Research in Production and Operations Management
University of Isfahan E-ISSN: 2981-0329
Vol. 17, Issue 1, No. 44, 2026
DOI: 10.22108/pom.2025.145805.1625

(Research paper)

Identification, localization, and Causal Modeling of Barriers to the Adoption and Implementation of Industry 4.0 in Steel Companies

Reza Soleymani-Damaneh*
Department of Management, Faculty of Administrative Sciences and Economics, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran, r.soleymani@vru.ac.ir
Leila Ghoroghchian
Department of Management, Faculty of Administrative Sciences and Economics, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran, l.ghoroghchian@gmail.com

Purpose: The primary purpose of this study is to identify, localize, and analyze the key barriers hindering the adoption and implementation of Industry 4.0 technologies in the Iranian steel industry. Despite global momentum toward digital transformation, emerging economies face various challenges that impede the transition to smart manufacturing. Given the strategic importance of the steel industry for national development, this paper seeks to bridge the knowledge gap by developing a contextualized model of Industry 4.0 barriers tailored to Iran's socioeconomic and technological environment. The research also aims to provide managers and policymakers with actionable insights to prioritize barriers, understand their causal interactions, and design strategies to overcome the most influential impediments.

Design/methodology/approach: This study adopts an applied, exploratory, and descriptive research design. The methodological framework combines the Fuzzy Delphi Method and the Fuzzy DEMATEL technique in two stages. First, an extensive systematic literature review was conducted, yielding 53 potential Industry 4.0 barriers. Through screening and expert evaluation, a refined list of 15 barriers was selected for assessment. Using Fuzzy Delphi with linguistic variables, input from 14 steel industry experts was collected to validate and localize the barriers. Barriers not meeting the threshold value were eliminated, resulting in a final approved set of 12 barriers. In the second stage, Fuzzy DEMATEL was employed to map the causal relationships among the barriers. Pairwise comparisons provided by experts were transformed into normalized matrices, defuzzified using CFCS, and analyzed to determine influence, dependence, and causal effects.

* Corresponding author, 0000-0001-6657-9172 2981-0329 / © University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Findings: The findings show that the Iranian steel sector faces a complex, interrelated set of challenges in implementing Industry 4.0. Fuzzy Delphi results indicate that three barriers—resistance to change, intellectual property issues, and sanction-related constraints—were not validated by experts. Fuzzy DEMATEL analysis identifies economic–financial constraints, technological limitations, and managerial barriers as the most influential root causes. High initial investment costs, outdated technological infrastructure, low technological maturity, and weak managerial commitment exert strong causal effects across the entire barrier network. Conversely, organizational misalignment, human resource skill gaps, lack of supply chain collaboration, and insufficient governmental support are dependent barriers heavily influenced by the root causes. The causal diagram suggests that improvements in managerial leadership, strategic planning, investment capacity, and technological readiness would produce positive effects across organizations and supply chains, thereby accelerating Industry 4.0 adoption.

Research limitations/implications: This study is limited by its reliance on expert judgment within a single national context, which may constrain generalizability to other countries or industries. Additionally, as Industry 4.0 technologies evolve rapidly, some barriers may change over time or be replaced by new challenges. Future research could extend this work through longitudinal analyses as digital transformation progresses and by applying the model to other industrial sectors for comparative insights. Despite these limitations, the study offers a robust methodological framework and a localized understanding of Industry 4.0 barriers in emerging economies.

Practical implications: The study provides actionable insights for steel industry managers, executives, and policymakers by identifying the most critical leverage points for successful digital transformation. The results stress that overcoming economic-financial and technological barriers—through investment in digital infrastructure, upgrading legacy systems, and strengthening R&D capabilities—is essential to enable Industry 4.0 adoption. Managerial implications include the need to reinforce strategic digital planning, develop clear roadmaps, enhance leadership commitment, and cultivate a digital culture within organizations. The findings also recommend improving collaboration across supply chain partners, expanding employee training programs, and designing targeted governmental incentives. Addressing these areas can reduce risks, boost efficiency, and support long-term transformation.

Social implication: This research highlights the societal importance of accelerating digital transformation in the steel industry. Industry 4.0 can enhance resource efficiency, reduce environmental impact, improve workplace safety, and raise employees' quality of life by minimizing hazardous manual tasks. From a broader perspective, successful Industry 4.0 implementation can strengthen national industrial competitiveness, advance sustainable development goals, and stimulate innovation ecosystems. The study's insights can guide governmental institutions in shaping supportive regulatory frameworks, standardization policies, and investment incentives that facilitate responsible and inclusive digital transformation within the steel industry.

Originality/value: This paper offers one of the first comprehensive, contextualized analyses of Industry 4.0 barriers in the Iranian steel industry using a hybrid Fuzzy Delphi–Fuzzy DEMATEL approach. Its originality lies in developing a localized set of barriers validated by domain experts and in mapping complex causal relationships among barriers using fuzzy logic. The study provides substantial value to researchers investigating digital transformation barriers and to practitioners seeking evidence-based strategies to accelerate Industry 4.0 adoption in steel manufacturing.

Keywords: Industry 4.0, Steel industry, Fuzzy DEMATEL, Fuzzy Delphi

پژوهش در مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۷، شماره ۱، پیاپی ۴۴، ۱۴۰۵
دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۸ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۲ ص ۲۵-۵۰
DOI: 10.22108/pom.2025.145805.1625

(مقالهٔ پژوهشی)

شناسایی، بومی‌سازی و مدل‌سازی علّی موانع پذیرش و اجرای صنعت ۴,۰ در شرکت‌های فولادی

رضا سلیمانی دامنه[1*]؛ لیلا قرقچیان[2]

۱- استادیار گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران، r.soleymani@vru.ac.ir
۲- کارشناسی ارشد گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران، l.ghoroghchian96@gmail.com

چکیده: ظهور انقلاب صنعتی چهارم، فناوری‌های مختلفی را به ارمغان آورده است که به رشد سازمان‌ها کمک می‌کنند. تحول دیجیتال شرکت‌ها، که در حال حاضر ازطریق ابتکارات صنعت ۴,۰ در حال توسعه است، نویدبخش انقلابی در سیستم‌های آنها در زمینهٔ کاهش هزینه‌ها، بهبود بهره‌وری و گسترش فرصت‌های تجاری است. پیاده‌سازی فناوری‌های ۴,۰ در صنعت فولاد، بهبود درخور توجهی را در کل زنجیرهٔ ارزش از تولید، تأمین، فروش و خدمات ایجاد می‌کند؛ اما صنعت ۴,۰ برای کشورهای در حال توسعه نسبتاً جدید است و بنابراین به دانش عمیق و درک روشنی دربارهٔ چالش‌ها و موانع پذیرش و پیاده‌سازی آن نیاز دارد. در پژوهش حاضر با هدف درک بهتر موانع صنعت ۴,۰، مدل علّی آنها در صنعت فولاد شناسایی و طراحی شد. در ابتدا با بررسی پیشینهٔ پژوهش، ۱۵ مانع شناسایی شد. در مرحلهٔ بعد با استفاده از روش دلفی فازی، بومی‌سازی آنها در صنعت فولاد انجام و درنهایت ۱۲ مانع تأیید شد؛ سپس با استفاده از روش دیمتل فازی درجهٔ تأثیرگذاری، تأثیرپذیری و تعامل موانع به دست آمد. همچنین موانع علت و معلول مشخص و شبکهٔ علّی روابط بین آنها ترسیم شد. نتایج نشان داد که موانع مدیریتی، فناوری و مالی – اقتصادی، مهم‌ترین موانع اجرای صنعت ۴,۰ در شرکت‌های فولادی‌اند و باید بیشتر از موانع دیگر به آنها توجه کرد. یافته‌های پژوهش برای مدیران و سیاست‌گذاران شرکت‌های فولادی ارزشمند است که تمایل به حذف موانع کلیدی اجرای موفقیت‌آمیز صنعت ۴,۰ دارند و به آنها کمک می‌کند تا استراتژی‌هایی را برای مقابله با این موانع تدوین کنند.

واژه‌های کلیدی: صنعت ۴,۰، صنعت فولاد، دیمتل فازی، دلفی فازی

* نویسنده مسئول، 0000-0001-6657-9172

2981-0329 / © University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

۱- مقدمه

امروزه تولید تحت تأثیر رقابت جهانی، به انطباق سریع با نیازهایی نیاز دارد که دائم در حال تغییرند. تولید مدرن بر پایهٔ سه انقلاب صنعتی شکل گرفته است: انقلاب اول که عملیات کارخانه‌های تولیدی را ساده‌سازی کرد، انقلاب دوم که برق را به صنعت آورد و انقلاب سوم که خودکارسازی را رواج داد (Kraft Helm & Dowling, 2021). اکنون چهارمین انقلاب صنعتی (معروف به صنعت ۴,۰)، مسیرهای جدید تولید مانند گسترش افقی فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات (ICT)، ماشین‌های یادگیری، ربات‌های خودران و دیجیتالی‌شدن کامل زنجیرهٔ تأمین در نظر گرفته می‌شود. درواقع، صنعت ۴,۰ مسیرهای جدیدی را از پیشرفت و نوآوری‌های فناورانه گشوده است و پایان پیشرفت فناوری نیست. این انقلاب چهارم، مجموعه‌ای از کارخانه‌های هوشمند، محاسبات ابری، اینترنت خدمات، سیستم‌های سایبری-فیزیکی و اینترنت اشیا نیز توصیف می‌شود (Zunino et al., 2020). صنعت ۴,۰ با هدف ایجاد کارخانه‌های هوشمندی آغاز شد که دارای طیف گسترده‌ای از فناوری‌های دیجیتال مانند تجزیه و تحلیل کلان داده، اینترنت اشیا، تولید افزایشی، واقعیت مجازی و سیستم‌های رباتیک‌اند. مفهوم کارخانه‌های هوشمند در سال ۲۰۱۱ و با آغاز پروژهٔ تولید دیجیتال دولت آلمان، در نمایشگاه تجاری هانوور مطرح شد. این انقلاب جدید، دولت‌ها و صنایع را در سراسر جهان ترغیب کرد تا برنامه‌های استراتژیک خود را برای توسعهٔ فناوری‌های صنعت ۴,۰ به‌منظور حمایت از رشد بازار و بهره‌گیری از موج جدید انقلاب صنعتی آغاز کنند (Dalenogare et al., 2018). شرکت‌های دارای فناوری‌های هوشمند، دستاوردهای بهره‌وری و هزینه‌های تولید کمتر، کیفیت محصول بالاتر و رضایت بیشتر مشتری از محصولات شخصی‌سازی‌شده و کاهش مصرف مواد خام و انرژی را گزارش می‌دهند (Ajmera & Jain, 2019)؛ بنابراین صنعت ۴,۰ نه‌تنها یک دورهٔ جدید تولید است، برجسته‌ترین راه‌حل نیز به شمار می‌رود که برای دستیابی به پایداری ظهور کرده است.

اما با وجود افزایش علاقهٔ آکادمیک و مدیریتی به صنعت ۴,۰، پژوهش‌های بیشتری نیاز است تا امکان پذیرش گستردهٔ فناوری‌های آن در زمینه‌های مختلف فراهم شود؛ زیرا پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴,۰ به‌دلیل موانع پیش روی شرکت‌های تولیدی دشوار است (Basl, 2017). پذیرش صنعت ۴,۰ به صنایع تولیدی کمک می‌کند تا فرایند تولید را دیجیتالی کنند که به سهم خود به افزایش خروجی تولید کمک می‌کند. با این حال، اجرای صنعت ۴,۰ به‌دلیل وجود چالش‌های مختلف چندان آسان نیست. در همین راستا در این پژوهش، به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت اجرای فناوری‌های صنعت ۴,۰ در شرکت‌های تولید فولاد، شناسایی، بومی‌سازی و تحلیل روابط علّی موانع آن با استفاده از دلفی فازی و دیمتل فازی انجام می‌شود. دلفی ضمن بررسی پیچیدگی‌های اطلاعات و جلوگیری از تحریف نظرات متخصصان، اجماع قوی را بین گروهی از متخصصان ایجاد می‌کند و باعث غربالگری مبتنی بر واقعیت‌های میدانی می‌شود (Tuni et al., 2023). دیمتل، موانع را در یک رابطهٔ علت و معلولی فهم‌پذیر ساختار می‌دهد و یک تصویر ساختاریافته و مفهوم را از چگونگی تعامل موانع در صنعت فولاد ارائه می‌کند که از رتبه‌بندی ساده فراتر است. تکنیک‌های فازی، ابهامات و عدم قطعیت‌های ذاتی را در داده‌ها و نظرات خبرگان در نظر می‌گیرد و تضمین می‌کند که قضاوت‌های ذهنی انسان با درجه‌ای از اطمینان در نظر گرفته شوند و نتایج از استحکام بیشتری برخوردار باشند (Ibrahim & Kumar, 2024).

صنعت فولاد، هستهٔ رشد صنعتی است و در اقتصاد ایران، یکی از صنایع استراتژیک برشمرده می‌شود. فولاد محصولی با قابلیت بازیافت بالاست که یکی از مهم‌ترین منابع تولید در زمینه‌های مختلف صنعتی، سازه‌ای و ساختمانی است. تحول دیجیتال و انقلاب صنعتی چهارم در تولید فولاد، نه‌تنها کیفیت، انعطاف‌پذیری و بهره‌وری را افزایش می‌دهد، قابلیت مشاهدهٔ داده‌های عملیاتی را نیز در زمان واقعی تضمین می‌کند و بینشی را برای تصمیم گیری بهتر و سریع‌تر در طول زنجیرهٔ ارزش فراهم می‌کند (Herzog et al., 2017). ازجمله کاربردهای فناوری‌های صنعت ۴,۰ در شرکت‌های فولادی، تجزیه و تحلیل کلان داده‌ها، محاسبات ابری و مدیریت پایگاه داده، ارتقای اتوماسیون و تولید به کمک ربات‌ها، شبیه‌سازی خط تولید، سیستم‌های تولید خودران، سیستم‌های سایبر فیزیکی، شبکهٔ تأمین هوشمند، ادغام عمودی / افقی در کارخانه‌های هوشمند، مستندسازی با واقعیت افزوده، لجستیک و سیستم‌های حمل و نقل خودران و هوشمند، نت پیش‌بینانه و از راه دور، با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین، داده‌کاوی و دیجیتالی‌شدن مدیریت دانش است (Branca et al., 2020). پژوهش حاضر، یکی از اولین تلاش‌های جامع و سیستماتیک برای شناسایی و بومی‌سازی موانع خاص صنعت ۴,۰ در شرکت‌های فولادی ایران است. با توجه به چالش‌های منحصربه‌فرد این صنعت در کشور، یافته‌های این پژوهش به شرکت‌های فولادی برای تدوین دستورالعمل‌های لازم برای رفع موانع پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ و به مدیران بالادستی برای تهیه و تنظیم سیاست‌های بهبود وضعیت فعلی فناوری صنایع فولادی، کمک می‌کند. همچنین به دیگر بخش‌های تولیدی کمک می‌کند تا اهمیت تحلیل موانع صنعت ۴,۰ را قبل اجرای آن، درک کنند.

با وجود منافع تحول‌آفرین صنعت ۴,۰ در کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری و ارتقای زنجیرهٔ ارزش در صنایع تولیدی، پذیرش و پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز آن، به‌ویژه در اقتصادهای در حال توسعه، همچنان با چالش‌های دشواری روبه‌رو است؛ در حالی که مطالعات پیشین، موانع عمومی را در بخش‌های تولیدی مختلف مانند صنایع غذایی، خودرو، سلامت و لجستیک بررسی کرده‌اند، دانش عمیق و زمینه‌ای دربارهٔ موانع خاص صنعت فولاد کم است. از طرف دیگر، تنها شناسایی موانع کافی نیست. بیشتر مطالعات موجود در شناسایی روابط پیچیدهٔ علّی و معلولی میان موانعی ناتوان بوده‌اند که برای تصمیم‌گیری استراتژیک ضروری است؛ بنابراین ضرورت این پژوهش در مدل‌سازی و شناسایی بومی موانع پذیرش و اجرای صنعت ۴,۰، در شرکت‌های فولادی ایران نهفته است. در پژوهش از ترکیب روش‌های دلفی فازی و دیمتل فازی استفاده شد تا ابهام و عدم قطعیت را در نظرات خبرگان مدیریت و یک شبکهٔ علّی ساختاریافته را ترسیم کند و نشان دهد کدام موانع ریشه‌ای (محرک) و کدام معلول (وابسته) هستند. این تحلیل ساختاریافته، برای مدیران و سیاست‌گذاران صنعت فولاد ایران بسیار ارزشمند است؛ زیرا با تمرکز منابع بر موانع علّی تأثیرگذار، امکان تدوین استراتژی‌های هدفمند و اطمینان از موفقیت اجرای صنعت ۴,۰ فراهم می‌شود.

۲- پیشینهٔ پژوهش

میش را و همکاران[۱] (۲۰۲۳) موانع به‌کارگیری فناوری‌های صنعت ۴,۰ را برای کربن‌زدایی در صنعت فولاد هند تجزیه و تحلیل کردند. برای اولویت‌بندی، تعیین روابط متقابل و توسعهٔ شاخص شدت موانع، از روش بهترین – بدترین و تئوری گراف و رویکرد ماتریسی (GTMA[۲]) استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که به ترتیب موانع مرتبط با فناوری، موانع سازمانی و موانع محیطی مهم‌ترین‌اند. شابور و همکاران[۳] (۲۰۲۳) وضعیت فعلی موانع اجرای صنعت

۴,۰ را در بخش فولاد بنگلادش بررسی کردند. آنها با نظرخواهی از ۹ خبره (۴ نفر از صنعت و ۵ نفر از دانشگاه) نه مانع را با استفاده از روش بهترین–بدترین رتبه‌بندی کردند. نتایج نشان داد که نیاز به سرمایه‌گذاری زیاد، مهم‌ترین و حمایت‌نکردن دولت، کم‌اهمیت‌ترین موانع‌اند. هاریوم و همکاران[۴] (۲۰۲۴) مشکلات مرتبط با ادغام فناوری‌های صنعت ۴,۰ را در بخش تولید آهن و فولاد بررسی کردند. ۲۷ مانع شناسایی و براساس شباهت و کاربردشان به ۸ دسته طبقه‌بندی شدند؛ سپس با استفاده از روش دیمتل، روابط علّی و اولویت‌بندی آنها انجام شد. فقدان استانداردهای عملیاتی و امنیتی، قدرت مالی ناکافی، زیرساخت‌های ناکافی و رقابت محدود، برجسته‌ترین موانع شناسایی شدند. سنا و همکاران[۵] (۲۰۲۲) ۱۴ مانع را برای پذیرش فناوری‌های ۴,۰ در صنایع تولیدی پرتغال شناسایی و طبقه‌بندی آنها را براساس معیارهای چارچوب TOE[۶] (فناوری – سازمانی – محیطی) انجام دادند؛ سپس سطح‌بندی و وابستگی متقابل موانع را با روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری و تحلیل میک‌مک را با نظرخواهی از متخصصان صنعت ۴,۰ انجام دادند. نتایج نشان داد که فقدان استانداردسازی و راه‌حل‌های آماده به‌عنوان موانع ریشه ای و فرآیندهای سازمانی، مهارت‌های دیجیتالی نیروی کار و سطوح بالای سرمایه‌گذاری، کمترین وابستگی متقابل را در پذیرش فناوری‌های ۴,۰ دارند.

پورمهدی و همکاران[۷] (۲۰۲۲) به شناسایی، تحلیل روابط و رتبه‌بندی چالش‌های یکپارچه‌سازی کارآمد ۴,۰ و سیستم لجستیک پایدار معکوس فولاد با روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری و فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی روی آوردند. کمبود متخصص، درک‌نکردن واضح مفاهیم، برنامه‌های آموزشی و سیاست‌ها و حمایت‌های دولتی، بحرانی ترین چالش‌ها شناسایی شدند. کوردیرو و همکاران[۸] (۲۰۲۴) تأثیر موانع تجربه‌شدهٔ ۹۹ شرکت برزیلی را در پذیرش صنعت ۴,۰، با تحلیل عاملی و رگرسیون خطی بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که سه مانع زیرساخت فناوری، محدودیت مالی و درک‌نکردن مزایای آن، بیشترین تأثیر را بر پذیرش صنعت ۴,۰ داشته‌اند. محمود و همکاران[۹] (۲۰۲۱) شناسایی، رتبه‌بندی و ایجاد تعامل بین ۲۰ مانع روانی پذیرش فناوری‌های صنعت ۴,۰ را در صنایع تولیدی پاکستان، با استفاده از تکنیک‌های آماری وAHP-TOPSIS انجام دادند. یافته‌ها نشان داد که ترس از دست دادن شغل، درز اطلاعات / خطر نقض امنیت و آموزش‌نداشتن کارکنان، به ترتیب برجسته‌ترین موانع روانی در اقتصادهای در حال توسعه‌اند. استنتافت و همکاران[۱۰] (۲۰۲۰) با یک رویکرد آمیخته، محرک‌ها و موانع صنعت ۴,۰ را در میان تولیدکنندگان کوچک و متوسط دانمارکی بررسی کردند. نتایج تحلیل پرسش‌نامه‌های ۱۹۰ تولیدکننده نشان داد که درک‌نکردن مدیران، مهم‌ترین مانع است. جدول (۱)، خلاصه‌ای را از پیشینهٔ پژوهش نشان می‌دهد.

جدول ۱- پیشینهٔ پژوهش

Table 1- Research Background

نویسندگان	موضوع	جامعه	تکنیک	موانع	خلاصه پژوهش
راج و همکاران[۱۱] (۲۰۱۹)	تحلیل روابط علّی موانع پذیرش صنعت ۴,۰	صنایع تولیدی اقتصادهای در حال توسعه	دیمتل خاکستری	فقدان استراتژی دیجیتال، سرمایه گذاری بالا، نبود شفافیت، یکپارچه سازی زنجیرهٔ ارزش، نقص امنیت، سطح پایین بلوغ فناوری، کمبود زیرساخت، فقدان مهارت دیجیتال، کیفیت داده‌ها، مقاومت در برابر تغییر، کمبود منابع	موانع پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴,۰ در بخش تولیدی اقتصادهای در حال توسعه شناسایی و تحلیل شدند. فقدان استراتژی دیجیتال و کمبود منابع، برجسته‌ترین موانع شناسایی شدند.

نویسندگان	موضوع	جامعه	تکنیک	موانع	خلاصه پژوهش
لاهان و همکاران[۱۲] (۲۰۲۳)	کشف موانع حیاتی توانمندسازی زنجیرهٔ تأمین پایدار در پذیرش صنعت ۴,۰	صنعت مواد غذایی	فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی فیثاغورث (PF-AHP) و ارزیابی فازی فیثاغورث براساس فاصله از میانگین راه‌حل (PF-EDAS)	موانع سازمان (فقدان زیرساخت، آمادگی‌نداشتن سازمانی، سرمایه گذاری‌نکردن، دانش ناکافی از فناوری). موانع استراتژیک (پشتیبانی و تعهد ضعیف مدیریت ارشد، نقشهٔ راه استراتژیک نامشخص ۴,۰، ناهماهنگی اعضای زنجیرهٔ تأمین). موانع نظارتی (فقدان مقررات قانونی، فقدان حمایت و مقررات دولتی، فقدان استانداردهای سیستماتیک، وجودنداشتن پروتکل ارتباطی یکپارچه). موانع اقتصادی (سرمایه‌گذاری اولیه و هزینهٔ عملیاتی بالا، فقدان کمک‌های مالی). موانع اجتماعی (مشارکت‌نکردن و انگیزهٔ کارکنان، آموزش‌ندادن در جهت آگاهی از منافع، تنوع منطقه‌ای و سطح تحصیلات). موانع تحول (دانش و تخصص ناکافی صنعت ۴,۰ در میان ذی‌نفعان، حریم خصوصی داده‌ها، مسائل یکپارچه‌سازی)	با تمرکز بر زنجیرهٔ تأمین پایدار در صنعت مواد غذایی، موانع حیاتی را کشف و برای آنها راه‌حل ارائه دادند. یافته‌ها نشان داد که درک ضعیف مدیریت ارشد از دیجیتالی‌شدن و تمایل‌نداشتن به پذیرش زنجیرهٔ تأمین پایدار مواد غذایی مبتنی بر صنعت ۴,۰، مهم‌ترین موانع‌اند.
کومار و همکاران[۱۳] (۲۰۲۱)	سطح‌بندی موانع پذیرش صنعت ۴,۰	سازمان‌های تولیدی	ISM و تحلیل MICMAC	امنیت سایبری، عدم اطمینان از مزایای اقتصادی، فقدان مهارت، سرمایه‌گذاری بالا، مدیریت داده‌ها، فقدان استاندارد، زیرساخت نامناسب	هدف سطح‌بندی و تعیین روابط وابستگی متقابل موانع بود. نتایج نشان داد که برای توسعهٔ مناسب صنعت ۴,۰، دولت، دانشگاه‌ها و سازمان‌های تحقیقاتی، باید زیرساخت‌های دیجیتالی لازم را برای صنعت فراهم کنند.
هوروات و سابو[۱۴] (۲۰۱۹)	بررسی شرایط علّی، زمینه‌ای و موانع صنعت ۴,۰	شرکت‌های کوچک و متوسط (SMEs)و شرکت های چندملیتی (MNEs)	نظریهٔ داده‌بنیاد	منابع انسانی و شرایط کاری، کمبود منابع مالی، امنیت سایبری، مشکلات استانداردسازی، ادغام فناوری، ناهماهنگی، فقدان مهارت‌ها، مقاومت سازمانی	تفسیر شرکت‌ها را از مفهوم صنعت ۴,۰ و نیروهای محرک و موانع اصلی معرفی فناوری‌های جدید دیجیتال بررسی کردند. مشخص شد که تأمین‌کنندگان عمدتاً بر جنبهٔ فناوری و کاربران عمدتاً بر جنبه‌های مدیریتی صنعت ۴,۰ تمرکز دارند.
مزروعی و خیرخواه[۱۵] (۲۰۲۳)	طراحی مدل موانع پیاده‌سازی صنعت نسل ۴ در بخش مراقبت‌های بهداشتی	خبرگان بخش سلامت شهرستان کاشان و استادان دانشگاهی دارای تحقیقات در حوزهٔ سلامت و فناوری های نوین	تحلیل تماتیک و مدل‌سازی ساختاری تفسیری فراگیر فازی	موانع ناشی از تحریم، مالی و اقتصادی، سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، همکاری، رقابتی، مدیریتی، نیروی انسانی	با هدف شناسایی موانع صنعت ۴,۰ و تحلیل روابط فی‌مابین آنها انجام شد. نتایج نشان داد موانع ناشی از تحریم، موانع رقابتی و موانع نیروی انسانی به ترتیب مهم‌ترین موانع‌اند.
کامبله و همکاران[۱۶] (۲۰۱۸)	شناسایی، سطح بندی و تعیین وابستگی موانع پذیرش صنعت ۴,۰	صنایع تولیدی	ISM و MICMAC فازی	اختلالات شغلی، هزینهٔ اجرای بالا، تغییرات سازمانی و فرآیند، نیاز به مهارت‌های پیشرفته، فقدان سیستم‌های مدیریت دانش، نبود درک واضح از	هدف مطالعه، تحلیل موانع بالقوه‌ای است که مانع پذیرش صنعت ۴,۰ از سوی سازمان‌های تولیدی می‌شود. نتیجهٔ سطح‌بندی و محاسبهٔ قدرت

نویسندگان	موضوع	جامعه	تکنیک	موانع	خلاصه پژوهش
				مزایای اینترنت اشیا، فقدان پوشش اینترنتی، مسائل امنیتی، عدم قطعیت قانونی و قراردادی	نفوذ و وابستگی موانع، به متخصصان و سیاست‌گذاران برای درک دقیق فرایند پذیرش صنعت ۴,۰ کمک می‌کند.
وانخده و وینوده[۱۷] (۲۰۲۱)	تحلیل چالش‌های صنعت ۴,۰	شرکت‌های قطعه سازی خودرو	تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ بهترین – بدترین (BWM)	مدیریتی، استراتژی، فناوری، سازمانی و اداری	چالش‌های کلیدی پذیرش صنعت ۴,۰ را در صنعت خودرو شناسایی و رتبه‌بندی کرد. ۳۶ چالش شناسایی و در چهار بعد طبقه‌بندی شد.
کومار و همکاران (۲۰۲۰)	بررسی موانع SCM پایدار در دورهٔ صنعت ۴,۰ و اقتصاد دایره‌ای	شرکت‌های واقع در دهلی هند	یک رویکرد یکپارچه متشکل از AHP و ELECTRE	سرمایه‌گذاری نادرست، قوانین و کنترل ناکافی، استراتژی اشتباه، فقدان نیروی کار ماهر، کمبود بودجه، مدیریت‌نکردن ضایعات، کیفیت ضعیف منابع/زیرساخت، کمبود حمایت دولتی، مقاومت در برابر تغییر، تقاضای ناکافی بازار، عدم حمایت مدیریت، ناآگاهی	ارزیابی معیارها و موانع دستیابی به اهداف پایداری در دورهٔ صنعت ۴,۰ انجام شد. نتایج نشان داد که استراتژی‌های ناکارآمد برای ادغام صنعت ۴,۰، با اقدامات پایداری و کمبود بودجه برای ابتکارات صنعت ۴,۰ موانع اصلی‌اند.
چاوهان و همکاران[۱۸] (۲۰۲۰)	موانع پذیرش صنعت ۴,۰ و پیامدهای عملکرد آن	۱۴۳ شرکت تولیدی	مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM)	موانع بیرونی (وجودنداشتن الگو، سیاست و مقررات دولت، امنیت سایبری، کمبود مهارت، تمایل‌نداشتن شرکای زنجیرهٔ تأمین، ابهام حقوقی و قراردادی، محدودیت‌های تجاری) موانع درونی (مشکل هماهنگی، تمایل‌نداشتن مدیریت ارشد، کمبود مدل‌های جدید کسب و کار، فقدان استراتژی دیجیتال، مقاومت در برابر تغییر، درک‌نکردن مزایای صنعت ۴,۰، چالش ادغام داده‌ها، هزینهٔ اجرا)	چگونگی تأثیر موانع درونی و بیرونی را بر پذیرش صنعت ۴,۰ توسط شرکت‌ها بررسی کرد. هشت فرضیه بر ۱۴۳ شرکت تولیدی با استفاده ازAMOS تست شد. یافته‌ها نشان داد که موانع ذاتی و بیرونی با دیجیتالی‌شدن ارتباط معنادار و منفی دارند.
اوزکان اوزن و همکاران[۱۹] (۲۰۲۰)	موانع مشترک گذار از صنعت ۳ به صنعت ۴ و زنجیرهٔ تأمین دایره‌ای	۵ متخصص با حداقل ۱۰ سال تجربه از صنایع نساجی، الکترونیک، بازیافت، پلاستیک و لجستیک	Fuzzy ANP	فقدان دانش مدیریت داده‌ها، وجودنداشتن امکانات اینترنت اشیا، سرمایه‌گذاری‌های بالا، فقدان دانش، ساختار سازمانی متمرکز، ناآگاهی از مزایای سیستم‌های خودمختار، پشتیبانی ضعیف مدیریت، برنامه‌های آموزشی ناکافی، امنیت داده‌ها، وجودنداشتن مقررات دولتی، نبود تمایل سازمانی و اعتمادنداشتن به تحول صنعت ۴,۰	اولویت‌بندی موانع گذار به صنعت ۴,۰ و زنجیرهٔ تأمین دایره‌ای انجام شد. نتایج مطالعه نشان داد که نبود دانش مدیریت داده‌ها، درک‌نکردن ساختار سازمانی غیرمتمرکز و نیاز به سرمایه‌گذاری زیاد در فناوری‌ها مهم‌ترین موانعی هستند که سازمان‌ها باید در ابتدا با آنها مقابله کنند.
سرکار و شانکار[۲۰] (۲۰۲۱)	تحلیل موانع مرتبط با لجستیک در دوران صنعت ۴,۰	بنادر هند	مدل‌سازی ساختاری تفسیری کل (TISM) و تحلیل (MICMAC)	مشکلات هماهنگی، فقدان تصمیم گیری مبتنی بر داده، انگیزه‌های ناکافی برای کارمندان، عدم آموزش متخصصان، مشکلات لجستیک، تطابق‌نداشتن بین تقاضا و برنامه‌ریزی ظرفیت، فقدان تحقیق توسعه، قوانین غیر حمایتی، زیرساخت ضعیف، بازده پایین سرمایه‌گذاری، فقدان مشارکت	با هدف شناسایی و تحلیل موانع مرتبط با لجستیک بندری در دوران صنعت ۴,۰ برای اقتصادهای نوظهور انجام شد. اکوسیستم سیاستی غیرحمایتی، زیرساخت ضعیف و کمبود تحقیق و توسعه به‌عنوان موانع زیربنایی شناسایی شد.

نویسندگان	موضوع	جامعه	تکنیک	موانع	خلاصه پژوهش
				سهام‌داران، ظرفیت ناکافی و مشکل انباشتگی، نبود تطابق بین فرآیند و استانداردهای عملیات محلی و بین المللی، تکنولوژی نامناسب، اعتمادنداشتن، نارضایتی مشتری	

۳- روش‌شناسی

پژوهش حاضر ازنظر هدف کاربردی، از حیث ماهیت توصیفی و ازنظر گردآوری اطلاعات پیمایشی است. جامعهٔ آماری پژوهش، خبرگان صنعت فولاد بودند که نمونه‌ای متشکل از ۱۴ نفر به‌صورت هدفمند و با استفاده از روش نمونه‌گیری غیر احتمالی و گلوله‌برفی انتخاب شدند. روش گردآوری اطلاعات، به‌صورت کتابخانه‌ای – میدانی با استفاده از اینترنت، مطالعهٔ کتب، مقالات، مصاحبه با افراد خبره و همچنین استفاده از پرسش‌نامهٔ استاندارد در هریک از روش‌های دلفی فازی و دیمتل فازی بود. برای پاسخ‌دهی به پرسش‌های پژوهش (موانع پذیرش و اجرای فناوری‌های صنعت ۴٫۰ در صنعت فولاد کدام‌اند؟ میزان تأثیرگذاری، تأثیرپذیری و قدرت تعامل هر مانع چقدر است؟ مدل روابط علّی میان آنها چگونه است؟) از روش‌های دلفی فازی و دیمتل فازی استفاده شد. پژوهش در سه مرحلهٔ شناسایی موانع، بومی‌سازی آنها در صنعت فولاد و تحلیل روابط علّی میان آنها انجام شد.

دلفی فازی

این روش، ترکیبی از روش دلفی و تئوری مجموعه‌های فازی است که اولین بار ایشیکاوا و همکاران[۲۱] (۱۹۹۳) آن را مطرح کردند. دلفی فازی تصمیم‌گیری را در شرایط عدم اطمینان محیطی آسان می‌کند و باعث صرفه‌جویی در هزینه و زمان می‌شود. در این روش با استفاده از متغیرهای زبانی و اعداد فازی مثلثی مطابق جدول (۲)، نظرات خبرگان جمع‌آوری می‌شود.

جدول ۲- عبارات کلامی روش دلفی فازی

Table2- Linguistic expressions of the fuzzy Delphi method

متغیر زبانی	عدد فازی
خیلی زیاد	(۰/۷۵ ،۱ ،۱)
زیاد	(۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱)
متوسط	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۰/۷۵)
کم	(۰ ،۰/۲۵ ،۰/۵)
خیلی کم	(۰ ،۰ ،۰/۲۵)

اهمیت معیار b با خبرهٔ a به‌صورت $j=\left(x_{ab};y_{ab};z_{ab}\right),a=1,2,3,...,n;b=1,2,3,...,m$ ارزیابی می‌شود؛ سپس وزن معیار b می‌شود:

$$j_b=\left(x_b;y_b;z_b\right) \quad (۱)$$

$$x_b=\min\left(x_{ab}\right),y_b=\left(\prod_1^n y_{ab}\right)^{\frac{1}{n}},z_b=\max\left(z_{ab}\right) \quad (۲)$$

یعنی کمترین حد پایین و بیشترین حد بالای نظرات خبرگان دربارهٔ هر معیار، به ترتیب حد پایین و بالای آن معیار در نظر گرفته می‌شود. حد وسط به‌صورت میانگین هندسی حد وسط نظرات خبرگان محاسبه می‌شود. برای محاسبهٔ مقدار ترکیب محدب (D_b)، معادلات زیر را بوی و همکاران[۲۲] (۲۰۲۰) پیشنهاد دادند:

$$u_b = z_b - \alpha\left(z_b - y_b\right), \forall b = 1,2,3,...,m \quad (۳)$$

$$l_b = x_b - \alpha\left(y_b - x_b\right), \forall b = 1,2,3,...,m \quad (۴)$$

$$D_b = \delta\left[u_b + (1-\delta) l_b\right], \forall b = 1,2,3,...,m \quad (۵)$$

برش α بر مبنای ادراک مثبت یا منفی خبرگان، مقداری بین ۰ تا ۱ می‌گیرد. δ برای توصیف سطح خوش‌بینی تصمیم‌گیرنده استفاده می‌شود. در شرایط عادی برای α و δ مقدار ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود؛ سپس حد آستانه به‌جهت غربال معیارها با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\gamma = \sum_{b=1}^{m}\left(\frac{D_b}{m}\right) \quad (۶)$$

یعنی حد آستانهٔ میانگین D، معیارهای مختلف است. معیارهایی که مقدار D آنها از حد آستانه بیشتر یا مساوی باشد، پذیرفته و مابقی رد می‌شوند.

دیمتل فازی

دیمتل یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ مبتنی بر تئوری گراف است که برای ساختاردهی به عوامل پیچیده در قالب گروه‌های علت و معلولی استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در این روش از نظر خبرگان استفاده می شود و این نظرات در بیشتر مواقع شفاف نیست، پیشنهاد شده است که از روش دیمتل فازی برای رفع ابهام استفاده شود. مراحل این روش به شرح زیر است (Lin & wu, 2008; Wu & Lee, 2007):

گام (۱): تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم فازی: در این مرحله، از خبرگان خواسته می‌شود تا معیارها (ابعاد) را به صورت زوجی و بر حسب میزان تأثیرشان بر یکدیگر، مطابق با جدول (۳) مقایسه کنند.

جدول ۳- مقیاس‌های زبانی برای مقایسات زوج

Table 3- Linguistic scales for pairwise comparisons

عبارات کلامی	مقدار عددی	اعداد فازی مثلثی
بدون تأثیر (NO[۲۳])	۰	(۰ ،۰ ،۰/۲۵)
تأثیر خیلی کم (VL[۲۴])	۱	(۰ ،۰/۲۵ ،۰/۵)
تأثیر کم (L[۲۵])	۲	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۰/۷۵)
تأثیر زیاد (H[۲۶])	۳	(۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱)
تأثیر خیلی زیاد (VH[۲۷])	۴	(۰/۷۵ ،۱ ،۱)

سپس با استفاده از میانگین حسابی ساده، نظر خبرگان تجمیع و ماتریس ارتباط مستقیم تشکیل می‌شود. هریک از درایه‌های ماتریس اعداد فازی مثلثی (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) هستند.

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & \tilde{z}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{z}_{n1} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (۷)$$

z یک ماتریس n×n است و $\tilde{z}_{ij}$ میزان تأثیر معیار i بر j را نشان می‌دهد. عناصر $\tilde{z}_{ii}$ یک عدد فازی مثلثی (0, 0, 0) در نظر گرفته می‌شوند.

گام (۲). نرمال‌سازی ماتریس فازی ارتباط مستقیم: با استفاده از روابط زیر، ماتریس ارتباط مستقیم فازی نرمال‌شده به دست می‌آید.

$$X = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \cdots & \tilde{x}_{nn} \end{bmatrix} \quad (۸)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{r} = \left(\frac{l_{ij}}{r}, \frac{m_{ij}}{r}, \frac{u_{ij}}{r}\right) \quad (۹)$$

که

$$r = \max_{1 \le i \le n} \left(\sum_{j=1}^{n} u_{ij}\right) \quad (۱۰)$$

بنابراین برای نرمال‌سازی هریک از اجزای سه‌گانه، عناصر ماتریس ارتباط مستقیم بر بیشترین مقدار مجموع حدهای بالای سطرها تقسیم می‌شود.

گام (۳). محاسبهٔ ماتریس فازی ارتباط کامل: این ماتریس با استفاده از روابط زیر به دست می‌آید.

$$\tilde{T} = \lim_{k \to +\infty} (X^1 + X^2 + \cdots + X^k) = X(I - X)^{-1} \quad (۱۱)$$

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{} & \tilde{} \\ \tilde{} & & \tilde{} \\ \vdots & \vdots & \ddots \\ \tilde{} & \tilde{} & \end{bmatrix} \quad (۱۲)$$

که هر درایهٔ آن عدد فازی به‌صورت $\left(l_{ij}^{t}\right)$ است و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\left[l_{ij}^{t}\right] = X_{l} \times (I - X_{l})^{-1} \quad (۱۳)$$

$$\left[m_{ij}^{t}\right] = X_{m} \times (I - X_{m})^{-1} \quad (۱۴)$$

$$\left[u_{ij}^{t}\right] = X_{u} \times (I - X_{u})^{-1} \quad (۱۵)$$

I ماتریس همانی است.

گام (۴). فازی‌زدایی مقادیر ماتریس ارتباط کامل: برای فازی‌زدایی از روش CFCS[۲۸] اپریکویچ و زنگ[۲۹] (۲۰۰۳) استفاده شد؛ زیرا این روش مزایای ارائهٔ یک مقدار قطعی[۳۰] با تابع عضویت بزرگ‌تر و تمایز بین دو عدد فازی مثلثی متقارن را با میانگین یکسان دارد (Lin & wu, 2008). مراحل این روش به‌صورت زیر است:

۱. **نرمال‌سازی**:

$$l_{ij}^{n} = \frac{\left(l_{ij}^{t} - \min l_{ij}^{t}\right)}{\Delta_{min}^{max}} \quad (۱۶)$$

$$m_{ij}^{n} = \frac{(m_{ij}^{t} - min\ l_{ij}^{t})}{\Delta_{min}^{max}} \quad (۱۷)$$

$$u_{ij}^{n} = \frac{(u_{ij}^{t} - min\ l_{ij}^{t})}{\Delta_{min}^{max}} \quad (۱۸)$$

به‌طوری که:

$$\Delta_{min}^{max} = \max u_{ij}^{t} - \min l_{ij}^{t} \quad (۱۹)$$

۲. محاسبهٔ کران چپ (ls) و راست (rs) مقادیر نرمال‌شده:

$$ls_{ij} = {m_{ij}^{n}}\Big/{(1 + m_{ij}^{n} - l_{ij}^{n})} \quad (۲۰)$$

$$rs_{ij} = {u_{ij}^{n}}\Big/{(1 + u_{ij}^{n} - m_{ij}^{n})} \quad (۲۱)$$

۳. محاسبهٔ مقادیر قطعی نرمال‌شدهٔ کل:

$$x_{ij} = \frac{[ls_{ij}(1 - ls_{ij}) + rs_{ij} \times rs_{ij}]}{[1 - ls_{ij} + rs_{ij}]} \quad (۲۲)$$

۴. محاسبهٔ مقادیر قطعی

$$z_{ij} = \min l_{ij} + x_{ij}\Delta_{min}^{max} \quad (۲۳)$$

۵. ادغام مقادیر قطعی

در صورتی که z_{ij} برای خبرگان مختلف محاسبه شود، میانگین آنها مقدار قطعی نهایی در نظر گرفته می‌شود. خروجی الگوریتم CFCS یک ماتریس با مقادیر قطعی است.

گام (۵). محاسبهٔ حد آستانه: مقادیر ماتریس ارتباط کامل قطعی‌شده که کمتر از میانگین ماتریس ارتباط کامل باشند، با استفاده از رابطهٔ زیر شناسایی و صفر می‌شوند، به عبارت دیگر آن رابطهٔ علّی در نظر گرفته نمی‌شود.

$$TS = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} z_{ij}}{m \times n}$$
$$U_{ij} = \begin{cases} z_{ij} & z_{ij} \geq TS \\ 0 & Others \end{cases} \quad (۲۴)$$

گام (۶). خروجی نهایی و ایجاد نمودار علّی. مجموع سطرها (D) و ستون‌ها (R) با توجه به فرمول‌های زیر به دست می‌آید:

$$D = \sum_{j=1}^{n} T_{ij} \quad (۲۵)$$

$$R = \sum_{i=1}^{n} T_{ij} \quad (۲۶)$$

سپس با توجه به D و R، مقادیر D+R و D-R که به ترتیب نشان‌دهندهٔ میزان تعامل و قدرت تأثیرگذاری عوامل‌اند، محاسبه می‌شود.

شناسایی موانع

با جست‌وجوی کلیدواژه‌های مرتبط و بررسی جامع پیشینهٔ پژوهش، ۵۳ مانع برای پذیرش و اجرای فناوری‌های صنعت ۴,۰ شناسایی شد. با رسم نمودار فراوانی استفاده از آنها در مقالات پیشینه، درنهایت ۱۵ مانع به کار رفت که فراوانی آنها بیشتر از ۴ (نقطهٔ شکست نمودار) بود. ۳۸ مانع ازجمله استانداردسازی، کیفیت داده‌ها، اختلالات شغلی، ابهام حقوقی و ... با توجه به فراوانی و اهمیت کمتر و هم‌پوشانی با دیگر موانع حذف شدند. نتایج این مرحله در اختیار خبرگان قرار گرفت و از سوی آنها تأیید شد. جدول (۴)، موانع تأییدشده را به‌همراه تعریف و منابع آنها نشان می‌دهد.

جدول ۴- موانع اجرای صنعت ۴,۰

Table 4- Obstacles to implementing Industry 4.0

مانع	توضیح	منابع
مالی و اقتصادی	نیاز به سرمایه‌گذاری اولیهٔ زیاد برای توسعهٔ زیرساخت‌ها و فناوری‌های پیشرفتهٔ صنعت ۴,۰، هزینهٔ به‌روزکردن فناوری‌ها	کامبله و همکاران (۲۰۱۸)؛ استنتافت و همکاران (۲۰۲۰)؛ راج و همکاران (۲۰۱۹)؛ کومار و همکاران (۲۰۲۱)؛ کومار و همکاران (۲۰۲۰)؛ اوزکان اوزن و همکاران (۲۰۲۰)؛ سرکار و شانکار (۲۰۲۱)؛ مزروعی و خیرخواه (۲۰۲۳)
شرکای زنجیرهٔ تأمین	مشارکت و همکاری نکردن بازیگران مختلف زنجیرهٔ تأمین برای به‌کارگیری و اجرای فناوری‌های صنعت ۴,۰	لی و همکاران[۳۱] (۲۰۲۲)؛ لاهان و همکاران (۲۰۲۳)؛ چاوهان و همکاران (۲۰۲۰)؛ راج و همکاران (۲۰۱۹)
مدیریتی	نبود تعهد، حمایت و ترس از شکست مدیریت عالی سازمان	استنتافت و همکاران (۲۰۲۰)؛ پالازسکی و همکاران (۲۰۱۸)؛ جبور و همکاران[۳۲] (۲۰۱۸) ؛ وانخده و وینوده (2021)؛ لاهان وهمکاران (۲۰۲۳)؛ کومار و همکاران (۲۰۲۰)؛ چاوهان و همکاران (۲۰۲۰)؛ اوزکان اوزن و همکاران (۲۰۲۰)؛ مزروعی و خیرخواه (۲۰۲۳)
سازمانی	ساختار سازمانی و سازمان‌دهی نامناسب، تضاد منافع و نا هماهنگی بخش‌ها، فقدان فرهنگ دیجیتال	جبور و همکاران (۲۰۱۸)؛ پارک[۳۳] (۲۰۱۷)؛ لاهان و همکاران (۲۰۲۳)؛ هوروات و سابو (۲۰۱۹)؛ کومار و همکاران (۲۰۱۸)؛ وانخده و وینوده (۲۰۲۱)؛ اوزکان اوزن و همکاران (۲۰۲۰)
منابع انسانی	کمبود نیروی انسانی متخصص، آموزش‌دیده و ماهر برای کار با فناوری‌های صنعت ۴,۰	کامبله و همکاران (۲۰۱۸)؛ مولر[۳۴] و همکاران (۲۰۱۸)؛ مزروعی و خیرخواه (۲۰۲۳)؛ لاهان و همکاران (۲۰۲۳)؛ هوروات و سابو (۲۰۱۹)
مشتریان و بازار	نبود فشار از سوی مشتریان و بازار به‌دلیل ناآگاهی از منافع اجرای صنعت ۴,۰	مولر و همکاران (۲۰۱۸)؛ تورتورلا و فترمن[۳۵] (۲۰۱۷)؛ سارکار و شانکار (۲۰۲۱)؛ کومار و همکاران (۲۰۲۰)
فناوری	زیرساخت ضعیف و ناکافی فناوری اطلاعات، فناوری‌های ناکارآمد، سیستم پشتیبان ناکافی، ظرفیت کم جذب فناوری، سطح بلوغ پایین فناوری	اوزکان اوزن و همکاران (۲۰۲۰)؛ سنا و همکاران (۲۰۲۲)؛ کومار و همکاران (۲۰۲۱)؛ لاهان و همکاران (۲۰۲۳)؛ راج و همکاران (۲۰۱۹)؛ هوروات و سابو (۲۰۱۹)؛ وانخده و وینوده (۲۰۲۱)
جهت‌گیری استراتژیک	وجودنداشتن استراتژی تحول دیجیتال، نداشتن مدل کسب و کار مبتنی بر صنعت ۴,۰	درن و همکاران[۳۶] (۲۰۲۳)؛ لی و همکاران (۲۰۲۲)؛ لاهان و همکاران (۲۰۲۳)، راج و همکاران (۲۰۱۹)
رقبا	ناآگاهی مدیران صنعت فولاد از مزایای صنعت ۴، نبود جو رقابتی، نبود تشریک مساعی بین شرکت‌های فولادی	مولر و همکاران (۲۰۱۸)؛ لاهان و همکاران (۲۰۲۳)؛ مزروعی و خیرخواه (۲۰۲۳)
امنیت سایبری	امنیت داده‌ها، حریم خصوصی، تهدیدات سایبری	کامبله و همکاران (۲۰۱۸)؛ سنا و همکاران (۲۰۲۲)؛ چاوهان و همکاران (۲۰۲۰)؛ هوروات و سابو (۲۰۱۹)؛ کومار و همکاران (۲۰۲۰)
مقاومت در برابر تغییر	تمایل و انگیزه‌نداشتن کارمندان و شرکت‌ها برای اتخاذ فناوری‌های جدید و تغییر روال کاری	جبور و همکاران (۲۰۱۸)؛ کامبله و همکاران (۲۰۱۸)؛ چاوهان و همکاران (۲۰۲۰)؛ کومار و همکاران (۲۰۲۰)؛ راج و همکاران (۲۰۱۹)
حمایت‌نکردن دولت	وضع‌نکردن استانداردهای مناسب برای تبادل اطلاعات رایگان و ایمن، تأمین‌نکردن زیرساخت‌ها، نبود حمایت مالی، قوانین بالادستی مبهم و سخت‌گیرانه	چاوهان و همکاران (۲۰۲۰)؛ لاهان و همکاران (۲۰۲۳)؛ کامبله و همکاران (۲۰۱۸)؛ کومار و همکاران (۲۰۲۰)؛ اوزکان اوزن و همکاران (۲۰۲۰)
مالکیت معنوی	حمایت‌نکردن کافی از مالکیت معنوی، به تقلید، تجاوز و کاهش نوآوری‌های جدید اعم از ثبت اختراع، حق چاپ و صدور مجوز و... منجر می‌شود.	لی و همکاران (۲۰۲۲)؛ سارکار و شانکار (۲۰۲۱)
ضعف در تحقیق و توسعه	کمبود امکانات تحقیقاتی، تعامل‌نداشتن کافی با دانشگاه‌ها و پژوهشکده‌ها، سرمایه‌گذاری‌نکردن در تحقیق و توسعه	ولز و همکاران[۳۷] (۲۰۲۱)؛ کومار و همکاران (۲۰۲۰)؛ سرکار و شانکار (۲۰۲۱)
موانع ناشی از تحریم‌ها	محدودبودن دسترسی کشورهای تحریم‌شده به سیستم مالی جهانی، کاهش واردات سرمایه، فناوری و کالا از بازارهای بین المللی	سپهریانی و همکاران[۳۸] (۲۰۲۳)؛ کلیشومی و نیستیکو[۳۹] (۲۰۲۴)؛ مزروعی و خیرخواه (۲۰۲۳)؛ چاوهان و همکاران (۲۰۲۰)

۴- یافته‌ها

تحلیل داده‌ها طی دو مرحله انجام شد. در مرحلهٔ اول با نظرخواهی از ۱۴ خبرهٔ صنعت تولید فولاد و انجام مراحل دلفی فازی، بومی‌سازی موانع در صنعت فولاد انجام شد. جدول (۵) مقادیر L، U و D حاصل از دلفی فازی را برای ۱۵ مانع نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقدار حد آستانه ۰/۵۵ شد، موانع با مقادیر D بیشتر از آن تأیید (۱۲ مانع) و مابقی (۳ مانع) رد شدند.

جدول ۵- نتایج روش دلفی فازی

Table 5- Results of the Fuzzy Delphi Method

موانع	L	U	D	وضعیت
امنیت سایبری	-۰/۳۷	۰/۸۷	۰/۵۸	تأیید
مشتریان و بازار	-۰/۳۲	۰/۸۲	۰/۵۶	تأیید
جهت‌گیری استراتژیک	۰/۰۴	۰/۸۴	۰/۶۴	تأیید
مالی و اقتصادی	-۰/۰۵	۰/۹۳	۰/۶۹	تأیید
منابع انسانی	۰/۰۴	۰/۸۳	۰/۶۳	تأیید
رقبا	-۰/۳۲	۰/۸۲	۰/۵۶	تأیید
شرکای زنجیرهٔ تأمین	-۰/۳۵	۰/۸۵	۰/۵۷	تأیید
سازمانی	-۰/۴۰	۰/۹۰	۰/۶۰	تأیید
ضعف در تحقیق و توسعه	-۰/۳۷	۰/۸۷	۰/۵۸	تأیید
مدیریتی	-۰/۰۶	۰/۹۴	۰/۶۹	تأیید
تحریم‌ها	۰/۰۰	۰/۵۰	۰/۳۸	عدم تأیید
فناوری	۰/۳۰	۰/۹۵	۰/۷۷	تأیید
مقاومت در برابر تغییر	۰/۰۰	۰/۳۸	۰/۲۸	عدم تأیید
حمایت‌نکردن دولت	-۰/۳۸	۰/۸۸	۰/۵۹	تأیید
مالکیت معنوی	۰/۰۰	۰/۲۵	۰/۱۹	عدم تأیید

طبق رابطهٔ (۲)، کمترین حد پایین و بیشترین حد بالای مانع امنیت سایبری، براساس نظر خبرگان به ترتیب ۰ و ۱ به دست آمد. همچنین حد وسط با محاسبهٔ میانگین هندسی نظرات خبرگان ۰/۷۴ شد. طبق رابطهٔ (۳) و (۴) مقدار U و L این مانع محاسبه شد:

$$U_1 = 1-(0/5\times(1-0/74)) = 0/87$$
$$L_1 = 0-(0/5\times(0/74-0)) = -0/37 \quad (۲۷)$$

سپس مقدار ترکیب محدب (D) براساس رابطهٔ (۵)، به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$D_1 = 0/75\times\left[0/87+\left(0/25\times(-0/37)\right)\right] = 0/58 \quad (۲۸)$$

چون این مقدار از حد آستانهٔ ($\gamma = \frac{0/58+0/56+...+0/19}{15} = 0/56$) بیشتر است، بنابراین مانع امنیت سایبری تأیید شد. به همین ترتیب برای دیگر موانع نیز، محاسبات در اکسل انجام شد.

موانع تحریم‌ها، مقاومت در برابر تغییر و مالکیت معنوی طبق نظر خبرگان تأیید نشدند. صنایع فولاد در شرایط تحریم، با تکیه بر توانمندی‌های بومی، بخشی از نیازهای فناورانهٔ خود را ازطریق همکاری با شرکت‌های داخلی و

مهندسی معکوس تأمین می‌کنند. خبرگان معتقدند به‌دلیل مزایای فراوان فناوری‌های صنعت ۴,۰، در صورت رفع دیگر موانع ازجمله مدیریتی، سازمانی و منابع انسانی، تمایل و انگیزهٔ کارمندان برای پذیرش این فناوری‌ها افزایش خواهد یافت؛ درنتیجه مقاومت در برابر تغییر خود یک چالش کلیدی نیست، بلکه نتیجهٔ جانبی شکست در رسیدگی به مشکلات اصلی و ریشه‌ای است. همچنین مباحث مالکیت معنوی در صنایع فولاد، به‌دلیل ماهیت آن اهمیت کمی دارد.

در مرحلهٔ بعد، ۱۲ مانع تأییدشده از دلفی فازی به‌جهت تعیین روابط علّی، وارد مرحلهٔ دیمتل فازی شدند. در این مرحله با نظرخواهی از ۱۴ خبرهٔ صنعت فولاد، تأثیر هر مانع بر مانع دیگر مشخص و با میانگین‌گیری از نظرات خبرگان، ماتریس ارتباط مستقیم فازی اولیه تشکیل شد؛ سپس مطابق فرمول‌های گفته‌شده، ماتریس ارتباط مستقیم فازی نرمال‌شده (جدول ۶) و ماتریس ارتباط کامل فازی، محاسبه شد (جدول ۷).

جدول ۶- ماتریس ارتباط مستقیم فازی نرمال‌شده

Table 6- Normalized direct-relation fuzzy matrix

	مالی و اقتصادی	مشتریان و بازار	رقبا	جهت‌گیری استراتژیک	امنیت سایبری	ضعف در تحقیق و توسعه	منابع انسانی	شرکای زنجیرهٔ تأمین	حمایت‌نکردن دولت	مدیریتی	فناوری	سازمانی
مالی و اقتصادی	(۰/۰۰۰،۰/۰۰۰،۰/۰۰۰)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)
مشتریان و بازار	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۰۰،۰/۰۰۰،۰/۰۰۰)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)
رقبا	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۰۰،۰/۰۰۰،۰/۰۰۰)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)
جهت‌گیری استراتژیک	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۰۰،۰/۰۰۰،۰/۰۰۰)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)
امنیت سایبری	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۰۰،۰/۰۰۰،۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰،۰/۰۰۰،۰/۰۰۰)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)
ضعف در تحقیق و توسعه	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۰۰،۰/۰۰۰،۰/۰۰۰)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)
منابع انسانی	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۰۰،۰/۰۰۰،۰/۰۰۰)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)
شرکای زنجیرهٔ تأمین	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۰۰،۰/۰۲۳،۰/۰۴۵)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)
حمایت‌نکردن دولت	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۰۰،۰/۰۲۳،۰/۰۴۵)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)
مدیریتی	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۰۰،۰/۰۰۰،۰/۰۰۰)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)
فناوری	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۰۰،۰/۰۰۰،۰/۰۰۰)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)
سازمانی	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۰۰،۰/۰۲۳،۰/۰۴۵)	(۰/۰۶۸،۰/۰۹۱،۰/۰۹۱)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۲۳،۰/۰۴۵،۰/۰۶۸)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۴۵،۰/۰۶۸،۰/۰۹۱)	(۰/۰۰۰،۰/۰۰۰،۰/۰۰۰)

	ضعف در تحقیق و توسعه	منابع انسانی	شرکای زنجیره تأمین	حمایت‌نکردن دولت	مدیریتی	فناوری	سازمانی
مالی و اقتصادی	(۰/۰۲۳,۰.۰۴۵,۰.۰۶۸)	(۰/۰۲۳,۰.۰۴۵,۰.۰۶۸)	(۰.۰۰۰,۰.۰۲۳,۰.۰۴۵)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)
مشتریان و بازار	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)
رقبا	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۲۳,۰.۰۴۵,۰.۰۶۸)	(۰.۰۰۰,۰.۰۲۳,۰.۰۴۵)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)
جهت‌گیری استراتژیک	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰.۰۰۰,۰.۰۲۳,۰.۰۴۵)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰.۰۰۰,۰.۰۲۳,۰.۰۴۵)
امنیت سایبری	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)
ضعف در تحقیق و توسعه	(۰/۰۰۰,۰/۰۰۰,۰/۰۰۰)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)
منابع انسانی	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰/۰۰۰,۰/۰۰۰,۰/۰۰۰)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)
شرکای زنجیرهٔ تأمین	(۰/۰۲۳,۰.۰۴۵,۰.۰۶۸)	(۰/۰۲۳,۰.۰۴۵,۰.۰۶۸)	(۰/۰۰۰,۰/۰۰۰,۰/۰۰۰)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)
حمایت‌نکردن دولت	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰/۰۰۰,۰/۰۰۰,۰/۰۰۰)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)
مدیریتی	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰/۰۲۳,۰.۰۴۵,۰.۰۶۸)	(۰/۰۰۰,۰/۰۰۰,۰/۰۰۰)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)
فناوری	(۰/۰۲۳,۰.۰۴۵,۰.۰۶۸)	(۰.۰۰۰,۰.۰۲۳,۰.۰۴۵)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰/۰۰۰,۰/۰۰۰,۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰,۰/۰۰۰,۰.۰۲۳)
سازمانی	(۰.۰۰۰,۰.۰۲۳,۰.۰۴۵)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰/۰۶۸,۰/۰۹۱,۰/۰۹۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰۶۸,۰.۰۹۱)	(۰/۰۰۰,۰/۰۰۰,۰/۰۰۰)

جدول ۷- ماتریس ارتباط کامل فازی

Table 7- Total-relation fuzzy matrix

	مالی و اقتصادی	مشتریان و بازار	رقبا	جهت‌گیری استراتژیک	امنیت سایبری	ضعف در تحقیق و توسعه	منابع انسانی	شرکای زنجیرهٔ تأمین
مالی و اقتصادی	(۰/۰۴۶،۰/۲۲۰،۰/۸۷۸)	(۰/۰۵۸،۰/۲۲۵،۰/۸۴۴)	(۰/۰۵۶،۰/۲۲۰،۰/۹۰۱)	(۰/۱۰۸،۰/۲۹۷،۰/۹۶۲)	(۰/۰۵۲،۰/۲۰۵،۰/۸۶۵)	(۰/۰۵۴،۰/۲۱۷،۰/۸۸۰)	(۰/۰۶۳،۰/۲۴۵،۰/۹۰۰)	(۰/۰۴۳،۰/۲۲۶،۰/۹۰۲)
مشتریان و بازار	(۰/۱۳۲،۰/۳۶۴،۱/۰۷۳)	(۰/۰۵۱،۰/۲۳۱،۰/۸۷۸)	(۰/۰۹۳،۰/۲۸۸،۱/۰۲۷)	(۰/۰۸۸،۰/۳۱۶،۱/۰۵۴)	(۰/۰۶۵،۰/۲۴۹،۰/۹۶۶)	(۰/۱۱۱،۰/۳۰۵،۱/۰۰۳)	(۰.۱۲۲،۰.۳۳۷،۱.۰۲۴)	(۰/۱۲۳،۰/۳۴۰،۱/۰۴۹)
رقبا	(۰/۱۲۵،۰/۳۳۸،۱/۰۰۷)	(۰/۰۶۶،۰/۲۵۱،۰/۸۸۱)	(۰/۰۴۰،۰/۲۰۰،۰/۸۷۹)	(۰/۱۲۰،۰/۳۲۸،۱/۰۰۵)	(۰/۰۵۸،۰/۲۲۷،۰/۹۰۴)	(۰/۱۰۴،۰/۲۸۲،۰/۹۴۰)	(۰/۱۱۴،۰/۳۱۲،۰/۹۶۰)	(۰/۰۷۳،۰/۲۷۴،۰/۹۶۳)
جهت‌گیری استراتژیک	(۰/۱۱۸،۰/۳۱۷، ۰/ ۹۶۶)	(۰/۰۶۱،۰/۳۳۴،۰/۸۴۶)	(۰/۰۵۷،۰/۲۲۷،۰/۹۰۴)	(۰/۰۴۹،۰/۲۲۴،۰/۸۸۲)	(۰/۰۵۴،۰/۲۱۲،۰/۸۶۷)	(۰/۰۷۸،۰/۲۴۶،۰/۹۰۳)	(۰/۱۰۶،۰/۲۹۲،۰/۹۹۲۰)	(۰/۱۰۸،۰/۲۹۵،۰/۹۳۳)
امنیت سایبری	(۰/۱۱۴،۰/۳۵۱،۱/۰۹۵)	(۰/۱۱۸،۰/۳۳۱،۰/۹۸۱)	(۰/۰۷۳،۰/۲۷۳،۱/۰۲۸)	(۰.۱۳۱،۰/۳۶۲،۱/۰۹۵)	(/۰۴۴،۰/۲۱۰،۰/۹۲۲)	(۰/۰۹۳،۰/۲۹۱،۱/۰۲۳)	(۰/۱۲۵،۰/۳۴۵،۱/۰۴۵)	(۰/۱۲۸،۰/۳۴۹،۱/۰۷۱)
ضعف در تحقیق و توسعه	(۰/۱۳۷،۰/۳۷۷،۱/۱۱۶)	(۰/۱۱۸،۰/۳۲۵،۰/۹۹۹)	(۰/۹۵،۰/۲۹۸،۱/۰۶۸)	(۰/۱۳۴،۰/۳۶۸،۱/۱۱۶)	(۰/۰۸۸،۰/۲۷۷،۱/۰۲۴)	(۰/۵۱،۰/۲۳۳،۰/۹۶۰)	(۰/۱۲۶،۰/۳۵۰،۱/۰۶۵)	(۰/۱۲۸،۰/۳۵۳،۱/۰۹۱)
منابع انسانی	(۰/۱۳۶،۰/۳۷۶،۱۱۶/۱)	(۰/۱۱۸،۰/۳۲۴،۰/۹۹۹)	(۰/۹۴/۰،۲۹۷/۰،۱۰۶۸)	(۰/۱۳۳،۰/۳۶۷،۱/۱۱۶)	(۰/۰۸۸،۰/۲۷۷،۱/۰۲۴)	(۰/۹۴،۰/۲۹۶،۱/۰۴۳)	(۰/۰۶۲،۰/۲۶۶،۰/۹۸۲)	(۰/۱۲۸،۰/۳۵۲،۱/۰۹۱)
شرکای زنجیرهٔ تأمین	(۰/۱۱۵،۰/۳۱۶،۰۰۲ ۱/)	(۰/۰۳۸،۰/۲۱۳،۰،۸۵۹)	(۰/۰۸۰،۰/۲۵۰،۰،۹۵۹)	(۰/۰۹۳،۰/۲۹۰، ۱/۰۰۲)	(۰/۰۵۴،۰/۲۱۳،۰/۹۰۱)	(۰/۰۵۶،۰/۲۲۶،۰/۹۱۷)	(۰/۰۶۵،۰/۲۵۴،۰/۹۳۷)	(۰/۰۴۲،۰/۲۱۱،۰/۸۹۶)
حمایت نکردن دولت	(۰/۱۰۹،۰/۲۹۷،۹۶۴ ۰/)	(۰/۰۸۷،۰/۲۷۱،۰/۹۷۹)	(۰/۰۸۵،۰/۲۶۵،۱/۰۴۶)	(۰/۱۲۱،۰/۳۳۴، ۱/۰۷۵)	(۰/۰۸۱،۰/۲۵۳،۰/۹۸۸)	(۰/۰۸۷،۰/۲۷۱،۱/۰۰۶)	(۰/۰۹۹،۰/۳۰۳،۱/۰۲۸)	(۰/۱۰۰،۰/۳۰۵،۱/۰۵۳)
مدیریتی	(۰/۱۲۴،۰/۳۳۸،۱/۰۹۴)	(۰/۰۸۷،۰/۲۷۱،۰/۹۷۹)	(۰/۰۹۹،۰/۲۶۶،۰/۹۱۸)	(۰/۱۰۰،۰/۳۰۹،۱/۰۹۳)	(۰/۰۷۹،۰/۲۴۸،۱/۰۰۴)	(۰/۰۸۴،۰/۲۶۴،۱/۰۲۲)	(۰/۱۱۵،۰/۳۱۴،۱/۰۴۴)	(۰/۰۹۴،۰/۲۹۵،۱/۰۶۹)
فناوری	(۰/۰۹۱،۰/۲۸۶،۱/۰۲۵)	(۰/۰۹۹،۰/۲۶۶،۰/۹۱۸)	(۰/۰۵۷،۰/۲۲۲،۰/۹۶۲)	(۰/۰۸۸،۰/۲۷۸،۱/)	(۰/۰۷۲،۰/۲۲۵،۰/۹۴۱)	(۰/۰۵۶،۰/۲۲۰،۰/۹۳۹)	(۰/۰۴۴،۰/۲۲۷،۰/۹۴۰)	(۰/۰۸۶،۰/۲۶۸،۱/۰۰۳)
سازمانی	(۰/۰۹۰،۰/۲۸۵،۰/۹۸۲)	(۰/۰۳۶،۰/۲۰۵،۰/۸۴۱)	(۰/۰۹۹،۰/۲۶۱،۰/۹۴۰)	(۰/۰۶۹،۰/۲۶۰،۰/۹۶۳)	(۰/۰۵۲،۰/۲۰۶،۰/۸۸۳)	(۰/۳۴،۰/۱۹۹،۰/۸۷۹)	(۰/۰۸۴،۰/۲۶۵،۰/۹۳۷)	(۰/۰۸۳،۰/۲۶۵،۰/۹۶۰)

	حمایت‌نکردن دولت	مدیریتی	فناوری	سازمانی
مالی و اقتصادی	(۰/۰۸۰,۰/۲۵۳,۰/۹۰۱)	(۰/۱۱۷,۰/۳۲۵,۰/۹۹۹)	(۰/۱۱۵,۰/۳۱۸,۰/۹۹۹)	(۰/۱۰۳,۰/۲۸۱,۰/۹۵۹)
مشتریان و بازار	(۰/۱۲۰,۰/۳۳۷,۱/۰۰۵)	(۰/۱۴۱,۰/۳۹۰,۱/۱۱۵)	(۰/۱۳۸,۰/۳۸۲,۱/۱۱۵)	(۰/۱۰۴,۰/۳۱۸,۱/۰۷۱)
رقبا	(۰/۰۴۷,۰/۲۴۰,۰/۹۰۲)	(۰/۱۲۹,۰/۳۵۸,۱/۰۴۴)	(۰/۱۲۸,۰/۳۵۲,۱/۰۴۴)	(۰/۰۹۱,۰/۲۸۸,۱/۰۰۲)
جهت‌گیری استراتژیک	(۰/۰۴۲,۰/۲۲۳,۰/۸۶۵)	(۰/۱۲۱,۰/۳۳۵,۱/۰۰۲)	(۰/۱۲۱,۰/۳۳۱,۱/۰۰۲)	(۰/۰۴۵,۰/۲۳۲,۰/۹۳۳)
امنیت سایبری	(۰/۱۲۲,۰/۳۳۳,۱/۰۲۶)	(۰/۱۴۴,۰/۳۹۶,۱/۱۳۸)	(۰/۱۴۱,۰/۳۹۰,۱/۱۳۸)	(۰/۱۰۴,۰/۳۲۲,۱/۰۹۲)
ضعف در تحقیق و توسعه	(۰/۱۲۳,۰/۳۳۸,۱/۰۴۴)	(۰/۱۴۶,۰/۴۰۵,۱/۱۶۰)	(۰/۱۴۴,۰/۳۹۷,۱/۱۶۰)	(۰/۱۰۶,۰/۳۲۸,۱/۱۱۳)
منابع انسانی	(۰/۱۲۲,۰/۳۳۶,۱/۰۴۴)	(۰/۱۴۶,۰/۴۰۴,۱/۱۶۰)	(۰/۱۴۳,۰/۳۹۶,۱/۱۶۰)	(۰/۱۰۶,۰/۳۲۷,۱/۱۱۳)
شرکای زنجیرهٔ تأمین	(۰/۰۸۳,۰/۲۶۴,۰/۹۳۸)	(۰/۱۲۲,۰/۳۳۸,۱/۰۴۱)	(۰/۱۱۹,۰/۳۳۱,۱/۰۴۱)	(۰/۱۰۹,۰/۲۹۴,۰/۹۹۹)
حمایت نکردن دولت	(۰/۰۴۹,۰/۲۲۵,۰/۹۲۴)	(۰/۱۳۳,۰/۳۶۸,۱/۱۱۸)	(۰/۱۱۰,۰/۳۴۱,۱/۱۱۸)	(۰/۱۱۵,۰/۳۱۶,۱/۰۷۳)
مدیریتی	(۰/۰۷۰,۰/۲۶۳,۱/۰۰۴)	(۰/۰۶۶,۰/۲۷۷,۱/۰۵۳)	(۰/۱۰۸,۰/۳۳۴,۱/۱۳۶)	(۰/۰۹۳,۰/۲۹۱,۱/۰۹۱)
فناوری	(۰/۰۸۲,۰/۲۵۷,۰/۹۶۰)	(۰/۰۹۸,۰/۳۰۸,۱/۰۶۵)	(۰/۰۵۲,۰/۲۳۸,۰/۹۸۲)	(۰/۰۸۵,۰/۲۶۵,۱/۰۲۳)
سازمانی	(۰/۱۰۰,۰/۲۷۳,۰/۹۲۰)	(۰/۱۱۹,۰/۳۲۷,۱/۰۲۰)	(۰/۰۹۵,۰/۳۰۰,۱/۰۲۰)	(۰/۰۴۲,۰/۲۰۱,۰/۸۹۷)

در گام بعدی با فازی‌زدایی به‌روش تبدیل اعداد فازی به امتیازهای قطعی (CFCS)، ماتریس ارتباط کامل قطعی به دست آمد. جدول (۸) این ماتریس را نشان می‌دهد.

جدول۸- ماتریس ارتباط کامل

Table 8- Total-relation matrix

	مالی و اقتصادی	مشتریان و بازار	رقبا	جهت‌گیری استراتژیک	امنیت سایبری
مالی و اقتصادی	۰/۳۱	۰/۳۱۱	۰/۳۱۵	۰/۳۸۰	۰/۲۹۹
مشتریان و بازار	۰/۴۴۵	۰/۳۲۱	۰/۳۸۶	۰/۴۰۷	۰/۳۴۸
رقبا	۰/۴۱۵	۰/۳۳۶	۰/۲۹۶	۰/۴۰۹	۰/۳۲۲
جهت‌گیری استراتژیک	۰/۳۹۹	۰/۳۲۲	۰/۳۲۴	۰/۳۱۹	۰/۳۰۹
امنیت سایبری	۰/۴۳۸	۰/۴۰۵	۰/۳۷۴	۰/۴۲۸	۰/۳۱۳
تحقیق و	۰/۴۶۲	۰/۴۱۲	۰/۴	۰/۴۵۷	۰/۳۸
منابع انسانی	۰/۴۶۲	۰/۴۱۱	۰/۴	۰/۴۵۶	۰/۳۸
شرکای زنجیرهٔ تأمین	۰/۳۹۹	۰/۳۰۴	۰/۳۳۷	۰/۳۸	۰/۳۱۲
حمایت‌نکردن دولت	۰/۳۸۲	۰/۳۸۶	۰/۳۷۶	۰/۴۲۷	۰/۳۵۷
مدیریتی	۰/۴۳۳	۰/۳۷۰	۰/۳۷۴	۰/۴۱۲	۰/۳۵۶
فناوری	۰/۳۵۹	۰/۳۳۷	۰/۳۰۴	۰/۳۵۵	۰/۳۱
سازمانی	۰/۳۳۳	۰/۲۹۵	۰/۳۵۳	۰/۳۵۲	۰/۳۰۳

	مالی و اقتصادی	مشتریان و بازار	رقبا	جهت‌گیری استراتژیک	امنیت سایبری	تحقیق و	منابع انسانی	شرکای زنجیرهٔ تأمین	حمایت‌نکردن دولت	مدیریتی	فناوری	سازمانی
ضعف در تحقیق و توسعه	۰/۳۱۵	۰/۴۰۱	۰/۳۷۴	۰/۴۶	۰/۳۹۵	۰/۳۴۲	۰/۴۰۲	۰/۳۲۸	۰/۳۷۸	۰/۳۷۶	۰/۳۰۹	۰/۳
منابع انسانی	۰/۳۳۲	۰/۴۲	۰/۳۹۱	۰/۳۷۵	۰/۴۲۹	۰/۴۳۷	۰/۳۶۲	۰/۳۴۵	۰/۳۹۷	۰/۴۰۹	۰/۳۰۴	۰/۳۵۳
شرکای زنجیرهٔ تأمین	۰/۳۱۸	۰/۴۲۵	۰/۳۶۲	۰/۳۸	۰/۴۳۶	۰/۴۴۳	۰/۴۴۲	۰/۳۰۷	۰/۴۰۲	۰/۳۹۸	۰/۳۴۴	۰/۳۵۶
حمایت‌نکردن دولت	۰/۳۴	۰/۴۱۱	۰/۳۲۸	۰/۳۱۴	۰/۴۱۸	۰/۴۲۶	۰/۴۲۵	۰/۳۵۳	۰/۴۲۳	۰/۳۶۵	۰/۳۳	۰/۳۵۸
مدیریتی	۰/۴۰۲	۰/۴۶۷	۰/۴۳۲	۰/۴۱۵	۰/۴۷۶	۰/۴۷۱	۰/۴۸۵	۰/۴۱۹	۰/۴۵۴	۰/۳۷۹	۰/۳۷۶	۰/۴۰۷
فناوری	۰/۳۹۸	۰/۴۶۲	۰/۴۲۹	۰/۴۱۳	۰/۴۷۲	۰/۴۸۱	۰/۴۸	۰/۴۱۵	۰/۴۳۴	۰/۴۳۴	۰/۳۱۵	۰/۳۸۸
سازمانی	۰/۳۴۶	۰/۳۸۶	۰/۳۵۵	۰/۳۰۵	۰/۳۹۲	۰/۴	۰/۴	۰/۳۶۱	۰/۳۸۹	۰/۳۷۴	۰/۲۶۹	۰/۲۷۶

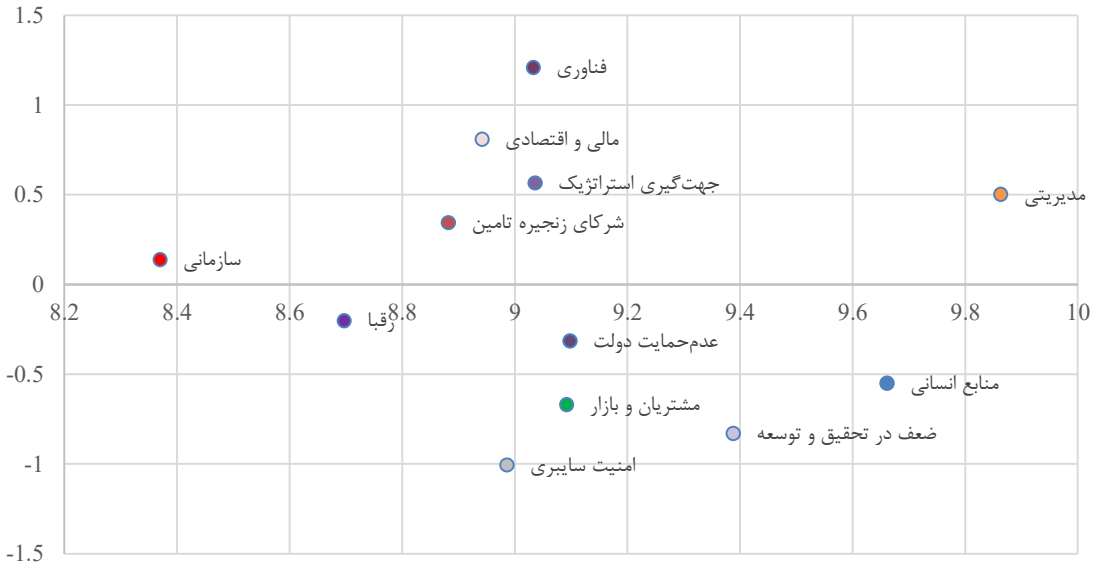
جدول (۹) میزان تأثیرگذاری هر مانع بر دیگر موانع (D)، درجهٔ تأثیرپذیری هر مانع از دیگر موانع (R)، میزان تعامل (D+R) و قدرت تأثیرگذاری خالص (D-R) هر مانع را نشان می‌دهد.

براساس جدول (۹)، موانع مدیریتی، فناوری و مالی – اقتصادی به ترتیب تأثیرگذارترین و ضعف R&D و منابع انسانی، تأثیرپذیرترین موانع‌اند. شکل (۱) الگوی روابط معنی‌دار را نشان می‌دهد. این الگو در قالب یک نمودار است که در آن محور طولی مقادیر D+R و محور عرضی براساس D-R است. موقعیت هر مانع با نقطه‌ای به مختصات (D+R, D-R) معین می‌شود.

جدول ۹- میزان تأثیرگذاری موانع

Table 9- The effectiveness of barriers

موانع	D	R	D+R	D-R
مالی و اقتصادی	۴/۸۷۶	۴/۰۶۶	۸/۹۴۲	۰/۸۱
مشتریان و بازار	۴/۲۱۱	۴/۸۸	۹/۰۹۲	-۰/۶۶۹
رقبا	۴/۲۴۷	۴/۴۴۹	۸/۶۹۷	-۰/۲۰۲
جهت‌گیری استراتژیک	۴/۸۰۱	۴/۲۳۵	۹/۰۳۶	۰/۵۶۶
امنیت سایبری	۳/۹۹	۴/۹۹۶	۸/۹۸۶	-۱/۰۰۶
ضعف در تحقیق و توسعه	۴/۲۷۹	۵/۱۰۹	۹/۳۸۸	-۰/۸۳
منابع انسانی	۴/۵۵۵	۵/۱۰۶	۹/۶۶۱	-۰/۵۵۱
شرکای زنجیرهٔ تأمین	۴/۶۱۴	۴/۲۶۸	۸/۸۸۲	۰/۳۴۵
حمایت‌نکردن دولت	۴/۳۹۲	۴/۷۰۶	۹/۰۹۸	-۰/۳۱۴
مدیریتی	۵/۱۸۳	۴/۶۸	۹/۸۶۳	۰/۵۰۳
فناوری	۵/۱۲۱	۳/۹۱۲	۹/۰۳۳	۱/۲۰۹
سازمانی	۴/۲۵۴	۴/۱۱۵	۸/۳۷	۰/۱۳۹



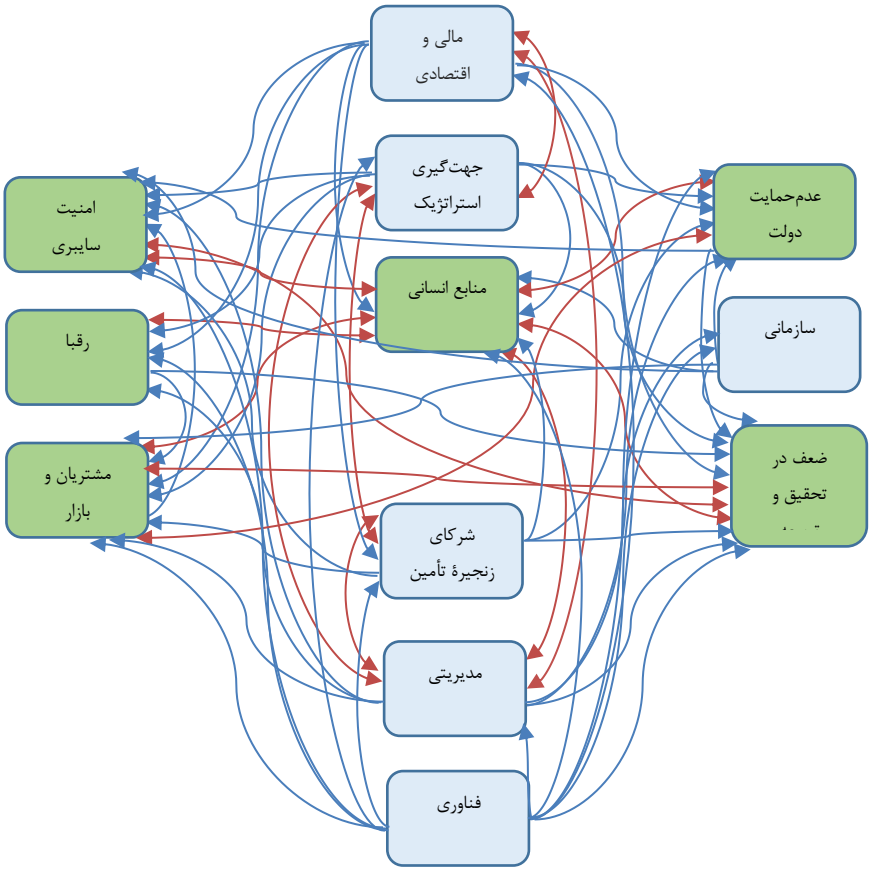
شکل ۱- الگوی روابط

Fig. 1- Relationship pattern

موانعی که در بالای محور افقی قرار می‌گیرند(D-R>0)، شدت اثر خالص آنها مثبت است و با عنوان شاخص های علّی، محرک یا تأثیرگذار دسته‌بندی می‌شوند؛ بنابراین موانع فناوری، مالی و اقتصادی، سازمانی، جهت‌گیری استراتژیک و شرکای زنجیرهٔ تأمین و مدیریتی علّی‌اند. موانعی که در پایین محور افقی قرار می‌گیرند(D-R <0)، شدت اثر خالص آنها منفی است و با عنوان شاخص‌های معلول، وابسته یا تأثیرپذیر دسته‌بندی می‌شوند. موانع منابع انسانی، حمایت‌نکردن دولت، مشتریان و بازار، ضعف در تحقیق و توسعه، امنیت سایبری و رقبا معلول‌اند. هرچه موانع از محور افقی فاصلهٔ بیشتری داشته باشند، نشان‌دهندهٔ اثرگذاری با اثرپذیری بیشتر آنهاست. همچنین هرچه به سمت راست نمودار حرکت شود، موانع اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند؛ زیرا مجموع تأثیرگذاری و تأثیرپذیری‌شان بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر موانعی که تعامل بیشتری با دیگر موانع داشته باشند، دارای اهمیت بالاتری هستند.

۵- بحث

یافته‌های دیمتل فازی به رتبه‌بندی موانع پذیرش صنعت ۴,۰ براساس میزان تأثیر آنها بر یکدیگر و گروه‌بندی آ نها به دسته‌های علت و معلول منجر شد. تحلیل علت و معلول، دانش و بینش عمیقی به سیاست‌گذاران و مدیران برای درک روابط متقابل بین موانع و تمرکز بر موانع مهم‌تر براساس قدرت نفوذشان می‌دهد. شکل (۲)، شبکهٔ علّی – معلولی موانع را به تفکیک موانع علت (آبی‌رنگ)، معلول (سبز) و روابط یک‌طرفه (آبی) و دوطرفه (نارنجی) در صنعت فولاد نشان‌می‌دهد. در ماتریس ارتباط کامل (جدول ۸)، مقادیر کمتر از حد آستانه (TS=0/379) حذف شدند و براساس الگوی روابط معنی‌دار، روابط علّی–معلولی بین عناصر ترسیم شد. برای اعتبارسنجی یافته‌ها و مدل پژوهش، خروجی پژوهش در اختیار خبرگان صنعت و دانشگاه قرار گرفت تا نسبت‌به منطقی‌بودن روابط براساس دانش و تجربهٔ خود اظهارنظر کنند. خبرگان، نتایج و مدل روابط علّی را تأیید کردند.



شکل۲- شبکهٔ علی و معلولی

Fig.2- Cause and effect network

مانع مدیریتی، بیشترین تأثیرگذاری و بیشترین تعامل را با دیگر موانع دارد. مانع مدیریتی نقش محوری در عصر صنعت ۴,۰ دارد؛ زیرا بدون حمایت مدیریت ارشد، اجرای فناوری‌های صنعت ۴,۰ موفقیت‌آمیز نخواهد بود. مدیرانی که فاقد مهارت، تجربهٔ مناسب، برنامه‌ریزی آگاهانه و درک صحیح از مزایای فناوری‌های صنعت ۴,۰ هستند، مانع دستیابی به فناوری‌های جدید می‌شوند (Horvath & Szabo, 2019)؛ بنابراین ضروری است که ابتدا مدیران ارشد اهمیت فناوری‌های صنعت ۴,۰ را درک کنند تا آنها را با اولویت بالا در سازمان اجرا کنند. مدیران باید دید باز نسبت‌به فناوری‌های جدید داشته باشند و محیطی ایجاد کنند که تغییر و نوآوری را در سازمان پرورش دهد. مدیران شرکت‌های فولادی باید اعتقاد داشته باشند که صنعت ۴,۰ دارای مزایای ارزشمندی است. فقدان تعهد از سوی مدیریت ارشد، مانع اصلی اتخاذ فناوری‌های صنعت ۴,۰ است؛ زیرا مدیران تمایل دارند که با روش‌ها و فناوری‌های سنتی کار و از ریسک و ترس از شکست اتخاذ و اجرای فناوری‌های جدید اجتناب کنند. در پژوهش های آجمرا و جاین[۴۰] (۲۰۱۹) و استنتافت و همکاران (۲۰۲۰) نیز مدیریت، مهم‌ترین مانع اجرای موفقیت‌آمیز صنعت ۴,۰ شناخته شد.

مانع تأثیرگذار بعدی، فناوری است. این مانع با همهٔ ۱۱ مانع دیگر ارتباط دارد. زیرساخت‌های ناکافی فناوری مانع از پیاده‌سازی فناوری‌های نوظهور می‌شود و پس از غلبه بر این مانع، امکان رسیدگی به دیگر چالش‌ها وجود خواهد داشت (Moktadir et al., 2018). شرکت‌ها به‌دلیل سرمایه‌گذاری در فناوری‌های فعلی، تمایلی به سرمایه گذاری مجدد در فناوری‌های صنعت ۴,۰ ندارند (Marquez et al., 2017). شرکت‌های فولادی نیز، برای اجرای

موفقیت‌آمیز فناوری‌های جدید، به زیرساخت‌های قوی فناوری اطلاعات، ایجاد شبکهٔ ارتباطی یکپارچه و مؤثر، سیستم پشتیبانی کافی، استانداردهای فناوری، سیستم‌های ذخیره‌سازی داده و ظرفیت و سطح بلوغ بالای جذب فناوری نیاز دارند؛ بنابراین شرکت‌های فولادی باید بر تقویت فناوری‌ها برای پذیرش روان صنعت ۴٫۰ تمرکز کنند. در مطالعات وانخده و وینوده (۲۰۲۱)، میش را و همکاران (۲۰۲۳) و کوردیرو و همکاران (۲۰۲۴) نیز، فناوری چالش کلیدی پذیرش صنعت ۴٫۰ در شرکت‌های تولیدی شناسایی شد.

سومین مانع تأثیرگذار، مالی و اقتصادی است که با ۹ مانع دیگر ارتباط دارد. محدودیت‌های مالی، یک مانع بزرگ برای پذیرش و اجرای صنعت ۴٫۰ است. هزینهٔ سرمایه‌گذاری برای صنعت ۴٫۰ بسیار زیاد است و همهٔ شرکت‌های علاقه‌مند آن را در دسترس ندارند و با محدودیت‌های بودجه‌ای مواجه‌اند. سرمایه‌گذاری بالا در زیرساخت‌های اینترنت اشیا، یک نگرانی عمده در صنعت ۴٫۰ در نظر گرفته می‌شود (Mukhopadhyay & Suryadevara, 2014). علاوه بر هزینهٔ اولیهٔ زیاد، در آینده نیز برای پشتیبانی از پیشرفت‌های جدید فناوری، به بودجهٔ اضافی نیاز است (Park, 2017)؛ اما شرکت‌های فولادی باید این پول را با دید سرمایه‌گذاری ببینند که در آینده با مزایای به دست آمده از اجرای صنعت ۴٫۰ پوشش داده می‌شود. دولت برای حرکت شرکت‌ها به‌سمت فناوری‌های تحول‌آفرین، تسهیلات و یارانه در نظر می‌گیرد. شابور و همکاران (۲۰۲۳) نیز، نیاز به سرمایه‌گذاری زیاد را مهم‌ترین مانع صنعت ۴٫۰ شناسایی کردند. هر سه مانع مهم مدیریتی، فناوری و مالی – اقتصادی، موانع علّی‌اند؛ یعنی تمرکز بر برطرف‌کردن آنها، به رفع و کاهش اثر منفی دیگر موانع کمک می‌کند؛ برای مثال، مانع مدیریتی بر موانع سازمانی، منابع انسانی، جهت‌گیری استراتژیک، مالی و ضعف R&D تأثیر دارد؛ بنابراین در شرکتی که تعهد و حمایت کافی مدیریت عالی از اجرای صنعت ۴٫۰ وجود دارد، برطرف‌کردن موانع و چالش‌های دیگر نیز، راحت‌تر خواهد بود.

۶- نتیجه‌گیری

در عصر دیجیتالی‌شدن، برای سازمان‌ها ضروری است که فناوری‌های نوظهور ازجمله صنعت ۴٫۰ را برای تقویت سیستم‌های تولید و لجستیک خود به کار گیرند. صنعت ۴٫۰ انقلابی در صنایع خدماتی و تولیدی است. کاربرد فناوری‌های صنعت چهار در شرکت‌های فولادی، به بهینه‌سازی کل زنجیرهٔ تولید، تنظیم آنلاین فرایندها، بهبود انعطاف‌پذیری و قابلیت اطمینان فرایندها و بهبود کیفیت محصول کمک می‌کند (Rauch et al. 2020). سازمان های تولیدی، برای تضمین رقابت‌پذیری باید بر مقابله با چالش‌های صنعت ۴٫۰ تمرکز کنند. پژوهش حاضر، موانع پذیرش و اجرای فناوری‌های صنعت ۴٫۰ را در بخش تولید فولاد بررسی کرد. در ابتدا با بررسی پیشینهٔ پژوهش، ۱۵ مانع شناسایی شد؛ سپس با روش دلفی فازی، ۱۲ مانع تأیید و در گام بعدی با روش دیمتل فازی، موانع تأثیرگذار و تأثیرپذیر مشخص شد. موانع مدیریتی، فناوری و مالی – اقتصادی، مهم‌ترین موانع شناسایی شدند که بیشترین تأثیر را بر دیگر موانع دارند. بر این اساس، با برنامه‌ریزی مناسب برای رفع این موانع تأثیرگذار، انتظار می‌رود که موانع دیگر هم برطرف شوند؛ بنابراین مدیران باید با رفع این موانع، زمینه را برای پذیرش و اجرای فناوری‌های صنعت ۴٫۰ فراهم کنند.

برای ارتقای اعتبار و تعمیم‌پذیری یافته‌های پژوهش حاضر، به‌ویژه الگوی علّی موانع پذیرش صنعت ۴,۰ که با روش دیمتل فازی و براساس اجماع نظر خبرگان استخراج شده است، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، از روش‌های کمی استفاده شود. در این راستا، استفاده از تحلیل عاملی اکتشافی، گام اولیهٔ ضروری است تا ضمن گروه‌بندی موانع و تقلیل آنها به تعدادی عامل پنهان یا مفاهیم کلی‌تر، یک پرسش‌نامهٔ معتبر و پایا برای اندازه‌گیری این سازه‌ها توسعه یابد. در گام دوم، مدل علّی به دست آمده از دیمتل فازی، مدل مفهومی در نظر گرفته و براساس آن، فرضیات علّی مشخصی میان موانع تدوین می‌شود؛ سپس با جمع‌آوری داده‌های کمی با استفاده از پرسش‌نامه‌های مقیاس‌بندی‌شده مانند لیکرت، از تحلیل عاملی تأییدی در چارچوب مدل‌سازی معادلات ساختاری بهره برده می‌شود. ابزارهایی مانند AMOS یا SmartPLS، برای تأیید برازش مدل اندازه‌گیری و آزمون معناداری روابط علّی فرضیه‌سازی‌شده استفاده می‌شوند و این امر، امکان اعتبارسنجی کمی و آماری نتایج اکتشافی و کیفی دیمتل فازی را در مقیاس بزرگ‌تر فراهم می‌کند.

در پژوهش‌های آتی، کارایی اجرای فناوری‌های صنعت ۴,۰ شرکت‌های فولادی با تحلیل پوششی داده‌های شبکه ای و پویا محاسبه و برای شرکت‌های ناکارا، الگوهای کارا معرفی می‌شود. با توجه به اینکه اجرای فناوری‌های صنعت ۴,۰ مجموعه‌ای از ورودی‌ها مانند نیروی انسانی و منابع مالی را مصرف می‌کند، مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی مناسب‌اند. با توجه به اینکه رسیدن به مزایای اجرای صنعت ۴,۰ زمان‌بر است، بنابراین باید از مدل‌های پویای تحلیل پوششی داده‌ها استفاده کرد که آثار زمانی را در نظر می‌گیرند. با توجه به اینکه مانع مدیریتی، مهم‌ترین مانع در صنعت فولاد شناسایی شد، در پژوهش‌های دیگر، ویژگی‌های مورد نیاز مدیران صنعت ۴,۰ و طراحی مدل شایستگی آنان شناسایی می‌شود. لزوماً مدیران موفق گذشته، در عصر صنعت ۴,۰ موفق نخواهند بود.

References

Ajmera, P., & Jain, V.(2019). Modelling the barriers of Health 4.0–the fourth healthcare industrial revolution in India by TISM. *Operations Management Research*, *12*, 129-145. https://doi.org/10.1007/s12063-019-00143-x.

Basl, J. (2017). Pilot study of readiness of Czech companies to implement the principles of Industry 4.0. *Management and Production Engineering Review*, *8,* 2. https://doi.org/10.1515/mper-2017-0012.

Branca, T. A., Fornai, B., Colla, V., Murri, M. M., Streppa, E. & Schröder, A. J. (2020). The challenge of digitalization in the steel sector. *Metals*, *10*(2), 288. https://doi.org/10.3390/met10020288.

Bui, T. D., Tsai, F. M., Tseng M. L. & Ali, M. H. (2020). Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. *Resources, Conservation & Recycling*, *154*, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104625

Chauhan, C., Singh, A., Luthra, S. (2020). Barriers to Industry 4.0 adoption and its performance implications: An empirical investigation of emerging economy. *Journal of cleaner production*, 285. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124809.

Cipriani, M., Goldberg, L. S. & La Spada, G. (2023). Financial sanctions, SWIFT, and the architecture of the international payment system. *Journal of Economic Perspectives*, 37(1), 31-52. https://doi.org/10.1257/jep.37.1.31.

Cordeiro, R., Reis, L. P. & Fernandes, J. M. (2024). A study on the barriers that impact the adoption of Industry 4.0 in the context of Brazilian companies. *The TQM Journal*, *36*(1), 361-384. https://doi.org/10.1108/tqm-07-2022-0239.

Dalenogare, L.S., Benitez, G.B., Ayala, N.F. & Frank, A.G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics, 204*(2018), 383–394. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527318303372.

Deren, A. M., Kamińska, A. M., Rutkowska, M. & Skonieczny, J. (2023). Creativity as a Strategic Orientation of Industry 4.0 Organizations in the Conditions of Sustainable Development. *Scientific Papers of Silesian University of Technology, 22*, 4. http://doi.org/10.29119/1641-3466.2023.187.6.

Hariom, R., Rajak, S. & Kumar, A. (2024). An Analytical Framework for Analysing Barriers for the Implementation of Industry 4.0. *Journal of The Institution of Engineers*, *10*(5), 401-416. https://doi.org/10.1007/s40032-024-01072-w.

Herzog, K., Winter, G., Kurka, G., Ankermann, K., Binder, R., Ringhofer, M., Maierhofer, A. & Flick, A. (2017). The digitalization of steel production. *BHM Berg-und Hüttenmännische Monatshefte*, *162*(11), 504-513. https://doi.org/10.1007 / s00501-017-0673-9.

Horvath, D. & Szabo, R.Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?. *Technological forecasting and social change*, *146*, 119-132. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021.

Ibrahim, A. & Kumar, G. (2024). Selection of Industry 4.0 technologies for Lean Six Sigma integration using fuzzy DEMATEL approach. *International Journal of Lean Six Sigma*, *15*, 1025-1042. https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2023-0090.

Ishikawa, A., Amagasa, M., Shiga, T., Tomzawa, G., Tatsuta, R. & Mieno, H. (1993). The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. *Fuzzy Sets System*, *55* (3). https://doi.org/10.1016/0165-0114(93)90251-c.

Jabbour, L. S., Jabbour, C. J. C, Godinho F. M. & Roubaud, D.(2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, *270*(1). https://doi.org/10.1007/S10479-018-2772-8.

Kamble, S. S., Gunasekaran, A. & Sharma, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, *101*, 107-119. https://doi.org /10.1016/j.compind.2018.06.004.

Kelishomi, A. M., Nistico, R. (2024). Economic sanctions and informal employment. *Labour Economics*, 89. https://doi.org/10.1016/j.labeco.2024.102581.

Kraft, P., Helm, R. & Dowling, M. (2021). New business models with Industrie 4.0 in the German Mittelstand. *International Journal of Technology, Policy and Management*, *21*(1), 47. https://doi.org/abs/10.1504/IJTPM.2021.114308.

Kumar, P., Singh, R. K. & Kumar, V. (2020). Managing supply chains for sustainable operations in the era of industry 4.0 and circular economy: Analysis of barriers. *Resources, conservation and recycling*, *164*, 4. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105215.

Kumar, P., Bhamu, J. & Sangwan, K.S. (2021). Analysis of barriers to Industry 4.0 adoption in manufacturing organizations: An ISM approach. *Science Direct*, *98*, 85-90. https://doi.org /10.1016/j.procir.2021.01.010.

Lahane, S., Paliwal, V. & Kant, R. (2023). Evaluation and ranking of solutions to overcome the barriers of Industry 4.0 enabled sustainable food supply chain adoption. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 8. https://doi.org/10.1016/j.clscn.2023.100116.

Lee, K.L., Roesinger, A. & Hommel, U. (2022). Development and Practice of Industry 4.0 in China—Practical Experience of a German Industrial Software Company in China. *Sci*, *4*(3), 28. https://doi.org/10.3390/sci4030028.

Lin, C., J. & Wu, W. W. (2008). A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications, 34*, 205-213.

Mahmood, A., Ali, A.A., Nazam, M. & Nazim, M. (2021). Developing an interplay among the psychological barriers for the adoption of industry 4.0 phenomenon. *PloS one*, *16,* 8. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255115.

Marques, M., Agostinho, C., Zacharewicz, G. & Jardim-Gonçalves, R. (2017). Decentralized decision support for intelligent manufacturing in industry 4.0. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, 2017, journals.sagepub.com*. https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3233/AIS-170436.

Mazroui, E. & Kheirkhah, Z. (2023). Industry 4.0 Outcome Model in Healthcare: A Fuzzy Total Interpretive Structural Modeling Approach. *Journal of Health Information Management*, *20,* 1. https://doi.org/10.48305/him.2023.41702.11110. (In Persian)

Mishra, R., Singh, R. K. & Gunasekaran, A. (2023). Adoption of industry 4.0 technologies for decarbonisation in the steel industry: self assessment framework with case illustration. *Annals of Operations Research*, *12*, 3. https://doi.org/10.1007/s10479-023-05440-0.

Moktadir, M. A., Ali, S. M., Kusi-Sarpong, S., & Shaikh, M. A. A. (2018). Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. *Process Safety and Environmental Protection*, *117*, 730–741. https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.020.

Mukhopadhyay, S.C., Suryadevara, N.K. (2014). Internet of Things: Challenges and Opportunities. In: Mukhopadhyay, S. (eds) Internet of Things. *Smart Sensors, Measurement and Instrumentation*, *9*, 1-17. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04223-7_1.

Müller, J. M., Kiel, D. & Voigt, K. I. (2018). What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. *Sustainability*, *10*(1), 1-24. https://doi.org/10.3390/SU10010247.

Opricovic, S. & Tzeng, G.H. (2003). Defuzzification within a multicriteria decision model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, *11*(5), 635-652. https://doi.org/10.1142/S0218488503002387.

Ozkan-Ozen, Y.D., Kazancoglu, Y. & Mangla, S. K. (2020). Synchronized barriers for circular supply chains in industry 3.5/industry 4.0 transition for sustainable resource management. *Resources, Conservation and Recycling*, 161. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104986.

Palazzeschi, L., Bucci, O. & Di Fabio, A. (2018). Re-thinking innovation in organizations in the industry 4.0 scenario: New challenges in a primary prevention perspective. *Frontiers in psychology*, 9. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00030.

Park, S. C. (2017). The Fourth Industrial Revolution and implications for innovative cluster policies. *Ai & Society*, 33,4. https://doi.org /10.1007 / s00146-017-0777-5.

Pourmehdi, M., Paydar, M.M., Ghadimi, P & Azadnia, A.H. (2022). Analysis and evaluation of challenges in the integration of Industry 4.0 and sustainable steel reverse logistics network. *Computers & Industrial Engineering*, 163. https://doi.org / 10.1016/j.cie.2021.107808.

Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., Sousa Jabbour, A. B. L., & Rajak, S. (2019). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, *224,* 1-17. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546.

Rauch, E., Unterhofer, M., Rojas, R.A., Gualtieri, L., Woschank, M. & Matt, D.T.(2020). A Maturity Level-Based Assessment Tool to Enhance the Implementation of Industry 4.0 in Small and Medium-Sized Enterprises. Sustainability, 2020•mdpi.com. https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3559.

Sarkar, B. D. & Shankar, R. (2021). Understanding the barriers of port logistics for effective operation in the Industry 4.0 era: Data-driven decision making. *International Journal of Information Management Data Insights*, *1*, 2. https://doi.org/10.1016/j.jjimei.2021.100031.

Senna, P.P., Ferreira, L.M.D.F., Barros, A.C., Roca, J.B & Magalhaes, V. (2022). Prioritizing barriers for the adoption of Industry 4.0 technologies. *Computers & Industrial Engineering*, 171. https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108428.

Shabur, A., Rahman, K.A & Siddiki, R. (2023). Evaluating the difculties and potential responses to implement Industry 4.0 in Bangladesh's steel sector. *Journal of Engineering and Applied Science*, *70,* 1. https://doi.org/10.1186/s44147-023-00336-z.

Stentoft, J., Wickstrøm, K.A., , Philipsen, K., & Haug, A. (2020). Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers. *Production Planning & Control*, *32*(5), 1-18. 2021. https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768318.

Tortorella, G. L. & Fettermann, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International journal of production research*, 56. https://doi.org/abs/10.1080/00207543.2017.1391420.

Tuni, A., Ijomah, W. L., Gutteridge, F., Mirpourian, M., Pfeifer, S. & Copani, G. (2023). Risk assessment for circular business models: A fuzzy Delphi study application for composite materials. *Journal of Cleaner Production*, 389. https://doi. org/10.1016/j.envc.2021.10023.

Wales, W. J., Kraus, S., Filser, M., Stockmann, C. & Covin, J. G. (2021). The status quo of research on entrepreneurial orientation: Conversational landmarks and theoretical scaffolding. *Journal of Business Research*, *128*, 564-577. https://doi.org/j.jbusres.2020.10.046.

Wankhede, V. A. & Vinodh, S. (2021). Analysis of Industry 4.0 challenges using best worst method: A case study. *Computer & Industrial Engineering*, 159. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107487.

Wu, W. W. & Lee, Y. T. (2007). Developing global managers competencies using the fuzzy DEMATEL method. *Expert systems with applications*, *32*(2), 499-507. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.12.005.

Zunino, C., Valenzano, A., Obermaisser, R. & Petersen, S. (2020). Factory Communications at the Dawn of the Fourth Industrial Revolution. *Computer Standards & Interfaces*, 71. https://doi.org/10.1016/j.csi.2020.103433.

[1] Mishra et al.
[2] Graph Theory Matrix Approach
[3] Shabur et al.
[4] Hariom et al.
[5] Senna et al.
[6] Technology-Organization-Environment
[7] Pourmehdi et al.
[8] Cordeiro et al.
[9] Mahmood et al.
[10] Stentoft et al.
[11] Raj et al.
[12] Lahane et al.
[13] Kumar et al.
[14] Horvath & Szabo
[15] Mazroui & Kheirkhah
[16] Kamble et al.
[17] Wankhede & Vinodh
[18] Chauhan et al.
[19] Ozkan-Ozen et al.
[20] Sarkar & Shankar
[21] Ishikawa et al.
[22] Bui et al.
[23] No influence
[24] Very low influence
[25] Low influence
[26] High influence
[27] Very high influence
[28] Converting Fuzzy data into Crisp Scores
[29] Opricovic & Tzeng
[30] Crisp Value
[31] Lee et al
[32] Jabbour et al
[33] Park
[34] Müller et al.
[35] Tortorella & Fettermann
[36] Deren et al.
[37] Wales et al.
[38] Cipriani et al
[39] kelishomi & Nistico.
[40] Ajmera & Jain