل برای کشف روابط علی و منطقی میان عوامل در سیستم های پیچیده بر اساس قضاوت خبرگان به کار می رود [۵۰]. روش مدل سازی ساختاری تفسیری نیز روشی مشابه است که مدل ساختاری عوامل را به صورت روابط ساخت یافته چند سطحی و بصری نمایش می دهد [۵۱]. هر دو تکنیک برای تحلیل عمیق مسائل استفاده می شوند و در مطالعات پیشین به صورت جداگانه به کار رفته اند. از آنجاکه هر یک از این روش ها در هنگام استفاده مستقل بر جنبه خاصی تمرکز دارند، ممکن است به تنهایی نتوانند پاسخ جامع و دقیقی نسبت به سازوکارهای مؤثر بر عملکرد سیستم ارائه دهند؛ بنابراین، از روش ترکیبی این دو که نتایج دقیق تری ارائه می دهد، استفاده می شود [۵۰]. در مطالعه حاضر، با توجه به الزامات و مفروضات، از این روش ها بهره گرفته شده است. این تکنیک به شرح زیر انجام می شود:

گام اول (تشکیل ماتریس همبستگی مستقیم M): با استفاده از مقیاس لیکرت پنج درجه ای (از ۰ تا ۴)، میزان تأثیر جفتی معیارها بر یکدیگر سنجیده می شود. سپس، میانگین حسابی امتیازات پرسشنامه های تمام خبرگان برای هر زوج از عناصر محاسبه شده و ماتریس M بر اساس آن تشکیل می شود. در این ماتریس، n تعداد عوامل را نشان می دهد و a_{ij} میزان تأثیر عامل i بر عامل j را نمایش می دهد.

$$M = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}, \quad \text{رابطه (۱)}$$

گام دوم (محاسبه ماتریس روابط مستقیم نرمال شده N): برای این منظور، ضریب K در ماتریس M ضرب می شود تا ماتریس نرمال شده N به دست آید.

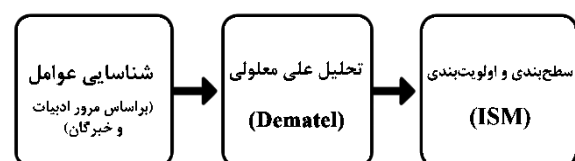
$$N = K * M = \left(\frac{1}{\max \sum_{j=1}^n x_{ij}} \right) * M, 1 \leq x \leq n. \quad \text{رابطه (۲)}$$

دیده اند. دوم، تمرکز نامتوازن مطالعات بر صنایع تولیدی سنتی و غفلت از ویژگی های منحصربه فرد زنجیره تأمین صنایع فناوری (نظیر چرخه عمر کوتاه محصول، سرعت تغییرات فناوری و نوسانات شدید) که نیازمند مدل های بومی سازی شده است.

اما مهم ترین شکاف شناسایی شده، غلبه نگاه ایستا و تک بعدی بر تحلیل هاست. غالب مطالعات به رتبه بندی عوامل یا سنجش اثرات منفرد آن ها بر عملکرد پسند کرده اند و از روابط متقابل و شبکه علی میان خود عوامل غافل مانده اند. واقعیت آن است که در سامانه های پیچیده، عوامل بر یکدیگر اثر می گذارند و از هم اثر می پذیرند؛ لذا روش های آماری معمول قادر به تبیین این پویایی شناسی سیستم ها نیستند. همین ضرورت ساختاری، به کارگیری رویکرد ترکیبی DEMATEL-ISM را در پژوهش حاضر اجتناب ناپذیر می سازد.

۳- روش تحقیق

روند اجرای پژوهش حاضر، که فلوچارت آن در شکل (۱) نمایش داده شده است، بر یک رویکرد ترکیبی کیفی و کمی مبتنی بوده و در سه گام اصلی اجرا گردید. در گام نخست (شناسایی عوامل)، با اتکا به مرور نظام مند ادبیات و همچنین بهره گیری از نظرات خبرگان، عوامل کلیدی و چالش های مرتبط با موضوع پژوهش شناسایی شدند. سپس در گام دوم (تحلیل علی معلولی)، از روش تصمیم گیری آزمایشگاهی و ارزیابی (دیمتل) برای تحلیل روابط علت و معلولی میان عوامل شناسایی شده استفاده شد. خروجی این مرحله، تفکیک عوامل به دو دسته ی محرک (علت) و وابسته (معلول) و همچنین تعیین میزان تأثیر گذاری و تأثیر پذیری آن ها بود [۴۹]. در گام سوم (سطح بندی و اولویت بندی) هم نتایج به دست آمده از تحلیل دیمتل به عنوان ورودی روش مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM) مورد استفاده قرار گرفت تا ساختار سلسله مراتبی و سطح بندی نهایی عوامل مشخص گردد.



شکل (۱): مراحل کلی پژوهش حاضر

سلسله‌مراتب قرار می‌گیرد. پس از شناسایی این معیار یا معیارها، سطر و ستون مربوط به آن‌ها از جدول حذف شده و این فرایند برای سایر معیارها تکرار می‌گردد.

۲-۳- مشخصات و ترکیب خبرگان تحقیق

به‌منظور شناسایی مهم‌ترین عوامل کلیدی موفقیت در زنجیره تأمین شرکت‌های فناوری، ابتدا ۳۳ عامل بالقوه از ادبیات موضوع استخراج گردید. شایان‌ذکر است که در مرحله غربال‌گری اولیه، از مجموع ۳۳ عامل شناسایی‌شده، تعداد ۱۷ عامل به دلیل عدم کسب حدنصاب امتیاز خبرگان (میانگین کمتر از ۳) یا ادغام در سایر مفاهیم، از مدل نهایی کنار گذاشته شدند. برای نمونه، عواملی نظیر «حمایت مدیریت ارشد» [۵۳] و «اعتماد» به دلیل همپوشانی با عامل «همکاری با شرکا» ادغام گردیدند. همچنین چالش‌هایی مانند «کمبود نیروی انسانی عمومی» [۵۴]، «بلایای طبیعی» [۵۵] و «هزینه‌های سربار» [۵۶] اگرچه در صنایع سنتی مهم هستند، اما از نظر خبرگان در اولویت راهبردی شرکت‌های فناوری قرار نداشتند و حذف شدند. بدین ترتیب تمرکز پژوهش بر ۱۶ عامل تخصصی و متمایز باقی‌مانده معطوف گردید. سپس با طراحی پرسش‌نامه‌ای بر پایه طیف لیکرت پنج‌درجه‌ای (از ۱ تا ۵)، این عوامل توسط ۱۰ نفر از خبرگان حوزه زنجیره تأمین، نوآوری و فناوری ارزیابی شدند. در نهایت، آن دسته از عواملی که میانگین امتیاز آن‌ها بیش از ۳ بود، به‌عنوان عوامل نهایی جهت تحلیل‌های ساختاری انتخاب شدند.

رویکرد کیفی این پژوهش برای شناسایی عوامل، بر مرور جامع ادبیات^۱ و سپس اعتبارسنجی خبرگانی متمرکز بود. از آنجایی که موضوع پژوهش از ادبیات نظری غنی برخوردار است، هدف اصلی کشف عوامل جدید از طریق مصاحبه‌های اکتشافی نبود، بلکه اعتبارسنجی و پالایش عوامل شناخته‌شده در بستر خاص شرکت‌های فناوری مدنظر قرار داشت. این رویکرد ترکیبی (مرور ادبیات + رأی‌گیری خبرگان) تضمین می‌کند که مدل نهایی هم بر مبنای نظری مستحکم استوار است و هم اعتبار آن

گام سوم (محاسبه ماتریس همبستگی کامل T): با در نظر گرفتن مرحله اول، به‌عنوان ماتریسی هم‌مرتبه با ماتریس N، ماتریس کامل روابط میان عوامل به دست می‌آید.

$$T = N(I - N)^{-1} \quad \text{رابطه (۳)}$$

گام چهارم (محاسبه درجات تأثیرگذاری (Di)، تأثیرپذیری (Ci)، مرکزیت (Mi) و علی‌ری (Ri)): برای هر عامل در ماتریس همبستگی کامل، مقادیر مذکور طبق فرمول‌های مشخص محاسبه می‌شوند.

$$D_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}, (i = 1, 2, \dots, n), \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$C_i = \sum_{j=1}^n t_{ji}, (i = 1, 2, \dots, n), \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$M_i = D_i + C_i, \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$R_i = D_i - C_i. \quad \text{رابطه (۷)}$$

گام پنجم (محاسبه ماتریس تأثیرگذاری کلی H): با در نظر گرفتن مرحله اول به‌عنوان ماتریس همانی (واحد)، ماتریس کلی تأثیرگذاری با استفاده از فرمول مشخصی محاسبه می‌شود.

$$H = T + I \quad \text{رابطه (۸)}$$

گام ششم (تعیین ماتریس دسترسی‌پذیری K): در این مرحله، به‌منظور پالایش روابط و دستیابی به ساختاری منسجم، مقدار آستانه λ تعریف می‌شود تا روابط با شدت کم و غیرمؤثر حذف گردند. جهت اجتناب از قضاوت‌های ذهنی و سلیقه‌ای، میانگین حسابی تمام درایه‌های ماتریس ارتباط کامل (T) به‌عنوان مبنای مقدار آستانه λ در نظر گرفته می‌شود [۵۲]. بدین ترتیب، درایه‌هایی از ماتریس T که مقدار آن‌ها برابر یا بزرگ‌تر از این آستانه باشد، در ماتریس دسترسی‌پذیری (K) معادل ۱ (رابطه معنادار) و مقادیر کوچک‌تر از آن، معادل ۰ (بدون رابطه) لحاظ می‌گردند (رابطه ۹).

$$K_{ij} = \begin{cases} 1, & h_{ij} \geq \lambda (i, j = 1, 2, 3, \dots, n), \\ 0, & h_{ij} < \lambda (i, j = 1, 2, 3, \dots, n). \end{cases} \quad \text{رابطه (۹)}$$

گام هفتم (تقسیم‌بندی سلسله‌مراتبی): بر اساس ماتریس دسترسی‌پذیری، مجموعه معیارهای ورودی (پیش‌نیاز) و خروجی (نتیجه) برای هر معیار تعیین می‌شود. سپس، مجموعه اشتراکی آن‌ها مشخص می‌گردد. در این مرحله، معیاری که مجموعه خروجی آن با مجموعه اشتراک برابر باشد، در بالاترین سطح

¹ Top Management Support

² General Workforce Shortage

³ Natural Disasters

⁴ Overhead Costs

⁵ CLR

خبرگان انتخاب شده که مشخصات آنها در جدول (۳) آورده شده، دارای سوابق تخصصی متنوعی در حوزه‌های تولید، فناوری اطلاعات، امنیت زنجیره، نوآوری و استراتژی بوده و از میان مدیران ارشد و متخصصان باتجربه کاری بالا انتخاب شدند.

همچنین محدود بودن تعداد عوامل (۸ عامل موفقیت و ۸ چالش) یک تصمیم روش‌شناختی آگاهانه بود. روش دیمتل نیازمند مقایسات زوجی $n \times (n - 1)$ است؛ با افزایش عوامل، تعداد قضاوت‌های موردنیاز به‌صورت رشد درجه‌دو^۴ افزایش می‌یابد. تحمیل این حجم از مقایسه بر خبرگان، باعث «بار شناختی»^۵ شده و منجر به «ناسازگاری در قضاوت‌ها»^۶ می‌گردد؛ بنابراین پژوهش حاضر به‌جای تحلیل سطحی عوامل متعدد، با استفاده از فرایند غربال‌گری بر مبنای میانگین نظری طیف لیکرت (که در آن عدد ۳ نقطه خنثی محسوب می‌شود)، تنها عواملی را که میانگین امتیاز آن‌ها بالاتر از این حد آستانه (میانگین < 3) بود، به‌عنوان متغیرهای معنادار و حائز اهمیت جهت تحلیل‌های ساختاری انتخاب نمود [۵۷].

نکته حائز اهمیت در طراحی مدل پژوهش حاضر، تفکیک تحلیل ساختاری عوامل موفقیت و چالش‌ها در دو ماتریس مجزا است. دلیل اتخاذ این رویکرد، تفاوت ماهوی میان جنس این دودسته متغیر است؛ عوامل موفقیت نقش تسهیل‌گر^۷ و ماهیت مثبت دارند، درحالی‌که چالش‌ها نقش بازدارنده^۸ و ماهیت منفی ایفا می‌کنند. ادغام این دودسته متضاد در یک ماتریس واحد، ضمن افزایش پیچیدگی تفسیر روابط علی، موجب رشد تصاعدی تعداد مقایسات زوجی و تحمیل بار شناختی بیش از حد بر خبرگان می‌گردد. ازاین‌رو، به‌منظور حفظ دقت علمی و شفافیت نتایج، فرایند دیمتل و ISM برای هر گروه به‌صورت مستقل اجرا گردیده است.

همچنین پس از اجرای تحلیل‌ها و ترسیم نمودارهای نهایی روابط علی و سلسله‌مراتبی، نتایج در قالب یک گزارش ساختاریافته مجدداً برای پنل خبرگان ارسال گردید. از آن‌ها خواسته شد تا بررسی کنند که آیا روابط علت‌ومعلولی شناسایی شده و سطوح سلسله‌مراتبی مدل، با تجربیات عملی و منطق مدیریتی آن‌ها سازگار است یا خیر. خبرگان، کلیات مدل و منطق حاکم بر روابط را تأیید نمودند.

برای بستر خاص پژوهش، توسط متخصصان صنعت تأیید شده است.

باتوجه به ماهیت پژوهش که بر زنجیره تأمین در شرکت‌های فناور تمرکز دارد، اتکا صرف به مدیران سنتی لجستیک یا زنجیره تأمین، تصویری ناقص از واقعیت ارائه می‌داد. در شرکت‌های فناور، زنجیره تأمین به‌شدت با تحقیق و توسعه^۱، فناوری اطلاعات، تحول دیجیتال و راه‌برد کلان سازمان درهم تنیده است؛ بنابراین ضوابط انتخاب خبرگان بر دو محور اصلی استوار بود: ۱. سابقه تجربی: دارا بودن حداقل ۱۰ سال سابقه فعالیت مرتبط در صنایع فناور. ۲. تخصص چندوجهی: برخورداری از تخصص مدیریتی در یکی از حوزه‌های کلیدی و اثرگذار بر زنجیره تأمین فناور و نه محدود به تولید، فناوری اطلاعات، نوآوری، امنیت سایبری و استراتژی. در جدول (۳) مشخصات خبرگان تحقیق آورده شده است:

جدول (۳): مشخصات خبرگان تحقیق

ردیف	جایگاه سازمانی	مدرک تحصیلی	رشته تخصصی	سابقه فعالیت (سال)
۱	مدیر ارشد تولید	کارشناسی رشد	مهندسی صنایع	۱۲
۲	مدیر کنترل کیفیت	دکتری	مهندسی مکانیک	۱۴
۳	مدیر تولید	کارشناسی رشد	مهندسی ساخت و تولید	۱۳
۴	مدیر فناوری اطلاعات ^۲	کارشناسی رشد	مهندسی نرم‌افزار	۱۲
۵	کارشناس واحد تحقیق و توسعه	کارشناسی رشد	مهندسی صنایع	۱۰
۶	کارشناس امنیت اطلاعات	کارشناسی رشد	مهندسی نرم‌افزار	۱۱
۷	مدیر تحقیق و توسعه	دکتری	مهندسی صنایع	۱۰
۸	کارشناس واحد تحقیق و توسعه	کارشناسی رشد	مدیریت فناوری	۱۳
۹	مدیر برنامه‌ریزی استراتژیک	دکتری	مدیریت استراتژیک	۱۱
۱۰	مدیر اکوسیستم استارت‌آپ‌ها	کارشناسی رشد	مدیریت کارآفرینی	۱۰

^۴ Quadratic

^۵ Cognitive Load

^۶ Judgment Inconsistency

^۷ Enablers

^۸ Barriers

^۱ R&D

^۲ Multi-Disciplinary

^۳ IT

۴- یافته‌ها

بر اساس فرآیند غربال‌گری که در بخش روش‌شناسی تشریح شد، ۱۶ عامل نهایی (۸ عامل موفقیت و ۸ چالش) به‌عنوان ورودی تحلیل انتخاب شدند. جدول (۴) فهرست این عوامل نهایی را به همراه میانگین امتیاز اهمیت دریافتی آن‌ها از خبرگان نمایش می‌دهد. در ادامه، نتایج تحلیل‌های دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری بر روی این عوامل ارائه می‌گردد.

جدول (۴): نتایج میانگین امتیازهای متغیرها بر اساس نظر خبرگان

کد	متغیر	میانگین امتیاز
A1	یکپارچه‌سازی فناوری	۴/۲
A2	همکاری با شرکای زنجیره تأمین	۳/۶
A3	تصمیم‌گیری مبتنی بر داده	۴/۲
A4	تحول دیجیتال	۴/۵
A5	مقیاس‌پذیری عملیات زنجیره تأمین	۳/۴
A6	هم‌راستاسازی با نیازهای مشتری	۳/۱
A7	سیستم‌های اطلاعاتی قدرتمند	۴
A8	راهبرد مؤثر زنجیره تأمین	۳/۸
B1	مقاومت در برابر تغییرات فناوریانه	۴
B2	رقابت شدید	۴/۵
B3	تهدیدات امنیت سایبری	۴/۲
B4	قطعات تقلبی	۳/۹
B5	حفاظت از مالکیت فکری	۳/۷
B6	بی‌ثباتی اقتصادی جهانی	۳/۵
B7	تغییرات مقررات	۳/۴
B8	تأثیر تعرفه بر استارت‌آپ‌ها	۳/۲

نتایج نهایی حاصل از تحلیل دیمتل در جدول (۵) ارائه شده است که نشان‌دهنده میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هر یک از عوامل کلیدی موفقیت در زنجیره تأمین شرکت‌های فناوری است.

جدول (۵): نتایج نهایی دیمتل عوامل موفقیت (ماتریس دسترسی‌پذیری)

	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	
A1	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	
A2	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	
A3	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	
A4	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	
A5	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
A6	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
A7	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	
A8	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	

در تحلیل نهایی مبتنی بر روش دیمتل، باهدف شناخت نقش و جایگاه هر یک از عوامل کلیدی موفقیت در زنجیره تأمین شرکت‌های فناوری، شاخص‌های تأثیرگذاری (D)، تأثیرپذیری (R)، جمع ارتباطی (D + R) و خالص تأثیر (D - R) برای هشت عامل اصلی محاسبه شد و نتایج آن در جدول (۶)، قابل‌مشاهده است.

در این جدول، ستون (D - R) نشان‌دهنده «قدرت نفوذ خالص» هر عامل است که مبنای طبقه‌بندی آن‌ها قرار می‌گیرد. بر اساس اصول روش دیمتل، اگر مقدار D - R برای یک عامل مثبت باشد، بدین معناست که آن عامل بر سایرین تأثیر غالب دارد و در گروه عوامل علی قرار می‌گیرد. در مقابل، اگر این مقدار منفی باشد، نشان‌دهنده تأثیرپذیری بیشتر آن عامل است و در گروه عوامل معلول طبقه‌بندی می‌شود. در موارد خاصی که این مقدار دقیقاً برابر با صفر باشد (توازن کامل میان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری)، عامل مربوطه به‌عنوان خنثی شناخته می‌شود [۵۲].

ساختار روابط میان عوامل موفقیت در زنجیره تأمین شرکت‌های فناور مشخص می‌سازد. شایان ذکر است که در این نمونه، هیچ عاملی در گروه خنثی قرار نگرفته است.

جدول (۷): دسته‌بندی عوامل بر اساس نوع آن‌ها

نوع عامل	عوامل مربوطه
عامل علت	A1 (یکپارچه‌سازی فناوری) A3 (تصمیم‌گیری داده‌محور) A4 (تحول دیجیتال)
عامل معلول	A2 (زنجیره همکاری) A5 (مقیاس‌پذیری عملیات)
خنثی	در این نمونه وجود ندارد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل دیمتال، هر یک از عوامل کلیدی موفقیت بر مبنای شاخص $D-R$ به‌عنوان عامل «علت» یا «معلول» طبقه‌بندی شده‌اند. در جدول (۸)، نقش غالب برخی عوامل منتخب به‌صورت خلاصه مشخص شده است که بیانگر شدت تأثیرگذاری یا وابستگی آن‌ها در ساختار علی شبکه زنجیره تأمین شرکت‌های فناور است.

جدول (۸): نقش علت یا معلول برجسته‌تر

عامل	عنوان عامل	نقش غالب
A1	یکپارچه‌سازی فناوری	علت قدرتمند
A5	مقیاس‌پذیری عملیات	معلول کامل
A2	همکاری زنجیره	معلول نسبتاً وابسته

جدول (۹) نتایج نهایی تحلیل دیمتال را نمایش می‌دهد و میزان اثرگذاری و اثرپذیری هر یک از چالش‌های کلیدی زنجیره تأمین شرکت‌های فناور را مشخص می‌سازد.

جدول (۹): نتایج نهایی دیمتال چالش‌ها (ماتریس دسترسی‌پذیری)

	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	
B1	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	
B2	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱	
B3	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	
B4	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	
B5	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	
B6	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	
B7	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	
B8	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	

برای تحلیل نوع نقش هر یک از چالش‌های کلیدی در زنجیره تأمین شرکت‌های فناور، شاخص‌های نهایی دیمتال شامل میزان

جدول (۶): شاخص‌های نهایی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری عوامل

موفقیت و نوع عامل

کد عامل	D (تأثیرگذاری)	R (تأثیرپذیری)	D + R (ارتباط کلی)	D - R (تعیین نوع)	نوع عامل ^۱
A1	۷	۱	۸	۶	عامل علت ^۲
A2	۱	۶	۷	-۵	عامل معلول ^۳
A3	۳	۲	۵	۱	عامل علت
A4	۷	۲	۹	۵	عامل علت
A5	۰	۶	۶	-۶	عامل معلول
A6	۰	۳	۳	-۳	عامل معلول
A7	۳	۳	۶	۰	خنثی ^۴
A8	۳	۲	۵	۱	عامل علت

نکته حائز اهمیت در تفسیر نتایج جدول فوق، توجه به عوامل دارای مقادیر نزدیک به صفر در شاخص $(D - R)$ است. بر اساس اصول روش دیمتال، اگرچه علامت مثبت یا منفی این شاخص تعیین‌کننده نهایی نقش علی یا معلولی است، اما پژوهشگران معتقدند عواملی که مقدار خالص تأثیرگذاری آن‌ها ناچیز است (نزدیک به مبدأ)، ماهیتی پیچیده و واسطه‌ای دارند؛ این عوامل مرزی که در آن‌ها میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری تقریباً متوازن است، بیش از آنکه محرک مطلق یا پیامد نهایی باشند، نقش انتقال‌دهنده اثرات یا عناصر پیوندی را در سیستم ایفا می‌کنند [۵۲]؛ بنابراین طبقه‌بندی آن‌ها در گروه علت یا معلول نباید به معنای تأثیرگذاری یک‌جانبه تفسیر شود؛ بلکه بیانگر گرایش نسبی آن‌ها است.

در مرحله نهایی تحلیل دیمتال، عوامل کلیدی موفقیت بر اساس مقدار شاخص $D - R$ در سه دسته اصلی شامل «عامل علت»، «عامل معلول» و «عامل خنثی» طبقه‌بندی شدند. جدول (۷) این دسته‌بندی را ارائه می‌دهد و موقعیت علی هر عامل را در

^۱ Criterion Type

^۲ Cause

^۳ Effect

^۴ Neutral

تأثیرگذاری (D)، تأثیرپذیری (R)، ارتباط کلی (D + R) و تفاوت تأثیرگذاری و تأثیرپذیری (D - R) محاسبه شدند. جدول (۱۰) هر چالش نشان می‌دهد.

جدول (۱۰): شاخص‌های نهایی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری چالش‌های زنجیره و نوع عامل آن‌ها

کد عامل	تأثیرگذاری (D)	تأثیرپذیری (R)	(ارتباط کلی) D + R	(تعیین نوع) D - R	نوع عامل
B1	۳	۸	۱۱	-۵	معلول عامل
B2	۴	۰	۴	۴	علت عامل
B3	۳	۰	۳	۳	علت عامل
B4	۳	۷	۱۰	-۴	معلول عامل
B5	۳	۱	۴	۲	علت عامل
B6	۳	۱	۴	۲	علت عامل
B7	۳	۰	۳	۳	علت عامل
B8	۳	۸	۱۱	-۵	معلول عامل

در ادامه تحلیل دیمتل، چالش‌های شناسایی‌شده بر اساس مقدار شاخص D - R در یکی از سه دسته «عامل علت»، «عامل معلول» یا «عامل خنثی» طبقه‌بندی شدند. جدول (۱۱) این دسته‌بندی را نمایش می‌دهد و جایگاه علی هر چالش را در ساختار روابط زنجیره تأمین مشخص می‌سازد. لازم به ذکر است که در این نمونه، چالشی با نقش خنثی مشاهده نشد.

جدول (۱۱): دسته‌بندی چالش‌ها بر اساس نوع عامل آن‌ها

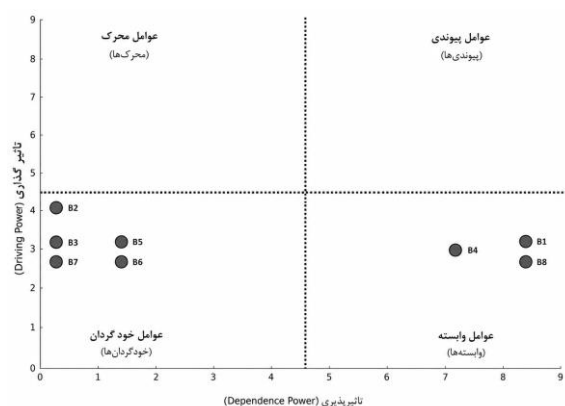
نوع عامل	چالش‌ها
عامل علت	B2 (رقابت شدید) B3 (تهدیدات سایبری) B5 (مالکیت فکری)
عامل معلول	B1 (مقاومت در برابر فناوری) B4 (قطعات تقلبی)
خنثی	در این نمونه وجود ندارد.

علاوه بر تعیین نوع عامل (علت یا معلول)، تحلیل شدت این نقش نیز حائز اهمیت است. مقدار عددی شاخص D - R نشان‌دهنده میزان خالص تأثیرگذاری است؛ بدین معنا که هرچه مقدار مثبت این شاخص بزرگتر باشد، آن عامل یک علت ریشه‌ای‌تر محسوب می‌شود و هرچه مقدار منفی آن بزرگتر (منفی‌تر) باشد، نشان‌دهنده وابستگی شدید آن عامل به سایرین است؛ بنابراین، با بررسی عواملی که دارای بیشترین فاصله از نقطه صفر (در جهت مثبت یا منفی) هستند، می‌توان عوامل «حساس» را که نقشی کاملاً غالب در سیستم ایفا می‌کنند، شناسایی کرد. جدول (۱۲) این عوامل را که دارای شدیدترین نقش علی یا معلولی هستند، نمایش می‌دهد.

جدول (۱۲): چالش‌های دارای نقش غالب (شدیدترین علت و شدیدترین معلول)

کد چالش	عنوان چالش	توضیح نقش
B1	مقاومت در برابر تغییرات فناوریانه	کاملاً معلول
B2	رقابت شدید	کاملاً علت

میزان وابستگی را دارد؛ به این معنا که خود به‌شدت بر سایر چالش‌ها اثر می‌گذارد اما پتانسیل تأثیرپذیری از آن‌ها را ندارد. در ربع چهارم که به عوامل خودگردان اختصاص دارد، چالش‌های تهدیدات امنیت سایبری، تغییرات مقررات، مالکیت فکری و ابهامات قانونی و بی‌ثباتی اقتصادی با قدرت نفوذ متوسط و وابستگی پایینی قرار گرفته‌اند، اما تمرکز شدید چالش‌های B³ و B⁷ بر روی خط صفر محور وابستگی اثبات می‌کند که این عوامل ماهیتی کاملاً برون‌زا و محرک دارند و ارتباطات معلول و بازگشتی با بدنه داخلی زنجیره تأمین برقرار نمی‌کنند. در مقابل، ربع سوم ماتریس میزبان عوامل وابسته و معلول زنجیره تأمین یعنی چالش‌های قطعات تقلبی، مقاومت در برابر فناوری و عدم شفافیت/ اثر تعرفه است که قرارگیری چالش‌های B¹ و B⁸ در انتهای سمت راست نمودار با بیشترین میزان وابستگی، نشان می‌دهد که این عوامل خروجی و معلول نهایی سیستم هستند که مهار آن‌ها مستلزم مدیریت و کنترل دقیق عوامل محرک برون‌زا و کلیدی است. در نهایت، خالی بودن کامل ربع دوم یا همان عوامل پیوندی، ثبات تحلیلی این سیستم را نشان می‌دهد و تأیید می‌کند که چالش‌های این زنجیره تأمین فاقد نوسانات ناپایدار با بازخوردهای دوطرفه شدید هستند و مرزبندی کاملاً مشخصی میان ریشه‌ها و نتایج وجود دارد.

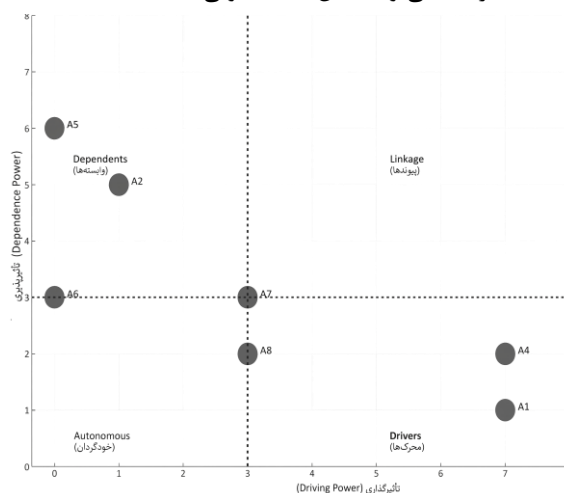


شکل (۳): نقشه MICMAC چالش‌های زنجیره تأمین

بر اساس نمودارهای MICMAC ارائه شده، عوامل ناحیه «محرک» حکم علت‌های ریشه‌ای را دارند و باید اولویت اول تخصیص بودجه باشند؛ چراکه با قدرت نفوذ بالای خود، کل شبکه را اصلاح می‌کنند. در مقابل، عوامل ناحیه وابسته صرفاً نتایج و نشانه‌های سیستم هستند، بنابراین تلاش مستقیم برای بهبود آن‌ها بدون رفع علت‌های اصلی، تنها اتلاف منابع است.

نقشه MICMAC، با ترسیم عوامل در یک فضای دوبعدی شامل دو محور تأثیرگذاری^۱ و تأثیرپذیری^۲، به شناسایی ماهیت و نقش هر عامل در ساختار سیستمی کمک می‌کند. در این فضا، هر عامل بر اساس مقدار این دو شاخص، در یکی از چهار ناحیه قرار می‌گیرد: محرک‌ها، وابسته‌ها، پیوندی‌ها و خودمختارها.

در نقشه MICMAC، عوامل یکپارچه‌سازی فناوری و تحول دیجیتال به‌عنوان عوامل راهبردی در ناحیه محرک‌ها قرار دارند و بیشترین تأثیر را بر سایر عوامل دارند. در مقابل، عواملی مانند همکاری زنجیره، مقیاس‌پذیری عملیات و راهبرد مؤثر زنجیره در ناحیه وابسته‌ها قرار گرفته‌اند و بیشتر تحت تأثیر سایر عوامل هستند. سیستم‌های اطلاعاتی قدرتمند به‌عنوان یک عامل پیوندی، هم تأثیرگذار و هم تأثیرپذیر است و نقشی کلیدی در پایداری سیستم دارد. هم‌راستاسازی با نیازهای مشتری در ناحیه خودمختارها قرار دارد و ارتباط کمی با سایر عوامل دارد. در نهایت، تصمیم‌گیری داده‌محور در موقعیتی میانه قرار داشته و بسته به شرایط، می‌تواند نقش‌های متفاوتی ایفا کند.



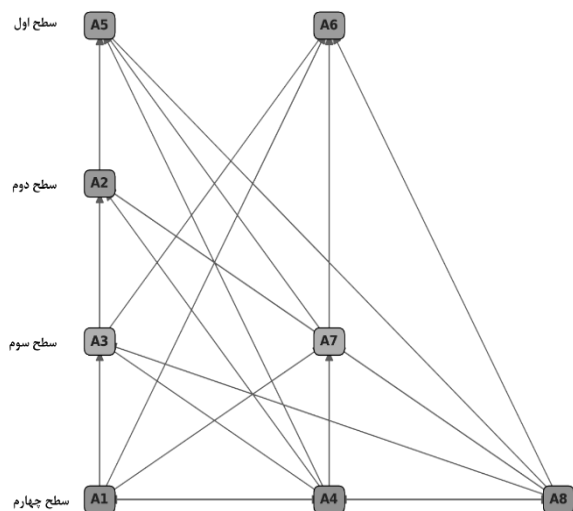
شکل (۲): نقشه MICMAC عوامل موفقیت زنجیره تأمین

نمودار خروجی ماتریس MICMAC چالش‌های زنجیره تأمین، ساختار روابط سیستم را بر اساس دو شاخص قدرت نفوذ و میزان وابستگی حاصل از محاسبات دیمتل تبیین می‌کند. در این ساختار، چالش رقابت شدید در ربع اول ماتریس به‌عنوان ریشه‌ای‌ترین و مستقل‌ترین محرک کلیدی زنجیره تأمین شناسایی شده است که بالاترین قدرت هدایت سیستم و کمترین

¹ Driving Power

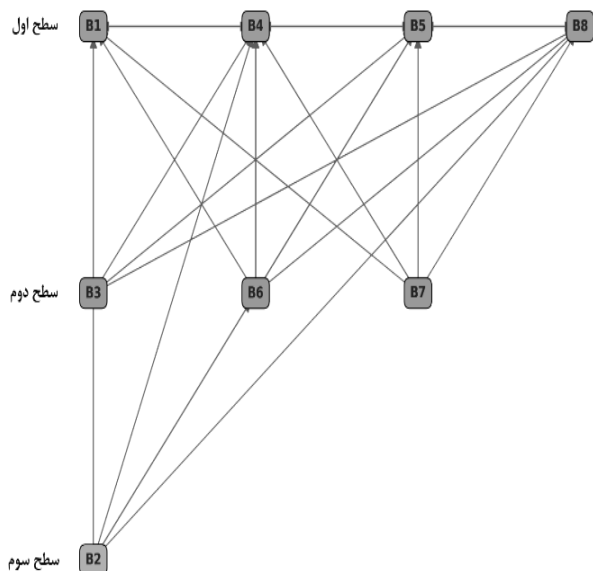
² Dependence Power

سیستم‌های اطلاعاتی نقش واسطه دارند و پیونددهنده سطوح بالا و پایین‌اند. عوامل پایین‌دستی نظیر همکاری زنجیره و هم‌راستاسازی با مشتری بیشتر پیامد هستند و به‌تنهایی قابل اصلاح نیستند، مگر با بهبود در سطوح بالاتر.



شکل (۴): نمودار سلسله‌مراتبی ISM عوامل موفقیت زنجیره تامین

در ادامه نمودار سلسله‌مراتبی ISM چالش‌های زنجیره تامین که سطوح مختلف اثرگذاری را نشان می‌دهد آورده شده است. این ساختار نشان می‌دهد که مدیریت مؤثر چالش‌ها نیازمند رویکردی سیستمی شده است.



شکل (۵): نمودار سلسله‌مراتبی ISM چالش‌های زنجیره تامین

نمودار دوناتی مقایسه‌ای، نوع عوامل (علت، معلول، خنثی) را در دودسته عوامل موفقیت و چالش‌های زنجیره تامین به‌صورت بصری نمایش می‌دهد. در میان عوامل موفقیت، ۶۰٪ نقش علت و ۴۰٪ نقش معلول دارند و عامل خنثی دیده نمی‌شود که

ناحیه پیوندی نیز به دلیل تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هم‌زمان، منطقه‌ای ناپایدار و حساس محسوب می‌شود که هرگونه مداخله در آن نیازمند احتیاط و پایش دقیق است. در نهایت، عوامل «خودمختار» که پیوند ضعیفی با کل سیستم دارند، تأثیر چندانی بر زنجیره نداشته و با راهکارهای موضعی و مستقل قابل مدیریت هستند.

در ادامه نمودار سلسله‌مراتبی ISM روابط علی میان عوامل کلیدی موفقیت در زنجیره تامین شرکت‌های فناوری را نمایش می‌دهد. تعیین سطوح و ترسیم مدل سلسله‌مراتبی ISM نمودارهای سلسله‌مراتبی زیر (شکل ۴ و شکل ۵)، خروجی نهایی فرایند افزایش سطوح^۱ هستند که بر مبنای ماتریس دسترسی‌پذیری نهایی شکل گرفته‌اند. در این فرایند، برای هر عامل دو مجموعه شامل مجموعه دستیابی (شامل خود عامل و تمام عواملی که بر آن‌ها اثر می‌گذارد) و مجموعه پیش‌نیاز (شامل خود عامل و تمام عواملی که بر آن اثر می‌گذارند) تشکیل می‌گردد. سپس، شرط سطح‌بندی بررسی می‌شود؛ بدین صورت که هر عاملی که مجموعه دستیابی آن دقیقاً برابر با مجموعه اشتراک (اشتراک دستیابی و پیش‌نیاز) باشد، در بالاترین سطح باقی‌مانده از سیستم قرار می‌گیرد [۵۱].

با شناسایی عوامل هر سطح و حذف آن‌ها از ماتریس، این فرایند به‌صورت تکرارپذیر ادامه می‌یابد تا تمامی عوامل تعیین سطح شوند. در نهایت، نمودار بر اساس این سطوح ترسیم شده و جهت فلش‌ها از سطوح پایین (عوامل ریشه‌ای) به سطوح بالا (عوامل پیامدی) تنظیم می‌گردد. نمودار حاصل از تحلیل ISM، چالش‌ها را در چند سطح افقی مرتب می‌کند. سطح بالاتر به معنای قدرت تأثیرگذاری بیشتر و وابستگی کمتر است، درحالی‌که سطح پایین‌تر نشان‌دهنده چالش‌هایی است که بیشتر تحت تأثیر دیگر عوامل قرار دارند.

در این ساختار، جهت پیکان‌ها روابط علی بین چالش‌ها را نشان می‌دهد و مشخص می‌سازد که کدام چالش‌ها علت ایجاد سایر مشکلات هستند و کدام‌یک صرفاً پیامد آن‌ها به شمار می‌آیند. عوامل بالادستی مانند یکپارچه‌سازی فناوری، تحول دیجیتال و راهبرد مؤثر بیشترین تأثیر را دارند و نقش راهبردی ایفا می‌کنند. عوامل میانی همچون تصمیم‌گیری داده‌محور و

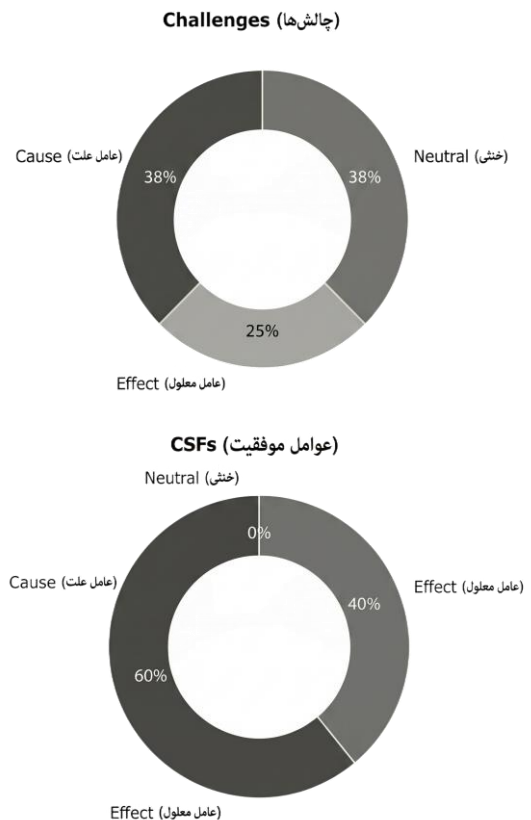
¹ Level Partitioning

پیشین در این حوزه هم‌راستا است که بر اهمیت زیرساخت‌های فناورانه و دیجیتال‌سازی در ارتقاء عملکرد زنجیره تأمین در صنایع فناوری‌محور تأکید دارند [۷]، [۱۶]. این عوامل، به‌عنوان پایه‌های تحول‌ساز، زمینه‌ساز بهبود همکاری، پاسخ‌گویی سریع به تغییرات بازار و افزایش شفافیت در زنجیره هستند.

در مقابل، عواملی نظیر همکاری با شرکای زنجیره تأمین و مقیاس‌پذیری عملیات، بیشتر به‌عنوان پیامد شناسایی شدند و در سطوح پایین‌تری از سلسله‌مراتب قرار گرفتند. این موضوع حاکی از آن است که این عوامل تحت‌تأثیر ساختارهای فناوری و راهبردی قرار دارند و بدون بهبود در سطح زیرساختی، امکان توسعه مؤثر آن‌ها وجود ندارد؛ بنابراین، تقویت عوامل علت به‌عنوان نقطه شروع مداخلات مدیریتی، می‌تواند به‌طور غیرمستقیم موجب ارتقای عوامل وابسته نیز گردد. در خصوص چالش‌ها نیز، یافته‌ها حاکی از آن است که چالش‌هایی همچون رقابت شدید، تهدیدات امنیت سایبری و حفاظت از مالکیت فکری، در زمره چالش‌های علی و اثرگذار قرار دارند. این چالش‌ها باتوجه به ویژگی‌های خاص صنعت فناوری، مانند جهانی بودن زنجیره‌ها، دیجیتال‌سازی و وابستگی بالا به نوآوری، به‌عنوان عوامل بنیادی در شکل‌گیری سایر مسائل زنجیره ایفای نقش می‌کنند. به‌ویژه تهدیدات سایبری و نقض مالکیت فکری، از جمله مخاطرات فزاینده‌ای هستند که مستقیماً امنیت و پایداری زنجیره تأمین را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند و برای مدیریت مؤثر آن‌ها نیازمند رویکردهای پیش‌نگرانه و فناورمحور هستیم.

ازسوی دیگر، چالش‌هایی مانند مقاومت در برابر تغییرات فناورانه و قطعات تقلبی به‌عنوان چالش‌های معلول شناسایی شدند. این دسته از چالش‌ها معمولاً به دلیل عدم آمادگی سازمانی یا ضعف در نظارت بر کیفیت و امنیت زنجیره به وجود می‌آیند و بیشتر نتیجه شرایط محیطی یا کاستی‌های درونی هستند؛ بنابراین، رفع این چالش‌ها از طریق اصلاح ساختارها و ارتقای فرهنگ فناورپذیری امکان‌پذیر خواهد بود. بررسی نقشه MICMAC نیز درک دقیق‌تری از موقعیت عوامل در فضای تأثیرگذاری و تأثیرپذیری فراهم کرد. عواملی همچون سیستم‌های اطلاعاتی و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده به‌عنوان عناصر پیوندی، نقش واسطه‌ای میان عوامل بالا و پایین‌دستی داشته و نقشی کلیدی در انسجام سیستم ایفا می‌کنند. همچنین، عدم حضور عوامل خنثی در هر دودسته (موفقیت و چالش) مؤید آن است که

نشان‌دهنده ساختاری هدف‌محور و تأثیرگذار است. در مقابل، در میان چالش‌ها، ۳۷٫۵٪ علت، ۲۵٪ معلول و ۳۷٫۵٪ خنثی‌اند که بیانگر وجود چالش‌هایی با منشأ ساختاری یا بیرونی است. این مقایسه بر اهمیت تمرکز بر عوامل علت در موفقیت و تحلیل دقیق‌تر عوامل خنثی در چالش‌ها تأکید دارد.



شکل (۶): نمودار دوقلای مقایسه‌ای، نوع عوامل

۵- بحث

هدف اصلی پژوهش حاضر، شناسایی و ارزیابی عوامل کلیدی موفقیت و چالش‌های زنجیره تأمین در شرکت‌های فناور با استفاده از روش‌های دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری بود. تحلیل‌های صورت‌گرفته امکان شناخت روابط علی میان متغیرها و تعیین نقش و جایگاه هر عامل را در ساختار کلی زنجیره فراهم ساخت. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل دیمتل نشان داد که برخی از عوامل موفقیت نظیر یکپارچه‌سازی فناوری و تحول دیجیتال، نقش علت یا عوامل محرک را ایفا می‌کنند. این عوامل در بالاترین سطوح مدل مدل‌سازی ساختاری تفسیری قرار گرفته و بیشترین قدرت تأثیرگذاری را بر سایر مؤلفه‌ها دارند. این یافته با مطالعات

متغیرهای انتخاب شده همگی نقشی مشخص در عملکرد کل سیستم دارند و انتخاب آن‌ها بر اساس تحلیل دقیق صورت گرفته است.

نکته مهم دیگر، تفاوت ساختاری بین دسته‌بندی عوامل موفقیت و چالش‌ها در نمودار دונاتی است. درحالی که اکثر عوامل موفقیت در زمره علل قرار گرفتند، توزیع چالش‌ها به صورت متوازن‌تری بین عوامل علت، معلول و پیوندی بود. این امر نشان می‌دهد که برای تقویت عملکرد زنجیره تأمین، تمرکز بر عوامل کلیدی محرک و در مقابل، برای مدیریت چالش‌ها، اتخاذ رویکردی چندبُعدی و نظام‌مند ضروری است. به‌طور کلی، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که زنجیره تأمین شرکت‌های فناور، سیستمی پیچیده و چندلایه است که در آن برخی متغیرها به طور بنیادین ساختار سیستم را شکل می‌دهند و برخی دیگر، بیشتر از آن تأثیر می‌پذیرند. برای ارتقاء کارآمدی این زنجیره، تمرکز بر تقویت عوامل علت و راهبردی، کاهش آسیب‌پذیری در برابر چالش‌های علّی، و استفاده از فناوری‌های نوین در مدیریت داده و ریسک، ضروری است. این دیدگاه سیستمی می‌تواند راهنمای عملی مهمی برای مدیران زنجیره تأمین در مواجهه با محیط‌های پرچالش و ناپایدار فناوری‌محور باشد.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۶-۱- جمع‌بندی یافته‌ها

تحلیل‌های DEMATEL و ISM نشان دادند که در میان عوامل موفقیت، یکپارچه‌سازی فناوری، تصمیم‌گیری مبتنی بر داده، تحول دیجیتال و راهبرد مؤثر زنجیره تأمین محرک/علت‌اند؛ در مقابل همکاری با شرکای زنجیره، مقیاس‌پذیری عملیات و هم‌راستاسازی با نیازهای مشتری وابسته/پیامدی‌اند و سیستم‌های اطلاعاتی قدرتمند ماهیتی پیوندی با $R \approx D$ دارد. این الگو (بر پایه‌ی شاخص $R - D$) نشان می‌دهد سرمایه‌گذاری فناورانه، حاکمیت داده و راهبرد یکپارچه سکویی برای تقویت پیامدهایی چون همکاری و مقیاس‌پذیری است. در چالش‌ها نیز مطابق شاخص $R - D$ (جدول ۱۰)، رقابت شدید، تهدیدات امنیت سایبری، حفاظت از مالکیت فکری، بی‌ثباتی اقتصادی جهانی و تغییرات مقررات ریشه‌ای/علت‌اند و مقاومت در برابر تغییرات فناورانه، قطعات تقلبی و اثر تعرفه بر استارت‌آپ‌ها عمدتاً

پیامدی‌اند. تمرکز مدیریتی باید معطوف به ریشه‌ها باشد نه صرفاً معلول‌ها.

جایگاه پیشران تحول دیجیتال و یکپارچه‌سازی فناوری با یافته‌های پیشین درباره نقش توانمندی‌های دیجیتال و یکپارچگی اطلاعات در ارتقای قابلیت‌ها و رقابت‌پذیری زنجیره همسو است [۲۲]، [۱۶]، [۷]. تصمیم‌گیری داده‌محور نیز با ادبیات داده‌های حجیم و تحلیل در زنجیره تأمین تقویت می‌شود [۲۰]، [۲۱]. در جبهه‌ی ریسک‌ها، برجستگی امنیت سایبری و مالکیت فکری با توصیه‌های مدیریت ریسک و تاب‌آوری همخوان است [۴۲]، [۴۴]، [۲۶]. نقش ژئوپلیتیک/بی‌ثباتی نیز در ادبیات اخیر و کلاسیک تأیید شده است [۴۵] و آثار تعرفه‌ها بر شبکه‌های جهانی نیز نشان داده شده [۴۸]. سهم نظری پژوهش حاضر، تفکیک سلسله‌مراتبی علّی - معلولی و تبیین این نکته است که «همکاری و مقیاس‌پذیری بیشتر پیامد بلوغ دیجیتال/داده و راهبرد یکپارچه‌اند تا علل مستقل». همچنین نقش پیوندی A7 که حلقه‌ی اتصال سطوح بالادست و پایین‌دست است.

۶-۲- پیشنهادها و محدودیت‌ها

پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی نیز همراه بود. فرآیند شناسایی عوامل بر مرور ادبیات جهانی و سپس غربال‌گری خبرگانی متمرکز بود. اگرچه این روش برای اهداف تحقیق کفایت می‌کرد، اما ادعان می‌شود که جای استفاده از روش‌های کیفی عمیق‌تر مانند مصاحبه‌های اکتشافی یا تکنیک دلفی برای شناسایی عوامل بومی^۱ که ممکن است در ادبیات بین‌المللی پوشش داده نشده باشند، خالی است. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی این شکاف را با اجرای تحلیل‌های کیفی میدانی عمیق‌تر، پیش از اجرای مدل‌سازی کمی، پوشش دهند.

نتایج مدل‌سازی نشان داد که متغیرهایی نظیر همکاری با شرکای تجاری و مقیاس‌پذیری عملیات، ماهیتی پیامدی^۲ دارند و ارتقای پایدار آن‌ها در گرو بلوغ زیرساخت‌های فناورانه است؛ لذا پیشنهاد می‌شود مدیران به‌جای تخصیص منابع به اقدامات اصلاحی سطح پایین، تمرکز راهبردی خود را بر تقویت پیشران‌های اصلی، یعنی یکپارچه‌سازی فناوری و تحول دیجیتال معطوف سازند. در بعد عملیاتی، تحقق این امر مستلزم دو اقدام

^۱ Context-Specific

^۲ Dependent

- Comput. Intell. Neurosci., vol. 2022, Art. ID 2311845, 2022. <https://doi.org/10.1108/09596110110400490>
- [4]. S. Dalal, U. K. Lilhore, S. Simaiya, M. Radulescu, and L. Belascu, "Improving efficiency and sustainability via supply chain optimization through CNNs and BiLSTM," Technol. Forecast. Soc. Change, vol. 209, p. 123841, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123841>
- [5]. M. A. Nasser and R. Singh, "Supply chain challenges in competitive world: A systematic review and meta-analysis of manufacturing and service sectors," Am. J. Ind. Bus. Manag., vol. 14, no. 12, pp. 1563–1586, 2024. <https://www.scirp.org/journal/ajibm/>
- [6]. J. Vakharia, "e-Business and supply chain management," Decis. Sci., vol. 33, no. 4, pp. 495–504, 2002. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2002.tb01652.x>
- [7]. A. Gunasekaran, N. Subramanian, and S. Rahman, "Supply chain resilience: role of complexities and strategies," Int. J. Prod. Res., vol. 53, no. 22, pp. 6809–6819, 2015. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1093667>
- [8]. D. Minnich, "Efficiency and responsiveness of supply chains in the high-tech electronics industry: A system dynamics-based investigation," Ph.D. dissertation, Univ. Mannheim, Mannheim, Germany, 2007. <https://madoc.bib.uni-mannheim.de/33153/>
- [9]. D. Rasshyvalov, Y. Portnoi, T. Sigaieva, O. Alboshchii, and O. Rozumnyi, "Navigating geopolitical risks: Implications for global supply chain management," Multidiscip. Rev., vol. 7, Special Issue, Art. 2024spe017, 2024. <https://doi.org/10.31893/multirev.2024spe017>
- [10]. M. Christopher, "The Agile Supply Chain: Competing in Volatile Markets," Ind. Mark. Manag., vol. 29, no. 1, pp. 37–44, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0019-8501\(99\)00110-8](https://doi.org/10.1016/S0019-8501(99)00110-8)
- [11]. R. Masadeh, I. Muheisen, B. Obeidat, and A. Bany Mohammad, "The impact of supply chain integration on operational performance: An empirical study," Sustainability, vol. 14, no. 24, p. 16634, 2022. <https://doi.org/10.3390/su142416634>
- [12]. S. Reynolds, "The influence of cultural factors on supply chain integration in multinational corporations," Preprints, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.20944/PREPRINTS202406.0209.V1>
- [13]. C. Bullen and J. Rockart, "A primer on critical success factors," MIT Sloan School of Management, Cambridge, MA, USA, Tech. Rep. SWP-1220, 1981. [Online]. Available: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/1988/SWP-1220-08368993-CISR-069.pdf>
- [14]. N. Brinkschröder, "Strategy implementation: Key factors, challenges and solutions," B.S. thesis, Univ. Twente, Enschede, Netherlands, 2014. [Online]. Available: <https://essay.utwente.nl/66188/>
- [15]. H. L. Lee, "The Triple-A supply chain," Harvard Bus. Rev., vol. 82, no. 10, pp. 102–112, 2004. <https://hbr.org/2004/10/the-triple-a-supply-chain>
- [16]. Y. Wang, U. Iqbal, and Y. Gong, "The performance of resilient supply chain sustainability in COVID-19 by sourcing technological integration," Sustainability, vol. 13, no. 11, p. 6151, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13116151>
- [17]. A. Gunasekaran, C. Patel, and E. Tirtiroglu, "Performance measures and metrics in a supply chain environment," Int. J. Oper. Prod. Manag., vol. 21, no. 1–2, pp. 71–87, 2001. <https://doi.org/10.1108/01443570110358468>
- [18]. M. S. A. Talib, A. B. A. Hamid, and A. C. Thoo, "Critical success factors of supply chain management: A literature survey and Pareto analysis," EuroMed J. Bus., vol. 10, no. 2, pp. 234–263, 2015. <https://doi.org/10.1108/EMJB-09-2014-0028>
- [19]. M. Tseng and Y. Geng, "Evaluating the green supply chain management using life cycle assessment approach in uncertainty," WSEAS Trans. Environ. Dev., vol. 8, no. 4, pp. 233–244, 2012. <https://www.wseas.com/journals/ead/2012/55-698.pdf>
- [20]. D. Mishra, A. Gunasekaran, T. Papadopoulos, and S. J. Childe, "Big data and supply chain management: A review and bibliometric analysis," Ann. Oper. Res., vol. 270, no. 1–2, pp. 313–336, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10479-016-2236-y>
- [21]. Papadopoulos, Thanos, Angappa Gunasekaran, Rameshwar Dubey, and Samuel Fosso Wamba. "Big data and analytics in operations and supply chain management: managerial aspects and

کلیدی است: نخست، توسعه نقشه راه جامع تحول دیجیتال جهت اولویت‌بندی گذار از فرایندهای جزیره‌ای به یکپارچه؛ دوم، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های کلان‌داده و اینترنت اشیا. یافته‌های پژوهش دلالت بر آن دارد که استقرار این زیرساخت‌ها، با ایجاد شفافیت اطلاعاتی و جریان بلادرنگ داده، به‌صورت سیستمی بستر لازم برای شکل‌گیری همکاری‌های بین‌سازمانی و چابکی عملیاتی را فراهم می‌آورد.

همین منطق ساختاری در حوزه مدیریت ریسک و چالش‌ها نیز صادق است. تحلیل‌ها حاکی از آن است که مقاومت سازمانی در برابر تغییرات فناوریانه، صرفاً یک نمود بیرونی^۱ از ناامنی‌های زیربنایی است؛ بنابراین مداخلات مدیریتی نباید محدود به آموزش‌های رفتاری گردد، بلکه باید علل ریشه‌ای ایجادکننده این مقاومت یعنی تهدیدات سایبری و ریسک‌های مالکیت فکری هدف‌گذاری شوند. بدین‌منظور، استقرار حاکمیت امنیت سایبری مبتنی بر معماری اعتماد صفر^۲ و بهره‌گیری از فناوری‌های توزیع‌شده نظیر بلاک‌چین جهت صیانت از مالکیت معنوی، به‌عنوان راهکارهای اجرایی پیشنهاد می‌گردد. ایجاد این چتر امنیتی فنی و حقوقی، با کاهش ریسک‌های ادراک‌شده، پیش‌نیاز روانی و ساختاری لازم برای پذیرش فناوری و کاهش اصطکاک‌های سازمانی را تضمین خواهد کرد.

در نهایت، باید اذعان نمود که مدیریت زنجیره تأمین در اکوسیستم فناوری، فرآیندی ایستا نیست و یافته‌های این پژوهش در بستری از عدم قطعیت‌های محیطی و تغییرات شتابان تکنولوژیک معنا می‌یابند. ازاین‌رو، مدل ساختاری ارائه‌شده نباید به‌عنوان نسخه‌ای نهایی تلقی گردد، بلکه کاربست اثربخش آن نیازمند پایش مستمر و به‌روزرسانی استراتژی‌ها همگام با تحولات نوظهور است.

۷- مراجع

- [1]. G. Gaukler and I. W. Kwon, "Identifying Critical Success Factors in Supply Chain Performance," Manag. Rev. Int. J., vol. 18, no. 2, pp. 76–90, 2023. <https://doi.org/10.55819/mrij.2023.18.2.76>
- [2]. S. Althaf and C. W. Babbitt, "Disruption risks to material supply chains in the electronics sector," Resour. Conserv. Recycl., vol. 167, p. 105248, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105248>
- [3]. F. Li, "Optimization design of short life cycle product logistics supply chain scheme based on support vector machine,"

¹ Symptom

² Zero-Trust Architecture

- [39]. N. Ahmad and A. Qahmash, "Smartism: Implementation and assessment of interpretive structural modeling," *Sustainability*, vol. 13, no. 16, p. 8801, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13168801>
- [40]. H. Hu and C. W. Hsu, "Critical factors for implementing green supply chain management practice: An empirical study of electrical and electronics industries in Taiwan," *Manag. Res. Rev.*, vol. 33, no. 6, pp. 586–608, 2010. <https://doi.org/10.1108/01409171011050208>
- [41]. D. J. Power, A. S. Sohal, and S. U. Rahman, "Critical success factors in agile supply chain management: An empirical study," *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, vol. 31, no. 4, pp. 247–265, 2001. <https://doi.org/10.1108/09600030110394923>
- [42]. D. Simchi-Levi, "We need a stress test for critical supply chains," *Harvard Bus. Rev.*, Apr. 2020. [Online]. Available: <https://hbr.org/2020/04/we-need-a-stress-test-for-critical-supply-chains>.
- [43]. Summit Interconnect, "Securing supply chain integrity: Counterfeit parts and mitigation strategies," 2024. [Online]. Available: <https://summitinterconnect.com/article/securing-supply-chain-integrity-counterfeit-parts-and-mitigation-strategies/>.
- [44]. A. Schotter and M. Teagarden, "Protecting intellectual property in China," *MIT Sloan Manag. Rev.*, 2014. [Online]. Available: <https://sloanreview.mit.edu/article/protecting-intellectual-property-in-china/>.
- [45]. Y. Sheffi, *The resilient enterprise: Overcoming vulnerability for competitive advantage*, Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2007. <https://doi.org/10.7551/mitpress/5574.001.0001>
- [46]. M. Fink, M. Klöckner, and T. Räder, "Supply chain management accelerators: Types, objectives, and key design features," *J. Manuf. Syst.*, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102717>
- [47]. A. Huchzermeier and C. H. Loch, "Project management under risk: Using the real options approach to evaluate flexibility in R&D," *Manag. Sci.*, vol. 47, no. 1, pp. 85–101, 2001. <https://doi.org/10.1287/mnsc.47.1.85.10661>
- [48]. G. M. Grossman, E. Helpman, and S. J. Redding, "When Tariffs Disrupt Global Supply Chains," *Am. Econ. Rev.*, vol. 114, no. 4, pp. 988–1029, 2024. <https://doi.org/10.1257/aer.20230234>
- [49]. L. Rolita, B. Surarso, and R. Gernowo, "The decision making trial and evaluation laboratory (DEMATEL) and analytic network process (ANP) for safety management system evaluation performance," *E3S Web Conf.*, vol. 31, p. 12006, 2018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183112006>
- [50]. J. K. Chen, "Improved DEMATEL-ISM integration approach for complex systems," *PLOS ONE*, vol. 16, no. 7, e0254694, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254694>
- [51]. X. Xiahou et al., "Analyzing critical factors for the smart construction site development: A DEMATEL-ISM based approach," *Buildings*, vol. 12, no. 2, p. 116, 2022. <https://doi.org/10.3390/buildings12020116>
- [52]. S. L. Si, X. Y. You, H. C. Liu, and P. Zhang, "DEMATEL technique: A systematic review of the state-of-the-art literature on methodologies and applications," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2018, Art. ID 3851262, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3696457>
- [53]. E. Sandberg and M. Abrahamsson, "The role of top management in supply chain management practices," *Int. J. Retail Distrib. Manag.*, vol. 38, no. 1, pp. 57–69, 2010. <https://doi.org/10.1108/09590551011016331>
- [54]. A. E. Ellinger and A. D. Ellinger, "Leveraging human resource development expertise to improve supply chain managers' skills and competencies," *Eur. J. Train. Dev.*, vol. 38, no. 1/2, pp. 118–135, 2014. <https://doi.org/10.1108/EJTD-09-2013-0093>
- [55]. P. R. Kleindorfer and G. H. Saad, "Managing disruption risks in supply chains," *Prod. Oper. Manag.*, vol. 14, no. 1, pp. 53–68, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2005.tb00009.x>
- [56]. S. E. Fawcett, S. E. Magnan, and M. W. McCarter, "Benefits, barriers, and bridges to effective supply chain management," *Supply Chain Manag.*, vol. 13, no. 1, pp. 35–48, 2008. <https://doi.org/10.1108/13598540810850300>
- [57]. J. T. Croasmun and L. Ostrom, "Using Likert-Type Scales in the Social Sciences," *J. Adult Educ.*, vol. 40, no. 1, pp. 19–22, 2011. <https://eric.ed.gov/?id=EJ961998>
- practical challenges," *Production Planning & Control* 28, no. 11–12, 2017. <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1336795>
- [22]. M. Caputo, V. Varriale, L. Ning, and D. Yao, "The impact of digital transformation on supply chain capabilities and supply chain competitive performance," *Sustainability*, vol. 15, 2023. <https://doi.org/10.3390/su151310107>
- [23]. S. Tang and B. Tomlin, "The power of flexibility for mitigating supply chain risks," in *Proc. 2008 Manuf. Serv. Oper. Manag. Conf.*, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jpe.2008.07.008>
- [24]. C. K. Wong and C. K. Contemporary, "An analysis of the competitive strategies of hotels and travel agents in Hong Kong and Singapore," *Int. J. Contemp. Hosp. Manag.*, vol. 13, no. 6, pp. 293–303, 2001. <https://doi.org/10.1108/09596110110400490>
- [25]. W. Kwon and T. Suh, "Factors affecting the level of trust and commitment in supply chain relationships," *J. Supply Chain Manag.*, vol. 40, no. 1, pp. 4–14, 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2004.tb00165.x>
- [26]. R. Sindhuja, "The impact of information security initiatives on supply chain robustness and performance: An empirical study," *Inf. Comput. Secur.*, vol. 29, no. 2, pp. 365–391, 2021. <https://doi.org/10.1108/ICS-07-2020-0128>
- [27]. R. Kumar, R. K. Singh, and R. Shankar, "Critical success factors for implementation of supply chain management in Indian small and medium enterprises and their impact on performance," *IIMB Manag. Rev.*, vol. 27, no. 2, pp. 92–104, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.iimb.2015.03.001>
- [28]. A. Alsheyadi, A. Baawain, and M. R. Shaukat, "E-supply chain coordination and performance impacts: An empirical investigation," *Prod. Manuf. Res.*, vol. 12, no. 1, 2024. <https://doi.org/10.1080/21693277.2024.2379942>
- [29]. N. Agrawal, M. Sharma, R. D. Raut, S. K. Mangla, and S. Arisian, "Supply Chain Flexibility and Post-pandemic Resilience," *Glob. J. Flex. Syst. Manag.*, vol. 24, Suppl. 1, pp. 119–138, 2023. <https://doi.org/10.1007/s40171-024-00375-2>
- [30]. N. Abolghasemi, E. Beh, G. Tarr, and R. Gerlach, "Demand forecasting in supply chain: The impact of demand volatility in the presence of promotion," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 142, p. 106380, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106362>
- [31]. J. Aitken, P. Childerhouse, and D. Towill, "The impact of product life cycle on supply chain strategy," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 85, no. 2, pp. 127–140, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00105-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00105-1)
- [32]. V. Sharma, V. Kumar, S. B. Borah, and A. Adhikary, "Complexity in a multinational enterprise's global supply chain and its international business performance: A bane or a boon?," *J. Int. Bus. Stud.*, vol. 53, no. 5, pp. 850–870, 2022. <https://doi.org/10.1057/s41267-021-00497-0>
- [33]. W. Xiong, D. D. Wu, and J. H. Y. Yeung, "Semiconductor supply chain resilience and disruption: Insights, mitigation, and future directions," *Int. J. Prod. Res.*, 2024. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2387074>
- [34]. F. Delgado, S. Garrido, and B. S. Bezerra, "Barriers to Visibility in Supply Chains: Challenges and Opportunities of Artificial Intelligence Driven by Industry 4.0 Technologies," *Sustainability*, vol. 17, no. 7, p. 2998, 2025. <https://doi.org/10.3390/su17072998>
- [35]. M. S. Sim, J. M. Lee, Y. S. Kim, and C. H. Lee, "Resilient responses to global supply chain disruptions: Focusing on the stock price of global logistics companies," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 23, p. 11256, 2024. <https://doi.org/10.3390/app142311256>
- [36]. Z. Xu, A. Elomri, L. Kerbache, and A. El Omri, "Impacts of COVID-19 on global supply chains: Facts and perspectives," *IEEE Eng. Manag. Rev.*, vol. 48, no. 3, pp. 153–166, 2020. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3018420>
- [37]. L. Bednarski, S. Roscoe, C. Blome, and M. C. Schleper, "Geopolitical disruptions in global supply chains: a state-of-the-art literature review," *Prod. Plan. Control*, vol. 36, no. 4, pp. 536–562, 2023. <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2286283N>
- [38]. S. Nazir, L. Zhaolei, S. Mehmood, and Z. Nazir, "Impact of green supply chain management practices on the environmental performance of manufacturing firms considering institutional pressure as a moderator," *Sustainability*, vol. 16, no. 6, p. 2278, 2024. <https://doi.org/10.3390/su16062278>