



# Analyzing Factors Influencing Quality 4.0 Development in the Smart Supply Chain Using a Hybrid DEMATEL and Interpretive Structural Modeling (ISM) Approach

Zahra Abbasi Meybodi<sup>1</sup> , Hossein Mohebbi<sup>2\*</sup> 

1. Masters student of Performance Management, Department of Management, Meybod University, Meybod, Iran. [stu.zahraabasi@meybod.ac.ir](mailto:stu.zahraabasi@meybod.ac.ir)
2. Assistant Prof., Department of Management, Faculty of Human Sciences, Meybod University, Meybod, Iran. [h.mohebbi@meybod.ac.ir](mailto:h.mohebbi@meybod.ac.ir)

## OPEN ACCESS

**Article type:** Research Article

**\*Correspondence:** Hossein Mohebbi

[H.Mohebbi@Meybod.ac.ir](mailto:H.Mohebbi@Meybod.ac.ir)

**Received:** April 28, 2025

**Accepted:** May 22, 2025

**Published:** Spring 2025

**Citation:** Abbasi Meybodi, Z. and Mohebbi, H. (2025). Analyzing Factors Influencing Quality 4.0 Development in the Smart Supply Chain Using a Hybrid DEMATEL and Interpretive Structural Modeling (ISM) Approach. *Strategic Management Accounting*, 2(1), 24-53.

Publisher's Note: MSDS stays neutral with regard to jurisdictional claims in published material and institutional affiliations.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## Abstract

In the era of digital transformation and increasing pressures on supply chains, the adoption of emerging technologies to enhance quality and ensure sustainable performance has become a strategic imperative. In this context, "Quality 4.0" emerges as a novel paradigm in quality management, leveraging tools such as the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and Big Data to move beyond traditional quality control approaches. This study aims to identify and analyze the key factors influencing the implementation of Quality 4.0 in smart supply chains. To achieve this objective, relevant factors were first extracted through a comprehensive literature review and expert consultation. Subsequently, the causal relationships among the factors were examined using the Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) method, followed by their hierarchical structuring via Interpretive Structural Modeling (ISM). The results offer a practical framework for decision-makers to identify foundational factors and prioritize them in facilitating the effective deployment of Quality 4.0. The findings provide valuable insights for developing innovative strategies that enhance flexibility, transparency, and competitive advantage in complex and dynamic supply chain environments.

**Keywords:** Quality 4.0, Smart Supply Chain, ISM, DEMATEL

## JEL Classification:

**DOI:** [10.22034/smajournal.2025.519941.1018](https://doi.org/10.22034/smajournal.2025.519941.1018)

## INTRODUCTION

In the era of digital transformation, supply chains are facing unprecedented pressures due to increased complexity, uncertainty, and the necessity for rapid responsiveness. In this environment, the emergence of "Quality 4.0" - a paradigm integrating modern technologies like the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and Big Data with traditional quality management - has become a strategic necessity for organizations striving for sustainable excellence. Simultaneously, smart supply chains, leveraging digital technologies, have become critical for achieving competitive advantage. This study aims to identify and analyze the key factors influencing the implementation and development of Quality 4.0 within smart supply chains, offering a strategic framework for organizational decision-makers.

## METHODOLOGY

This research is applied in nature and utilizes a descriptive-survey methodology for data collection. Initially, an extensive literature review and expert consultations were conducted to identify the critical factors impacting the deployment of Quality 4.0. In the next phase, causal relationships among these factors were analyzed using the Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) method. Subsequently, Interpretive Structural Modeling (ISM) was employed to structure these factors hierarchically. By combining DEMATEL and ISM, this research provides a comprehensive view of the cause-and-effect relationships and prioritization among the identified factors.

## RESULTS

The study identified 33 critical factors categorized under six primary dimensions: management, organizational, human resources, technological, financial, and infrastructure factors. DEMATEL analysis revealed that management, technology, and financial resources are causal factors, whereas organizational structure, human resources, and infrastructure are primarily effect factors.

Key findings from the DEMATEL analysis include:

- Management (C1) and Technology (C4) showed the highest impact among causal factors.
- Financial resources (C5) were critical for enabling infrastructure and technological readiness.
- Organizational and human resource factors demonstrated significant dependence, emphasizing the need for supportive leadership and culture.

Through ISM, the factors were structured into four hierarchical levels, with management and technology at the highest level, indicating their pivotal role in driving successful Quality 4.0 implementation. Infrastructure and human resources occupied intermediate levels, highlighting their supportive but dependent roles.

The MICMAC analysis further classified the factors based on their driving power and dependence. Management, technology, and financial resources were classified as "independent key factors," while organizational, human resource, and infrastructure factors were found to be highly dependent.

## **CONCLUSION**

This study concludes that the successful implementation and development of Quality 4.0 in smart supply chains are critically dependent on strong leadership commitment, strategic technological investments, and adequate financial support. Management and technological readiness act as the primary drivers, creating a ripple effect across organizational structures and processes.

Managers are advised to:

- Foster a supportive organizational culture aligned with digital transformation objectives.
- Invest in staff training to overcome resistance to technological changes.
- Prioritize technological infrastructure development alongside financial planning to facilitate Quality 4.0 adoption.

By following the strategic framework presented, organizations can achieve enhanced flexibility, transparency, operational efficiency, and competitive advantage in dynamic market environments.

## **Contribution of Authors**

All authors contributed equally to the writing, editing, and publication process of this article.

## **Ethical Approval**

Written informed consent was obtained from all participants for the publication of their anonymous information in this study.

## **Sponsor**

This research did not receive any financial support.

## **Conflict of Interest**

The authors declare that there is no conflict of interest.

## **Acknowledgements**

The authors sincerely thank all individuals who supported and assisted them in conducting this research.



# تحلیل عوامل مؤثر بر توسعه کیفیت ۴/۰ در زنجیره تأمین هوشمند با استفاده از روش ترکیبی دیمتل و مدلسازی ساختاری تفسیری

زهرا عباسی میبدی<sup>۱</sup>، حسین محبی<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت عملکرد، گروه مدیریت، دانشگاه میبد، میبد، ایران. [stu.zahraabasi@meybod.ac.ir](mailto:stu.zahraabasi@meybod.ac.ir)

۲. استادیار گروه مدیریت، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران. [h.mohebbi@meybod.ac.ir](mailto:h.mohebbi@meybod.ac.ir)

## چکیده

در عصر تحولات دیجیتال و فشارهای روزافزون بر زنجیره‌های تأمین، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین به منظور ارتقاء کیفیت و پایداری عملکرد، به ضرورتی راهبردی برای سازمان‌ها تبدیل شده است. در این میان، "کیفیت ۴.۰" به عنوان پارادایمی نوین در مدیریت کیفیت، با تکیه بر ابزارهایی چون اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و کلان‌داده، رویکردی فراتر از کنترل سنتی کیفیت ارائه می‌دهد. این پژوهش با هدف شناسایی و تحلیل عوامل کلیدی مؤثر بر پیاده‌سازی کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند انجام شده است. به منظور دستیابی به این هدف، ابتدا عوامل مؤثر با مرور پیشینه نظری و بهره‌گیری از دیدگاه خبرگان استخراج شد. سپس روابط علی میان عوامل با استفاده از تکنیک دیمتل بررسی و در ادامه با رویکرد مدلسازی ساختاری تفسیری سطح‌بندی شدند. نتایج حاصل، چارچوبی کاربردی برای تصمیم‌گیران فراهم می‌سازد تا با شناسایی عوامل بنیادین و تعیین اولویت آن‌ها، مسیر استقرار مؤثر کیفیت ۴.۰ در زنجیره‌های تأمین هوشمند را هموار سازند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند زمینه‌ساز توسعه راهبردهایی نوآورانه در راستای افزایش انعطاف‌پذیری، شفافیت و مزیت رقابتی در محیط‌های پیچیده و متغیر باشد.

دسترسی آزاد

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

\*نویسنده مسئول: حسین محبی

[H.Mohebbi@Meybod.ac.ir](mailto:H.Mohebbi@Meybod.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۲۲

تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۴

استناد: عباسی میبدی، زهرا و محبی، حسین. (۱۴۰۴). تحلیل عوامل مؤثر بر توسعه کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند با استفاده از روش ترکیبی دیمتل و مدلسازی ساختاری تفسیری. *فصلنامه حسابداری مدیریت راهبردی*، ۱۲(۱)، ۲۴-۵۳.

یادداشت ناشر: MSDS در خصوص ادعاهای قضایی در مطالب منتشر شده و وابستگی‌های سازمانی بی‌طرف می‌ماند.



کپی‌رایت: © 2025 by the authors

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

واژگان کلیدی: کیفیت ۴.۰، زنجیره تأمین هوشمند، مدل‌سازی ساختاری

تفسیری، دیمتل.

طبقه‌بندی موضوعی:

DOI: [10.22034/smajournal.2025.519941.1018](https://doi.org/10.22034/smajournal.2025.519941.1018)



## مقدمه

در دنیای پویای امروز، سازمان‌ها همواره در پی ارتقای عملکرد خود بوده‌اند. در این راستا، مدیریت زنجیره تأمین به عنوان حوزه‌ای راهبردی برای بهبود عملکرد، توجه بسیاری را به خود جلب کرده است (Pasi et al., 2020). رقابت در بازارهای کنونی دیگر صرفاً میان سازمان‌ها نیست، بلکه زنجیره‌های تأمین به عنوان واحدهای اصلی رقابت شناخته می‌شوند (Zarei et al., 2020). عملکرد یک سازمان به عملکرد کلی زنجیره تأمین آن، شامل تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و حتی مشتریان نهایی وابسته است (Horshad et al., 2023) و (Jamalian et al., 2018) با این حال، زنجیره‌های تأمین سنتی با چالش‌هایی نظیر عدم اطمینان، پیچیدگی، هزینه‌های بالا و آسیب‌پذیری روبه‌رو هستند (Mehri Namkavarani et al., 2023). برخورداری از مدیریت مؤثر، زنجیره‌های تأمین را در برابر ریسک‌ها و اختلالات ناگهانی، تاب‌آورتر می‌سازد (Kaufmann et al., 2016). در دهه‌های اخیر، عواملی چون نوسانات تقاضا، بی‌ثباتی محیط کسب و کار، تحولات فناورانه و شرایط محیطی، فشارهایی مضاعف بر زنجیره‌های تأمین وارد کرده‌اند. در این میان، انقلاب صنعتی چهارم با تکیه بر فناوری‌هایی چون هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و کلان‌داده، راهکارهای نوآورانه‌ای برای مقابله با این چالش‌ها عرضه کرده و موجب ارتقاء سطح کارایی، انعطاف‌پذیری و پایداری زنجیره‌های تأمین شده است (Pasi et al., 2020).

در بطن این تحول فناورانه، مفهوم "کیفیت ۴.۰" به عنوان پارادایمی نو در مدیریت کیفیت، جایگاه ویژه‌ای یافته است (Mohammadi et al., 2022). کیفیت ۴.۰ با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، رویکردی فراتر از کنترل کیفیت سنتی اتخاذ کرده و تمرکز آن بر ارائه تجربیات ارزشمند و بی‌نقص به مشتریان در طول چرخه عمر محصول است (Zhang et al., 2023). تحقق این هدف نیازمند ادغام هوشمندانه فناوری‌های صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین و رصد مستمر کیفیت محصولات و خدمات است (Rahchamani et al., 2022) و (Yan et al., 2014). در این مسیر، شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی و ارتقاء کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند ضروری است. این شناخت به تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا راهکارهایی مؤثر برای بهینه‌سازی عملکرد زنجیره تأمین ارائه دهند. بر همین اساس، این پژوهش در پی پاسخ به پرسش‌های زیر است:

✓ مهم‌ترین و مؤثرترین معیارهای دخیل در اجرا و توسعه کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند کدام‌اند؟

✓ کدام یک از عوامل مؤثر، نقش علی و کدام یک نقش معلولی دارند؟

✓ سطح‌بندی این عوامل با استفاده از رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری<sup>۱</sup> چگونه خواهد بود؟

بنابراین، هدف اصلی این پژوهش، ارائه چارچوبی کاربردی به مدیران برای استقرار مؤثر کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند است. برای دستیابی به این هدف، ابتدا عوامل کلیدی بر اساس مطالعات پیشین و دیدگاه خبرگان شناسایی شده و سپس با استفاده از تکنیک دیمتل<sup>۲</sup> روابط علی میان عوامل تحلیل می‌شود. در ادامه، به کمک روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری، سطح‌بندی و اولویت‌بندی عوامل انجام خواهد گرفت. یافته‌های پژوهش، راهبردهایی عملی برای بهره‌گیری از کیفیت ۴.۰ در زنجیره‌های تأمین هوشمند ارائه می‌دهد و مسیر حرکت به سوی سیستم‌های هوشمند و یکپارچه را هموار می‌سازد.

<sup>1</sup> Interpretive structural modeling (ISM)

<sup>2</sup> DEMATEL

## مبانی نظری و پیشینه پژوهش

### زنجیره تأمین هوشمند

واژه «هوشمندی کسب و کار» نخستین بار در سال ۱۹۵۸ توسط یکی از پژوهشگران شرکت IBM به کار برده شد. وی بر این باور بود که یک سیستم هوشمند برای هدایت فعالیت‌های تجاری، ضرورتی انکارناپذیر است. در این چارچوب، هوشمندی کسب و کار به مجموعه‌ای از فعالیت‌ها، فرآیندها و فناوری‌های متنوع اطلاق می‌شود که با هدف بهبود تصمیم‌گیری، به گردآوری، ذخیره‌سازی، تجزیه و تحلیل و توزیع اطلاعات می‌پردازند (Rahimi et al., 2020).

Ghazanfari, et al. (2011) با ارائه رویکردی جامع در سه بعد مدیریتی، فنی و سیستمی، این مفهوم را بسط داده‌اند. زنجیره تأمین هوشمند، مفهومی فراتر از مدیریت صرف مواد، اطلاعات و سرمایه تلقی می‌شود. این رویکرد نوین با تلفیق همکاری زنجیره‌ای و یکپارچه‌سازی اهداف، عملکرد زنجیره تأمین را به شکل چشم‌گیری ارتقاء می‌دهد. در این میان، عامل‌های هوشمند به عنوان ربات‌های نرم‌افزاری نقش کلیدی ایفا می‌کنند. این عامل‌ها با بهره‌گیری از تجزیه و تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری‌های هوشمند، موجب افزایش انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین شده و امکان واکنش سریع‌تر به تغییرات در نقاط مختلف زنجیره را فراهم می‌سازند. نتیجه آن، بهینه‌سازی فرایندها در سطوح مختلف خواهد بود (An Nayyar, 2016).

در عصر حاضر، استفاده از حجم انبوه داده‌ها برای تصمیم‌گیری‌های دقیق، به کارگیری فناوری‌های نوین و دستیابی به دیدگاهی جامع در سراسر فرایند عملیات، به عنوان ارکان اصلی مدیریت هوشمند زنجیره تأمین شناخته می‌شوند. به عبارت دیگر، در این رویکرد، کلیه اجزای زنجیره از انبارها، مراکز توزیع، فروشگاه‌ها تا پورتال‌های تجارت الکترونیک، باید به صورت یکپارچه و در تعامل با یکدیگر عمل کنند. این یکپارچگی، تبادل اطلاعات و سفارش‌ها را تسهیل کرده و به ذی‌نفعان امکان می‌دهد تا از تقاضای مشتریان، در هر مکان و زمانی، به طور کامل آگاه باشند (Abdel-Basset et al., 2018).

زنجیره تأمین هوشمند چارچوبی نوآورانه برای تجارت شبکه‌ای به شمار می‌رود که تفاوت‌های اساسی با مدل‌های محلی دارد و بر اجرای سیستماتیک کل زنجیره تأمین تمرکز می‌کند (Movahed et al., 2024). در تعریف دیگری، زنجیره تأمین هوشمند به عنوان فرایندی نوآورانه، ارزش آفرین و کارآمد معرفی شده است که با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته و روش‌های تحلیلی، چشم‌اندازهای نوینی را برای خلق ارزش فراهم می‌آورد (Garai & Roy, 2020).

بر اساس مبانی نظری موجود و با اتکا به اصول کلیدی صنعت نسل چهارم، زنجیره تأمین هوشمند شبکه‌ای از منابع فناوری اطلاعات تلقی می‌شود که به صورت فعال و پویا با یکدیگر در تعامل هستند تا ارتباطات در زنجیره تأمین را تسهیل کرده و فعالیت‌های فیزیکی را به عملیات هوشمند تبدیل کنند (Horshad et al., 2023). در شرایط رقابتی کنونی، این زنجیره با ادغام فعالیت‌های فیزیکی و هوشمند، راه‌حلی نوآورانه برای ارتقای کارایی، شفافیت و پایداری ارائه می‌دهد و زمینه‌ساز آینده‌ای رضایت‌بخش برای ذی‌نفعان خواهد بود. با توجه به مزایای متعدد زنجیره تأمین هوشمند، از جمله افزایش رضایت مشتری، خلق مزیت رقابتی و تسهیل فرایند نوآوری، این رویکرد به عنوان گامی مؤثر در جهت تحقق زنجیره‌ای پایدار و کارآمد تلقی می‌شود (Zhang et al., 2023).

استفاده از فناوری‌های نوین در زنجیره‌های تأمین هوشمند می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر بهبود هزینه‌ها، زمان و کارایی فرایندهای مختلف این زنجیره‌ها داشته باشد. فناوری‌هایی همچون اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و بلاک‌چین، با فراهم کردن دسترسی به اطلاعات بلادرنگ و شفافیت در فرایندها، امکان تصمیم‌گیری بهتر و بهینه‌تر را فراهم می‌کنند و در نتیجه باعث بهبود بهره‌وری می‌شوند. برای غلبه بر مشکلات و پیچیدگی‌های موجود در زنجیره‌های تأمین، مانند کاهش

عدم اطمینان نسبت به تقاضا و زمان تحویل، جریان ضعیف اطلاعات، کیفیت محصول، و برقراری ارتباط مؤثر با مشتریان، باید از این فناوری‌ها برای هوشمندتر شدن زنجیره‌های تأمین استفاده کرد (Abadi et al., 2024). در این راستا، برای ایجاد مقیاس وسیعی از زیرساخت‌های هوشمند شامل داده‌ها، اطلاعات، محصولات، اشیای فیزیکی و تمام فرایندهای زنجیره تأمین، اینترنت اشیا می‌تواند نقشی کلیدی ایفا کند. این فناوری در مدیریت زنجیره تأمین به ساخت سیستم‌های هوشمند و ایمن کمک می‌کند که علاوه بر کاهش هزینه‌ها و بهینه‌سازی فرایندها، امکان دستیابی به مزایای بلندمدت از جمله کاهش هزینه‌های موجودی و نگهداری کالا را فراهم می‌آورد. بر اساس تئوری پردازش اطلاعات سازمان<sup>۱</sup> OIPT، استفاده از این فناوری‌ها به انتشار بهتر اطلاعات در سطح زنجیره تأمین و افزایش انعطاف‌پذیری این زنجیره‌ها منتهی می‌شود (Bai & Sarkis, 2020).

علاوه بر این، بلاکچین به عنوان یکی دیگر از فناوری‌های کلیدی در زنجیره تأمین هوشمند، نقش مهمی در افزایش امنیت و شفافیت دارد. بلاکچین یک سیستم ذخیره‌سازی اطلاعات توزیع شده است که به طور امن اطلاعات را ثبت می‌کند و امکان تغییر یا تقلب در آن را بسیار دشوار می‌سازد. این فناوری با ایجاد یک پایگاه داده امن، امکان ارتباط مستقیم و بی‌واسطه میان طرفین مختلف زنجیره تأمین (خریداران و فروشندگان) را فراهم می‌آورد. بلاکچین ویژگی‌هایی چون شفافیت، قابلیت اطمینان، و امنیت بالا را داراست که می‌تواند از هرگونه دستکاری یا تقلب جلوگیری کند و در عین حال اطمینان حاصل کند که اطلاعات موجود در زنجیره تأمین صحیح و به‌روز است. همچنین، این فناوری می‌تواند به ویژه در راستای امنیت اطلاعات و جلوگیری از مشکلات موجود در سیستم‌ها مؤثر واقع شود (Kouhizadeh et al., 2020).

شناسایی فرکانس رادیویی<sup>۲</sup> RFID یک فناوری بی‌سیم است که برای انتقال داده‌ها با سرعت بالا از امواج فرکانس رادیویی استفاده می‌کند و امکان شناسایی و ردیابی خودکار کالاها را فراهم می‌آورد. با استفاده از تگ‌های RFID، کاربران می‌توانند موجودی و دارایی‌های خود را به‌طور منحصربه‌فرد شناسایی کنند. این فناوری به ویژه در زنجیره‌های تأمین و به ویژه در بخش‌های خرده‌فروشی و لجستیک به کاهش شکاف‌های اطلاعاتی و افزایش شفافیت کمک می‌کند. RFID می‌تواند فرایندهای زنجیره تأمین را هوشمندتر و کارآمدتر کرده و قابلیت‌های ردیابی و نظارت در زمان واقعی را فراهم آورد. این ویژگی به زنجیره‌های تأمین امکان می‌دهد که با کاهش خطاها، افزایش سرعت و کاهش هزینه‌ها، فرایندهای خود را بهینه‌سازی کنند. به طور کلی، فناوری RFID نقش کلیدی در بهبود مدیریت موجودی، ردیابی کالاها و اطمینان از دقت داده‌ها در زنجیره‌های تأمین ایفا می‌کند، که در نهایت موجب افزایش بهره‌وری و کارایی می‌شود (Mohammadi et al., 2022). برای استفاده مؤثر از این فناوری‌ها، ضروری است که زیرساخت‌های مناسب در زنجیره تأمین ایجاد شده و فرهنگ سازمانی پذیرش و استفاده از این فناوری‌ها نهادینه شود. به همین دلیل، مدیران باید به ادغام تئوری‌های مختلف زنجیره تأمین با مفاهیم هوشمندسازی توجه بیشتری داشته باشند و مدل‌های تئوریک جامع‌تری برای پیاده‌سازی زنجیره تأمین هوشمند ارائه دهند. این امر می‌تواند به طور قابل توجهی عملکرد کلی زنجیره تأمین را بهبود بخشیده و مزایای اقتصادی زیادی را در درازمدت ایجاد کند. Mehri namakavarani, et al (2023) در پژوهشی، به شناسایی و رتبه‌بندی عوامل توانمندساز زنجیره تأمین هوشمند با بهره‌گیری از ابزارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که عواملی چون مهارت‌ها و دانش کلان‌داده، امکان‌سنجی برای انتخاب و استفاده از

<sup>1</sup> Organizational Information Processing Theory (OIPT)

<sup>2</sup> Radio Frequency Identification (RFID)

تکنیک‌های کلان‌داده، قابلیت ردیابی و بومی‌سازی محصولات، شفافیت، مدیریت زنجیره تأمین الکترونیکی، بهبود انتقال اطلاعات، توسعه اثربخش و مقرون‌به‌صرفه و یکپارچگی داده‌ها و اطلاعات، مهم‌ترین عوامل توانمندساز به‌شمار می‌روند. Barati, et al. (2025) در مطالعه‌ای کاربردی، به تحلیل محرک‌های کلیدی در پیاده‌سازی زنجیره تأمین هوشمند در صنایع تولیدی هند پرداختند. آنان با بهره‌گیری از روش دلفی و نظرات خبرگان، مجموعه‌ای از عوامل تأثیرگذار را شناسایی و در قالب پنج دسته‌ی پایداری، مدیریت، اقدام، مقررات و فناوری طبقه‌بندی کردند. سپس با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، این محرک‌ها را رتبه‌بندی نمودند و بر اساس نتایج به‌دست آمده، چارچوبی برای کمک به صنایع در پذیرش فناوری‌های نو ارائه کردند. یافته‌های آنان نشان داد که این چارچوب می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای سیاست‌گذاران و مدیران جهت شناسایی چالش‌ها و تسهیل در اجرای مدیریت پایدار زنجیره تأمین مورد استفاده قرار گیرد.

Agrawal, et al. (2019) نیز در پژوهشی، موانع اجرای تحول دیجیتال و هوشمندسازی زنجیره تأمین را با بهره‌گیری از رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری مورد تحلیل قرار دادند. در این مطالعه، از مدل‌سازی ساختاری تفسیری برای طراحی یک مدل سلسله‌مراتبی استفاده شد که وابستگی متقابل میان موانع زنجیره تأمین دیجیتال را نشان می‌داد. نتایج این پژوهش بیانگر آن بود که عواملی نظیر نبود احساس فوریت، فقدان دستورالعمل‌های اختصاصی صنعت، کمبود مهارت‌ها و استعدادهای دیجیتال و همچنین هزینه‌های بالای اجرا و پیاده‌سازی، از جمله مهم‌ترین موانع در مسیر تحول دیجیتال زنجیره تأمین محسوب می‌شوند.

#### کیفیت ۴.۰

اصطلاح «کیفیت ۴.۰» نخستین بار برای توصیف تحول و ادغام روش‌های سنتی مدیریت کیفیت با فناوری‌های نوظهور مرتبط با صنعت ۴.۰ به کار گرفته شد (Sader et al., 2022). به عبارتی، کیفیت ۴.۰ را می‌توان مدیریت کیفیت در عصر صنعت ۴.۰ دانست (Kamble et al., 2020). انقلاب کیفیت از طریق بهره‌گیری از فناوری‌های نوینی نظیر هوش مصنوعی، محاسبات ابری، واقعیت افزوده و مجازی، اینترنت اشیا و... موجب ارتقای ارتباطات شده و کیفیتی پایدار در سیستم‌های تولیدی را تضمین می‌کند (Alzahrani et al., 2021). این روند، منجر به افزایش کارایی سازمانی و ارتقای خلاقیت در جهت دستیابی به محصولات و خدماتی با کیفیت مطلوب می‌گردد (Sadeghi Moghadam et al., 2023). تولیدکنندگان با تکیه بر سیستم کیفیت ۴.۰ قادر خواهند بود ضمن کاهش زمان تحویل کالا، محصولاتی با کیفیت بالا و مطابق با نیاز مشتریان ارائه دهند. مدیریت کیفیت در طول زمان دگرگونی چشم‌گیری را تجربه کرده و از رویکردی محدود به بازرسی نهایی محصولات، به نظامی جامع و یکپارچه برای تضمین کیفیت در تمامی مراحل فرآیند تولید تبدیل شده‌است. این تحول به سازمان‌ها این امکان را می‌دهد تا اصول و شیوه‌های کیفیت را به گونه‌ای مؤثر در کلیه فعالیت‌های خود ادغام کرده و در نتیجه، خدمات و محصولاتی با کیفیت برتر به مشتریان عرضه کنند (Sader et al., 2022). جدول ۱ به‌طور خلاصه، مراحل اصلی این تکامل در مدیریت کیفیت را نشان می‌دهد:

جدول ۱. سیر تکامل مدیریت کیفیت

Table 1. The Evolution of Quality Management

| عصر کیفیت | عنوان                      | شرح                                                                                                                                                                                                                                                      | رویکرد اصلی                         |
|-----------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| کیفیت ۱.۰ | کنترل کیفیت<br>آماري       | در اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰، مفهوم کیفیت بر پایه یافتن عیوب و اندازه گیری ها بود تا مطمئن شوند محصولات و خدمات با مشخصات فنی طراحی شده مطابقت دارند (Sadeghi Moghadam et al., 2023).                                                                  | بازرسی ها و نظارت بر فرایند تولید   |
| کیفیت ۲.۰ | تضمین کیفیت                | مرحله دوم ارتقای کیفیت، بر تضمین کیفیت (کیفیت ۲.۰) تمرکز دارد. سازمان ها با هدف کاهش نقص و هزینه های بازرسی، رویکردی فعال اتخاذ کرده و به دنبال افزایش بهره‌وری نیروی کار بوده‌اند (Bhat et al., 2022).                                                  | سیستم های مدیریت کیفیت              |
| کیفیت ۳.۰ | مدیریت کیفیت<br>جامع (TQM) | مرحله سوم ارتقای کیفیت، با اتخاذ دیدگاهی جامع و پیاده سازی TQM، به دنبال ارتقای کیفیت در کل سازمان بود. در این دوره، کیفیت به عنوان یک ضرورت شناخته شد و مفاهیم بهبود مستمر کیفیت و چرخه بهبود مستمر به عنوان اصول بنیادی مطرح شدند (Bhat et al., 2022). | تعهد به کیفیت در کل سازمان          |
| کیفیت ۴.۰ | کیفیت در عصر<br>دیجیتال    | کیفیت ۴.۰ مجموعه‌ای از فناوری های پیشرفته، ابزارها و روش های استاندارد است که برای نیل به عملکردی ممتاز، تعالی عملیاتی در سطح بالاتر و نوآوری به کار گرفته می‌شود (Sadeghi Moghadam et al., 2023).                                                       | استفاده از فناوری برای ارتقای کیفیت |

با وجود تعاریف متعددی که توسط پژوهشگران ارائه شده است، تاکنون تعریف واحدی که به طور جامع و کامل ابعاد و ماهیت این مفهوم نوظهور را تبیین کند، ارائه نشده است (Talayi et al., 2022). به عنوان نمونه، انجمن کیفیت آمریکا (ASQ<sup>۱</sup>)، کیفیت ۴.۰ را مفهومی مرتبط با آینده کیفیت و تعالی سازمانی در چارچوب صنعت ۴.۰ تعریف کرده است (Antony et al., 2022). Liu., et al. (2023) نیز کیفیت ۴.۰ را به عنوان رویکردی نوین در مدیریت کیفیت معرفی کرده‌اند که با بهره‌گیری از فناوری های صنعت ۴.۰، دیجیتالی سازی و استراتژی های تعالی عملیاتی، در پی ارتقای سطح کیفیت در سازمان ها است (Antony et al., 2024). بر اساس تعریف ارائه شده توسط Eker Aldag. & Eker (2018)، کیفیت ۴.۰ نتیجه ادغام ابزارها و روش های سنتی مدیریت کیفیت با فناوری های نوینی همچون یادگیری ماشین، رایانش ابری، کلان داده، دستگاه های متصل، اینترنت اشیا و هوش مصنوعی است. این تلفیق، محیطی پیشرفته و مشارکتی ایجاد می کند که در آن فعالیت های مدیریتی از طریق ارتباطات گسترده تر در زنجیره ارزش، از تأمین کننده تا مشتری نهایی، هدایت می شوند (Sader et al., 2022). همچنین، Jacob. (2017) کیفیت ۴.۰ را ابزاری برای به روزرسانی تکنیک های سنتی مدیریت کیفیت با اتکا به فناوری های نوین در راستای دستیابی به سطوح جدیدی از برتری در عملکرد و عملیات معرفی کرده است. پژوهش های متعددی در ارتباط با حسابداری مدیریت و تکنیک های مدیریت کیفیت جامع انجام شده است (Sotudeh., et al. 2025, Namifard Tehran. 2025, Abbasi. 2025, Sotudeh. 2024).

Roy Ghatak & Garza-Reyes (2024) در پژوهشی به بررسی موانع و چالش های پیاده سازی کیفیت ۴.۰ در بخش تولید هند پرداختند. هدف این پژوهش شناسایی و تحلیل موانع کلیدی در پذیرش این مدل نوین کیفیت در صنایع

<sup>1</sup> American Society for Quality

تولیدی بوده است. پژوهشگران به منظور انجام این مطالعه، از روش مدل سازی ساختاری تفسیری استفاده کرده اند تا روابط میان ۱۴ مانع شناسایی شده را مورد بررسی قرار دهند. این موانع در چارچوب فناوری-سازمان-محیط دسته بندی شده اند تا وابستگی ها و تأثیرات متقابل آن ها به طور دقیق تری تحلیل شوند. یافته های این پژوهش نشان داد که نبود استانداردهای مناسب برای کیفیت ۴.۰ و کمبود ابزارهای تحلیلی داده های کلان از جمله مهم ترین موانع در راه پیاده سازی این مدل در صنعت تولید هند بوده اند. علاوه بر این، پژوهش نشان داد که موانع سازمانی، برخلاف آنچه که در بسیاری از مطالعات علمی پیشین مطرح شده است، تأثیر کمتری نسبت به موانع فنی و استاندارد دارند. نتایج این تحقیق به سیاست گذاران و مدیران صنعت پیشنهاد کردند که برای غلبه بر موانع موجود، ایجاد یک پلتفرم همکاری برای به اشتراک گذاری بهترین شیوه ها در زمینه استانداردهای کیفیت ۴.۰ و توسعه ابزارهای استاندارد تحلیل داده های کلان از طریق همکاری های عمومی-خصوصی ضروری است. این استراتژی ها می توانند روند پذیرش کیفیت ۴.۰ را تسهیل کرده و منجر به بهبود کارایی و کاهش موانع اجرایی در صنعت تولید شوند. Antony, et al. (2023) پژوهشی با هدف بررسی عوامل آمادگی سازمانی برای کیفیت ۴.۰ انجام دادند. یافته های پژوهش نشان داد که پذیرش موفق کیفیت ۴.۰ در گرو تعهد مدیریت ارشد، رهبری قوی و فرهنگ سازمانی مناسب است. این رویکرد نوین مزایایی چون مدیریت کارآمد داده های کلان، افزایش دقت، کاهش خطا در تصمیم گیری و صرفه جویی در هزینه و زمان را به ارمغان می آورد. با این حال، چالش هایی مانند کمبود منابع، عدم درک درست از مزایا، سرمایه گذاری اولیه بالا و عدم تناسب با استراتژی سازمانی وجود دارند که باید پیش از پیاده سازی به دقت مورد بررسی قرار گیرند. Sony, et al. (2021) در پژوهشی به شناسایی و بررسی انگیزه ها، موانع و عوامل آمادگی برای پیاده سازی کیفیت ۴.۰ پرداختند. این مطالعه پنج عامل اصلی انگیزه بخش برای پیاده سازی کیفیت ۴.۰ شامل اطلاعات قابل اعتماد، کاهش هزینه و صرفه جویی زمان در بلندمدت، بهبود رضایت مشتریان، افزایش بهره وری و مزیت رقابتی را شناسایی کرد. همچنین، پنج عامل اصلی بازدارنده برای پیاده سازی کیفیت ۴.۰ در این پژوهش عبارتند از: هزینه اولیه بالا و ابهام در بازگشت سرمایه، کمبود منابع، کمبود دانش پیاده سازی کیفیت ۴.۰، فرهنگ سازمانی نامناسب و ابهام در مورد مزیت رقابتی. در نهایت، هشت عامل آمادگی برای پیاده سازی کیفیت ۴.۰ عبارتند از: حمایت مدیریت ارشد، فرهنگ سازمانی مناسب، رهبری کارآمد، چشم انداز و استراتژی کیفیت ۴.۰، دانش و آگاهی، تمرکز بر مشتری، مدیریت تأمین کنندگان و آموزش و پاداش. Andalib, et al. (2024) در پژوهشی به بررسی روابط علت و معلولی موانع پیاده سازی کیفیت ۴.۰ در صنعت کاشی و سرامیک یزد پرداختند. هدف این مطالعه شناسایی و تحلیل موانع اصلی پیاده سازی کیفیت ۴.۰ در این صنعت و اولویت بندی آن ها بوده است. برای این منظور، در بخش کیفی از روش مرور نظام مند و در بخش کمی از روش دلفی استفاده شده است. یافته های پژوهش نشان داد که مهم ترین موانع پیاده سازی کیفیت ۴.۰ در صنعت کاشی و سرامیک یزد شامل هزینه بالای سرمایه گذاری در کیفیت و عدم شفافیت در نرخ بازگشت سرمایه، عدم در نظر گرفتن کیفیت ۴.۰ به عنوان یک مسئله استراتژیک و منبع مزیت رقابتی،

کمبود معیارهای کمی برای سنجش تأثیر کیفیت ۴.۰، عدم وجود آموزش‌های پیشرفته برای پرسنل، کمبود منابع مالی مانند نقدینگی و اعتبارات لازم و عدم مشارکت ذی‌نفعان در پروژه‌ها و طرح‌های کیفیت ۴.۰ هستند. این موانع در چهار بعد مختلف شناسایی شده و تأثیرات قابل توجهی بر روند پیاده‌سازی کیفیت ۴.۰ در این صنعت دارند. Sadeghi, Moghadam., et al. (2023) پژوهشی با هدف بررسی موانع به کارگیری کیفیت ۴.۰ انجام دادند. نتایج پژوهش نشان داد که هزینه‌های بالای استقرار زیرساخت‌های کیفیت ۴.۰ مهم‌ترین عامل مانع به کارگیری این رویکرد است؛ همچنین، عوامل کمبود نیروی انسانی آموزش‌دیده و واجد شرایط و یکپارچگی دیجیتال به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. Talayi., et al. (2022) پژوهشی با هدف طراحی ساختاری محرک‌های استقرار کیفیت ۴.۰ در صنایع فولاد انجام دادند. در یافته‌های پژوهش ساختاری ۸ سطحی ارائه شده است که در آن محرک رهبری به عنوان محرک آغازین و تأثیرگذارترین عامل شناسایی شده است.

## روش پژوهش

پژوهش حاضر با هدف بررسی عوامل مؤثر بر اجرا و توسعه کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند انجام شده است. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش گردآوری داده‌ها، توصیفی-پیمایشی است. اطلاعات موردنیاز از طریق روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی گردآوری شد. در مرحله نخست، مطالعات مقدماتی به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر اجرا و توسعه کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند صورت گرفت؛ سپس به منظور اطمینان از جامعیت و اعتبار عوامل شناسایی شده، نظرات متخصصان و خبرگان حوزه مربوطه جمع‌آوری شد. جامعه هدف این پژوهش، متخصصان و مدیران ارشد حوزه‌های کیفیت صنعتی، زنجیره تأمین هوشمند و فناوری‌های دیجیتال بودند که در پیاده‌سازی پروژه‌های مرتبط با کیفیت ۴.۰ در صنایع تولیدی ایران مشغول به فعالیت بودند. نمونه‌گیری به روش هدفمند و گلوله برفی انجام شد. معیارهای انتخاب خبرگان عبارت بودند از: حداقل ۳ سال سابقه فعالیت در صنایع پیشرو و داشتن حداقل یک پروژه عملیاتی شده در حوزه هوشمندسازی زنجیره تأمین یا کیفیت دیجیتال. حجم نمونه بر اساس اصل اشباع نظری تعیین شد و پس از مصاحبه با ۱۳ خبره، اشباع داده‌ها حاصل شد. در حوزه تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش‌های متعددی برای تحلیل داده‌ها وجود دارد. در این پژوهش، از دو روش دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری برای تجزیه و تحلیل داده‌ها بهره گرفته شده است. ترکیب این دو روش دارای مزایایی است که Yin., et al. (2012) به آن‌ها اشاره کرده‌اند:

✓ نمایش روابط: هر دو روش با استفاده از ماتریس‌های رابطه‌ای، داده‌های حاصل از نظر خبرگان را نمایش داده و روابط علی و معلولی میان عوامل را با دقت نشان می‌دهند.

✓ برقراری ارتباط میان روش‌ها: این دو روش قابلیت تبادل اطلاعات با یکدیگر را دارند، به گونه‌ای که از ماتریس روابط دیمتل می‌توان برای استخراج ماتریس دسترسی در ISM استفاده کرد و از این طریق، ساختار سلسله‌مراتبی سیستم پیچیده را ترسیم نمود.

✓ ارائه چارچوب استدلالی: روش‌های مذکور چارچوبی نظام‌مند و مبتنی بر منطق استدلالی برای تحلیل روابط علت و معلولی ارائه می‌دهند.

✓ ترسیم روابط در سطح کلان: این روش‌ها امکان نمایش روشن و گویا از جهت و شدت روابط میان عناصر پیچیده را در سطح کل سیستم فراهم می‌کنند.

در مطالعات پیشین، استفاده از روش ترکیبی دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری رایج بوده است. به عنوان نمونه، Ahmadibabadi., et al. (2022) در پژوهشی به شناسایی عوامل مدیریت کیفیت جامع مؤثر بر عملکرد صنعت قطعه‌سازی چمران در کلاس جهانی پرداختند. در این مطالعه، از روش ترکیبی دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری به همراه روش 'MICMAC' برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که بر اساس مدل ISM، چهار سطح کلی برای عوامل شناسایی شده و عامل «راهبری» در بالاترین سطح اثرگذاری قرار گرفته است. همچنین، نتایج MICMAC نشان داد که معیارهایی همچون کیفیت سیستم، ارتباط با تأمین‌کننده، مدیریت فرآیند و کارایی، از نوع متغیرهای مستقل بوده‌اند؛ از این رو، ارتقای این عوامل به منظور دستیابی به مزیت رقابتی توصیه شده است. Khodoumi., et al. (2021) نیز در پژوهشی به بررسی روابط متقابل عوامل مؤثر بر تولید به‌هنگام در زنجیره تأمین پرداختند. در این مطالعه از روش‌های دیمتل و ISM استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که عواملی همچون «واحد خرید»، «اطلاعات و تبادل آن» و «واحد فروش» در زمره عوامل اثرگذار و عواملی مانند «واحد تولید»، «تأمین‌کنندگان» و «مشتریان» به عنوان عوامل اثرپذیر شناسایی شدند. همچنین، Yadav., et al. (2022) در پژوهشی با هدف توسعه یک سیستم هماهنگ مبتنی بر اینترنت اشیاء (IoT<sup>۲</sup>) برای بهبود هماهنگی در زنجیره تأمین کشاورزی در شرایط بلایای طبیعی، از مدل‌سازی ساختاری تفسیری برای تبیین روابط بین عوامل و از روش دیمتل برای تحلیل علی-معلولی میان آن‌ها استفاده کردند. یافته‌های این پژوهش به شناسایی ۷ عامل توانمندساز و ۳۰ عامل فرعی منجر شد و «حمایت مدیریت ارشد» به عنوان کلیدی‌ترین عامل در ارتقای هماهنگی زنجیره تأمین معرفی گردید.

در شکل ۱، فرآیند انجام پژوهش حاضر به صورت شماتیک نمایش داده شده است:

<sup>1</sup> Matrix of Crossed Impact Multiplications Applied to a Classification

<sup>2</sup> Internet of Things



شکل ۱. روش انجام پژوهش

Figure 1. Research Methodology

در این پژوهش، با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر اجرای کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند، ابتدا مطالعاتی بر ادبیات مرتبط با کیفیت ۴.۰ صورت گرفت. در نتیجه این بررسی‌ها، ۳۳ عامل کلیدی به عنوان عوامل اثرگذار شناسایی شدند که فهرست آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. عوامل مؤثر بر اجرا و توسعه کیفیت ۴.۰ در انقلاب صنعتی چهارم

Table 2. Factors Influencing the Implementation and Development of Quality 4.0 in the Fourth Industrial Revolution

| مؤلفه‌های اصلی     | اختصار | زیرشاخه‌ها                                    | منابع                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------|--------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| عوامل مدیریتی      | C1     | حمایت و پشتیبانی و تعهد مدیریت ارشد           | ؛ Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023<br>(Sony et al., 2021 ؛Antony et al., 2023<br>Sony et al., ؛Antony et al., 2023 ؛Talayi et al., 2022)<br>(2021)                                                                                                            |
|                    |        | رهبری مناسب                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                    |        | ایجاد فرهنگ سازمانی مناسب                     | ؛ Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023<br>Tadić et al., ؛ Sony et al., 2021 ؛Antony et al., 2023<br>(2023)                                                                                                                                                        |
|                    |        | آگاهی لازم مدیریت                             | Sader., et al. 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Tadić et al., 2023؛ Sony., et al. 2021<br>(Sader et al., 2022).                                                                                                                                                         |
| عوامل سازمانی      | C2     | درک کامل مدیران از فناوری‌های نوین            | (Sader et al., 2022)                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                    |        | عملکرد سازمانی مناسب                          | (Sader et al., 2022)                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                    |        | اطلاعات قابل اعتماد سازمانی                   | (Sony et al., 2021)                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                    |        | سیستم‌های مدیریت تأمین کننده                  | (Sony et al., 2021)                                                                                                                                                                                                                                                             |
| عوامل منابع انسانی | C3     | سازگاری سیستم‌های موجود با سیستم‌های جدید     | (Talayi et al., 2022)                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                    |        | چشم‌انداز و استراتژی                          | ؛ Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023<br>(Sony et al., 2021 ؛Antony et al., 2023<br>(Sony et al., 2021 ؛Antony et al., 2023)                                                                                                                                     |
|                    |        | تمرکز بر مشتری                                | (Tadić et al., 2023؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Antony et al., 2023)                                                                                                                                                                                  |
|                    |        | یکپارچگی در بخش‌های مختلف سازمان              | (Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Antony et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Talayi et al., 2022)                                                                                                                                                         |
| عوامل فناوری       | C4     | مزیت رقابتی شفاف و روشن                       | (Sader et al., 2022)                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                    |        | همسویی کیفیت ۴.۰ و راهبردهای سازمان           | (Sony et al., 2021 ؛Talayi et al., 2022)                                                                                                                                                                                                                                        |
|                    |        | سیستم‌های پاداش                               | (Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022)                                                                                                                                                                                                   |
|                    |        | شناسایی و مهارت کارکنان                       | (Sadeghi Moghadam et al., 2023)                                                                                                                                                                                                                                                 |
| عوامل مالی         | C5     | همکاری                                        | (Sader et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Tadić et al., 2023 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Tadić et al., 2021 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sadeghi Moghadam et al., 2023) |
|                    |        | مقاومت کارکنان در برابر تغییر                 | ؛ Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Antony et al., 2023)                                                                                                                                                                               |
|                    |        | نیروی انسانی واجد شرایط                       | (Sader et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Tadić et al., 2023 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Tadić et al., 2021 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)                                    |
|                    |        | دانش و آگاهی لازم متخصصان                     | (Sadeghi Moghadam et al., 2023)                                                                                                                                                                                                                                                 |
| زیرساخت            | C6     | آگاهی لازم کارکنان از کیفیت ۴.۰               | (Sader et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Antony et al., 2023)                                                                                                                                                                                 |
|                    |        | مهارت‌های کامپیوتری کارکنان                   | (Sader et al., 2022)                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                    |        | آموزش و توسعه کارکنان                         | (Sader et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sader et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022)                                                                                     |
|                    |        | تغییر و آمادگی سازمان از منظر فناوری‌های نوین | (Sadeghi Moghadam et al., 2023)                                                                                                                                                                                                                                                 |
| زیرساخت مالی       | C5     | انتخاب فناوری‌های مناسب                       | (Sader et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sader et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022)                                                                                     |
|                    |        | امنیت سایبری                                  | (Sadeghi Moghadam et al., 2023)                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                    |        | کنترل کلان داده‌ها                            | (Sader et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022)                                                                                                                                            |
|                    |        | زیرساخت‌های فناوری                            | (Sadeghi Moghadam et al., 2023)                                                                                                                                                                                                                                                 |
| زیرساخت سازمانی    | C6     | یکپارچه‌سازی دیجیتال                          | (Sader et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)                                                         |
|                    |        | منابع مالی مناسب                              | (Sader et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)                                                         |
|                    |        | هزینه‌های استقرار زیرساخت‌های کیفیت ۴.۰       | (Sader et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)                                                         |
|                    |        | سرمایه‌گذاری و هزینه‌های اولیه بالا           | (Sader et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Sony et al., 2021 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)                                                         |
| زیرساخت فناوری     | C4     | زیرساخت‌های فناوری                            | (Sader et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022)                                                                                                                                            |
|                    |        | یکپارچه‌سازی دیجیتال                          | (Sadeghi Moghadam et al., 2023)                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                    |        | امنیت سایبری                                  | (Sader et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022 ؛Sadeghi Moghadam et al., 2023)<br>(Talayi et al., 2022)                                                                                                                                            |
|                    |        | کنترل کلان داده‌ها                            | (Sadeghi Moghadam et al., 2023)                                                                                                                                                                                                                                                 |

## یافته‌های پژوهش

### نتایج حاصل از به کارگیری روش دیمتل

روش دیمتل یکی از رویکردهای جامع و مؤثر برای ساخت و تحلیل مدل‌های ساختاری مبتنی بر روابط علی میان عوامل پیچیده محسوب می‌شود (Lin & Lin, 2008). این روش نخستین بار در مؤسسه باتل مموریال در ژنو و طی سال‌های ۱۹۷۲ تا ۱۹۷۶ برای بررسی و حل مسائل درهم تنیده و پیچیده توسعه یافت (Tzeng & Huang, 2012; Tsai & Chou, 2009). دیمتل با ایجاد ساختاری شبکه‌ای و سلسله‌مراتبی، امکان تحلیل دقیق و شفاف از روابط میان اجزا را فراهم می‌سازد و ابزار مناسبی برای تصمیم‌گیری در مواجهه با سیستم‌های پیچیده ارائه می‌دهد (Mentes et al., 2015). این روش از طریق جمع‌آوری نظرات خبرگان، به شناسایی و تحلیل روابط علت و معلولی میان عوامل کمک کرده و درک عمیق‌تری از تعاملات میان آن‌ها فراهم می‌سازد (Akyuz & Çilak, 2015). خروجی نهایی این فرآیند، نموداری تصویری از روابط متقابل میان عوامل است که امکان اولویت‌بندی و تصمیم‌گیری را برای محقق فراهم می‌آورد. در این پژوهش، به منظور تحلیل عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی و توسعه کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند، از شش معیار اصلی (C1 تا C6) بهره گرفته شد. اسامی این معیارها در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

جدول ۳. اسامی معیارها

Table 3. Names of Criteria

| شماره | عنوان        | علامت اختصاری |
|-------|--------------|---------------|
| ۱     | مدیریت       | C1            |
| ۲     | سازمان       | C2            |
| ۳     | منابع انسانی | C3            |
| ۴     | فناوری       | C4            |
| ۵     | مالی         | C5            |
| ۶     | زیرساخت      | C6            |

برای مقایسه زوجی میان معیارها، از طیفی متشکل از پنج عبارت کلامی همراه با مقادیر عددی متناظر آن‌ها استفاده شده است که در جدول ۴ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۴. مقادیر عبارت کلامی

Table 4. Values of Verbal Expressions

| بی تأثیر | تأثیر خیلی کم | تأثیر کم | تأثیر زیاد | تأثیر خیلی زیاد |
|----------|---------------|----------|------------|-----------------|
| ۰        | ۱             | ۲        | ۳          | ۴               |

برای اجرای روش دیمتل مراحل زیر انجام شده است:

### گام اول: محاسبه ماتریس روابط مستقیم

به منظور شناسایی روابط میان معیارها، از ماتریس روابط مستقیم (X) استفاده می‌شود. این ماتریس، یک ماتریس مربعی  $N \times N$  است که درایه  $(i, j)$  آن نشان‌دهنده میزان تأثیر معیار  $i$  بر معیار  $j$  می‌باشد. مقادیر این ماتریس توسط خبرگان و با استفاده از عددی بین صفر تا چهار تعیین می‌شوند؛ به گونه‌ای که عدد صفر بیانگر نبود تأثیر و عدد چهار بیانگر بیشترین

میزان تأثیر است. در صورتی که نظرات از چندین خبره گردآوری شده باشند، برای تعیین مقادیر نهایی ماتریس X از میانگین ساده نظرات استفاده می‌شود. ماتریس روابط مستقیم در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. ماتریس روابط مستقیم

Table 5. Direct Relationship Matrix

| C6    | C5    | C4    | C3    | C2    | C1    |    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| ۳/۶۶۷ | ۳/۶۶۷ | ۲/۸۳۳ | ۳/۶۶۷ | ۳/۵   | ۰     | C1 |
| ۲/۶۶۷ | ۱/۳۳۳ | ۱/۸۳۳ | ۲/۸۳۳ | ۰     | ۲/۱۶۷ | C2 |
| ۱/۸۳۳ | ۲     | ۲/۶۶۷ | ۰     | ۳     | ۲     | C3 |
| ۳     | ۳/۱۶۷ | ۰     | ۳     | ۳/۵   | ۲/۸۳۳ | C4 |
| ۲/۶۶۷ | ۰     | ۳     | ۳     | ۳     | ۲/۱۶۷ | C5 |
| ۰     | ۲     | ۳     | ۲     | ۲/۶۶۷ | ۱/۸۳۳ | C6 |

### گام دوم: ماتریس روابط مستقیم نرمال شده

در روش دیمتل برای نرمال کردن ماتریس ارتباط مستقیم، از فرمول  $N = X/K$  استفاده می‌شود. K در این فرمول، بزرگترین عدد حاصل از جمع تمام مقادیر سطرها و ستون‌های ماتریس است که در جدول ۳ نشان داده شده است. برای اعمال این فرمول، ابتدا مقادیر سطرها و ستون‌های ماتریس ارتباط مستقیم را با هم جمع می‌شود. سپس بزرگترین عدد حاصل از این جمع را به عنوان K در نظر گرفته می‌شود. در نهایت، تمامی اعداد ماتریس را بر K تقسیم می‌شود. این ماتریس نرمال شده در جدول ۷ آورده شده است. این فرآیند نرمال‌سازی، مقادیر ماتریس را بین صفر و یک قرار می‌دهد و به مقایسه و تفسیر آسان‌تر روابط بین معیارها کمک می‌کند.

$$k = \max \left\{ \max_{j=1}^n \sum_{i=1}^n x_{ij}, \sum_{i=1}^n x_{ij} \right\}; N = \frac{1}{k} \times X$$

جدول ۶. مجموع سطر و ستون ماتریس ارتباطات مستقیم

Table 6. Row and Column Sums of the Direct Relationship Matrix

| معیارها                | جمع سطر | جمع ستون |
|------------------------|---------|----------|
| C1                     | ۱۷/۳۳   | ۱۱       |
| C2                     | ۱۰/۸۳   | ۱۵/۶۷    |
| C3                     | ۱۱/۵    | ۱۴/۵     |
| C4                     | ۱۵/۵    | ۱۳/۳۳    |
| C5                     | ۱۳/۸۳   | ۱۲/۱۷    |
| C6                     | ۱۱/۵    | ۱۳/۸۳    |
| بیش‌ترین مقدار = ۱۷/۳۳ |         |          |

جدول ۷. ماتریس روابط مستقیم نرمال شده

Table 7. Normalized Direct Relationship Matrix

| C6    | C5    | C4    | C3    | C2    | C1    |    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| ۰/۲۱۲ | ۰/۲۱۲ | ۰/۱۶۳ | ۰/۲۱۲ | ۰/۲۰۲ | ۰     | C1 |
| ۰/۱۵۴ | ۰/۰۷۷ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۶۳ | ۰     | ۰/۱۲۵ | C2 |
| ۰/۱۰۶ | ۰/۱۱۵ | ۰/۱۵۴ | ۰     | ۰/۱۷۳ | ۰/۱۱۵ | C3 |
| ۰/۱۷۳ | ۰/۱۸۳ | ۰     | ۰/۱۷۳ | ۰/۲۰۲ | ۰/۱۶۳ | C4 |
| ۰/۱۵۴ | ۰     | ۰/۱۷۳ | ۰/۱۷۳ | ۰/۱۷۳ | ۰/۱۲۵ | C5 |
| ۰     | ۰/۱۱۵ | ۰/۱۷۳ | ۰/۱۱۵ | ۰/۱۵۴ | ۰/۱۰۶ | C6 |

## گام سوم: ماتریس روابط کلی (T)

در روش دیمتل برای محاسبه ماتریس ارتباط کامل، ابتدا یک ماتریس یکه یا همانی با ابعاد مشابه ماتریس ارتباط مستقیم ایجاد می‌شود. سپس مراحل زیر انجام می‌شود:

- ✓ ماتریس همانی از ماتریس نرمال شده ارتباط مستقیم کم می‌شود (I - N).
- ✓ معکوس ماتریس حاصل از مرحله قبل محاسبه می‌شود.
- ✓ ماتریس معکوس در ماتریس نرمال شده ارتباط مستقیم ضرب ماتریسی می‌شود.

$$T = N \times (I - N)^{-1}$$

ماتریس روابط کلی پژوهش در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸. ماتریس روابط کلی

Table 8. Total Relationship Matrix

| C6    | C5    | C4    | C3    | C2    | C1    |    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| ۰/۷۲۸ | ۰/۶۶۴ | ۰/۶۷۸ | ۰/۷۵۳ | ۰/۷۸۸ | ۰/۴۵۶ | C1 |
| ۰/۴۹۹ | ۰/۳۹۶ | ۰/۴۵۲ | ۰/۵۲۲ | ۰/۴۱  | ۰/۴۱۳ | C2 |
| ۰/۴۸۶ | ۰/۴۴۶ | ۰/۵۰۹ | ۰/۴۰۷ | ۰/۵۸۴ | ۰/۴۲۶ | C3 |
| ۰/۶۵۲ | ۰/۵۹۹ | ۰/۴۸۹ | ۰/۶۷۴ | ۰/۷۳۴ | ۰/۵۵۷ | C4 |
| ۰/۵۸۸ | ۰/۴۰۱ | ۰/۵۹  | ۰/۶۲۳ | ۰/۶۵۹ | ۰/۴۸۸ | C5 |
| ۰/۳۹  | ۰/۴۴۸ | ۰/۵۲۶ | ۰/۵۱۱ | ۰/۵۷۱ | ۰/۴۱۹ | C6 |

## گام چهارم: تعیین علت و معلولی شاخص‌ها

پس از تعیین ماتریس روابط کلی (T)، درجه تأثیر D و درجه تأثیرپذیر C طبق روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$D_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$R_j = \sum_{i=1}^n t_{ij} \quad , \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

در مرحله بعد، پس از محاسبه مجموع سطر (R) و ستون (D)، میزان اهمیت شاخص‌ها (Di + Ri) و رابطه بین معیارها (Di - Ri) مشخص می‌شود. اگر  $Di - Ri > 0$  باشد، معیار مربوطه اثرگذار و اگر  $Di - Ri < 0$  باشد، معیار مربوطه اثرپذیر است که نتایج حاصل شده در جدول ۹ آمده است:

جدول ۹. تعیین علت و معلولی شاخص‌ها

Table 9. Determination of Cause and Effect of Indicators

| C6    | C5   | C4   | C3    | C2    | C1   |       |
|-------|------|------|-------|-------|------|-------|
| ۲/۸۷  | ۳/۳۵ | ۳/۷۱ | ۲/۸۶  | ۲/۶۹  | ۴/۰۷ | R     |
| ۳/۳۴  | ۲/۹۵ | ۳/۲۴ | ۳/۴۹  | ۳/۷۵  | ۲/۷۶ | D     |
| ۶/۲۱  | ۶/۳  | ۶/۹۵ | ۶/۳۵  | ۶/۴۴  | ۶/۸۳ | R + D |
| -۰/۴۸ | ۰/۳۹ | ۰/۴۶ | -۰/۶۳ | -۱/۰۵ | ۱/۳۱ | R - D |

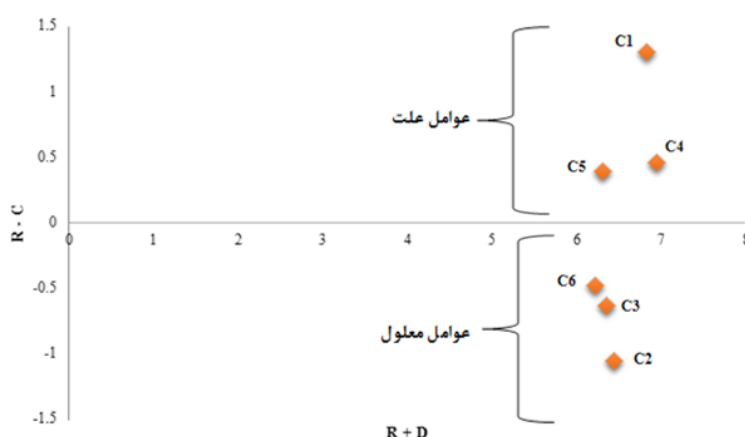
با مرتب‌سازی و اولویت‌بندی داده‌های به‌دست آمده از جدول ۹، عوامل اثرگذار، اثرپذیر و همین‌طور اولویت وزنی و اهمیت این عوامل طبق جدول ۱۰ به‌دست می‌آید:

جدول ۱۰. اولویت وزنی و اهمیت عوامل

Table 10. Weighted Priority and Importance of Factors

| اولویت وزنی | عامل | R + D | عامل | R - D | نوع                          |
|-------------|------|-------|------|-------|------------------------------|
| ۱           | C4   | ۶/۹۵  | C1   | ۱/۳۱  | عوامل اثرگذار<br>(R - D > 0) |
| ۲           | C1   | ۶/۸۳  | C4   | ۰/۴۶  |                              |
| ۳           | C2   | ۶/۴۴  | C5   | ۰/۳۹  |                              |
| ۴           | C3   | ۶/۳۵  | C6   | -۰/۴۸ | عوامل اثرپذیر<br>(R + D < 0) |
| ۵           | C5   | ۶/۳   | C3   | -۰/۶۳ |                              |
| ۶           | C6   | ۶/۲۱  | C2   | -۱/۰۵ |                              |

در مرحله بعد، نمودار علی ترسیم می‌شود. این نمودار به‌طور بصری روابط بین معیارها و میزان اهمیت و اثرگذاری یا اثرپذیری آنها را نشان می‌دهد (شکل ۲).



شکل ۲. نمودار علت و معلولی ابعاد مؤثر بر کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند

Figure 2. Cause-and-Effect Diagram of Factors Affecting Quality 4.0 in the Smart Supply Chain

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، به ترتیب معیارهای مدیریت، فناوری و منابع مالی در نیمه مثبت نمودار قرار می‌گیرند که متعلق به عوامل علی است؛ در نتیجه این ابعاد تأثیر بالایی به نسبت دیگر ابعاد دارند. همان‌طور که مشاهده می‌شود دو عامل مدیریت و فناوری طول بیش‌تری نسبت به سایر معیارها دارند، بنابراین در بعد اثرگذاری و اثرپذیری، اهمیت بیش‌تری نسبت به سایر ابعاد دارند.

#### گام پنجم: تعیین مقدار آستانه

در این گام، به منظور ترسیم نقشه روابط شبکه‌ای، باید شدت آستانه محاسبه شود. برای محاسبه مقدار آستانه روابط، میانگین مقادیر ماتریس T محاسبه می‌شود. بعد از آن که شدت آستانه تعیین شد تمامی مقادیر T که کوچک‌تر از آستانه باشد، صفر شده و در نقشه روابط در نظر گرفته نمی‌شوند. مقدار آستانه در این پژوهش برای ۶ متغیر پژوهش مقدار ۰/۵۴۲۷ می‌باشد. با توجه به مقادیر آستانه، الگوی روابط معنی‌دار متغیرهای پژوهش مطابق جدول ۱۱ می‌باشد.

جدول ۱۱. الگوی روابط معنی‌دار متغیرهای پژوهش

Table 11. Significant Relationship Pattern of Research Variables

| C6    | C5    | C4    | C3    | C2    | C1    |    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| ۰/۷۲۸ | ۰/۶۶۴ | ۰/۶۷۸ | ۰/۷۵۳ | ۰/۷۸۸ | ۰     | C1 |
| ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | C2 |
| ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰/۵۸۴ | ۰     | C3 |
| ۰/۶۵۲ | ۰/۵۹۹ | ۰     | ۰/۶۷۴ | ۰/۷۳۴ | ۰/۵۵۷ | C4 |
| ۰/۵۸۸ | ۰     | ۰/۵۹  | ۰/۶۲۳ | ۰/۶۵۹ | ۰     | C5 |
| ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰/۵۷۱ | ۰     | C6 |

در ادامه، عواملی که از حد آستانه تعیین شده کمتر باشند، صفر در نظر گرفته می‌شوند. این به معنای عدم وجود رابطه بین این عوامل است. در مقابل، عواملی که از حد آستانه بیشتر باشند، ۱ در نظر گرفته می‌شوند که نشان‌دهنده وجود رابطه بین آنها است. جزئیات این روابط در جدول ۱۲ ارائه شده است.

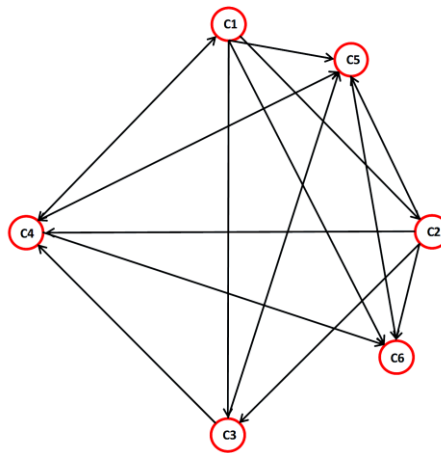
جدول ۱۲: روابط کلی تمامی عوامل

Table 12. Overall Relationship Matrix of All Factors

| C6 | C5 | C4 | C3 | C2 | C1 |    |
|----|----|----|----|----|----|----|
| ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۰  | C1 |
| ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | C2 |
| ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱  | ۰  | C3 |
| ۱  | ۱  | ۰  | ۱  | ۱  | ۱  | C4 |
| ۱  | ۰  | ۱  | ۱  | ۱  | ۰  | C5 |
| ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱  | ۰  | C6 |

### گام ششم: ترسیم نقشه روابط شبکه‌ای

در این گام، نقشه روابط علی و معلولی متغیرهای پژوهش، با توجه به جدول ۱۳ ترسیم می‌شود (شکل ۳):



شکل ۳: نقشه روابط شبکه‌ای

Figure 3. Network Relationship Map

### نتایج مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM)

روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری به عنوان یک ابزار یادگیری تعاملی، با ترسیم تصویری شفاف از روابط میان عوامل مختلف، فرایند تصمیم‌گیری را برای مدیران و سیاست‌گذاران تسهیل می‌کند (Mandal & Deshmukh, 1994). این روش با طبقه‌بندی تعاملات بین عناصر کلیدی مرتبط با یک پدیده یا مسئله، زمینه‌ای برای درک عمیق‌تر از ساختار آن فراهم می‌سازد. در واقع، مدل‌سازی ساختاری تفسیری ابزاری اثربخش برای تحلیل نحوه تأثیرگذاری متقابل میان عناصر در یک سیستم پیچیده به شمار می‌رود (Mandal & Deshmukh, 1994). ایده اصلی این روش بر پایه استفاده از دانش و تجربیات خبرگان به منظور تجزیه یک سیستم پیچیده به مؤلفه‌های کوچکتر و ساخت مدلی چندسطحی از ساختار تعاملات میان آن‌ها استوار است (Ansari et al., 2013). در این میان، روش‌های دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری هر دو با هدف شناسایی و تحلیل روابط میان مجموعه‌ای از عوامل توسعه یافته‌اند؛ اما با وجود شباهت‌های موجود، تفاوت‌هایی در شیوه جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل نتایج دارند. این تفاوت‌ها ممکن است به نتایجی متفاوت در تبیین روابط بین عوامل منجر شوند. به منظور کاهش این چالش، به کارگیری رویکرد ترکیبی دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری توصیه می‌شود؛ رویکردی که با ادغام قابلیت‌های هر دو روش، تحلیلی جامع‌تر و دقیق‌تر از روابط میان عوامل ارائه می‌دهد (Chen, 2013).

در ادامه، نتایج حاصل از اجرای گام‌های مختلف این روش ترکیبی ارائه شده است.

### گام اول: تشکیل ماتریس دستیابی

در گام نخست، ماتریس دستیابی با استفاده از ماتریس ارتباطات کل روش دیمتل تشکیل داده می‌شود. این فرایند در جدول ۱۳ انجام شده است که در واقع همان ماتریس دستیابی است.

جدول ۱۳. ماتریس دستیابی

Table 13. Reachability Matrix

| C6 | C5 | C4 | C3 | C2 | C1 |    |
|----|----|----|----|----|----|----|
| ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۰  | C1 |
| ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | C2 |
| ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱  | ۰  | C3 |
| ۱  | ۱  | ۰  | ۱  | ۱  | ۱  | C4 |
| ۱  | ۰  | ۱  | ۱  | ۱  | ۰  | C5 |
| ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱  | ۰  | C6 |

### گام دوم: تعیین سطح و اولویت بندی عوامل

به منظور تعیین سطح و اولویت بندی عوامل، دو مجموعه با نام های "مجموعه قابل دستیابی (خروجی ها)" و "مجموعه مقدم (ورودی ها)" تعریف می شوند. مجموعه قابل دستیابی شامل خود معیار و معیارهایی است که از آن تأثیر می پذیرد. مجموعه مقدم شامل خود معیار و معیارهایی است که بر آن تأثیر می گذارند. پس از تعیین مجموعه دستیابی و مجموعه مقدم، اشتراک دو مجموعه حساب می شود. اولین تغییری که اشتراک دو مجموعه برابر با مجموعه قابل دستیابی (خروجی ها) باشد، سطح اول خواهد بود. بنابراین عناصر سطح اول بیشترین تأثیرپذیری را در مدل خواهند داشت. پس از تعیین سطح، متغیرهایی که سطح بندی شده اند حذف می شوند و سایر متغیرها در تکرارهای بعدی به همین روال تعیین سطح می شوند. این تکرارها تا جایی ادامه می یابند که تمام متغیرها سطح بندی شوند. در نهایت، متغیرهایی که در بالاترین لایه قرار می گیرند، منشأ هیچ متغیر دیگری نخواهند بود. در این پژوهش، نتیجه نهایی سطح بندی ۶ عامل به همراه مجموعه های قابل دستیابی، مقدم و اشتراک آن ها در جدول ۱۴ آورده شده است.

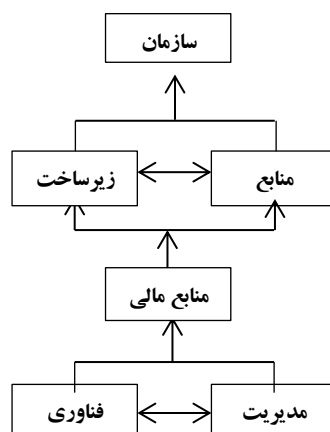
جدول ۱۴. تعیین سطح و اولویت بندی نهایی عوامل

Table 14. Determination of Level and Final Prioritization of Factors

| عناصر | مجموعه قابل دستیابی | مجموعه مقدم   | اشتراک  | سطح   |
|-------|---------------------|---------------|---------|-------|
| C1    | {۱,۲,۳,۴,۵,۶}       | {۱,۴}         | {۱,۴}   | سطح ۴ |
| C2    | {۲}                 | {۱,۲,۳,۴,۵,۶} | {۲}     | سطح ۱ |
| C3    | {۲,۳}               | {۱,۳,۴,۵}     | {۳}     | سطح ۲ |
| C4    | {۱,۲,۳,۴,۵,۶}       | {۱,۴,۵}       | {۱,۴,۵} | سطح ۴ |
| C5    | {۲,۳,۴,۵,۶}         | {۱,۴,۵}       | {۴,۵}   | سطح ۳ |
| C6    | {۲,۶}               | {۱,۴,۵,۶}     | {۶}     | سطح ۲ |

### گام سوم: ترسیم مدل نهایی

در این مرحله، بر اساس سطح هر یک از عناصر و ماتریس نهایی دستیابی، مدل نهایی ساختاری تفسیری ترسیم می شود. برای این منظور، ابتدا متغیرها بر اساس سطح آن ها از پایین به بالا مرتب می شوند. به طوری که عامل "مدیریت" و "فناوری" در بالاترین سطح با بیشترین قدرت نفوذ و کمترین وابستگی و عامل "سازمانی" در پایین ترین سطح با کمترین قدرت نفوذ و بیشترین وابستگی قرار می گیرند. این مدل در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. مدل نهایی عوامل مؤثر بر اجرا و توسعه کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند

Figure 4. Final Model of Factors Affecting the Implementation and Development of Quality 4.0 in the Smart Supply Chain

#### گام چهارم: تجزیه و تحلیل MICMAC

در تحلیل MICMAC، عوامل مؤثر بر اجرا و توسعه کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند بر اساس قدرت نفوذ و وابستگی آن‌ها به یکدیگر، به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌شوند. این دسته‌بندی با استفاده از ماتریس نهایی دستیابی و با در نظر گرفتن سطوح هر یک از عناصر انجام می‌شود. هدف از تحلیل MICMAC، بررسی و سنجش قدرت نفوذ و وابستگی متغیرها به یکدیگر است. بر اساس این تحلیل، چهار گروه از عناصر قابل شناسایی هستند:

- ✓ مستقل کلیدی: این گروه شامل متغیرهایی است که قدرت وابستگی و نفوذ بالایی دارند. آن‌ها به عنوان عوامل کلیدی در نظر گرفته می‌شوند و تأثیرگذاری زیادی بر سایر متغیرها دارند.
- ✓ وابسته: این گروه شامل متغیرهایی است که قدرت وابستگی بالایی دارند اما قدرت نفوذ پایینی دارند. این متغیرها به شدت تحت تأثیر سایر متغیرها قرار می‌گیرند و قدرت تأثیرگذاری کمی بر آن‌ها دارند.
- ✓ مستقل (خودمختار): این گروه شامل متغیرهایی است که قدرت وابستگی و نفوذ پایینی دارند. این متغیرها تأثیر و نفوذ بسیار کمی بر سایر متغیرها دارند و همچنین ارتباط ضعیفی با آن‌ها دارند.
- ✓ اتصال‌دهنده: این گروه شامل متغیرهایی است که قدرت وابستگی و نفوذ بالایی دارند. این متغیرها ناپایدار هستند و هر گونه اقدامی که با استفاده از آن‌ها انجام شود، احتمالاً واکنش‌های متقابلی در خود و سایر متغیرها ایجاد می‌کند.

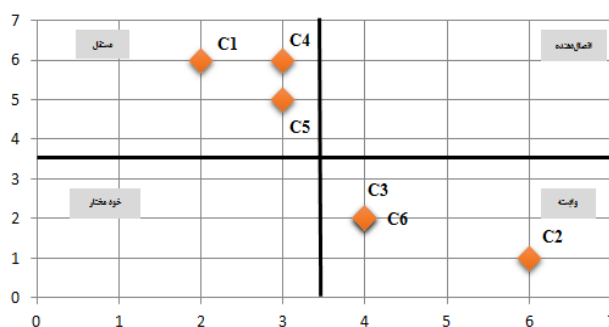
قدرت نفوذ و وابستگی هر متغیر، که از ماتریس نهایی دستیابی به دست آمده است، در جدول ۱۵ نشان داده شده است.

جدول ۱۵. قدرت نفوذ و وابستگی

Table 15. Driving Power and Dependence

| قدرت نفوذ | C6 | C5 | C4 | C3 | C2 | C1 |              |
|-----------|----|----|----|----|----|----|--------------|
| ۶         | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | C1           |
| ۱         | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱  | ۰  | C2           |
| ۲         | ۰  | ۰  | ۰  | ۱  | ۱  | ۰  | C3           |
| ۶         | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | C4           |
| ۵         | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۰  | C5           |
| ۲         | ۱  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱  | ۰  | C6           |
|           | ۴  | ۳  | ۳  | ۴  | ۶  | ۲  | قدرت وابستگی |

بر اساس تجزیه و تحلیل MICMAC، عامل مدیریت (C1) و فناوری (C4) و منابع مالی (C5) به عنوان عامل کلیدی در اجرا و توسعه کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند شناخته شده‌اند. این عوامل نقشی اساسی در ایجاد بستر و زمینه‌ای مناسب برای کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند ایفا می‌کنند. مابقی معیارها که شامل عوامل سازمانی (C2)، منابع انسانی (C3) و زیرساخت‌ها (C6) است جز عوامل وابسته قرار می‌گیرند. این عوامل وابستگی بالایی به عوامل دیگر دارند. این عوامل به جای آن که زمینه‌ساز اجرا و توسعه کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند باشند، بیشتر تحت تأثیر آن قرار می‌گیرند. این اثرپذیری عمدتاً از ناحیه عوامل کلیدی مستقل نشأت می‌گیرد. شکل ۵ نشان‌دهنده قدرت و وابستگی (محور X) و قدرت نفوذ (محور Y) هر یک از عوامل مؤثر بر اجرا و توسعه کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند است.



شکل ۵. نمودار قدرت نفوذ و وابستگی

Figure 5. Driving Power and Dependence Diagram

## بحث و نتیجه‌گیری

رشد روزافزون تحقیقات در حوزه «صنعت ۴.۰» نویدبخش دگرگونی‌های بنیادین در سیستم‌های تولید است. این مفهوم نوین، با ادغام فناوری‌های پیشرفته و مفاهیم نوآورانه، تمامی فرآیندهای تولیدی را متحول ساخته و زمینه‌ساز ارتقای عملکرد، نوآوری و ایجاد فرهنگ برتری عملیاتی در سازمان‌ها شده است (Holmström et al., 2016; Bahrami et al., 2023). در این بستر، «کیفیت ۴.۰» به عنوان رویکردی نوین در نظارت بر کیفیت، نقش برجسته‌ای ایفا می‌کند. این مفهوم با بهره‌گیری از فناوری‌های صنعت ۴.۰، به ابزاری توانمند برای ارتقای عملکرد سازمانی، بهبود مستمر و دستیابی به برتری عملیاتی تبدیل شده است (Joshi et al., 2024; Broday, 2022). در این میان، زنجیره تأمین هوشمند به عنوان یکی از ارکان کلیدی این عصر، از طریق ارتقای کارایی، شفافیت، پایداری و انعطاف‌پذیری، نقشی راهبردی در تحقق اهداف کیفی ایفا می‌کند. با بهره‌گیری از کیفیت ۴.۰، زنجیره تأمین هوشمند قادر خواهد بود کیفیت محصولات و خدمات را در تمامی مراحل ارتقا دهد؛ این امر از طریق جمع‌آوری و تحلیل داده‌های بلادرنگ، ردیابی و پایش محصولات، شناسایی و رفع سریع عیوب و بهینه‌سازی فرایندها محقق می‌شود (Faheem & Butt, 2022). همچنین، بهره‌گیری از فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی، یادگیری ماشینی، اینترنت اشیا و بلاک‌چین در زنجیره تأمین، سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا از طریق اتوماسیون، تحلیل پیش‌بینانه، تصمیم‌گیری داده‌محور و شخصی‌سازی خدمات، به سطوح بالاتری از کیفیت، نوآوری و بهره‌وری دست یابند. هدف اصلی پژوهش حاضر، شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی و توسعه کیفیت ۴.۰ در زنجیره تأمین هوشمند بوده است. به منظور دستیابی به این هدف، از رویکرد ترکیبی دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری استفاده شد. یافته‌های حاصل از تحلیل داده‌ها به شناسایی ۳۳ عامل مؤثر در قالب شش دسته شامل مدیریت،

سازمان، منابع انسانی، فناوری، منابع مالی و زیرساخت‌ها منجر شد. در پاسخ به سؤال دوم پژوهش مبنی بر تعیین عوامل علی و معلولی، نتایج تحلیل دیمتال نشان داد که عوامل مدیریت، فناوری و منابع مالی به عنوان عوامل علی شناخته شدند و دارای مقادیر مثبت R-D بودند؛ در حالی که عوامل زیرساختی، سازمانی و منابع انسانی، نقش معلول را ایفا کرده و مقادیر R-D منفی داشتند. همچنین این سه عامل علی، در بخش عوامل مستقل قرار گرفتند و سایر عوامل در دسته عوامل وابسته قرار دارند. در پاسخ به سؤال سوم پژوهش مبنی بر سطح‌بندی عوامل از طریق روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری، شش عامل شناسایی شده در چهار سطح طبقه‌بندی شدند. در تحلیل دیمتال، عامل مدیریت (C1) با مؤلفه‌هایی چون حمایت و تعهد مدیریت ارشد، رهبری اثربخش، آگاهی از فناوری‌های نوین و ایجاد فرهنگ سازمانی مناسب، با مقادیر  $R=۴/۰۷$ ،  $R+D=۶/۸۳$  و  $R-D=۱/۳۱$ ، بیشترین تأثیر را داشته است. همچنین، در مدل‌سازی ساختاری تفسیری نیز عوامل مدیریت (C1) و فناوری (C4) به عنوان مؤثرترین عوامل شناسایی شدند. عامل سازمانی (C2) نیز با مؤلفه‌هایی چون عملکرد مطلوب، اطلاعات قابل اعتماد، سازگاری سیستم‌ها، استراتژی مناسب، تمرکز بر مشتری، یکپارچگی، مزیت رقابتی و سازگاری کیفیت ۴۰ با راهبردهای سازمان، با مقادیر  $R=۲/۶۹$ ،  $D=۳/۷۵$ ،  $R+D=۶/۴۴$  و  $R-D=-۱/۰۵$ ، بیشترین تأثیرپذیری را داشته که این موضوع در تحلیل مدل‌سازی ساختاری تفسیری نیز تأیید شده است. یافته‌های به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که برخی عوامل شناسایی شده در این پژوهش، هم‌راستا با یافته‌های پیشین هستند. به‌طور مثال، نقش محوری «حمایت مدیریت ارشد» با پژوهش Yadav., et al. (2022) هم‌راستا است که آن را عامل کلیدی در ارتقای هماهنگی زنجیره تأمین معرفی کردند. همچنین، نتایج حاصل از مدل‌سازی ساختاری تفسیری این پژوهش با ساختار ۸ سطحی محرک‌ها در پژوهش Talayi., et al. (2022) تطابق دارد. از منظر فناوری، یافته‌های این پژوهش با مطالعه Sadeghi Moghadam., et al. (2023) هم‌راستا است که به اهمیت زیرساخت‌های فناورانه، یکپارچه‌سازی دیجیتال و امنیت سایبری در اجرای کیفیت ۴۰ اشاره کرده‌اند. در پژوهش حاضر نیز عامل فناوری (C4) به‌عنوان یکی از تأثیرگذارترین مؤلفه‌ها شناسایی شده است که در تعامل مستقیم با زیرساخت‌ها، منابع مالی و نیروی انسانی قرار دارد. اهمیت منابع مالی نیز با نتایج Andalib Ardakani., et al. (2024) سازگار است؛ در هر دو مطالعه، فقدان منابع مالی و هزینه‌های بالای پیاده‌سازی به عنوان موانع اساسی شناخته شده‌اند. در سوی دیگر، مؤلفه‌های سازمانی، زیرساختی و منابع انسانی به‌عنوان متغیرهای وابسته شناسایی شده‌اند که بیشتر تحت تأثیر اقدامات مدیریتی و شرایط فناوری و مالی قرار دارند. این یافته با دیدگاه Sony., et al. (2021) هماهنگ است. در مجموع، پیاده‌سازی مؤثر کیفیت ۴۰ می‌تواند مزایای متعددی نظیر ارتقای کیفیت محصولات و خدمات، کاهش هزینه‌ها، افزایش انعطاف‌پذیری و بهبود رضایت مشتری را برای سازمان‌ها به همراه داشته باشد. از این‌رو به مدیران توصیه می‌شود با تمرکز بر اولویت‌بندی این عوامل و درک روابط متقابل میان آن‌ها، مسیر تحول در زنجیره تأمین هوشمند را هموار سازند. با توجه به نقش برجسته عامل مدیریت، رهبری سازمان‌ها می‌بایست در جهت ارتقای کیفیت ۴۰ گام برداشته و از طریق ایجاد چشم‌انداز روشن، تعهد به نوآوری، توانمندسازی نیروی انسانی، توسعه ساختارهای چابک، تسهیل همکاری بین‌بخشی و استقرار نظام‌های حاکمیت داده مؤثر، زمینه اجرای موفق این رویکرد را فراهم آورند. همچنین، بهره‌گیری از فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی، یادگیری ماشینی، اینترنت اشیا و بلاک‌چین در زنجیره تأمین، سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا از طریق اتوماسیون، تحلیل پیش‌بینانه، تصمیم‌گیری داده‌محور و شخصی‌سازی خدمات، به سطوح بالاتری از کیفیت، نوآوری و بهره‌وری دست یابند. در مجموع، پیاده‌سازی

مؤثر کیفیت ۴.۰ می‌تواند مزایای متعددی نظیر ارتقای کیفیت محصولات و خدمات، کاهش هزینه‌ها، افزایش انعطاف‌پذیری و بهبود رضایت مشتری را برای سازمان‌ها به همراه داشته باشد.

### پیشنهادهای آتی

پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، تحلیل ابعاد اجتماعی و زیست‌محیطی مرتبط با پیاده‌سازی کیفیت ۴.۰ و زنجیره تأمین هوشمند در اولویت قرار گیرد، چراکه این مؤلفه‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در تحقق پایداری فراگیر ایفا می‌کنند. همچنین، بهره‌گیری از روش‌های نوین همچون یادگیری ماشین می‌تواند به شناسایی الگوهای پنهان، تحلیل روابط غیرخطی و افزایش دقت تصمیم‌گیری کمک نماید. افزون بر این، استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها در جهت بررسی روابط علی و پیامدی میان عوامل در طول زمان، امکان تحلیل ساختارمندتری از تعاملات را فراهم ساخته و زمینه‌ساز توسعه مدل‌های تصمیم‌گیری انطباق‌پذیر در بسترهای پیچیده خواهد بود.

### مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان به صورت مشترک در فرآیند نگارش، روش‌شناسی، جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها در این مقاله مشارکت داشته‌اند.

### ملاحظات اخلاقی

رضایت کتبی آگاهانه از افراد برای انتشار اطلاعات ناشناس آن‌ها در این پژوهش کسب شده است.

### حامی مالی

پژوهش حاضر، فاقد حامی مالی بوده است.

### تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

### تشکر و قدردانی

از کلیه افرادی که در انجام این پژوهش ما را همراهی کردند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

## References

- Abdel-Basset, M., Manogaran, G., & Mohamed, M. (2018). RETRACTED: Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems. *Future Generation Computer Systems*, 86, 614-628. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.04.051>
- Abadi, F., Jamali, G., & Qurbanpour, A. (2024). Smart supply chain management under Internet of Things technology with a fuzzy cognitive mapping approach. *Intelligent Business Management Studies*, 12(47), 45-77. [in Persian] <https://doi.org/10.22054/ims.2023.73994.2337>
- Agrawal, P., Narain, R., & Ullah, I. (2020). Analysis of barriers in implementation of digital transformation of supply chain using interpretive structural modelling approach. *Journal of Modelling in Management*, 15(1), 297-317. <https://doi.org/10.1108/JM2-03-2019-0066>
- Ahmadibabadi, A., Besharate, O., & Farsijanyf, H. (2023). The impact of total quality management on organizational performance in the global class using a hybrid DEMATEL and Interpretive Structural Modeling approach (Case study: Chamran auto parts industry). *Standard and Quality Management*, 12(4), 1-38. [in Persian] [https://www.jstandardization.ir/article\\_170654.html](https://www.jstandardization.ir/article_170654.html)
- Akyuz, E., & Celik, E. (2015). A fuzzy DEMATEL method to evaluate critical operational hazards during gas freeing process in crude oil tankers. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 38, 243-253. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.10.006>
- Aldag, M. C., & Eker, B. (2018, November). What is quality 4.0 in the era of industry 4.0?. *In Proceedings of the 3rd International Conference on Quality of Life, Kopaonik, Serbia* (pp. 28-30). [https://www.researchgate.net/publication/329442755 WHAT IS QUALITY 40 IN THE ERA OF INDUSTRY 40](https://www.researchgate.net/publication/329442755_WHAT_IS_QUALITY_40_IN_THE_ERA_OF_INDUSTRY_40)
- Alzahrani, B., Bahaitham, H., Andejany, M., & Elshennawy, A. (2021). How ready is higher education for quality 4.0 transformation according to the LNS research framework?. *Sustainability*, 13(9), 5169. <https://doi.org/10.3390/su13095169>
- Andalib Ardakani, D., Zamzam, F., & Kiani, M. (2024). An analysis of the barriers to the implementation of Quality 4.0 using the fuzzy DANP approach. *Quality Engineering and Management*, 14(4), 304-320 [in Persian] <https://doi.org/10.08313/jqem.2025.217977>
- An Nayyar, V. P. (2016). Data glove: Internet of things (iot) based smart wearable gadget. *British Journal of Mathematics & Computer Science*, 15(5). [https://www.researchgate.net/publication/300421181 Data Glove Internet of Things IoT Based Smart Wearable Gadget](https://www.researchgate.net/publication/300421181_Data_Glove_Internet_of_Things_IoT_Based_Smart_Wearable_Gadget)
- Ansari, M. F., Kharb, R. K., Luthra, S., Shimmi, S. L., & Chatterji, S. (2013). Analysis of barriers to implement solar power installations in India using interpretive structural modeling technique. *Renewable and sustainable energy reviews*, 27, 163-174. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.002>
- Antony, J., Kaul, A., Bhat, S., Sony, M., Kaul, V., Zulfiqar, M., & McDermott, O. (2024). Critical failure factors for Quality 4.0: an exploratory qualitative study. *International*

- Journal of Quality & Reliability Management*, 41(4), 1044-1062.  
<https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2023-0240>
- Antony, J., McDermott, O., & Sony, M. (2022). Quality 4.0 conceptualisation and theoretical understanding: a global exploratory qualitative study. *The TQM Journal*, 34(5), 1169-1188. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2021-0215>
- Antony, J., Sony, M., McDermott, O., Jayaraman, R., & Flynn, D. (2023). An exploration of organizational readiness factors for Quality 4.0: an intercontinental study and future research directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(2), 582-606. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-10-2021-0357>
- Bahrami, M., Hashemzadeh, G., Shahmansouri, A., & Fathi Hafshejani, K. (2023). Analyzing the components influencing the assessment of Industry 4.0 readiness. *Industrial Management Perspective*, 13(50), 267-298. [in Persian]  
<https://doi.org/10.1080/1408308/jimp.13.2.267>
- Bai, C., & Sarkis, J. (2020). A supply chain transparency and sustainability technology appraisal model for blockchain technology. *International journal of production research*, 58(7), 2142-2162. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1708989>
- Barathi, G., Murugesan, R., & Murugesan, S. (2025). Analysing the drivers for implementing smart supply chain management in Indian industries by using the analytic hierarchy process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14946-1>
- Bhat, S., Raja, J., Jiju, A., Michael, S., Olivia, M., & Ronald, S. (2022). The genealogy of Quality 4.0. *techrxiv.org*.  
[https://www.researchgate.net/publication/359669418\\_The\\_genealogy\\_of\\_Quality\\_4\\_0](https://www.researchgate.net/publication/359669418_The_genealogy_of_Quality_4_0)
- Broday, E. E. (2022). The evolution of quality: from inspection to quality 4.0. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 14(3), 368-382.  
<https://doi.org/10.1108/IJQSS-09-2021-0121>
- Faheem, M., & Butt, R. A. (2022). Big datasets of optical-wireless cyber-physical systems for optimizing manufacturing services in the internet of things-enabled industry 4.0. *Data in Brief*, 42, 108026. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108026>
- Chen, J. K. (2021). Improved DEMATEL-ISM integration approach for complex systems. *Plos one*, 16(7), e0254694. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254694>
- Garai, A., & Roy, T. K. (2020). Multi-objective optimization of cost-effective and customer-centric closed-loop supply chain management model in T-environment. *Soft Computing*, 24(1), 155-178. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04289-5>
- Ghazanfari, M. J. S. R. M., Jafari, M., & Rouhani, S. (2011). A tool to evaluate the business intelligence of enterprise systems. *Scientia Iranica*, 18(6), 1579-1590.  
<https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.11.011>
- Holmström, J., Holweg, M., Khajavi, S. H., & Partanen, J. (2016). The direct digital manufacturing (r) evolution: definition of a research agenda. *Operations Management Research*, 9, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s12063-016-0106-z>
- Horshad, A., Safari, H., & Ghassami, R. (2023). Development of a smart supply chain management model in the fast-moving consumer goods industry. *Industrial*

- Management Perspective*, 13(4), 108-148. (in Persian).  
<https://doi.org/14.08308/jimp.13.4.108>
- Jacob, D. (2017). *Quality 4.0 Impact and Strategy Handbook*. LNS Research.  
[https://www.sas.com/content/dam/SAS/en\\_us/doc/whitepaper2/quality-4-0-impact-strategy-109087.pdf](https://www.sas.com/content/dam/SAS/en_us/doc/whitepaper2/quality-4-0-impact-strategy-109087.pdf)
- Jamalian, A., Ghadikolaie, A. S., Zarei, M., & Ghasemi, R. (2018). Sustainable supplier selection by way of managing knowledge: a case of the automotive industry. *International Journal of Intelligent Enterprise*, 5(1-2), 125-140.  
<https://doi.org/10.1504/IJIE.2018.091186>
- Joshi, S., Sharma, M., Bartwal, S., Joshi, T., & Prasad, M. (2024). Critical challenges of integrating OPEX strategies with I4. 0 technologies in manufacturing SMEs: A few pieces of evidence from developing economies. *The TQM Journal*, 36(1), 108-138.  
<https://doi.org/10.1108/TQM-08-2022-0245>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Ghadge, A., & Raut, R. (2020). A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMEs- A review and empirical investigation. *International journal of production economics*, 229, 107853. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107853>
- Kaufmann, L., Carter, C. R., & Rauer, J. (2016). The coevolution of relationship dominant logic and supply risk mitigation strategies. *Journal of Business Logistics*, 37(2), 87-106. <https://doi.org/10.1111/jbl.12126>
- Khodoumi, M., Seif, M., & Sahebi, H. (2022). Identifying and determining the interrelationships of influencing factors on just-in-time production in the supply chain using DMATEL and ISM methods (Case study: Iran Khodro Binalood Factory). *Production and Operations Management*, 12(3), 65-91. (in Persian).  
<https://doi.org/10.22108/JPOM.2022.127907.1355>
- Kouhizadeh, M., Zhu, Q., & Sarkis, J. (2020). Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice. *Production Planning & Control*, 31(11-12), 950-966. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1695925>
- Lin, K. M., & Lin, C. W. (2008, October). Cognition map of experiential marketing strategy for hot spring hotels in Taiwan using the DEMATEL method. In *2008 Fourth International Conference on Natural Computation* (Vol. 1, pp. 438-442).  
<https://doi.org/10.1109/ICNC.2008.472>
- Liu, H. C., Liu, R., Gu, X., & Yang, M. (2023). From total quality management to Quality 4.0: A systematic literature review and future research agenda. *Frontiers of Engineering Management*, 10(2), 191-205. <https://doi.org/10.1007/s42524-022-0243-z>
- Mandal, A., & Deshmukh, S. G. (1994). Vendor selection using interpretive structural modelling (ISM). *International journal of operations & production management*, 14(6), 52-59. <https://doi.org/10.1108/01443579410062086>
- Mehri Namkavarani, O., Kazemi, H., Rezaei, F., & Ehtesham Rathi, R. (2023). Identifying and ranking enablers in smart supply chain. *Development and Transformation Management*, 15(53), 173-180. (in Persian).  
<https://doi.org/10.22094/jdem.2023.705875>  
[https://journals.iau.ir/article\\_705875.html?lang=en](https://journals.iau.ir/article_705875.html?lang=en)

- Mentes, A., Akyildiz, H., Yetkin, M., & Turkoglu, N. (2015). A FSA based fuzzy DEMATEL approach for risk assessment of cargo ships at coasts and open seas of Turkey. *Safety science*, 79, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.05.004>
- Mohammadi, T., Sajjadi, S. M., Najafi, S. E., & Taghizadeh Yazdi, M. R. (2022). Optimization of smart supply chain under vendor-managed inventory policy with an IoT-based technology selection approach. *Industrial Management*, 14(3), 458–483. (in Persian). <https://doi.org/10.22059/IMJ.2022.343552.1007948>
- Mohebbi, H. and Amiri, Y. (2021). Structural Leveling of strategic objectives in Iran Alloy Steel Company. *Journal of Strategic Management Studies*, 12(45), 205-224. (in Persian). [https://www.smsjournal.ir/article\\_106647.html](https://www.smsjournal.ir/article_106647.html)  
DOI: 20.1001.1.22286853.1400.12.45.11.5
- Movahed, A. B., Movahed, A. B., & Nozari, H. (2024). Opportunities and challenges of smart supply chain in Industry 5.0. *Information Logistics for Organizational Empowerment and Effective Supply Chain Management*, 108-138. <https://www.irma-international.org/viewtitle/334824/?isxn=9798369301593>
- Namifard Tehran, F. (2025). Blockchain technology model in the management accounting unit of manufacturing companies. *Strategic Management Accounting*, 1(1), 107-138. [in Persian]  
<https://doi.org/10.22034/smajournal.2025.513561.1004>
- Pasi, B. N., Mahajan, S. K., & Rane, S. B. (2020). Smart supply chain management: a perspective of industry 4.0. *Supply Chain Management*, 29(5), 3016-3030. [https://www.researchgate.net/publication/341281172\\_Smart\\_Supply\\_Chain\\_Management\\_A\\_Perspective\\_of\\_Industry\\_40](https://www.researchgate.net/publication/341281172_Smart_Supply_Chain_Management_A_Perspective_of_Industry_40)
- Rahchamani, S. M., Heydariyeh, S. A., & Zargar, S. M. (2022). Designing a model for smart service supply chains using a data-driven approach. *Journal of Industrial Management Perspective*, 12(2), 89–111. (in Persian). <https://doi.org/10.52547/JIMP.12.2.89>
- Rahimi, F., Baghalinejad Shoushtari, M. H., & Naddaf, M. (2020). Designing a business intelligence model using a data-driven approach. *Intelligent Business Management Studies*, 9(34), 247–272. (in Persian). <https://doi.org/10.22054/IMS.2020.53545.1760>
- Roy Ghatak, R., & Garza-Reyes, J. A. (2024). Investigating the barriers to Quality 4.0 adoption in the Indian manufacturing sector: insights and implications for industry and policy-making. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 41(6), 1623-1656. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2023-0277>
- Sadeghi Moghadam, M. R., Sadeghpour Firoozabad, A., & Ghasemian Sahebi, I. (2023). *Evaluation of barriers to implementing Quality 4.0 in the City Book Institute using the Bayesian Best-Worst Method*. *Journal of New Research in Decision Making*, 8(3), 1-22. (in Persian). [https://journal.saim.ir/article\\_708770.html](https://journal.saim.ir/article_708770.html)
- Sader, S., Husti, I., & Daroczi, M. (2022). A review of quality 4.0: Definitions, features, technologies, applications, and challenges. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(9-10), 1164-1182. <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1944082>
- Sony, M., Antony, J., Douglas, J. A., & McDermott, O. (2021). Motivations, barriers and readiness factors for Quality 4.0 implementation: an exploratory study. *The TQM Journal*, 33(6), 1502-1515. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2020-0272>

- Sotudeh, R., Haghparast, A. and Hirad, A. (2025). Management Accounting and Resilience Economics Model for Sustainable Development of Manufacturing Companies. *Strategic Management Accounting*, 1(1), 40-64. [in Persian]  
<https://doi.org/10.22034/smajournal.2025.511901.1003>
- Sotudeh, R. and Abasyan, R. (2024). Explaining the accounting model of strategic management to reduce the costs of manufacturing companies in the country. *Modern Research in Performance Evaluation*, 2(4), 253-262. [in Persian]  
<https://doi.org/10.22105/mrpe.2024.450062.1093>
- Tadić, D., Kovačević, A., Stanisavljev, S., & Kavalić, M. (2021). Quality challenges 4.0: A review of literature and business practice. *Ekonomski izazovi*, 10(20), 17-41.  
<https://doi.org/10.5937/EkoIzazov2120017T>
- Talayi, H., Ziaeyan, M., & Malekinejad, P. (2022). Designing a deployment and implementation model for Quality 4.0 using an integrated approach of Interpretive Structural Modeling (ISM) and Structural Equation Modeling (SEM). *Engineering and Quality Management*, 12(1), 51-68. (in Persian).  
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23221305.1401.12.1.4.4>  
[https://www.pqprc.ir/article\\_164188.html?lang=en](https://www.pqprc.ir/article_164188.html?lang=en)
- Tsai, W. H., & Chou, W. C. (2009). Selecting management systems for sustainable development in SMEs: A novel hybrid model based on DEMATEL, ANP, and ZOGP. *Expert systems with applications*, 36(2), 1444-1458.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.11.058>
- Tzeng, G. H., & Huang, C. Y. (2012). Combined DEMATEL technique with hybrid MCDM methods for creating the aspired intelligent global manufacturing & logistics systems. *Annals of Operations Research*, 197, 159-190.  
<https://doi.org/10.1007/s10479-010-0829-4>
- Yan, J., Xin, S., Liu, Q., Xu, W., Yang, L., Fan, L., ... & Wang, Q. (2014). Intelligent supply chain integration and management based on cloud of things. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 10(3), 624839. <https://doi.org/10.1155/2014/624839>
- Yadav, S., Luthra, S., & Garg, D. (2022). Internet of things (IoT) based coordination system in Agri-food supply chain: development of an efficient framework using DEMATEL-ISM. *Operations management research*, 15(1), 1-27. <https://doi.org/10.1007/s12063-020-00164-x>
- Yin, S. H., Wang, C. C., Teng, L. Y., & Hsing, Y. M. (2012). Application of DEMATEL, ISM, and ANP for key success factor (KSF) complexity analysis in R&D alliance. *Scientific Research and Essays*, 7(19), 1872-1890.  
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=a4f3ad86f2a548b9cb165083a65a87eaa17e0378>
- Zhang, G., Yang, Y., & Yang, G. (2023). Smart supply chain management in Industry 4.0: the review, research agenda and strategies in North America. *Annals of operations research*, 322(2), 1075-1117. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04689-1>
- Zarei, H., Rasti-Barzoki, M., & Moon, I. (2020). A mechanism design approach to a buyer's optimal auditing policy to induce responsible sourcing in a supply chain. *Journal of environmental management*, 254, 109721.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109721>