Implementation strategies of fourth industrial revolution technologies in Iranian industries with the aim of industrial development based on Fuzzy DEMATEL

Gholamreza Goodarzi
Professor, Department of Decision Sciences and Complex Systems, Faculty of Islamic Studies and Management, Imam Sadiq University, Tehran, Iran.
rgodarzi@isu.ac.ir

Ali Javan Jafari
Ph.D. student, Department of Economic Development and Planning, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Ali Yaghoubali Pour Koundelaji
Ph.D. Student, Department of Systems Management, Faculty of Islamic Studies and Management, Imam Sadiq University, Tehran, Iran.

Received: Dec. 11, 2023; Revised: May. 28, 2024; Accepted: Jan. 26, 2025; Published Online: Feb. 06, 2025.

Abstract

Introduction and objectives: The industrial revolutions have provided unique opportunities for the growth and development of nations. Historical experience has shown that the winners and losers of industrial revolutions depend on their ability to adapt to changes and utilize new technologies. The Fourth Industrial Revolution is no exception to this rule. Its significance lies in the profound transformation of economic, social, and environmental structures, enabling countries to dramatically enhance their productivity and competitiveness through advanced technologies. Nations that can implement the technologies of this revolution more swiftly will lead in productivity, modern production, and efficient resource utilization. Proper industrial policymaking is the most critical prerequisite for achieving this goal. This study aims to identify and analyze the macro strategies for implementing the technologies of the Fourth Industrial Revolution as a horizontal policy in Iran's industries. Accordingly, the necessary measures for policymakers to establish institutional infrastructures have been identified, and their mutual effects analyzed.

Methods: In this research, first, a panel of experts comprising industrial and economic practitioners identified a set of factors influencing the implementation of Industry 4.0 in the country. After recognizing 10 key factors, the fuzzy DEMATEL technique was employed to analyze their interrelationships. As a comprehensive analytical tool, fuzzy DEMATEL enables the examination of causal and dependent relationships among complex factors and provides a structural model of their interactions. This model classifies the factors into causal and effect groups and visualizes their interactions through diagrams.

Findings: The results of the analysis indicate that the establishment of a regulatory body for Industry 4.0 is identified as the most influential factor in implementing these technologies. This body can play a pivotal role in achieving other factors through developing penetration programs, reforming laws, providing funding, and supporting research. Additionally, other key factors, such as "developing penetration programs for Industry 4.0," "funding the implementation of Industry 4.0," "revising operational plans aligned with Industry 4.0," and "monitoring industries and providing incentives based on their readiness level," are recognized as highly influential factors. These findings provide a clear framework for policymakers, enabling them to design effective industrial policies.

Conclusion: Based on the research findings, policymakers should, as a first step, establish a regulatory body for Industry 4.0. This entity should focus on tasks such as developing comprehensive penetration plans for the technologies, providing funding, reforming laws, and creating incentive packages. Emphasizing this foundational measure will pave the way for achieving other factors and accelerate the implementation of the Fourth Industrial Revolution technologies. The set of factors and strategies presented in this study can serve as an appendix to the country's industrial development policies and facilitate the necessary infrastructure for digital transformation in Iranian industries.

Keywords: Implementation of Industry 4.0; digital transformation; Industrial Development; industrial policy; Regulatory

راهبردهای استقرار فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم در صنایع ایران با هدف توسعه صنعتی مبتنی بر دیمتل فازی (FUZZY DEMATEL)

غلامرضا گودرزی
استاد، گروه علوم تصمیم و سیستم‌های پیچیده، دانشکده معارف اسلامی و مدیریت، دانشگاه امام صادق علیه‌السلام، تهران، ایران.
rgodarzi@isu.ac.ir

علی جوان جعفری
دانشجوی دکتری، گروه توسعه و برنامه‌ریزی اقتصادی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

علی یعقوبعلی پور کندلجی
دانشجوی دکتری، گروه علوم تصمیم و سیستم‌های پیچیده، دانشکده معارف اسلامی و مدیریت، دانشگاه امام صادق علیه‌السلام، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۰۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۷، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۳/۱۱/۱۸.

چکیده

مقدمه و اهداف: انقلاب‌های صنعتی فرصت‌های بی‌نظیری برای رشد و توسعه کشورها فراهم کرده‌اند. تجربه تاریخی نشان داده است که برندگان و بازندگان انقلاب‌های صنعتی، به توانایی آن‌ها در تطبیق با تحولات و بهره‌گیری از فناوری‌های جدید بستگی داشته است. انقلاب صنعتی چهارم نیز از این قاعده مستثنی نیست. اهمیت این انقلاب در تحول عمیق ساختارهای اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی نهفته است که کشورها را قادر می‌سازد با استفاده از فناوری‌های پیشرفته، بهره‌وری و رقابت‌پذیری خود را به‌طور چشمگیری افزایش دهند. کشورهایی که بتوانند فناوری‌های این انقلاب را سریع‌تر مستقر کنند، در بهره‌وری، تولید مدرن و استفاده بهینه از منابع پیشرو خواهند بود. سیاست‌گذاری صنعتی مناسب، مهم‌ترین پیش‌نیاز تحقق این هدف است. این پژوهش با هدف شناسایی و تحلیل راهبردهای کلان استقرار فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم، به‌عنوان یک سیاست افقی در صنایع ایران انجام شده است. در این راستا، اقداماتی که سیاست‌گذار باید برای ایجاد زیرساخت‌های نهادی انجام دهد، شناسایی و تأثیرات متقابل آن‌ها تحلیل شده است.

روش‌ها: در این پژوهش، ابتدا با استفاده از روش پنل خبرگان متشکل از فعالان صنعتی و اقتصادی، مجموعه عوامل مؤثر بر استقرار صنعت ۴.۰ در کشور شناسایی شد. پس از شناسایی ۱۰ عامل کلیدی، از تکنیک دیمتل فازی برای تحلیل روابط متقابل این عوامل استفاده شد. دیمتل فازی به‌عنوان یک روش تحلیلی جامع، امکان بررسی روابط علّی و معلولی میان عوامل پیچیده و ارائه مدلی ساختاری از تعاملات آن‌ها را فراهم می‌کند. این مدل، عوامل را به دو گروه علّی و معلول تقسیم کرده و به‌صورت نموداری تعاملات میان آن‌ها را نمایش می‌دهد.

یافته‌ها: نتایج تحلیل نشان می‌دهد که تأسیس نهاد تنظیم گر صنعت ۴.۰ به‌عنوان تأثیرگذارترین عامل در فرآیند استقرار این فناوری‌ها شناخته شده است. این نهاد می‌تواند از طریق تدوین برنامه‌های استقرار، اصلاح قوانین، تأمین مالی، و حمایت از پژوهش‌ها نقش کلیدی در تحقق سایر عوامل داشته باشد. همچنین، عوامل دیگری نظیر «تدوین برنامه استقرار صنعت ۴.۰»، «تأمین مالی استقرار صنعت ۴.۰»، «بازبینی در برنامه‌های اجرایی متناسب با استقرار صنعت ۴.۰»، و «پایش صنایع و اعطای مشوق متناسب با سطح آمادگی آن‌ها» در زمره عوامل کلیدی با بیشترین تأثیرگذاری قرار دارند. این یافته‌ها چارچوبی روشن برای سیاست‌گذاران فراهم کرده و به آن‌ها در تدوین سیاست‌های صنعتی کارآمد کمک می‌کند.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج پژوهش، برای استقرار فناوری‌های صنعت ۴.۰ در کشور، سیاست‌گذار باید به‌عنوان نخستین گام اقدام به تأسیس نهاد تنظیم گر صنعت ۴.۰ نماید. این نهاد باید وظایفی مانند تدوین برنامه‌های جامع برای استقرار فناوری، تأمین مالی، اصلاح قوانین، و ایجاد بسته‌های مشوق را در دستور کار قرار دهد. تمرکز بر این عامل به‌عنوان زیربنایی‌ترین اقدام، مسیر تحقق سایر عوامل و تسریع در استقرار فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم را هموار می‌کند. مجموعه عوامل و راهبردهای ارائه‌شده در این پژوهش می‌تواند به‌عنوان پیوستی برای سیاست‌های توسعه صنعتی کشور مورد استفاده قرار گیرد و زیرساخت‌های لازم برای تحول دیجیتال در صنایع ایران را فراهم کند.

کلیدواژه‌ها: استقرار صنعت۴.۰ ؛ تحول دیجیتال؛ توسعه صنعتی؛ سیاست صنعتی؛ تنظیم‌گری.

۱. مقدمه

انقلاب صنعتی، به عنوان انقلاب صنعتی اول نیز شناخته می‌شود، دوره‌ای از تحولات گسترده در حوزه‌های صنعت، کشاورزی، تولید، و ترابری است که از سال ۱۷۶۰ تا ۱۸۴۰ آغاز و در ابتدا در انگلستان شکل گرفت، سپس به اروپا و آمریکا گسترش یافت. این تغییرات اساسی در زمینه‌های بافندگی، استخراج زغال سنگ، و ذوب آهن در انگلستان شروع شد و با استفاده از دستگاه‌ها به جای تولید دستی، تولید مواد شیمیایی نوین، روش‌های پیشرفته تولید آهن، و افزایش بهره‌وری از نیروی بخار و آب همراه بود. ایجاد ماشین‌ابزارها و ظهور کارخانه‌های مکانیزه نیز از جمله تحولات چشم‌گیر این دوره بود [۲۲].

پس از حدود یکصد سال، انقلاب صنعتی دوم با تمرکز بر تولید انبوه، تقسیم کار و استفاده از الکتریسیته آغاز شد. این دوره باعث افزایش تولید صنعتی و ارائه محصولات به مقیاس گسترده شد. این فرآیند تغییر حدود ۱۰۰ سال طول کشید تا اینکه با ظهور کنترل‌گرهای منطقی برنامه‌پذیر **(PLC)**[1] در سال ۱۹۶۹، انقلاب صنعتی سوم شکل گرفت. این انقلاب بر اساس استفاده از الکترونیک و فناوری اطلاعات برای خودکارسازی تولید بنا شده بود [۷].

کلاوس شوآب[2] بیان می‌دارد انقلاب صنعتی چهارم که اخیراً آغاز شده، با تأکید بر نامتقارن بودن و ماژولار بودن تولید، تغییرات عظیمی را به همراه داشته است. این انقلاب با تکنولوژی‌هایی همچون اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی، و ارتباطات فراگیر، به ساختار تولیدی جدیدی منجر شده است [۳۵]. توانمندی تغییر سریع چینش و پیکربندی ماشین‌ها جهت تطبیق با نیازهای مختلف مشتریان امکان پذیر شده و امکان شخصی‌سازی بیشتر تولیدات را فراهم کرده است [۳۱].

در انقلاب صنعتی چهارم، تمرکز بر ارائه خدمات شخصی‌شده به جای فروش محصولات آماده است [۴۴]. شرکت‌ها با تحلیل داده‌های مشتریان و ایجاد پلتفرم‌های هوشمند، خدمات خود را با نیازهای فردی سازگار می‌کنند [۳۴]. این انقلاب با استفاده از فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، سیستم‌های سایبر–فیزیکی، و ارتباطات پیشرفته در فرآیند تولید شناخته می‌شود [۵]. این تغییرات فناورانه، تأثیرات عمیقی در ابعاد اقتصادی، اجتماعی، و سیاسی دارند و جابه‌جایی تمدنی را رقم می‌زنند. براساس پیش‌بینی‌ها، این انقلاب که از سال ۲۰۱۵ آغاز شده، تا ۲۰۳۰ به اوج خود می‌رسد. کشورهایی که بتوانند از ظرفیت‌های این انقلاب بیشترین بهره را ببرند، در آینده نقش رهبری جهانی خواهند داشت [۹].

کشور های مختلفی در این راستا، اقدامات راهبردی و زیرساختی را جهت بهره مندی حداکثری از ظرفیت های انقلاب صنعتی چهارم و استقرار آن در صنایع خود آغاز کرده اند. آلمان با راهبرد **Industry ۴.۰** به رهبری در صنعت ۴.۰ پرداخته و بر ترکیب فناوری‌های پیشرفته تولید با همکاری‌های صنعتی و آکادمیک برای آماده‌سازی نیروی کار تأکید دارد [۳۲].

سیاست های استقرار فن‌آوری‌های انقلاب صنعتی چهارم به‌طور قابل‌توجهی در کشورهای مختلف متفاوت است چراکه تحت تأثیر محیط‌های اقتصادی، فناوری و سیاست‌گذاری منحصربه‌فرد آن‌ها قرار دارد[۴۵]. طبق مطالعات صورت گرفته، اگر کشور هارا به دو گروه اقتصاد های توسعه یافته و اقتصاد های درحال توسعه تقسیم کنیم، آنچه در هر دو گروه دنبال می شود را می توان به صورت زیر توصیف کرد:

اقتصادهای توسعه یافته: این کشورها اغلب استراتژی های دیجیتالی مشخص و منابع مالی کافی برای حمایت از اجرای فناوری های صنعت۴.۰ را دارند [۸]. آنها بر همکاری با دانشگاه‌ها، دانشگاهیان و شرکت‌ها برای برنامه‌ریزی و اجرای استراتژی‌های ملی، بهره‌گیری از مزایای ملی خود و اولویت‌بندی فناوری‌هایی که نیاز به بهبود دارند، تمرکز می‌کنند [۳۷]. در این کشور ها زیرساخت‌ها و استانداردهای فناوری برای ارتقای پذیرش این فناوری‌ها بسیار مهم هستند[۲۶].

---

[1] programs Logical controller

[2] Klaus Schwab

اقتصادهای در حال توسعه: این کشورها با موانعی مانند منابع محدود، فقدان استراتژی‌های دیجیتالی روشن، و سطوح مختلف آگاهی و جهت‌گیری نسبت به فناوری‌های صنعت۴.۰ مواجه هستند. آنها باید منابع مالی کافی برای اجرای سیاست ها، ابتکارات و برنامه های مربوطه را ترتیب دهند و در آموزش و پرورش سرمایه گذاری کنند تا برای صنعت۴.۰ آماده شوند [۳۷]. همچنین در این کشور ها، بهبود استانداردها و مقررات دولتی برای تسهیل پذیرش فناوری ضروری به نظر می رسد [۲۶].

آنچه از اقدامات کشور های مختلف در مواجهه با صنعت ۴.۰ و سیاست های جذب و استقرار آن نتیجه گرفته می شود این است که کشورها به یک چارچوب سیاست صنعتی متفاوت و متمایز نیاز دارند که عملکرد کلی صنعتی را حفظ کند، شکاف های تکنولوژیکی را به مرزهای فناوری متصل کند و پیامدهای نامطلوب اجتماعی مانند مسائل مربوط به اشتغال و حریم خصوصی را کاهش دهد. این سیاست مستلزم ارتقای مهارت ها در فناوری های جدید و تحقیق و توسعه در مدل جدید صنعتی شدن است[۲۹]. بنا براین، استقرار فناوری‌های صنعت۴.۰ مستلزم سیاست‌های متناسبی است که زمینه‌های اقتصادی و فناوری منحصر به فرد کشورهای مختلف را در نظر می‌گیرد[۳۰]. اقتصادهای توسعه‌یافته از استراتژی‌های تعریف‌شده و زیرساخت‌های قوی سود می‌برند، در حالی که اقتصادهای در حال توسعه باید بر تخصیص منابع، آموزش و بهبودهای نظارتی تمرکز کنند [۳]. چارچوب‌های هماهنگ و سیاست‌های صنعتی ظریف و دقیق می‌توانند به پر کردن شکاف و تضمین پذیرش و ادغام موفقیت‌آمیز صنایع کشور در سطح جهانی کمک کنند[۳۱]. سیاست های صنعتی، بخش جدایی ناپذیر توسعه هستند و کشور های مختلف با اتخاذ سیاست های هوشمندانه که همزمان موجب ارتقای نوآوری، توسعه بازار و حضور در زنجیره ارزش جهانی آن ها می گردد، به دنبال توسعه اقتصادی هستند[۲۷]. پنجره فرصت انقلاب صنعتی چهارم یک فرصت بینظیر برای ارتقای کشور های درحال توسعه است. همانطور که تجربه اقتصاد های نوظهور در جنوب شرق آسیا در بحبوحه انقلاب صنعتی سوم منجر به رشد آنها شد[۱۰]. پژوهش های موردی در خصوص اولویت های استقرار فناوری های انقلاب صنعت چهارم در صنایع کشور بصورت کاربردی صورت گرفته [۴] لیکن تاکنون پژوهشی با هدف شناسایی زیرساخت ها و راهبردهای لازم برای استقرار این فناوری ها در صنعت در ایران صورت نگرفته است.

با نظر به اهمیت استقرار انقلاب صنعتی چهارم در کشور، پژوهش حاضر با روش دیمتل فازی برای پاسخ به این سوال انجام شده است که اساساً چه زیرساخت ها و راهبردهایی برای استقرار انقلاب صنعتی چهارم در کشور نیاز است و با چه اولویتی باید در دستور کار سیاستگذاران صنعتی کشور قرار گیرد به نحوی که امکان استقرار فناوری های صنعت۴.۰ به عنوان یک سیاست افقی، در دسترس همه صنایع قرار گیرد تا هر صنعت به فراخور نیاز خود، از آن استفاده و به توسعه بپردازد؟

۲. مبانی وچارچوب نظری تحقیق

حوزه‌های تأثیرپذیر اجتماعی در انقلاب صنعتی چهارم

کلاوس شوآب[۱] (۲۰۲۲) به عنوان نخستین نظریه پرداز انقلاب صنعتی چهارم، معتقد است این انقلاب در حال طی کردن مراحل درهم تنیدگی سه حوزه تغییر است. این انقلاب، همانند سایر انقلاب‌ها، تأثیرات گسترده‌ای را در زمینه‌های مختلف به همراه خواهد داشت. با این حال، سه حوزه اصلی که احتمالاً تأثیرات بیشتری از این جریان را تجربه خواهند کرد، اقتصاد، کسب و کار، و دولت‌ها هستند [۲۴].

تأثیرات بر اقتصاد: تأثیرات اقتصادی انقلاب چهارم در زمینه‌های اقتصاد، اشتغال، و ماهیت کار آشکار می‌شود. در حوزه اقتصاد، مسائل جدی از جمله کاهش رشد، افزایش سن میانگین جمعیت، و کاهش بهره‌وری به چشم می‌خورد[۳۰]. در زمینه اشتغال، جایگزینی نیروی کار با تاکید بر تولید مهارت‌های جدید، کاهش تأثیر مهارت‌های فعلی، و تأثیرات کم‌آثار مهارت‌ها، شاهد شکل‌گیری مدل‌های کاری جدید است [۱۶]. در اقتصادهای پیشرفته، مطرح است که کارخانه‌ها به کشورهای خود باز می‌گردند، در حالی‌که در کشورهای در حال توسعه، همچنان تولید در محل ادامه دارد و این باعث ناتوانی در رقابت با اقتصادهای پیشرفته می‌شود[۲۳]. در زمینه ماهیت کار، الگوی کارمندان به شکل خودمختاری تغییر یافته است، به گونه‌ای که افراد در فضای ابری می‌توانند همزمان به عنوان کارمند در چندین شرکت مشغول به

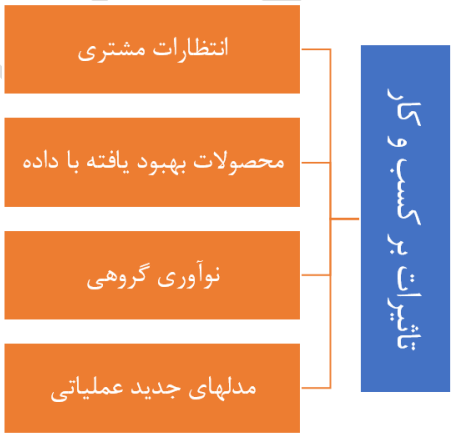
---

[۱] Klaus Schwab

کار شوند [۱۷]. در نهایت، هدف انقلاب صنعتی چهارم این است که سیستم اقتصاد خطی را از بین ببرد و جایگزین آن یک اقتصاد چرخه‌ای که از ورود مواد خام گرفته تا مصرف، جمع‌آوری باقیمانده و بازیافت، راهبری کند.

شکل ۱. حوزه‌های تأثیرپذیر اجتماعی در انقلاب صنعتی چهارم

تأثیرات بر کسب و کار: در زمینه کسب و کار نیز، انقلاب صنعتی چهارم تحولات عظیمی ایجاد خواهد کرد[۲۵]. تجربه افراد نیز در طول تحولات به مانند عملیات‌های کارگاهی نیز در گذر زمان دچار تغییراتی گردیده است [۴۵]. تغییر در انتظارات مشتریان، تولید محصولات بهبود یافته با استفاده از داده، فرآیند نوآوری گروهی و مدل‌های عملیاتی جدید از جمله تغییراتی هستند که به علت تأثیرگذاری انقلاب صنعتی چهارم، در حوزه کسب و کار شکل می‌گیرند [۱۵]. در زمینه مدل‌های عملیاتی جدید، پلتفرم‌ها به عنوان یک نمونه برجسته مطرح هستند که در آینده به عنوان دارای ارزش و دارایی تلقی خواهند شد [۴]. به عنوان مثال، کافه بازار یکی از این پلتفرم‌هاست که خود به صورت مستقیم نرم‌افزاری تولید نمی‌کند، اما با بیش از ۱۸ هزار تولیدکننده نرم‌افزار و ۳۰ میلیون کاربر فعال، به عنوان یک میانجی ارزشمند عمل می‌کند. این نوع پلتفرم‌ها ارتباطات بین تولیدکنندگان نرم‌افزار و مشتریان را تسهیل می‌کنند و نقش مهمی در تغییر چشم‌انداز کسب و کارها دارند [۱].



شکل ۲. تاثیرات انقلاب صنعتی چهارم بر کسب و کار

تأثیرات بر دولت: احتمالاً مهم‌ترین و اصلی‌ترین تأثیر انقلاب صنعتی چهارم بر دولت‌ها اتفاق می‌افتد[۱۷]. واقعیت این است که تغییرات فناوری در حوزه دولت به عنوان یک شمشیر دو لبه عمل می‌کند. از یک سو، با بهره‌مندی از ظرفیت‌ها و فرصت‌های ایجاد شده توسط فناوری‌های برافراز، می‌توان سیستم حکمرانی را بهبود بخشید و خدمات بهتری را به اقسام مختلف جامعه ارائه کرد [۱۳]. از سوی دیگر،

این فناوری‌ها ورود افراد غیردولتی را به دامنه حکومت گسترش داده و نقش دولت در مسائل مختلف را کمرنگ کرده است [۲۴]. به عبارت دیگر، دولت‌ها دیگر به تنهایی قدرت مسلط در یک کشور نیستند و به دلیل ورود فناوری‌های جدید، قدرت اجرایی آنها به سمت فعالیت‌های غیردولتی کشیده شده است[۹]. بنابراین، به طور کلی می‌توان گفت که در انقلاب صنعتی چهارم، دستیابی به قدرت آسان‌تر از گذشته است، اما استفاده از آن چالش‌برانگیزتر و از دست دادن آن نیز بسیار آسان‌تر شده است.

برنامه‌ریزی، نقش موثری در حرکت کشور ها به سمت توسعه دارد. به همین منظور، توجه به پنجره فرصت هایی که در هر دوره زمانی ظهور می کنند در تدوین این برنامه ها حائز اهمیت است. فناوری و نوآوری، بالاخص انقلاب صنعتی چهارم در دهه جاری میلادی بستر رقابت بین کشور ها خواهد بود و حضور به موقع و فعال در این عرصه می تواند نردبان توسعه را برای کشور های درحال توسعه مهیا سازد. بر اساس گزارش های بین المللی، در کشور های درحال توسعه به دلیل اینکه سطح فناوری و سرمایه برای استقرار کامل صنعت۴.۰ و حرکت بر روی لبه این فناوری مهیا نیست پیشنهاد می شود در گام های اولیه این صنعت وارد شوند.

۲. پیشینه پژوهش

رکن‌الدینی و عندلیب اردکانی (۱۴۰۳) در پژوهشی با عنوان «تحلیل عوامل سازمانی مؤثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در شرکت‌های کوچک و متوسط» با استفاده از روش فراترکیب به بیان این موضوع پرداختند که صنعت ۴.۰ یک گزینه استراتژیک حیاتی برای شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی است که آن‌ها را قادر می‌سازد تا با مسابقه دیجیتالی شدن همگام شوند. مطالعه یادشده یک نقشه راه دیجیتالی‌سازی سازمانی ایجاد کرد که شرایط لازم برای تسهیل دیجیتالی شدن شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی را تحت صنعت ۴.۰ توصیف می‌کند[۲۸].

جوان جعفری (۱۴۰۳) در پژوهش خود با عنوان « بررسی فرصت‌های ناشی از کلان روندهای اقتصاد دیجیتال به منظور تدوین الگوی توسعه صنعتی ایران در راستای سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی » با روش تاپسیس و حداقل مربعات جزئی، ابتدا به اولویت بندی فناوری های انقلاب صنعتی چهارم از منظر کاربرد در اقتصاد دیجیتال پرداخته و سپس، با طراحی یک مدل مفهومی، روابط تاثیر گذار بین فناوری ها مورد بررسی و ارزیابی قرار داده است . در نهایت نیز با بهره گیری از ادبیات توسعه صنعتی، مدل سه سطحی توسعه فناوری های موثر در انقلاب صنعتی چهارم برای ایران استخراج و تبیین شده است[۱۱].

بهرامی و همکاران (۱۴۰۲) در مقاله « تحلیل مؤلفه‌های مؤثر بر ارزیابی آمادگی صنعت نسل چهارم» با روش دلفی و دیمتل فازی برای درک بهتر سازمان‌ها و صنایع غذایی استان تهران از وضعیت فعلی آمادگی این صنایع در حرکت به سمت صنعت نسل چهارم مطالعه ای ارائه دادند. هدف پژوهش شناسایی و تعیین اهمیت مؤلفه‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر بر آمادگی سازمان درحرکت به سمت صنعت نسل چهار است. روابط بین معیارها و زیرمعیارها بررسی شد که در طی آن معیار «آمادگی عملکردی» بیشترین میزان تأثیرپذیری و «آمادگی فناوری اطلاعاتی» بیشترین میزان تأثیرگذاری را به خود اختصاص دادند؛ همچنین از میان زیرمعیارها نیز زیرمعیار «قوانین دولتی و نهادها» به‌عنوان اثرگذارترین علت و «پویایی محیط کار» به‌عنوان اثرپذیرترین معلول شناسایی شدند[۵].

ارجمندی و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهش خود با عنوان «ارائه الگوی گذار فناورانه به نسل چهارم انقلاب صنعتی در صنعت خودرو» با استفاده از روش فراترکیب و مطالعه ادبیات این حوزه با تمرکز بر ارائه راهکار برای صنعت خودرو، به این نتیجه رسیده اند که مهم ترین مقوله های کلیدی برای گذار فناورانه عبارت اند از منابع, عوامل سازمانی, سیاست های دولت, عوامل فرهنگی, بازار, عوامل قانونی–حمایتی و محیط نهادی است که در سه رده عوامل اصلی, زمینه ای و محیطی دسته بندی شدند[۳].

نعمتی زاده و همکاران (۱۴۰۰) در مقاله « طراحی و ارائه مدلی به منظور ارزیابی آمادگی سازمان گمرک ایران برای پیوستن به انقلاب صنعتی چهارم» با روش اکتشافی و از طریق مصاحبه عمیق، دریافتند که بهره گیری از فناوری های روز، امکانات و زیرساخت ها، همکاری و تعامل، سیاستگذاری و قوانین، مدیریت و برنامه ریزی، عوامل بین المللی و برون سازمانی و ساختار سازمان از جمله مهمترین عوامل برای پیوستن گمرک به انقلاب صنعتی چهارم است [۲۴].

خالقی بایگی (۱۳۹۹) در مقاله ای با عنوان «انقلاب صنعتی چهارم و اقتصاد دیجیتال: مروری بر نقش مدیریت در رشد اقتصادی جدید» با روش توصیفی–تحلیلی نظام اقتصادی نوین ایجاد شده برپایه فناوری های صنعت۴.۰ را بررسی نموده و نقش مدیران را در تدوین استراتژی هایی برای بهره مندی از این فناوری ها پررنگ می داند. در این مقاله اشاره شده است که به دلیل نیاز به دیجیتالی شدن تمام زنجیره تولید، دولت ها باید سرمایه گذاری های خود را غلاوه بر بخش تحقیق و توسعه، به سمت دیجیتالی شدن فرایند ها و پلتفرم های زنجیره تولید نیز اختصاص دهند [۱۶].

جوربنیان و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله « حکمرانی چابک سیاست گذاری در بستر انقلاب صنعتی چهارم» بار وش توصیفی– تحلیلی بر لزوم حرکت به سمت حکمرانی چابک از طریق سیاستگذاری جمع سپار، حکمرانی چند ساحتی بجای تک ساحتی و ایجاد لابراتوار های سیاستی در دولت با هدف ارائه نواوری های سیاستی تاکید دارد[۱۳].

اسعدی(۱۳۹۸) در پژوهش خود با عنوان « انقلاب صنعتی چهارم و اقتصاد دیجیتال: پیشران‌های رشد اقتصادی پایدار» با روش مطالعه کتابخانه ای بر لزوم تدوین قوانین حفاظت از اطلاعات در عصر انقلاب صنعتی چهارم تاکید می کند. این مقاله همچنین به گسترش همکاری های بین المللی، پلتفرم شبکه سازی بین صنایع و اصلاح و انعطاف در مقررات کسب وکار منطبق با تغییرات انقلاب صنعتی چهارم اشاره کرده است [۴].

آنتونی[۱] و همکاران(۲۰۲۳) در مقاله ای با عنوان « مفهوم سازی ابعاد مدل آمادگی صنعت ۴.۰: یک مطالعه ترکیبی متوالی اکتشافی» با استفاده از پرسش خبرگانی و رصد صنایع منتخب، مدل ۱۰ بعدی برای آمادگی صنعت ۴ در صنایع را استخراج کردند که از جمله آن آمادگی فناوری، نیروی انسانی و نرم افزاری است. این مقاله تلاش کرده است تا مدل آمادگی صنعت ۴.۰ را مفهوم‌سازی کند و از یک روش ترکیبی اکتشافی برای ارزیابی انتقادی ابعاد مربوط به مدل استفاده می‌کند[۱].

تانگ‌وو[۲] و همکاران(۲۰۲۳) در پژوهشی با عنوان «انقلاب صنعتی چهارم: آگاهی و آمادگی ملت ها» با استفاده از تحلیل تحلیل پاسخ‌های واقعی ۱۵ دولت و مقایسه استراتژی‌ها و موانع مشترک میان کشورهای مختلف به این نتیجه رسیدند که کشورهای توسعه‌یافته با همکاری دانشگاه‌ها و بخش‌های مختلف، استراتژی‌های ملی خود را تدوین کرده و منابع مالی کافی برای اجرای موفق سیاست‌ها دارند. کشورهای در حال توسعه با محدودیت منابع، عدم استراتژی دیجیتال روشن، و نیاز به سرمایه‌گذاری در آموزش و پرورش مواجه هستند[۳۷].

تکسریا و تاوارس لمن[۳](۲۰۲۲) در مقاله« صنعت ۴.۰ در اتحادیه اروپا: سیاست ها و استراتژی های ملی» جامع ترین تحلیل مقایسه ای را از برنامه های اتحادیه اروپا در حوزه صنعت۴.۰ ارائه می دهد. این مقاله نشان می دهد که در سطح فراملی، اتحادیه اروپا سیاست‌هایی را با هدف دیجیتالی‌سازی صنعت در سراسر اتحادیه اروپا و ایجاد انگیزه در کشورها برای ایجاد استراتژی‌های دیجیتالی‌سازی در سطح ملی طراحی کرده است[۳۵].

مبخت[۴] و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود با عنوان« نقشه برداری صنعت ۴.۰ فن آوری ها را به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد تبدیل می کند»در این تحقیق، فناوری‌های اصلی صنعت۴.۰ به‌منظور تطبیق با ۱۷ هدف توسعه پایدار سازمان ملل طبقه‌بندی و با استفاده از نقشه‌برداری کمی، تأثیر آن‌ها بر این اهداف مورد بررسی قرار گرفته است.نتایج نشان می دهد بیشتر فناوری‌های صنعت۴.۰ می‌توانند به‌طور مثبت به تحقق اهداف توسعه پایدار کمک کنند. اثرات این فناوری‌ها بر اهداف مختلف به‌طور مستقیم و قوی یا غیرمستقیم و ضعیف متفاوت است[۲۰].

چانگ لین[۵] و همکاران(۲۰۱۷) در مقاله ای تحت عنوان « مقایسه میانی از سیاست نوآوری تحت صنعت ۴.۰ و انتقال توسعه پایدار» با روش توصیف آماری به بررسی ابعاد استقرار صنعت ۴.۰ در کشور های چین و تایوان می پردازد. نتایج نشان می‌دهد که چین، از نظر

---

[۱] **Anthony**

[2] **Huan Tuong Vo**

[3] **Texaria and Tavares Lehman**

[4] **Mohammed M. Mabkhot**

[5] **Chang Lin**

سیاست‌گذاری، بر جنبه‌های سیاسی و قانونی سیاست زیست‌محیطی، و همچنین موضوع خدمات عمومی سیاست سمت تقاضا تمرکز می‌کند. تایوان نیز مانند چین بر سیاست سمت محیطی تاکید دارد، در حالی که تایوان بیشتر بر آموزش سیاست سمت عرضه تمرکز دارد[۱۹].

در جدول۱ خلاصه پژوهش های انجام شده در این خصوص ارائه شده است.

جدول۱. خلاصه پژوهش‌های صورت گرفته

سال	نویسندگان	عنوان پژوهش	روش تحقیق	نتایج کلیدی
۱۴۰۳	رکن‌الدینی و عندلیب اردکانی	تحلیل عوامل سازمانی مؤثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در شرکت‌های کوچک و متوسط	فراترکیب	صنعت ۴.۰ گزینه استراتژیک برای شرکت‌های کوچک و متوسط است و نقشه راه دیجیتالی‌سازی ایجاد شده است.
۱۴۰۳	جوان جعفری	بررسی فرصت‌های ناشی از کلان روندهای اقتصاد دیجیتال	تاپسیس و حداقل مربعات جزئی	اولویت‌بندی فناوری‌ها و تدوین مدل سه‌سطحی برای توسعه فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم در ایران.
۱۴۰۲	بهرامی و همکاران	تحلیل مؤلفه‌های مؤثر بر ارزیابی آمادگی صنعت نسل چهارم	دلفی و دیمتل فازی	شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر آمادگی سازمان‌ها در حرکت به سمت صنعت نسل چهارم.
۱۴۰۲	ارجمندی و همکاران	ارائه الگوی گذار فناورانه به نسل چهارم انقلاب صنعتی در صنعت خودرو	فراترکیب	شناسایی مقوله‌های کلیدی برای گذار فناورانه در صنعت خودرو.
۱۴۰۰	نعمتی‌زاده و همکاران	طراحی و ارائه مدلی برای ارزیابی آمادگی سازمان گمرک ایران برای پیوستن به انقلاب صنعتی چهارم	اکتشافی و مصاحبه عمیق	شناسایی عوامل مهم برای پیوستن گمرک ایران به انقلاب صنعتی چهارم.
۱۳۹۹	خالقی بایگی	انقلاب صنعتی چهارم و اقتصاد دیجیتال: مروری بر نقش مدیریت در رشد اقتصادی جدید	توصیفی–تحلیلی	تأکید بر دیجیتالی‌سازی فرآیندها و نیاز به استراتژی‌های مناسب برای بهره‌مندی از فناوری‌های صنعت ۴.
۱۳۹۸	جوربنیان و همکاران	حکمرانی چابک سیاست‌گذاری در بستر انقلاب صنعتی چهارم	توصیفی–تحلیلی	تأکید بر حرکت به سمت حکمرانی چابک و سیاستگذاری جمع‌سپار و چندساحتی.
۱۳۹۸	اسعدی	انقلاب صنعتی چهارم و اقتصاد دیجیتال: پیشران‌های رشد اقتصادی پایدار	مطالعه کتابخانه‌ای	لزوم تدوین قوانین حفاظت از اطلاعات و گسترش همکاری‌های بین‌المللی.
۲۰۲۳	آنتونی و همکاران	مفهوم‌سازی ابعاد مدل آمادگی صنعت ۴.۰: یک مطالعه ترکیبی متوالی اکتشافی	ترکیبی اکتشافی	استخراج مدل ۱۰ بعدی آمادگی صنعت ۴.۰ برای صنایع.
۲۰۲۳	تانگ‌وو و همکاران	انقلاب صنعتی چهارم: آگاهی و آمادگی ملت‌ها	تحلیل پاسخ‌های واقعی	مقایسه استراتژی‌های کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه در مواجهه با انقلاب صنعتی چهارم.
۲۰۲۲	تکسریا و تاوارس لمن	صنعت ۴.۰ در اتحادیه اروپا: سیاست‌ها و استراتژی‌های ملی	تحلیل مقایسه‌ای	بررسی سیاست‌های اتحادیه اروپا در جهت دیجیتالی‌سازی صنعت و ایجاد استراتژی‌های دیجیتال.
۲۰۲۱	مبخت و همکاران	نقشه برداری صنعت ۴.۰ فناوری‌ها را به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد تبدیل می‌کند	نقشه‌برداری کمی	بررسی تأثیر فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر اهداف توسعه پایدار و ایجاد رابطه میان آن‌ها.

وجه تمایز این پژوهش، بررسی گام های راهبردی و زیرساختی برای استقرار فناوری های انقلاب صنعتی چهارم در صنایع کشور است. درواقع این پژوهش در صدد کشف این موضوع است که اساساً چه نهاد سازی ها و چه راهبرد هایی از سوی دولت و حاکمیت می تواند منجر به ایجاد زیرساخت و تشویق فعالان اقتصادی به نقش آفرینی در خصوص جذب فناوری های صنعت۴.۰ در صنایع کشور شود. این راهبرد ها رد قالب سیاست های افقی که دولت در اختیار همه صنایع قرار می دهد برشمرده شده و برحسب اهمیت و اولویت ارائه می گردد.

تجربه کشورها

در مطالعه ای تطبیقی اتحادیه اروپا، چین، کره جنوبی و عربستان سعودی، به عنوان نمونه، سیاست های مختلفی را باهدف استقرار فناوری های صنعت۴.۰ اتخاذ کرده‌اند[۳۳]. این کشورها و مناطق تمرکز خود را بر روی سیاست‌ها و ابتکاراتی قرار داده‌اند که هدف آن‌ها ارتقای نوآوری فناوری و توسعه صنایع است، در حالی که به چالش‌های مرتبط با آموزش، همکاری‌های دولتی–خصوصی و گسترش زیرساخت‌های

صنعتی نیز پرداخته اند. رویکردهای هر کدام از این کشورها با توجه به نیازهای خاصشان متفاوت است، از جمله تمرکز بر صنایع نفتی در عربستان سعودی [۲۷]و ارتقای نوآوری در چین. در جدول۲ بصورت خلاصه، اقدامات این کشور ها اشاره شده است.[۶] [۸] [۴۳]

جدول ۲. بیان تجربیات سایر کشورها

کشور/منطقه	تمرکزاصلی سیاست ها	اهداف و برنامه های استراتژیک	اقدامات اصلی
اتحادیه اروپا	–چارچوب‌های سیاستی هماهنگ –ترویج نوآوری در سراسر مناطق –رفع شکاف‌های مهارتی	–توسعه استراتژی‌های منسجم برای صنعت ۴.۰ در مناطق مختلف –آموزش مهارت‌ها متناسب با نیازهای صنعت ۴.۰ –ترویج نوآوری در مناطق عقب‌مانده –تشویق مشارکت‌های دولتی–خصوصی	–هماهنگی بین بخش‌های دولتی و خصوصی –ترویج پذیرش فناوری در مناطق عقب‌مانده –توسعه مهارت‌ها
کره جنوبی	–استراتژی‌های ملی برای صنعت ۴.۰ –توسعه صنایع هوشمند –تمرکز بر فناوری‌های هوش مصنوعی و داده‌ها	–تقویت صنایع جدید از طریق ادغام فناوری‌های هوشمند –توسعه استراتژی‌های ملی برای **AI** ، **IoT** و غیره –همکاری‌های دولتی و خصوصی –اصلاحات نظارتی و نهادی	–تشکیل کمیته ریاست‌جمهوری برای صنعت ۴.۰ –حمایت از صنایع مبتنی بر فناوری‌های نوین
چین	–ارتقای فناوری‌ها –نوآوری در تولید –تمرکز بر توسعه پایدار و کیفیت تولید	–تغییر به صنعتی مبتنی بر نوآوری –دستیابی به توسعه سبز و پایدار –تمرکز بر کیفیت به جای کمیت –توسعه منابع انسانی	–سیاست **"Made in China 2025"** –حمایت مالی از مراکز نوآوری –تقویت مکانیزم‌های بازار و حفاظت از مالکیت معنوی
عربستان سعودی	–تمرکز بر نفت و پتروشیمی و تولید –پذیرش فناوری‌های هوشمند در صنایع مختلف	–تنوع‌بخشی به بخش صنعت با فناوری‌های هوشمند –افزایش خودکارسازی در کارخانه‌ها –ترویج **AI** و رباتیک در تولید	–همکاری با گروه **Raqtan** و **MODON** برای پذیرش رباتیک و هوش مصنوعی –شناسایی فرصت‌های سرمایه‌گذاری برای تولید پیشرفته

دولت ایران برای حرکت به سمت صنعت ۴.۰ و انقلاب صنعتی چهارم چند سیاست و اقدام مختلف را در نظر گرفته است. این اقدامات شامل تشکیل کمیته‌ای زیر نظر وزارت صنعت، معدن و تجارت با حضور فعالان صنعتی و نمایندگان سازمان‌های دولتی مرتبط برای سیاست‌گذاری در زمینه انقلاب صنعتی چهارم است. وزارت صنعت، معدن و تجارت همچنین بصورت موردی(مثلا در حوزه فلزات) برنامه‌هایی برای استقرار فناوری‌های نوین در بخش صنعت تدوین کرده است. در این راستا، اجرای برنامه‌هایی برای دیجیتالی‌سازی زیرساخت‌های شهری و ایجاد شهرهای هوشمند، حمایت از شرکت‌های فناورانه و استارتاپ‌های صنعتی که از رباتیک و اتوماسیون استفاده می‌کنند، و تشویق همکاری‌های بین‌المللی برای انتقال دانش و فناوری‌های پیشرفته از جمله اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و کلان داده به کشور نیز بصورت پراکنده در دستور کار قرار گرفته است. همچنین، سیاست‌های حمایتی مانند تسهیلات مالیاتی و یارانه‌ها برای تحقیق و توسعه در زمینه فناوری‌ها در قانون جهش تولید دانش بنیان به کار گرفته شده‌اند. با این حال، ایران هنوز در مراحل ابتدایی پیاده‌سازی این سیاست‌ها قرار دارد و چالش‌هایی مانند کمبود زیرساخت‌های فناوری، نیاز به آموزش نیروی کار متخصص، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و ارتباطات بین المللی همچنان وجود دارد. به طور کلی، فقدان استراتژی صنعتی ر و همچنین کم توجهی به مسئله صنعت۴.۰ در

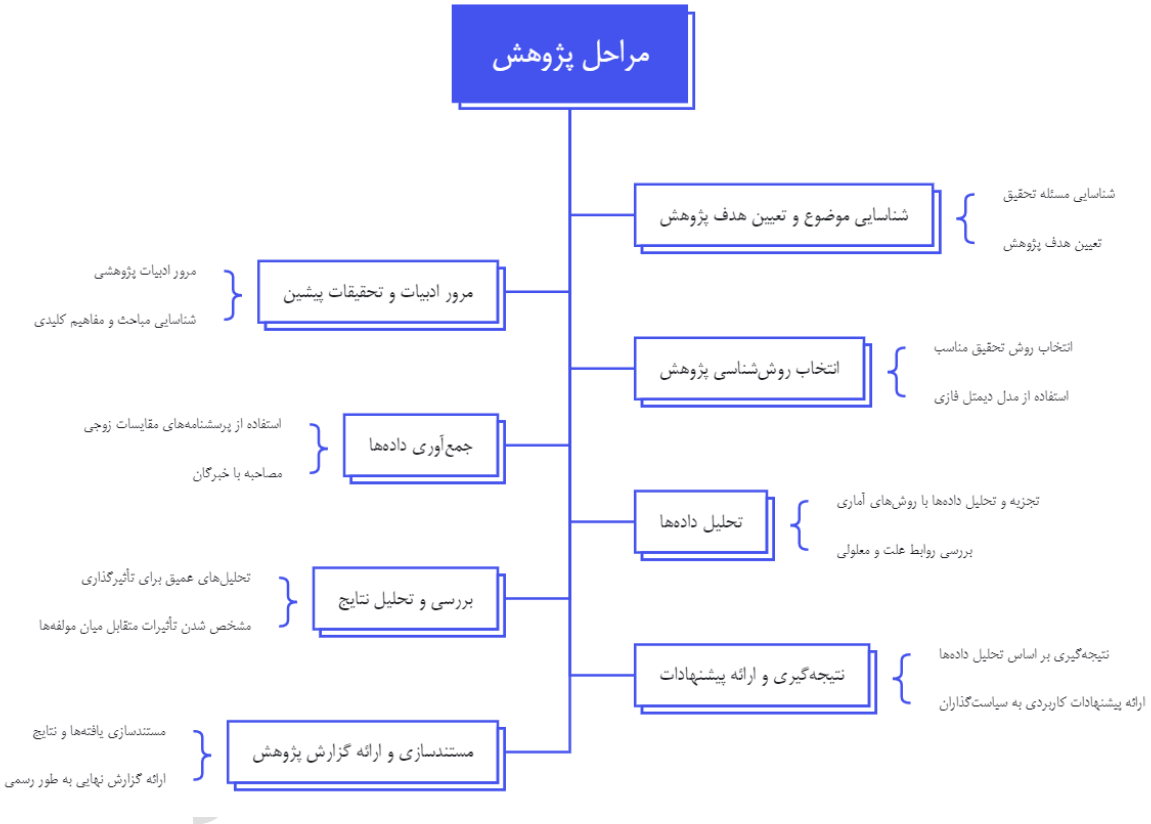
برنامه های توسعه تدوین شده به وضوح در فضای مدیریت صنعتی کشور احساس می شود. این پژوهش با هدف ارائه راهبردهایی جهت پر کردن این خلاء انجام شده تا اولویت های اساسی برای استقرار این فناوری ها در کشور ارائه و دید مناسبی را به سیاستگذار ارائه نماید.

۳. روش‌شناسی پژوهش

مراحل پژوهش

فرآیند پژوهش با **شناسایی مسئله تحقیق** و تعیین هدف پژوهش آغاز شد. سپس با **مرور ادبیات و تحقیقات پیشین** به شناسایی مفاهیم کلیدی پرداخته شده و در ادامه **روش‌شناسی مناسب** انتخاب شد که در این مورد از مدل دیمتل فازی استفاده شده است.

در بخش **جمع‌آوری داده‌ها**، از ابزارهایی مانند پرسشنامه‌ها و مصاحبه با خبرگان بهره گرفته شده است. این داده‌ها در مرحله بعدی با استفاده از روش‌های آماری و مدل‌سازی تحلیلی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، نتایج تحلیل داده‌ها به صورت **نتیجه‌گیری کاربردی و ارائه پیشنهادات** عملیاتی ارائه شده و مستندسازی نهایی به شکل گزارش پژوهش برای استفاده در تصمیم‌گیری‌ها در انتهای مقاله آورده شده است.



شکل ۲. مراحل پژوهش به صورت شماتیک

در مقاله حاضر با بهره گیری از تجربیات دیگر کشورها در حرکت به‌سوی دیجیتالی شدن صنعت و همچنین استفاده از پنل خبرگان صنعتی که شامل صنعت‌گران و فعّالین اقتصادی عضو کمیسیون صنایع اتاق بازرگانی ایران بوده که غالبا در صنایع کوچک و متوسط(**SMEs**) کشور مشغول به فعالیت هستند. طیف فعالیت آنها نیز از صنعت غذایی تا لوازم خانگی و برق و الکترونیک و فولاد را شامل می گردد. محور

های مندرج در جدول۳ به عنوان سیاست های راهبردی کشور برای استقرار گام‌های اولیه صنعت۴.۰ در کشور از منظر این خبرگان در یک جلسه همفکری و تبادل نظر پیشنهاد شد.

جدول ۳. سیاست‌های راهبردی جهت استقرار گام‌های اولیه صنعت۴.۰

	گزاره	مضمون
C_1	کمیته‌ای ذیل وزارت صنعت، معدن و تجارت با محوریت این وزاتخانه و با حضور فعالان بخش خصوصی(با محوریت اتاق بازرگانی) و نمایندگان سازمان‌های دولتی مرتبط (مانند معاونت علمی و فناوری رئیس‌جمهور و وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، وزارت ارتباطات، سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران) به‌منظور سیاستگذاری حرکت به‌سوی انقلاب صنعتی چهارم و استقرار گام های اولیه این صنعت در تولید کشور تشکیل شود. این کمیته(کمیته صنعت۴.۰) درواقع نوعی نهاد تنظیم گر برا تنظیم قواعد حرکت به سمت استقرار انقلاب صنعتی چهارم در صنایع کشور خواهد بود.	تاسیس نهاد تنظیم گر صنعت۴.۰
C_2	بخشی از آموزش‌های دانشگاهی به‌سوی پیشران‌های انقلاب چهارم صنعتی سوق داده شده و رشته‌های دانشگاهی مانند تحلیل کسب‌وکار مبتنی بر داده، ساخت و تولید افزودنی، امنیت سایبری و ... در دستور کار دانشگاه‌های برتر کشور قرار گیرد.این مهم از طریق ایجاد گرنت های پژوهشی برای هدایت مطالعات به سمت توسعه دانش در این حوزه صورت می گیرد.	حمایت از پژوهش و تولید دانش در حوزه صنعت۴.۰
C_3	تدوین و اجرای برنامه استقرار فناوری‌های نوین در صنایع اولویت دار در دستور کار وزارت صنعت، معدن و تجارت قرار گیرد.	تدوین برنامه استقرار صنعت۴.۰
C_4	در تدوین اسناد سیاست صنعتی کشور، صنایع مرتبط با انقلاب صنعتی چهارم با نظر کمیته صنعت۴.۰ به‌عنوان صنایع پیشرو در نظر گرفته شود.	اولویت بندی صنایع پیشرو
C_5	قوانین و مقررات بخش صنعت باتوجه‌به نیازهای چهارمین انقلاب صنعتی زیر نظر کمیته صنعت۴.۰ پالایش و اصلاح شوند.	اصلاح قوانین برای استقرار صنعت۴.۰
C_6	پیمایش آمادگی (بلوغ) شرکت‌های صنعتی در بکارگیری فناوری‌های نسل چهارم در شرکت‌های پیشرو انجام گرفته و از نتایج آن برای اولویت‌دهی به ارائه مشوق‌های توسعه‌ای به شرکت‌های بالغتر استفاده شود.	پایش صنایع و اعطای مشوق متناسب با سطح آمادگی آن صنعت
C_7	زیرساخت‌های نرم و سخت مورد نیاز برای انقلاب صنعتی چهارم (اعم از نسل پنجم اینترنت، قوانین و مقررات، بازارگاه‌های داده و...) شناسایی و در کشور پیاده‌سازی شوند.	توسعه زیرساخت های نرم افزاری برای استقرارصنعت۴.۰
C_8	مشاوره و حمایت از سازمان‌ها و شرکت‌های پیشرو حوزه انقلاب صنعتی چهارم برای ورود به بورس و فرابورس	حمایت از بورسی شدن شرکت های پیشرو در صنعت۴.۰
C_9	بازبینی برنامه‌های اجرایی و قوانین کشور همراستا با پارادایم جهانی انقلاب صنعتی چهارم و آینده نگاری و آینده پژوهی به منظور کشف سناریوهای احتمالی و توسعه چشم انداز هوشمند برای شکل دادن به انتشار و اشاعه صنعت ۴	بازبینی در برنامه های اجرایی متناسب با استقرار صنعت۴.۰
C_{10}	تامین منابع مالی حمایت از استقرار و اشاعه صنعت۴.۰ از محل مالیات صادرات مواداولیه خام و نیمه خام	تامین مالی استقرارصنعت۴.۰

جامعه نمونه و ابزار

در پژوهش حاضر، انتخاب روش‌ها و مدل‌های مختلف بر اساس اهداف خاص تحقیق و نیاز به تحلیل دقیق و جامع از عوامل مؤثر بر توسعه و پیاده‌سازی انقلاب صنعتی چهارم در ایران انجام شده است. روش توصیفی-پیمایشی به دلیل توانایی آن در جمع‌آوری داده‌های مرتبط با وضعیت فعلی و شناسایی روابط میان متغیرها انتخاب شده است. هدف اصلی این پژوهش، شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مختلف تأثیرگذار بر انقلاب صنعتی چهارم در ایران است که به‌طور مؤثر از طریق روش توصیفی-پیمایشی قابل دستیابی است. این روش به ما کمک می‌کند تا تصویر دقیقی از وضعیت موجود ارائه دهیم و روابط پیچیده میان متغیرها را شبیه‌سازی کنیم.

مدل آلان گیب (۲۰۱۲) به دلیل جامع بودن و تطابق آن با موضوع تحقیق انتخاب شده است. این مدل امکان شناسایی شاخص‌های کلیدی را فراهم می‌آورد و به‌ویژه در بررسی عواملی که در انقلاب صنعتی چهارم تأثیر دارند، کاربردی است. این مدل پایه‌گذار شاخص‌های این پژوهش بوده و تحلیل دقیق‌تر این عوامل را میسر می‌سازد. به‌علاوه، مدل تصمیم‌گیری چند معیاره فازی به‌ویژه در مسائلی که عدم قطعیت و پیچیدگی دارند، استفاده می‌شود. با توجه به پیچیدگی‌های محیط اقتصادی، اجتماعی و صنعتی ایران، انتخاب مدل تصمیم‌گیری چند معیاره فازی برای تحلیل و اولویت‌بندی عوامل مؤثر در پیاده‌سازی انقلاب صنعتی چهارم ضروری بوده است. این مدل قادر است به‌طور مؤثری تصمیم‌گیری در شرایط فازی را انجام دهد و به تحلیل دقیق‌تر کمک کند.

در نهایت، از مدل دیمتل فازی به‌عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی روابط علت و معلولی میان عوامل مختلف استفاده شده است. این مدل به ما این امکان را می‌دهد که روابط پیچیده و اثرات متقابل میان شاخص‌ها را در یک محیط فازی مدل‌سازی کنیم و تأثیرات هر عامل را در توسعه و پیاده‌سازی انقلاب صنعتی چهارم در ایران دقیق‌تر ارزیابی نماییم. به‌طور کلی، تمامی روش‌ها و مدل‌های انتخابی در این پژوهش بر اساس ماهیت پیچیده موضوع و نیاز به تحلیل دقیق‌تر و معتبرتر از وضعیت موجود انتخاب شده‌اند و به ارائه نتایج معتبر و قابل استناد کمک می‌کنند.

جدول۴ . اطلاعات جمعیت‌شناختی خبرگان

اطلاعات	مدرک تحصیلی			رشته تحصیلی		تعداد سال‌های فعالیت علمی-اجرایی		
توصیفی	لیسانس	فوق لیسانس	دکتری	مدیریت و اقتصاد	فنی و مهندسی	زیر ۱۰ سال	۱۰ — ۲۰	بالای ۲۰ سال
تعداد	۷	۹	۲	۱۰	۸	۷	۶	۵

تکنیک دیمتل فازی

تکنیک دیمتل روشی جامع برای ساخت و تجزیه و تحلیل یک مدل ساختاری شامل روابط علت و معلولی بین عوامل پیچیده است[۱۳]. تکنیک دیمتل یک ابزار علمی و بسیار مفید است که روابط علت و معلولی پیچیده را با ماتریس یا نمودار بیان میکند[۴۱] ماتریس و نمودار ارتباط درونی میان عناصر یک سیستم که نشان دهنده قدرت نفوذ و نفوذپذیری هر عنصر است را بیان میکند[۱۳]. بنابراین روش دیمتل قادر به تبدیل ارتباط بین علل و اثرات معیارها به یک مدل ساختاری معقول است[۳۹]. با توجه به اینکه در استفاده از روش دیمتل از نظر خبرگان استفاده میشود و این نظر اغلب غیر شفاف و به صورت توصیفات زبانی است[۱۸] از این رو برای یکپارچه کردن و از حالت مبهم درآوردن آنها بهتر است که واژگان زبانی خبرگان را به عدد فازی درآوریم. برای این کار و و ولی مدلی را پیشنهاد کردند که از دیمتل در شرایط فازی استفاده می‌شود [۴۳].

گام‌های روش دیمتل فازی به شرح زیر است:

گام اول: شناسایی عناصر سیستم

عناصر موجود از یک سیستم موردنظر را از طریق روش‌هایی نظیر مرور ادبیات موضوع، پرسشنامه، دلفی، مصاحبه و.... لیست می‌کنیم.

گام دوم: طراحی مقیاس زبانی فازی

اعداد فازی مثلثی را مبنای مقایسه عناصر و محاسبات هر مرحله قرار خواهیم داد. یک عدد فازی مثلثی به‌صورت $\widetilde{M} = (l.m.u)$ نشان داده می‌شود و به شکل زیر تعریف می‌گردد:

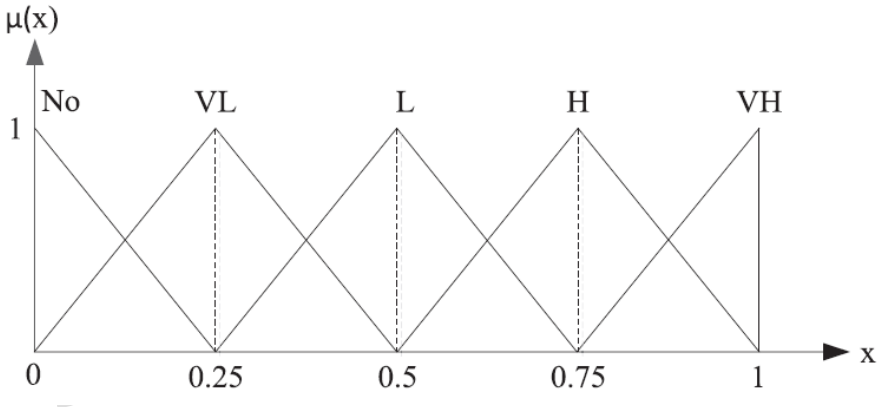
$$\mu_{\widetilde{M}}(x) = \begin{cases} \dfrac{(x-l)}{(m-l)}; l < x \leq m \\ \dfrac{(u-x)}{(u-m)}; m < x \leq u \\ 0 \quad ; otherwise \end{cases}$$

که در آن l و u به ترتیب کران پایین و بالای عدد فازی $\widetilde{M}$ است.

به‌منظور اندازه‌گیری نظر خبرگان در مورد روابط زوجی میان عناصر و همچنین برای رفع عدم اطمینان باید از مقیاس زبانی جدول ۳ استفاده کرده و آن را در اختیار خبرگان قرار دهیم تا با توجه به این معیارها روابط میان عناصر را تعیین نمایند. نمودار شماره ۲ نشان‌دهنده نرخ و عملکرد عضویت مقیاس فازی جدول شماره ۵ است.

جدول ۵. عبارات کلامی به کار رفته در تحقیق و مقادیر معادلشان

عبارت کلامی	نماد لاتین	مقدار عددی	معادل فازی
تأثیرگذاری بسیار بالا	**VH (Very High)**	۴	(۰.۷۵،۱.۰،۱.۰)
تأثیرگذاری بالا	**H (High)**	۳	(۰.۵،۰.۷۵،۱.۰)
تأثیرگذاری کم	**L (Low)**	۲	(۰.۲۵،۰.۵،۰.۷۵)
تأثیرگذاری خیلی کم	**VL (Very Low)**	۱	(۰،۰.۲۵،۰.۵)
بدون تأثیر	**NO (No Influence)**	۰	(۰،۰،۰.۲۵)

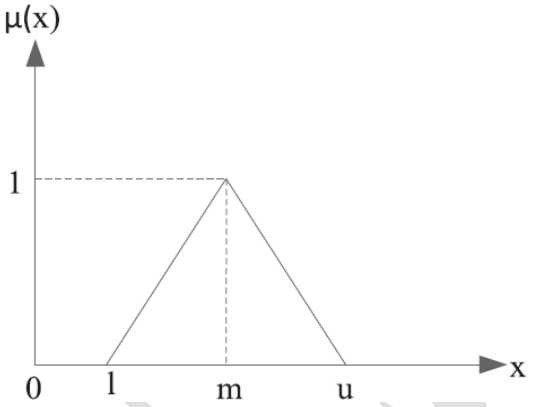


*نمودار شماره ۱: مدل مفهومی مقیاس زبانی (**Lin & Wu**،۲۰۰۸)*

گام سوم: ساخت ماتریس نظرسنجی و اخذ نظر خبرگان

پس از ایجاد ماتریس نظرسنجی، از خبرگان درخواست می‌شود بر اساس جدول شماره ۳، روابط میان عناصر را معین نمایند. اعداد فازی مثلثی $\widetilde{Z_{ij}} = (l_{ij}. m_{ij}. u_{ij})$ نشان‌دهنده نظر پاسخ‌دهندگان در مورد اثر عامل **i** بر عامل **j** است که نمودار شماره ۲ به‌صورت مفهومی آن را نمایش داده است. در اینجا **P** تعداد پاسخ‌دهندگان و **n** تعداد عناصر مورد مطالعه است. بدین ترتیب $\widetilde{Z^1}، \widetilde{Z^2}، \widetilde{Z^3}، \dots ، \widetilde{Z^P}$ ماتریس‌هایی از **P** پاسخ‌دهنده خواهیم داشت.

$$\widetilde{Z^p} = \begin{bmatrix} \widetilde{z_{11}} & \cdots & \widetilde{z_{1n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \widetilde{z_{n1}} & \cdots & \widetilde{z_{nn}} \end{bmatrix}$$



نمودار شماره۲: مدل مفهومی اعداد فازی مثلثی (Lin & Wu, ۲۰۰۸)

گام چهارم: ادغام نظرات خبرگان

در اینجا باید اعداد فازی گام قبلی رابا روش مرکز ثقل[1] غیر فازی کرده[2] و باهم ادغام کرد. ماتریس ادغام‌شده همان ماتریس تصمیم‌گیری اولیه (Z) است.

$$Z = \frac{l + 2m + u}{4}$$

گام پنجم: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم اولیه و ساخت ماتریس اثر اولیه

به‌منظور نرمال‌سازی ماتریس تصمیم اولیه، باید از روابط زیر استفاده کرد که درنتیجه نرمال‌سازی انجام‌شده، ماتریس اثر اولیه (**D**) به‌دست می‌آید.

$$\mathbf{D} = k \times \mathbf{Z} \quad ; \mathbf{k} > 0$$

$$\left[d_{ij}\right]_{n\times n} = k.\left[z_{ij}\right]_{n\times n} \quad ; \mathbf{k} > 0 \quad , \quad \mathbf{i,j} \in \{1,2,3, \dots , \mathbf{n}\}$$

$$\mathbf{k} = \min\left[\frac{1}{\max\limits_{1\le i\le n}\sum_{j=1}^{n}|\tilde{o}_{ij}|}, \frac{1}{\max\limits_{1\le j\le n}\sum_{j=1}^{n}|\tilde{o}_{ij}|}\right] \quad . \quad i.j \in \{1.2.3.\dots n\}$$

گام ششم: ایجاد ماتریس کامل اثر مستقیم و غیرمستقیم (ماتریس رابطه کل)

نحوه محاسبه تصاعد هندسی و رسیدن به ماتریس اثر کل (**T**) به‌صورت زیر است:

$$\mathbf{T} = \lim_{n\to\infty}(\mathbf{D} + D^2 + D^3 + \dots + \mathbf{D}^n) = \frac{D(I-D^n)}{(I-D)} \quad ; \quad \lim_{n\to\infty} D^n = 0$$

---

[1] **Center of Gravity (COG) method**
[2] **Defuzzification**

$$\lim_{n\to\infty}\frac{D(I-D^n)}{(I-D)} = \frac{D}{I-D} = D(I-D)^{-1}$$

محاسبه مجموع کل سطری و ستونی:

با استفاده از مقادیر t_{ij} می‌توان مجموع سطری ردیف **i** ام و مجموع ستونی ستون **j** ام از ماتریس **T** را به دست آورد. مجموع هر سطر (R_i) نشان‌دهنده میزان نفوذ و سطح اثرگذاری عنصر **i** به‌عنوان یک علت بر روی سایر عناصر و مجموع هر ستون (D_j) نیز نشان‌دهنده میزان نفوذ و سطح اثرگذاری عناصر دیگر بر عنصر **j** است.

$$T = [t_{ij}]_{n\times n} \; ; \; R = [r_i]_{n\times 1} = \left[\sum_{j=1}^{n} t_{ij}\right]_{n\times 1} \; ; D = [d_j]_{1\times n} = \left[\sum_{i=1}^{n} t_{ij}\right]_{1\times n}$$

گام هفتم: تعیین ارزش آستانه و رسم الگوی روابط معنادار

به‌منظور نادیده گرفتن اثرات جزئی و نمایش بهتر روابط قوی‌تر از حدی به نام ارزش آستانه با روش میانگین حسابی ساده استفاده می‌شود.

$$TS^{1}=\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} v_{ij}}{m\times n}$$

برای رسم نمودار **IRM** لازم است تا مقادیر $(r_i + c_i)$ و $(r_i - c_i)$ همانند دیمتل کلاسیک محاسبه گردد تا از طریق آن‌ها بتوان محل قرارگیری هر عنصر روی نمودار را پیدا کرد [۳۶]. درنهایت با اعمال ارزش آستانه، روابط جزئی نادیده گرفته‌شده و روابط قوی‌تر که شدت آن‌ها از مقدار ارزش آستانه بیشتر است در نظر گرفته‌شده و در نمودار نشان داده می‌شوند.

گام هشتم: تحلیل

با توجه به مفروضات تکنیک و دو مقدار کلیدی $(r_i + d_j)$ و $(r_i - d_j)$ و چگونگی ارتباط عناصر در نقشه اثر- ارتباط می‌توان تحلیل جامعی از سیستم موردمطالعه ارائه کرد.

۴. تحلیل داده ها و یافته های پژوهش

یافته‌های روش دیمتل‌فازی

در رابطه با یافته‌های تحلیلی پژوهش حاضر می‌توان گفت که پس از طی مراحل چندگانه تکنیک دیمتل فازی برمبنای داده‌های حاصل از پرسشنامه مقایسات زوجی و تحلیل نظر ۱۸ خبره حوزه انقلاب صنعتی چهارم، نتایج به دست آمده در غالب جداول و شکل نمایش داده شده است.

اکنون طبق فرآیندهای تحلیل دیمتل فازی به اجرای گام‌های هشت‌گانه در پژوهش پرداخته می‌شود که عبارت‌اند از:

گام اول: شناسایی عناصر سیستم

با روش تعامل مؤثر بر گام‌های اولیه استقرار فناوری‌های انقلاب صنعتی ۴.۰ با مروری جامع و نظام‌یافته بر گزارش‌ها و مکتوبات مرتبط استخراج گردید و همین طور بهره‌گیری از پنل خبرگانی که گزارش آن بیان گردید که به شرح ذیل (جدول۶)می‌باشد:

جدول ۶. عوامل استقرار گام‌های اولیه صنعت ۴.۰

ردیف	کد عامل	عامل
۱	C_1	تاسیس نهاد تنظیم گر صنعت ۴.۰

[1] **Threshold value**

۲	C_2	حمایت از پژوهش و تولید دانش در حوزه صنعت۴.۰
۳	C_3	تدوین برنامه استقرار صنعت۴.۰
۴	C_4	اولویت بندی صنایع پیشرو
۵	C_5	اصلاح قوانین برای استقرار صنعت۴.۰
۶	C_6	پایش صنایع و اعطای مشوق متناسب با سطح آمادگی آن صنعت
۷	C_7	توسعه زیرساخت های نرم افزاری برای استقرارصنعت۴.۰
۸	C_8	حمایت از بورسی شدن شرکت های پیشرو در صنعت۴.۰
۹	C_9	بازبینی در برنامه های اجرایی متناسب با استقرار صنعت۴.۰
۱۰	C_{10}	تامین مالی استقرارصنعت۴.۰

گام دوم: طراحی مقیاس زبانی فازی

در این مرحله برای رفع عدم اطمینان از معیارهای کلامی فازی مطابق جدول شماره ۷ استفاده شده است.

جدول ۷. تناظر اعداد کلامی با عبارات کلامی

عبارات کلامی	بدون تأثیر	تأثیر خیلی کم	تأثیر متوسط	تأثیر زیاد	تأثیر خیلی زیاد
مقادیر کلامی	(۰،۰.۲۵ ،۰)	(۰،۰.۲۵،۰.۵)	(۰.۲۵،۰.۵،۰.۷۵)	(۰.۵،۰.۷۵،۱)	(۰.۷۵،۱،۱)

گام سوم: ساخت ماتریس نظرسنجی و اخذ نظر خبرگان

برای این امر از ۱۸ نفر از خبرگان تقاضا شده است در قالب ماتریس نظرسنجی ایجادشده، روابط میان عوامل شناسایی‌شده را با مقیاس ۰ تا ۴ مشخص کنند.

جدول شماره۸: نمونه ماتریس تکمیل‌شده توسط خبره موردنظر

عوامل	تاسیس نهاد تنظیم گر صنعت۴.۰	حمایت از پژوهش و تولید دانش در حوزه صنعت۴.۰	تدوین برنامه استقرار صنعت۴.۰	اولویت بندی صنایع پیشرو	اصلاح قوانین برای استقرار صنعت۴.۰	پایش صنایع و اعطای مشوق متناسب با سطح آمادگی آن صنعت	توسعه زیرساخت های نرم افزاری برای استقرارصنعت۴.۰	حمایت از بورسی شدن شرکت های پیشرو در صنعت۴.۰	بازبینی در برنامه های اجرایی متناسب با استقرار صنعت۴.۰	تامین مالی استقرارصنعت۴.۰
تاسیس نهاد تنظیم گر صنعت۴.۰		۳	۴	۱	۳	۳	۴	۱	۴	۳
حمایت از پژوهش و تولید دانش در حوزه صنعت۴.۰	۲		۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۲
تدوین برنامه استقرار صنعت۴.۰	۲	۳		۳	۱	۳	۳	۳	۳	۳

تامین مالی استقرارصنعت۴.۰	۲	۳	۲	۳	۲	۳	۳	۳	۳
بازبینی در برنامه های اجرایی متناسب با استقرار صنعت ۴.۰	۱	۲	۲	۲	۱	۱	۲		۱
حمایت از بورسی شدن شرکت های پیشرو در صنعت ۴.۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱		۰	۱
توسعه زیرساخت های نرم افزاری برای استقرارصنعت ۴.۰	۰	۲	۲	۳	۱	۲	۲	۳	۱
پایش صنایع و اعطای مشوق متناسب با سطح آمادگی آن صنعت	۰	۱	۱	۲	۱	۲	۱	۱	۱
اصلاح قوانین برای استقرار صنعت ۴.۰	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۴	۲	۲
اولویت بندی صنایع پیشرو	۱	۱	۲		۱	۲	۲	۰	۱

گام چهارم: ادغام نظرات خبرگان

نظرات خبرگان را به اعداد فازی تبدیل نموده و بایکدیگر ادغام می‌شود که به شرح زیر است:

جدول شماره۹ . ماتریس فازی ارتباطات مستقیم میان معیارهای مورد بررسی

کد	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۲۷۸,۰.۴ ۷۲,۰.۷۰۸)	(۰.۳۳۳,۰.۵ ۵۶,۰.۷۵۰)	(۰.۴۰۳,۰.۶ ۳۹,۰.۸۱۹)	(۰.۴۳۱,۰.۶ ۶۷,۰.۸۳۳)	(۰.۴۴۴,۰.۶ ۸۱,۰.۸۴۷)	(۰.۲۳۶,۰.۴ ۰۳,۰.۶۲۵)	(۰.۱۸۱,۰.۳ ۸۹,۰.۶۱۱)	(۰.۳۳۳,۰.۵ ۴۲,۰.۷۲۲)	(۰.۲۹۲,۰.۴ ۷۲,۰.۶۸۱)
C2	(۰.۰۹۷,۰.۲ ۶۴,۰.۵۱۴)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۴۱۷,۰.۶ ۳۹,۰.۸۱۹)	(۰.۳۱۹,۰.۵ ۲۸,۰.۷۳۶)	(۰.۳۰۶,۰.۵ ۱۴,۰.۷۳۶)	(۰.۱۹۴,۰.۳ ۷۵,۰.۶۱۱)	(۰.۳۳۳,۰.۵ ۴۲,۰.۷۳۶)	(۰.۰۶۹,۰.۱ ۹۴,۰.۴۳۱)	(۰.۲۶۴,۰.۴ ۷۲,۰.۶۸۱)	(۰.۱۲۵,۰.۲ ۳۶,۰.۴۵۸)
C3	(۰.۲۲۲,۰.۴ ۳۱,۰.۶۵۳)	(۰.۳۴۷,۰.۵ ۸۳,۰.۷۹۲)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۴۸۶,۰.۷ ۳۶,۰.۹۰۳)	(۰.۴۵۸,۰.۷ ۰۸,۰.۸۸۹)	(۰.۴۱۷,۰.۶ ۵۳,۰.۸۴۷)	(۰.۳۳۳,۰.۵ ۸۳,۰.۸۰۶)	(۰.۱۸۱,۰.۴ ۰۳,۰.۶۵۳)	(۰.۴۴۴,۰.۶ ۹۴,۰.۸۸۹)	(۰.۲۶۴,۰.۴ ۸۶,۰.۷۰۸)
C4	(۰.۰۸۳,۰.۱ ۹۴,۰.۴۳۱)	(۰.۲۰۸,۰.۴ ۰۳,۰.۶۲۵)	(۰.۲۶۴,۰.۵ ۰۰,۰.۷۲۲)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۱۸۱,۰.۳ ۸۹,۰.۶۲۵)	(۰.۴۷۲,۰.۷ ۰۸,۰.۸۸۹)	(۰.۱۹۴,۰.۴ ۱۷,۰.۶۵۳)	(۰.۱۵۳,۰.۳ ۴۷,۰.۵۹۷)	(۰.۳۴۷,۰.۵ ۵۶,۰.۷۹۲)	(۰.۳۰۶,۰.۵ ۱۴,۰.۷۳۶)

C5	(۰.۳۳۳,۰.۵ ۵۶,۰.۷۵۰)	(۰.۲۷۸,۰.۵ ۰۰,۰.۷۳۶)	(۰.۲۶۴,۰.۴ ۷۲,۰.۶۹۴)	(۰.۲۲۲,۰.۴ ۰۳,۰.۶۳۹)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۲۷۸,۰.۵ ۰۰,۰.۶۹۴)	(۰.۳۳۳,۰.۵ ۶۹,۰.۷۹۲)	(۰.۲۷۸,۰.۵ ۰۰,۰.۷۲۲)	(۰.۳۱۹,۰.۵ ۴۲,۰.۷۷۸)	(۰.۲۵۰,۰.۴ ۷۲,۰.۷۲۲)
C6	(۰.۱۶۷,۰.۲ ۶۴,۰.۴۸۶)	(۰.۲۶۴,۰.۴ ۸۶,۰.۶۹۴)	(۰.۲۶۴,۰.۴ ۴۴,۰.۶۵۳)	(۰.۳۶۱,۰.۵ ۸۳,۰.۷۷۸)	(۰.۲۶۴,۰.۴ ۵۸,۰.۶۸۱)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۲۵۰,۰.۴ ۸۶,۰.۷۰۸)	(۰.۲۰۸,۰.۴ ۳۱,۰.۶۶۷)	(۰.۳۳۳,۰.۵ ۵۶,۰.۷۶۴)	(۰.۳۷۵,۰.۵ ۹۷,۰.۸۰۶)
C7	(۰.۲۰۸,۰.۳ ۶۱,۰.۵۶۹)	(۰.۱۸۱,۰.۳ ۸۹,۰.۶۲۵)	(۰.۱۹۴,۰.۳ ۷۵,۰.۶۱۱)	(۰.۲۰۸,۰.۳ ۷۵,۰.۶۱۱)	(۰.۱۸۱,۰.۳ ۷۵,۰.۵۸۳)	(۰.۲۳۶,۰.۴ ۳۱,۰.۶۳۹)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۱۶۷,۰.۳ ۴۷,۰.۵۶۹)	(۰.۱۹۴,۰.۴ ۱۷,۰.۶۵۳)	(۰.۱۹۴,۰.۳ ۶۱,۰.۵۸۳)
C8	(۰.۱۱۱,۰.۳ ۰۶,۰.۵۴۲)	(۰.۱۱۱,۰.۳ ۱۹,۰.۵۵۶)	(۰.۱۳۹,۰.۳ ۱۹,۰.۵۵۶)	(۰.۱۹۴,۰.۳ ۸۹,۰.۶۱۱)	(۰.۱۵۳,۰.۳ ۴۷,۰.۵۸۳)	(۰.۲۰۸,۰.۴ ۱۷,۰.۶۳۹)	(۰.۱۸۱,۰.۳ ۴۷,۰.۵۸۳)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۱۹۴,۰.۳ ۶۱,۰.۵۹۷)	(۰.۵۶۹,۰.۸ ۱۹,۰.۹۱۷)
C9	(۰.۲۶۴,۰.۴ ۸۶,۰.۷۰۸)	(۰.۳۰۶,۰.۵ ۴۲,۰.۷۶۴)	(۰.۴۰۳,۰.۶ ۳۹,۰.۸۳۳)	(۰.۳۰۶,۰.۵ ۱۴,۰.۷۳۶)	(۰.۳۶۱,۰.۶ ۱۱,۰.۷۹۲)	(۰.۲۹۲,۰.۵ ۰۰,۰.۷۲۲)	(۰.۲۳۶,۰.۴ ۸۶,۰.۷۲۲)	(۰.۲۵۰,۰.۴ ۸۶,۰.۷۳۶)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۲۵۰,۰.۴ ۷۲,۰.۶۹۴)
C10	(۰.۲۰۸,۰.۳ ۷۵,۰.۵۹۷)	(۰.۴۴۴,۰.۶ ۹۴,۰.۸۷۵)	(۰.۳۷۵,۰.۵ ۹۷,۰.۷۹۲)	(۰.۲۹۲,۰.۵ ۰۰,۰.۷۰۸)	(۰.۲۵۰,۰.۴ ۵۸,۰.۶۹۴)	(۰.۴۰۳,۰.۶ ۲۵,۰.۸۰۶)	(۰.۴۵۸,۰.۷ ۰۸,۰.۸۸۹)	(۰.۵۱۴,۰.۷ ۵۰,۰.۸۷۵)	(۰.۳۶۱,۰.۵ ۶۹,۰.۷۷۸)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ماتریس فازی ارتباطات مستقیم میان معیارهای مورد بررسی، ابزاری است که در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده استفاده می‌شود. این جدول شامل اعداد فازی است که نشان‌دهنده شدت ارتباط مستقیم بین هر دو معیار در سیستم می‌باشد. در این روش، از متغیرهای زبانی فازی برای بیان عدم قطعیت‌ها و ابهام‌های موجود در روابط میان معیارها استفاده می‌شود. به کمک این ماتریس، می‌توان روابط و تاثیرات متقابل بین معیارهای مختلف را شفاف‌تر و قابل تحلیل‌تر کرد، و بدین ترتیب به درک بهتری از ساختار سیستم و نحوه تعامل معیارها با یکدیگر دست یافت.

جدول شماره۱۰: ماتریس نرمال فازی ارتباطات مستقیم میان معیارهای مورد بررسی

کد	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰
C۱	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۰۳۹,۰.۰ ۶۶,۰.۰۹۹)	(۰.۰۴۷,۰.۰ ۷۸,۰.۱۰۵)	(۰.۰۵۶,۰.۰ ۸۹,۰.۱۱۵)	(۰.۰۶۰,۰.۰ ۹۳,۰.۱۱۷)	(۰.۰۶۲,۰.۰ ۹۵,۰.۱۱۹)	(۰.۰۳۳,۰.۰ ۵۶,۰.۰۸۸)	(۰.۰۲۵,۰.۰ ۵۴,۰.۰۸۶)	(۰.۰۴۷,۰.۰ ۷۶,۰.۱۰۱)	(۰.۰۴۱,۰.۰ ۶۶,۰.۰۹۵)
C۲	(۰.۰۱۴,۰.۰ ۳۷,۰.۰۷۲)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۰۵۸,۰.۰ ۸۹,۰.۱۱۵)	(۰.۰۴۵,۰.۰ ۷۴,۰.۱۰۳)	(۰.۰۴۳,۰.۰ ۷۲,۰.۱۰۳)	(۰.۰۲۷,۰.۰ ۵۳,۰.۰۸۶)	(۰.۰۴۷,۰.۰ ۷۶,۰.۱۰۳)	(۰.۰۱۰,۰.۰ ۲۷,۰.۰۶۰)	(۰.۰۳۷,۰.۰ ۶۶,۰.۰۹۵)	(۰.۰۱۸,۰.۰ ۳۳,۰.۰۶۴)
C۳	(۰.۰۳۱,۰.۰ ۶۰,۰.۰۹۱)	(۰.۰۴۹,۰.۰ ۸۲,۰.۱۱۱)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۰۶۸,۰.۱ ۰۳,۰.۱۲۶)	(۰.۰۶۴,۰.۰ ۹۹,۰.۱۲۵)	(۰.۰۵۸,۰.۰ ۹۱,۰.۱۱۹)	(۰.۰۴۷,۰.۰ ۸۲,۰.۱۱۳)	(۰.۰۲۵,۰.۰ ۵۶,۰.۰۹۱)	(۰.۰۶۲,۰.۰ ۹۷,۰.۱۲۵)	(۰.۰۳۷,۰.۰ ۶۸,۰.۰۹۹)
C۴	(۰.۰۱۲,۰.۰ ۲۷,۰.۰۶۰)	(۰.۰۲۹,۰.۰ ۵۶,۰.۰۸۸)	(۰.۰۳۷,۰.۰ ۷۰,۰.۱۰۱)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۰۲۵,۰.۰ ۵۴,۰.۰۸۸)	(۰.۰۶۶,۰.۰ ۹۹,۰.۱۲۵)	(۰.۰۲۷,۰.۰ ۵۸,۰.۰۹۱)	(۰.۰۲۱,۰.۰ ۴۹,۰.۰۸۴)	(۰.۰۴۹,۰.۰ ۷۸,۰.۱۱۱)	(۰.۰۴۳,۰.۰ ۷۲,۰.۱۰۳)
C۵	(۰.۰۴۷,۰.۰ ۷۸,۰.۱۰۵)	(۰.۰۳۹,۰.۰ ۷۰,۰.۱۰۳)	(۰.۰۳۷,۰.۰ ۶۶,۰.۰۹۷)	(۰.۰۳۱,۰.۰ ۵۶,۰.۰۸۹)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۰۳۹,۰.۰ ۷۰,۰.۰۹۷)	(۰.۰۴۷,۰.۰ ۸۰,۰.۱۱۱)	(۰.۰۳۹,۰.۰ ۷۰,۰.۱۰۱)	(۰.۰۴۵,۰.۰ ۷۶,۰.۱۰۹)	(۰.۰۳۵,۰.۰ ۶۶,۰.۱۰۱)
C۶	(۰.۰۲۳,۰.۰ ۳۷,۰.۰۶۸)	(۰.۰۳۷,۰.۰ ۶۸,۰.۰۹۷)	(۰.۰۳۷,۰.۰ ۶۲,۰.۰۹۱)	(۰.۰۵۱,۰.۰ ۸۲,۰.۱۰۹)	(۰.۰۳۷,۰.۰ ۶۴,۰.۰۹۵)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰ ۶۸,۰.۰۹۹)	(۰.۰۲۹,۰.۰ ۶۰,۰.۰۹۳)	(۰.۰۴۷,۰.۰ ۷۸,۰.۱۰۷)	(۰.۰۵۳,۰.۰ ۸۴,۰.۱۱۳)
C۷	(۰.۰۲۹,۰.۰ ۵۱,۰.۰۸۰)	(۰.۰۲۵,۰.۰ ۵۴,۰.۰۸۸)	(۰.۰۲۷,۰.۰ ۵۳,۰.۰۸۶)	(۰.۰۲۹,۰.۰ ۵۳,۰.۰۸۶)	(۰.۰۲۵,۰.۰ ۵۳,۰.۰۸۲)	(۰.۰۳۳,۰.۰ ۶۰,۰.۰۸۹)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۰۲۳,۰.۰ ۴۹,۰.۰۸۰)	(۰.۰۲۷,۰.۰ ۵۸,۰.۰۹۱)	(۰.۰۲۷,۰.۰ ۵۱,۰.۰۸۲)
C۸	(۰.۰۱۶,۰.۰ ۴۳,۰.۰۷۶)	(۰.۰۱۶,۰.۰ ۴۵,۰.۰۷۸)	(۰.۰۱۹,۰.۰ ۴۵,۰.۰۷۸)	(۰.۰۲۷,۰.۰ ۵۴,۰.۰۸۶)	(۰.۰۲۱,۰.۰ ۴۹,۰.۰۸۲)	(۰.۰۲۹,۰.۰ ۵۸,۰.۰۸۹)	(۰.۰۲۵,۰.۰ ۴۹,۰.۰۸۲)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۰۲۷,۰.۰ ۵۱,۰.۰۸۴)	(۰.۰۸۰,۰.۱ ۱۵,۰.۱۲۸)

C۹	(۰.۰۳۷,۰.۰ ۶۸,۰.۰۹۹)	(۰.۰۴۳,۰.۰ ۷۶,۰.۱۰۷)	(۰.۰۵۶,۰.۰ ۸۹,۰.۱۱۷)	(۰.۰۴۳,۰.۰ ۷۲,۰.۱۰۳)	(۰.۰۵۱,۰.۰ ۸۶,۰.۱۱۱)	(۰.۰۴۱,۰.۰ ۷۰,۰.۱۰۱)	(۰.۰۳۳,۰.۰ ۶۸,۰.۱۰۱)	(۰.۰۳۵,۰.۰ ۶۸,۰.۱۰۳)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰ ۶۶,۰.۰۹۷)
C۱۰	(۰.۰۲۹,۰.۰ ۵۳,۰.۰۸۴)	(۰.۰۶۲,۰.۰ ۹۷,۰.۱۲۳)	(۰.۰۵۳,۰.۰ ۸۴,۰.۱۱۱)	(۰.۰۴۱,۰.۰ ۷۰,۰.۰۹۹)	(۰.۰۳۵,۰.۰ ۶۴,۰.۰۹۷)	(۰.۰۵۶,۰.۰ ۸۸,۰.۱۱۳)	(۰.۰۶۴,۰.۰ ۹۹,۰.۱۲۵)	(۰.۰۷۲,۰.۱ ۰۵,۰.۱۲۳)	(۰.۰۵۱,۰.۰ ۸۰,۰.۱۰۹)	(۰.۰۰۰,۰.۰ ۰۰,۰.۰۰۰)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

ماتریس نرمال فازی ارتباطات مستقیم میان معیارهای مورد بررسی، نسخه‌ای نرمال‌سازی شده از ماتریس اولیه فازی است که برای تحلیل دقیق‌تر روابط بین معیارها استفاده می‌شود. در این ماتریس، اعداد فازی از ماتریس اصلی به مقادیر استاندارد شده تبدیل می‌شوند تا مقایسه و تحلیل آسان‌تر شود. نرمال‌سازی به کاهش اثرات مقیاس و تفاوت‌های اندازه‌گیری کمک می‌کند و باعث می‌شود که شدت ارتباطات به صورت نسبی و قابل‌مقایسه بیان گردد.

جدول شماره۱۱. ماتریس فازی ارتباطات کامل میان معیارهای مورد بررسی

کد	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰
C۱	(۰.۰۱۷,۰.۰ ۸۴,۰.۵۹۵)	(۰.۰۶۱,۰.۱ ۷۴,۰.۸۰۲)	(۰.۰۷۰,۰.۱ ۸۸,۰.۸۱۲)	(۰.۰۸۰,۰.۲ ۰۱,۰.۸۳۰)	(۰.۰۸۲,۰.۲ ۰۱,۰.۸۱۹)	(۰.۰۸۷,۰.۲ ۱۱,۰.۸۴۹)	(۰.۰۵۶,۰.۱ ۶۹,۰.۸۰۸)	(۰.۰۴۴,۰.۱ ۵۰,۰.۷۳۸)	(۰.۰۷۲,۰.۱ ۹۱,۰.۸۳۳)	(۰.۰۶۴,۰.۱ ۷۴,۰.۷۹۰)
C۲	(۰.۰۲۶,۰.۱ ۰۲,۰.۵۸۹)	(۰.۰۱۷,۰.۰ ۸۸,۰.۶۲۴)	(۰.۰۷۴,۰.۱ ۷۴,۰.۷۳۲)	(۰.۰۶۲,۰.۱ ۶۲,۰.۷۳۲)	(۰.۰۵۹,۰.۱ ۵۸,۰.۷۲۰)	(۰.۰۴۷,۰.۱ ۴۷,۰.۷۳۰)	(۰.۰۶۲,۰.۱ ۶۲,۰.۷۳۱)	(۰.۰۲۳,۰.۱ ۰۴,۰.۶۳۵)	(۰.۰۵۵,۰.۱ ۵۷,۰.۷۳۷)	(۰.۰۳۴,۰.۱ ۲۰,۰.۶۷۶)
C۳	(۰.۰۴۸,۰.۱ ۴۷,۰.۷۲۱)	(۰.۰۷۱,۰.۱ ۹۶,۰.۸۶۲)	(۰.۰۲۷,۰.۱ ۲۵,۰.۷۶۸)	(۰.۰۹۲,۰.۲ ۲۱,۰.۸۹۲)	(۰.۰۸۷,۰.۲ ۱۴,۰.۸۷۶)	(۰.۰۸۵,۰.۲ ۱۷,۰.۹۰۱)	(۰.۰۷۰,۰.۲ ۰۱,۰.۸۸۱)	(۰.۰۴۵,۰.۱ ۶۰,۰.۷۸۹)	(۰.۰۸۷,۰.۲ ۱۸,۰.۹۰۴)	(۰.۰۶۱,۰.۱ ۸۴,۰.۸۴۳)
C۴	(۰.۰۲۴,۰.۰ ۹۸,۰.۶۰۹)	(۰.۰۴۶,۰.۱ ۴۹,۰.۷۴۰)	(۰.۰۵۵,۰.۱ ۶۳,۰.۷۵۶)	(۰.۰۲۰,۰.۱ ۰۰,۰.۶۷۴)	(۰.۰۴۳,۰.۱ ۴۸,۰.۷۴۲)	(۰.۰۸۴,۰.۱ ۹۵,۰.۷۹۹)	(۰.۰۴۵,۰.۱ ۵۴,۰.۷۵۸)	(۰.۰۳۶,۰.۱ ۳۰,۰.۶۸۸)	(۰.۰۶۷,۰.۱ ۷۴,۰.۷۸۶)	(۰.۰۶۰,۰.۱ ۶۲,۰.۷۴۵)
C۵	(۰.۰۵۹,۰.۱ ۵۱,۰.۶۸۳)	(۰.۰۵۷,۰.۱ ۷۰,۰.۷۹۶)	(۰.۰۵۸,۰.۱ ۷۰,۰.۷۹۶)	(۰.۰۵۳,۰.۱ ۶۴,۰.۸۰۰)	(۰.۰۲۱,۰.۱ ۰۷,۰.۷۰۵)	(۰.۰۶۱,۰.۱ ۸۰,۰.۸۲۱)	(۰.۰۶۶,۰.۱ ۸۲,۰.۸۱۷)	(۰.۰۵۴,۰.۱ ۵۷,۰.۷۴۲)	(۰.۰۶۶,۰.۱ ۸۲,۰.۸۲۹)	(۰.۰۵۵,۰.۱ ۶۶,۰.۷۸۵)
C۶	(۰.۰۳۷,۰.۱ ۱۱,۰.۶۲۸)	(۰.۰۵۶,۰.۱ ۶۴,۰.۷۶۳)	(۰.۰۵۷,۰.۱ ۶۲,۰.۷۶۳)	(۰.۰۷۱,۰.۱ ۸۱,۰.۷۸۷)	(۰.۰۵۶,۰.۱ ۶۲,۰.۷۶۳)	(۰.۰۲۴,۰.۱ ۱۰,۰.۷۰۳)	(۰.۰۵۵,۰.۱ ۶۸,۰.۷۷۹)	(۰.۰۴۵,۰.۱ ۴۶,۰.۷۱۰)	(۰.۰۶۷,۰.۱ ۷۹,۰.۷۹۸)	(۰.۰۷۱,۰.۱ ۷۷,۰.۷۶۷)
C۷	(۰.۰۳۸,۰.۱ ۰۹,۰.۵۷۱)	(۰.۰۳۹,۰.۱ ۳۲,۰.۶۷۶)	(۰.۰۴۲,۰.۱ ۳۳,۰.۶۷۸)	(۰.۰۴۴,۰.۱ ۳۵,۰.۶۸۷)	(۰.۰۴۰,۰.۱ ۳۳,۰.۶۷۳)	(۰.۰۴۹,۰.۱ ۴۶,۰.۷۰۳)	(۰.۰۱۵,۰.۰ ۸۴,۰.۶۰۸)	(۰.۰۳۵,۰.۱ ۱۷,۰.۶۲۵)	(۰.۰۴۳,۰.۱ ۴۱,۰.۷۰۳)	(۰.۰۴۱,۰.۱ ۲۹,۰.۶۶۳)
C۸	(۰.۰۲۶,۰.۱ ۰۵,۰.۵۸۲)	(۰.۰۳۲,۰.۱ ۳۰,۰.۶۸۴)	(۰.۰۳۶,۰.۱ ۳۲,۰.۶۸۹)	(۰.۰۴۳,۰.۱ ۴۲,۰.۷۰۳)	(۰.۰۳۶,۰.۱ ۳۴,۰.۶۸۹)	(۰.۰۴۷,۰.۱ ۵۰,۰.۷۲۰)	(۰.۰۴۲,۰.۱ ۳۷,۰.۷۰۱)	(۰.۰۱۵,۰.۰ ۷۸,۰.۵۶۷)	(۰.۰۴۴,۰.۱ ۴۰,۰.۷۱۳)	(۰.۰۹۲,۰.۱ ۹۲,۰.۷۱۹)
C۹	(۰.۰۵۱,۰.۱ ۴۶,۰.۶۹۳)	(۰.۰۶۲,۰.۱ ۸۰,۰.۸۱۸)	(۰.۰۷۷,۰.۱ ۹۵,۰.۸۳۱)	(۰.۰۶۶,۰.۱ ۸۳,۰.۸۳۰)	(۰.۰۷۱,۰.۱ ۹۲,۰.۸۲۳)	(۰.۰۶۵,۰.۱ ۸۶,۰.۸۴۴)	(۰.۰۵۴,۰.۱ ۷۷,۰.۸۲۸)	(۰.۰۵۱,۰.۱ ۶۰,۰.۷۶۱)	(۰.۰۲۵,۰.۱ ۱۷,۰.۷۵۰)	(۰.۰۵۶,۰.۱ ۷۲,۰.۸۰۱)
C۱۰	(۰.۰۴۶,۰.۱ ۳۹,۰.۷۰۱)	(۰.۰۸۴,۰.۲ ۰۸,۰.۸۵۶)	(۰.۰۷۷,۰.۲ ۰۰,۰.۸۵۲)	(۰.۰۶۸,۰.۱ ۹۱,۰.۸۵۳)	(۰.۰۶۰,۰.۱ ۸۲,۰.۸۳۷)	(۰.۰۸۳,۰.۲ ۱۱,۰.۸۷۹)	(۰.۰۸۷,۰.۲ ۱۴,۰.۸۷۴)	(۰.۰۸۹,۰.۲ ۰۱,۰.۸۰۰)	(۰.۰۷۷,۰.۲ ۰۱,۰.۸۷۵)	(۰.۰۲۸,۰.۱ ۲۰,۰.۷۳۷)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ماتریس فازی ارتباطات کامل میان معیارهای مورد بررسی، ابزاری جامع‌تر برای تحلیل سیستم‌های پیچیده است که علاوه بر ارتباطات مستقیم، ارتباطات غیرمستقیم میان معیارها را نیز در نظر می‌گیرد. در این ماتریس، تمام مسیرهای ممکن از یک معیار به معیار

دیگر، چه مستقیم و چه غیرمستقیم، با استفاده از اعداد فازی نمایش داده می‌شوند. این ماتریس با ترکیب و محاسبه ماتریس‌های فازی اولیه و تکرارهای متوالی آن‌ها به دست می‌آید.

ماتریس فازی ارتباطات کامل به تحلیل‌گران امکان می‌دهد تا به تصویر کامل‌تری از سیستم دست یابند و تاثیرات زنجیره‌ای و پیچیده بین معیارها را شناسایی کنند[۴۶]. این ماتریس برای شناسایی نقاط کلیدی و تعیین استراتژی‌های بهبود در سیستم بسیار مفید است، زیرا تمامی روابط و تاثیرات ممکن میان معیارها را در نظر می‌گیرد و به تحلیل‌گران کمک می‌کند تا تصمیمات آگاهانه‌تری بگیرند.

گام پنجم: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم اولیه و ساخت ماتریس اثر اولیه

هرکدام از ماتریس‌های تصمیم اولیه در مرحله قبل را طبق فرمول‌های مربوط نرمال‌سازی کرده و ماتریس اثر اولیه (**D**) به دست می‌آید.

گام ششم: ایجاد ماتریس کامل اثر مستقیم و غیرمستقیم (ماتریس رابطه کل)

با استفاده از رابطه $\boldsymbol{T = D(I - D)^{-1}}$ مقادیر ماتریس کامل اثر مستقیم و غیرمستقیم به‌صورت جدول زیر خواهد بود. همچنین به‌منظور غیر فازی کردن و تلفیق اعداد فازی از روش مرکز ثقل استفاده شده است.

جدول شماره ۱۲: ماتریس رابطه کل (ماتریس T)

کد	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰
C۱	(۰.۰۱۷,۰.۰ ۸۴,۰.۵۹۵)	(۰.۰۶۱,۰.۱ ۷۴,۰.۸۰۲)	(۰.۰۷۰,۰.۱ ۸۸,۰.۸۱۲)	(۰.۰۸۰,۰.۲ ۰۱,۰.۸۳۰)	(۰.۰۸۲,۰.۲ ۰۱,۰.۸۱۹)	(۰.۰۸۷,۰.۲ ۱۱,۰.۸۴۹)	(۰.۰۵۶,۰.۱ ۶۹,۰.۸۰۸)	(۰.۰۴۴,۰.۱ ۵۰,۰.۷۳۸)	(۰.۰۷۲,۰.۱ ۹۱,۰.۸۳۳)	(۰.۰۶۴,۰.۱ ۷۴,۰.۷۹۰)
C۲	(۰.۰۲۶,۰.۱ ۰۲,۰.۵۸۹)	(۰.۰۱۷,۰.۰ ۸۸,۰.۶۲۴)	(۰.۰۷۴,۰.۱ ۷۴,۰.۷۳۲)	(۰.۰۶۲,۰.۱ ۶۲,۰.۷۳۲)	(۰.۰۵۹,۰.۱ ۵۸,۰.۷۲۰)	(۰.۰۴۷,۰.۱ ۴۷,۰.۷۳۰)	(۰.۰۶۲,۰.۱ ۶۲,۰.۷۳۱)	(۰.۰۲۳,۰.۱ ۰۴,۰.۶۳۵)	(۰.۰۵۵,۰.۱ ۵۷,۰.۷۳۷)	(۰.۰۳۴,۰.۱ ۲۰,۰.۶۷۶)
C۳	(۰.۰۴۸,۰.۱ ۴۷,۰.۷۲۱)	(۰.۰۷۱,۰.۱ ۹۶,۰.۸۶۲)	(۰.۰۲۷,۰.۱ ۲۵,۰.۷۶۸)	(۰.۰۹۲,۰.۲ ۲۱,۰.۸۹۲)	(۰.۰۸۷,۰.۲ ۱۴,۰.۸۷۶)	(۰.۰۸۵,۰.۲ ۱۷,۰.۹۰۱)	(۰.۰۷۰,۰.۲ ۰۱,۰.۸۸۱)	(۰.۰۴۵,۰.۱ ۶۰,۰.۷۸۹)	(۰.۰۸۷,۰.۲ ۱۸,۰.۹۰۴)	(۰.۰۶۱,۰.۱ ۸۴,۰.۸۴۳)
C۴	(۰.۰۲۴,۰.۰ ۹۸,۰.۶۰۹)	(۰.۰۴۶,۰.۱ ۴۹,۰.۷۴۰)	(۰.۰۵۵,۰.۱ ۶۳,۰.۷۵۶)	(۰.۰۲۰,۰.۱ ۰۰,۰.۶۷۴)	(۰.۰۴۳,۰.۱ ۴۸,۰.۷۴۲)	(۰.۰۸۴,۰.۱ ۹۵,۰.۷۹۹)	(۰.۰۴۵,۰.۱ ۵۴,۰.۷۵۸)	(۰.۰۳۶,۰.۱ ۳۰,۰.۶۸۸)	(۰.۰۶۷,۰.۱ ۷۴,۰.۷۸۶)	(۰.۰۶۰,۰.۱ ۶۲,۰.۷۴۵)
C۵	(۰.۰۵۹,۰.۱ ۵۱,۰.۶۸۳)	(۰.۰۵۷,۰.۱ ۷۰,۰.۷۹۶)	(۰.۰۵۸,۰.۱ ۷۰,۰.۷۹۶)	(۰.۰۵۳,۰.۱ ۶۴,۰.۸۰۰)	(۰.۰۲۱,۰.۱ ۰۷,۰.۷۰۵)	(۰.۰۶۱,۰.۱ ۸۰,۰.۸۲۱)	(۰.۰۶۶,۰.۱ ۸۲,۰.۸۱۷)	(۰.۰۵۴,۰.۱ ۵۷,۰.۷۴۲)	(۰.۰۶۶,۰.۱ ۸۲,۰.۸۲۹)	(۰.۰۵۵,۰.۱ ۶۶,۰.۷۸۵)
C۶	(۰.۰۳۷,۰.۱ ۱۱,۰.۶۲۸)	(۰.۰۵۶,۰.۱ ۶۴,۰.۷۶۳)	(۰.۰۵۷,۰.۱ ۶۲,۰.۷۶۳)	(۰.۰۷۱,۰.۱ ۸۱,۰.۷۸۷)	(۰.۰۵۶,۰.۱ ۶۲,۰.۷۶۳)	(۰.۰۲۴,۰.۱ ۱۰,۰.۷۰۳)	(۰.۰۵۵,۰.۱ ۶۸,۰.۷۷۹)	(۰.۰۴۵,۰.۱ ۴۶,۰.۷۱۰)	(۰.۰۶۷,۰.۱ ۷۹,۰.۷۹۸)	(۰.۰۷۱,۰.۱ ۷۷,۰.۷۶۷)
C۷	(۰.۰۳۸,۰.۱ ۰۹,۰.۵۷۱)	(۰.۰۳۹,۰.۱ ۳۲,۰.۶۷۶)	(۰.۰۴۲,۰.۱ ۳۳,۰.۶۷۸)	(۰.۰۴۴,۰.۱ ۳۵,۰.۶۸۷)	(۰.۰۴۰,۰.۱ ۳۳,۰.۶۷۳)	(۰.۰۴۹,۰.۱ ۴۶,۰.۷۰۳)	(۰.۰۱۵,۰.۰ ۸۴,۰.۶۰۸)	(۰.۰۳۵,۰.۱ ۱۷,۰.۶۲۵)	(۰.۰۴۳,۰.۱ ۴۱,۰.۷۰۳)	(۰.۰۴۱,۰.۱ ۲۹,۰.۶۶۳)
C۸	(۰.۰۲۶,۰.۱ ۰۵,۰.۵۸۲)	(۰.۰۳۲,۰.۱ ۳۰,۰.۶۸۴)	(۰.۰۳۶,۰.۱ ۳۲,۰.۶۸۹)	(۰.۰۴۳,۰.۱ ۴۲,۰.۷۰۳)	(۰.۰۳۶,۰.۱ ۳۴,۰.۶۸۹)	(۰.۰۴۷,۰.۱ ۵۰,۰.۷۲۰)	(۰.۰۴۲,۰.۱ ۳۷,۰.۷۰۱)	(۰.۰۱۵,۰.۰ ۷۸,۰.۵۶۷)	(۰.۰۴۴,۰.۱ ۴۰,۰.۷۱۳)	(۰.۰۹۲,۰.۱ ۹۲,۰.۷۱۹)
C۹	(۰.۰۵۱,۰.۱ ۴۶,۰.۶۹۳)	(۰.۰۶۲,۰.۱ ۸۰,۰.۸۱۸)	(۰.۰۷۷,۰.۱ ۹۵,۰.۸۳۱)	(۰.۰۶۶,۰.۱ ۸۳,۰.۸۳۰)	(۰.۰۷۱,۰.۱ ۹۲,۰.۸۲۳)	(۰.۰۶۵,۰.۱ ۸۶,۰.۸۴۴)	(۰.۰۵۴,۰.۱ ۷۷,۰.۸۲۸)	(۰.۰۵۱,۰.۱ ۶۰,۰.۷۶۱)	(۰.۰۲۵,۰.۱ ۱۷,۰.۷۵۰)	(۰.۰۵۶,۰.۱ ۷۲,۰.۸۰۱)
C ۱۰	(۰.۰۴۶,۰.۱ ۳۹,۰.۷۰۱)	(۰.۰۸۴,۰.۲ ۰۸,۰.۸۵۶)	(۰.۰۷۷,۰.۲ ۰۰,۰.۸۵۲)	(۰.۰۶۸,۰.۱ ۹۱,۰.۸۵۳)	(۰.۰۶۰,۰.۱ ۸۲,۰.۸۳۷)	(۰.۰۸۳,۰.۲ ۱۱,۰.۸۷۹)	(۰.۰۸۷,۰.۲ ۱۴,۰.۸۷۴)	(۰.۰۸۹,۰.۲ ۰۱,۰.۸۰۰)	(۰.۰۷۷,۰.۲ ۰۱,۰.۸۷۵)	(۰.۰۲۸,۰.۱ ۲۰,۰.۷۳۷)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

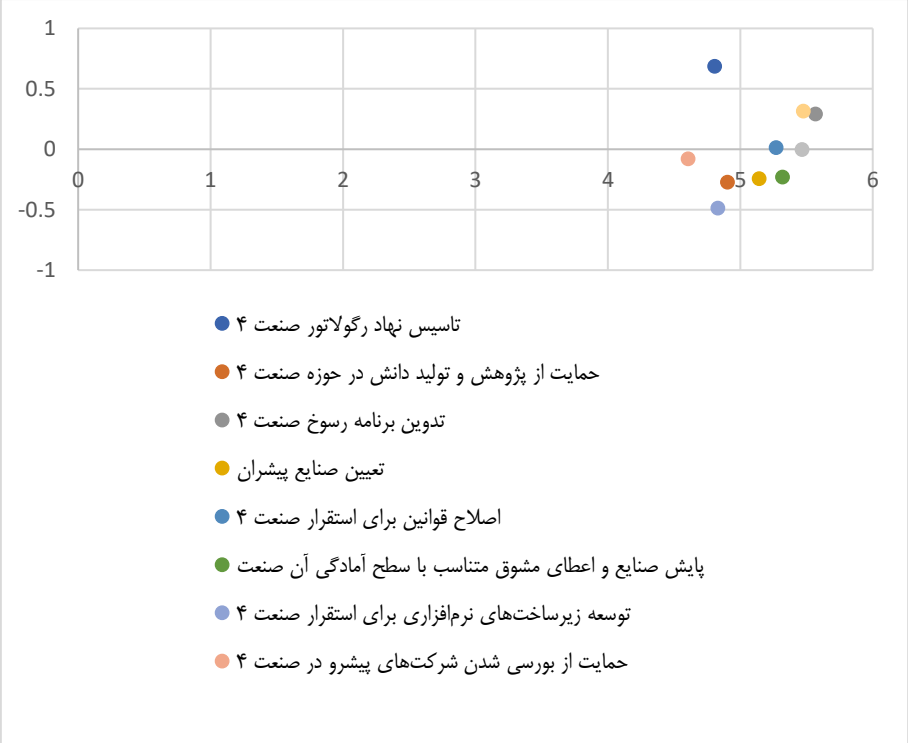
محاسبه مجموع کل سطری و ستونی: پس از محاسبه ماتریس $\boldsymbol{T}$ نوبت به محاسبه مقادیر کلیدی $\boldsymbol{(r_i + dj)}$ و $\boldsymbol{(r_i - dj)}$ می‌رسد که حاصل آن در جدول زیر نشان داده شده است:

جدول ۱۲. شدت تأثیرگذاری و تأثیرپذیری عوامل مؤثر بر استقرار گام‌های اولیه صنعت۴.۰

عوامل	کد	$(r_i + dj)$	$(r_i - dj)$
تاسیس نهاد تنظیم گر صنعت۴.۰	***C1***	۴.۸۰۶	۰.۶۸۷
حمایت از پژوهش و تولید دانش در حوزه صنعت۴.۰	***C2***	۴.۹۰۴	-۰.۲۷۲
تدوین برنامه استقرار صنعت۴.۰	***C3***	۵.۵۶۸	۰.۲۹۳
اولویت بندی صنایع پیشرو	***C4***	۵.۱۴۳	-۰.۲۴۲
اصلاح قوانین برای استقرار صنعت۴.۰	***C5***	۲.۲۷	۰.۰۱۵
پایش صنایع و اعطای مشوق متناسب با سطح آمادگی آن صنعت	***C6***	۵.۳۲	-۰.۲۳۱
توسعه زیرساخت های نرم افزاری برای استقرارصنعت۴.۰	***C7***	۴.۸۳۲	-۰.۴۸۷
حمایت از بورسی شدن شرکت های پیشرو در صنعت۴.۰	***C8***	۴.۶۰۶	-۰.۰۷۸
بازبینی در برنامه های اجرایی متناسب با استقرار صنعت۴.۰	***C9***	۵.۴۶۸	-۰.۰۰۱
تامین مالی استقرارصنعت۴.۰	***C10***	۵.۴۷۶	۰.۳۱۷

گام هفتم: ترسیم الگوی روابط معنی‌دار

نمودار نیز الگوی روابط معنی دار را نشان می دهد. این الگو در قالب یک نمودار هست که در آن محور طولی مقادیر **D + R** و محور عرضی براساس **D – R** می‌باشد. موقعیت و روابط هر عامل با نقطه‌ای به مختصات **(D + R, D – R)** در دستگاه معین می‌شود:



شکل ۳. الگوی روابط بین عناصر

گام هشتم: تحلیل

با توجه به مقادیر $(r_i - d_j)$ و $(r_i + d_j)$ و نمودار **IRM** می‌توان تحلیل تفصیلی زیر را ارائه نمود: با توجه به نمودار و جدول فوق هر عامل از چهار جنبه بررسی می‌شود:

۱. **میزان تاثیر گذاری متغیرها:**

میزان تأثیرگذاری متغیرها، بیانگر میزان اثری است که هر عامل در سیستم بر سایر عوامل می‌گذارد. این مقدار از جمع عناصر هر سطر ماتریس روابط کامل محاسبه می‌شود. هرچه مقدار یادشده برای یک عامل بیشتر باشد، نشان‌دهنده آن است که عامل موردنظر نقش تأثیرگذارتر و کنش‌گری بیشتری در ساختار سیستم دارد و تغییرات در آن عامل می‌تواند بیشترین تأثیر را بر سایر عوامل بگذارد**.** در تحقیق حاضر، "تأسیس نهاد تنظیم گر صنعت ۴.۰" بیشترین مقدار یادشده را داراست که نشان می‌دهد این عامل از نظر سیستم یک عنصر کلیدی و پایه‌ای برای تعاملات سایر عوامل محسوب می‌شود. پس از آن، عوامل "حمایت از پژوهش و تولید دانش در حوزه صنعت ۴.۰" و "تدوین برنامه استقرار صنعت ۴.۰" در رتبه‌های بعدی قرار دارند که نشان‌دهنده اهمیت آن‌ها در تأثیرگذاری بر سایر جنبه‌های استقرار فناوری‌های صنعت ۴.۰ است. این عوامل به ترتیب توسط "اولویت بندی صنایع پیشرو"، "اصلاح قوانین برای استقرار صنعت ۴.۰"، "پایش صنایع و اعطای مشوق متناسب با سطح آمادگی آن صنعت"، "توسعه زیرساخت‌های نرم‌افزاری برای استقرار صنعت ۴.۰"، "حمایت از بورسی شدن شرکت‌های پیشرو در صنعت ۴.۰"، "بازبینی در برنامه‌های اجرایی متناسب با استقرار صنعت ۴.۰"، و در نهایت "تأمین مالی استقرار صنعت ۴.۰" دنبال می‌شوند**.**

۲. **میزان تاثیرپذیری متغیرها:**

میزان تأثیرپذیری متغیرها، نشان‌دهنده میزان اثری است که هر عامل از سایر عوامل سیستم می‌پذیرد. این مقدار از جمع عناصر هر ستون در ماتریس روابط کامل محاسبه می‌شود. مقدار یادشده بالا برای یک عامل نشان می‌دهد که آن عامل به شدت از تغییرات سایر عوامل در سیستم تأثیر می‌پذیرد و نقش یک متغیر وابسته یا پاسخگو را ایفا می‌کند**.**

در این تحقیق، عامل "پایش صنایع و اعطای مشوق متناسب با سطح آمادگی آن صنعت" بیشترین مقدار یادشده را دارد. این بدین معناست که این عامل به شدت تحت تأثیر تغییرات سایر عوامل قرار می‌گیرد و برای عملکرد بهینه خود به هماهنگی و تعامل با سایر مؤلفه‌های سیستم نیازمند است. سایر عوامل به ترتیب میزان تأثیرپذیری عبارت‌اند از: "بازبینی در برنامه‌های اجرایی متناسب با استقرار صنعت ۴.۰"، "اولویت بندی صنایع پیشرو"، "توسعه زیرساخت‌های نرم‌افزاری برای استقرار صنعت ۴.۰"، "تدوین برنامه استقرار صنعت ۴.۰"، "اصلاح قوانین برای استقرار صنعت ۴.۰"، "حمایت از پژوهش و تولید دانش در حوزه صنعت ۴.۰"، "تأمین مالی استقرار صنعت ۴.۰"، "حمایت از بورسی شدن شرکت‌های پیشرو در صنعت ۴.۰"، و در نهایت "تأسیس نهاد تنظیم گر صنعت ۴.۰**."**

۳. **بردار افقی:(D + R)**

بردار افقی **D+R** نشان‌دهنده میزان تعامل کلی هر عامل با سایر عوامل سیستم است و با جمع مقادیر تأثیرگذاری **(D)** و تأثیرپذیری **(R)** محاسبه می‌شود. این بردار میزان ارتباطات مستقیم و غیرمستقیم یک عامل با دیگر عوامل را نمایش می‌دهد. هرچه مقدار **D+R** برای یک عامل بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل داشته و نقش محوری‌تری در سیستم ایفا می‌کند. در تحقیق حاضر، عامل "تدوین برنامه استقرار صنعت ۴.۰" بیشترین مقدار **D+R** را داراست که نشان‌دهنده اهمیت بالای آن در تعاملات سیستم است. این عامل هم بر سایر عوامل تأثیر می‌گذارد و هم از آن‌ها تأثیر می‌پذیرد، که این موضوع نقش کلیدی آن را در شبکه تعاملات سیستم نشان می‌دهد. پس از آن، عوامل "تأمین مالی استقرار صنعت ۴.۰"، "بازبینی در برنامه‌های اجرایی متناسب با استقرار صنعت ۴.۰"، و "پایش صنایع و اعطای مشوق متناسب با سطح آمادگی آن صنعت" در رتبه‌های بعدی قرار دارند**.**

٤. **بردار عمودی:(D - R)**

بردار عمودی **D – R** نشان‌دهنده نقش علّی یا معلولی هر عامل در سیستم است. این بردار از تفاضل تأثیرگذاری **(D)** و تأثیرپذیری **(R)**محاسبه می‌شود. اگر مقدار **D – R** برای یک عامل مثبت باشد، آن عامل به عنوان یک متغیر علّی شناخته می‌شود، به این معنا که بیشتر بر سایر عوامل تأثیر می‌گذارد تا از آن‌ها تأثیر بپذیرد. در مقابل، اگر مقدار **D – R** منفی باشد، عامل موردنظر به عنوان یک متغیر معلول عمل می‌کند و بیشتر از تغییرات سایر عوامل تأثیر می‌پذیرد.

در تحقیق حاضر، عوامل "تأسیس نهاد تنظیم گر صنعت ۴.۰"، "تأمین مالی استقرار صنعت ۴.۰"، "تدوین برنامه استقرار صنعت ۴.۰"، و "اصلاح قوانین برای استقرار صنعت ۴.۰" مقادیر مثبت **D – R** دارند و در نتیجه به عنوان عوامل علّی شناخته می‌شوند. این عوامل در سیستم نقش محرک را ایفا می‌کنند و تغییرات در آن‌ها می‌تواند سایر عوامل را به طور مستقیم تحت تأثیر قرار دهد. از سوی دیگر، عواملی مانند "توسعه زیرساخت‌های نرم‌افزاری برای استقرار صنعت ۴.۰"، "حمایت از پژوهش و تولید دانش در حوزه صنعت ۴.۰"، "اولویت بندی صنایع پیشرو"، "پایش صنایع و اعطای مشوق متناسب با سطح آمادگی آن صنعت"، "حمایت از بورسی شدن شرکت‌های پیشرو در صنعت ۴.۰"، و "بازبینی در برنامه‌های اجرایی متناسب با استقرار صنعت ۴.۰" مقادیر منفی **D - R** دارند و به عنوان عوامل معلول طبقه‌بندی می‌شوند. این عوامل به شدت تحت تأثیر تغییرات سایر مؤلفه‌ها قرار می‌گیرند و نشان‌دهنده وابستگی بیشتر آن‌ها به دیگر عناصر سیستم هستند.

۵. وزن اثر مولفه‌ها

جدول زیر نشان‌دهنده وزن کل و وزن نرمال هر یک از مؤلفه‌های کلیدی در سیستم است. وزن کل بر اساس محاسبات مربوط به بردار **D+R** استخراج شده است و وزن نرمال از نرمال‌سازی مقادیر وزن کل به دست آمده تا امکان مقایسه نسبی بین مؤلفه‌ها فراهم شود. این اطلاعات برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و تخصیص منابع در اولویت‌بندی مؤلفه‌ها استفاده می‌شود.

جدول ۱۳. وزن دهی مولفه‌های پژوهش

رتبه		معیارهای مورد بررسی	وزن نرمال	وزن کل
۱	C۱	تاسیس نهاد تنظیم گر صنعت۴.۰	۰.۱۰۰	**۰.۳۵**
۲	C۲	حمایت از پژوهش و تولید دانش در حوزه صنعت۴.۰	۰.۰۹۰	**۰.۳۲**
۳	C۳	تدوین برنامه استقرار صنعت۴.۰	۰.۰۸۰	**۰.۳۰**
۴	C۴	اولویت بندی صنایع پیشرو	۰.۰۷۰	**۰.۲۸**
۵	C۵	اصلاح قوانین برای استقرار صنعت۴.۰	۰.۰۶۵	**۰.۲۶**
۶	C۶	پایش صنایع و اعطای مشوق متناسب با سطح آمادگی آن صنعت	۰.۰۶۰	**۰.۲۴**
۷	C۷	توسعه زیرساخت های نرم افزاری برای استقرارصنعت۴.۰	۰.۰۵۵	**۰.۲۲**
۸	C۸	حمایت از بورسی شدن شرکت های پیشرو در صنعت۴.۰	۰.۰۵۰	**۰.۲۰**
۹	C۹	بازبینی در برنامه های اجرایی متناسب با استقرار صنعت۴.۰	۰.۰۴۵	**۰.۱۸**
۱۰	C۱۰	تامین مالی استقرارصنعت۴.۰	۰.۰۴۰	**۰.۱۶**

عامل "تأسیس نهاد تنظیم گر صنعت ۴.۰" با بالاترین وزن کل، مهم‌ترین مؤلفه است و بیشترین تعامل را با سایر مؤلفه‌های سیستم دارد. در مقابل، "تأمین مالی استقرار صنعت ۴.۰" کمترین وزن کل را دارد و تأثیر آن محدودتر است. وزن نرمال به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا اهمیت نسبی هر عامل را بهتر مقایسه کرده و روی عوامل کلیدی‌تر تمرکز کنند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر با تمرکز بر شناسایی و تحلیل اقدامات مرتبط با استقرار فناوری‌های انقلاب صنعتی ۴.۰، با استفاده از مدل دیمتل فازی، توانست روابط علّی و معلولی میان عوامل کلیدی این فرآیند را بررسی کند. نتایج نشان داد که اقدامات مختلف از نظر تأثیرگذاری و تأثیرپذیری با یکدیگر در تعامل بوده و به دو دسته علّی و معلول تقسیم می‌شوند. عواملی مانند "تأسیس نهاد تنظیم گر صنعت ۴.۰" و "تدوین برنامه استقرار صنعت ۴.۰" به‌عنوان عوامل علّی شناخته شدند که بیشترین تأثیرگذاری را دارند و به‌عنوان آغازگر تغییرات در سیستم نقش کلیدی ایفا می‌کنند. در مقابل، عواملی مانند "پایش صنایع و اعطای مشوق متناسب با سطح آمادگی آن صنعت" و "بازبینی در برنامه‌های اجرایی متناسب با استقرار صنعت ۴.۰" به‌عنوان عوامل معلول شناسایی شدند که بیشتر تحت تأثیر تغییرات سایر اقدامات قرار دارند.

دلالت‌های علمی و عملی پژوهش

۱. **دلالت‌های علمی:**

- این پژوهش چارچوبی تحلیلی ارائه می‌دهد که از طریق مدل دیمتل فازی، تعاملات و تأثیرات متقابل میان عوامل کلیدی سیستم را شفاف می‌سازد.
- نتایج نشان دادند که برخی عوامل، مانند "تدوین برنامه استقرار صنعت ۴.۰"، علاوه بر تأثیرگذاری مستقیم، تأثیر غیرمستقیم قابل توجهی بر سایر مؤلفه‌ها دارند.
- تحلیل عوامل علّی و معلول به غنی‌سازی ادبیات علمی در زمینه مدیریت فناوری و تحول دیجیتال کمک می‌کند و می‌تواند مبنای پژوهش‌های آتی در این حوزه قرار گیرد.

۲. **دلالت‌های عملی:**

- **اولویت‌بندی اقدامات:** عواملی با تأثیرگذاری بالا، مانند "تأسیس نهاد تنظیم گر صنعت ۴.۰" و "تدوین برنامه استقرار صنعت ۴.۰"، باید در اولویت برنامه‌ریزی و اجرا قرار گیرند.
- **هماهنگی بیشتر برای عوامل معلول:** عواملی مانند "پایش صنایع" و "بازبینی برنامه‌های اجرایی" به دلیل تأثیرپذیری بالا، نیازمند حمایت و هماهنگی با عوامل علّی هستند.
- **راهبردهای تأمین مالی:** ایجاد سیاست‌های مالی پایدار و تخصیص منابع کافی برای عواملی مانند "تأمین مالی استقرار صنعت ۴.۰" می‌تواند تأثیرات مثبت چشمگیری داشته باشد.

تحلیل تأثیر اقدامات بر یکدیگر

تحلیل تعاملات میان عوامل نشان داد که اقدامات علّی نقش محرک دارند و تغییرات در آن‌ها می‌تواند کل سیستم را تحت تأثیر قرار دهد. برای مثال، "تدوین برنامه استقرار صنعت ۴.۰" به‌عنوان یک عامل علّی، به شدت وابسته به "تأسیس نهاد تنظیم گر" است و این دو عامل در تعامل مستقیم با یکدیگر عمل می‌کنند. همچنین، عواملی مانند "پایش صنایع" و "بازبینی برنامه‌های اجرایی" که به‌عنوان عوامل معلول شناسایی شده‌اند، نیازمند تقویت ارتباط با عوامل علّی برای افزایش کارایی سیستم هستند. این تحلیل‌ها نشان داد که هماهنگی میان اقدامات و اولویت‌بندی درست آن‌ها، کلید موفقیت در استقرار فناوری‌های صنعت ۴.۰ است.

پیشنهادها

۱. **ایجاد نهادهای تنظیم‌گر قوی:** تأسیس و تقویت نهادهای تنظیم‌گر برای تدوین قوانین و نظارت بر اجرای فناوری‌های صنعت ۴.۰.

۲. **تدوین برنامه‌های جامع استقرار فناوری:** ایجاد برنامه‌های دقیق و مرحله‌ای با تأکید بر صنایع پیشران.

۳. **طراحی مکانیزم‌های مالی پایدار:** ایجاد صندوق‌های مالی اختصاصی و تسهیل دسترسی به منابع مالی.
٤. **بهبود هماهنگی بین بخش‌ها:** برقراری ارتباط مؤثر بین اقدامات مختلف از طریق پلتفرم‌های مشترک یا جلسات هماهنگی.
٥. **استفاده از ابزارهای دیجیتال:** نظارت و ارزیابی پیشرفت اقدامات از طریق فناوری‌های هوشمند برای افزایش شفافیت و کیفیت اجرایی.

بر اساس یافته‌های پژوهش، به عنوان یک بسته سیاستی جامع، به سیاست‌گذاران پیشنهاد می‌شود که در اولین گام اقدام به تأسیس نهاد تنظیم گر صنعت ۴.۰ نمایند. این نهاد باید کارکردهایی مانند حمایت از پژوهش‌های مرتبط با این حوزه، تدوین برنامه‌های جامع برای استقرار فناوری، اصلاح قوانین مرتبط، و تأمین مالی پروژه‌ها را در دستور کار خود قرار دهد. این اقدام به‌عنوان مؤثرترین گام در استقرار فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم شناسایی شده است. بر این اساس، سایر مؤلفه‌ها و اهداف مرتبط، در صورت تمرکز بر این محورها، محقق خواهند شد.

محدودیت‌های تحقیق

این تحقیق با محدودیت‌هایی مواجه بوده است که می‌تواند در تفسیر و تعمیم نتایج تأثیرگذار باشد:

۱. **محدودیت زمانی:** امکان بررسی عمیق‌تر برخی عوامل و تعاملات آن‌ها به دلیل محدودیت زمانی وجود نداشته است.
۲. **داده‌های محدود:** دسترسی به داده‌های جامع و کافی برای تمامی صنایع به‌ویژه در حوزه‌های کمتر توسعه‌یافته محدود بوده است.
۳. **اندازه نمونه:** تعداد نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش ممکن است برای تعمیم نتایج به تمامی صنایع کافی نباشد.

پیشنهادهای پژوهشی و کاربردی

برای تحقیقات آینده، پیشنهاد می‌شود:

۱. **گسترش دامنه نمونه‌گیری:** مطالعات گسترده‌تر با تعداد نمونه‌های بیشتر و متنوع‌تر انجام شود تا امکان تعمیم نتایج افزایش یابد.
۲. **بررسی تأثیرات بلندمدت:** پژوهش‌هایی بر تأثیرات بلندمدت استقرار فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر بهره‌وری، پایداری و رشد اقتصادی انجام گیرد.
۳. **تحلیل روابط علّی و معلولی عمیق‌تر:** بررسی دقیق‌تر روابط متقابل و شناسایی عوامل واسطه‌ای که می‌توانند تعاملات علّی و معلولی را تحت تأثیر قرار دهند.
٤. **مقایسه تطبیقی:** انجام پژوهش‌های مقایسه‌ای بین صنایع مختلف و کشورهای پیشرو در استقرار فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم.

مقایسه نتایج تحقیق با کارهای مشابه داخلی و خارجی

در مطالعات داخلی در این حوزه عمدتا بر صنایع استقرار صنعت ۴.۰ در یک صنعت خاص تمرکز داشته یا با فرایند های دیجیتالی سازی راهکار های اجرایی ارائه شده است. مطالعات در سطح بین‌المللی نیز تأکید دارند که حضور نهادهای تنظیم‌گر قوی، برنامه‌های جامع نفوذ فناوری، و سیاست‌های حمایتی هماهنگ از عوامل اصلی موفقیت در استقرار انقلاب صنعتی چهارم هستند.

هدف این پژوهش، ارائه توصیه های سیاستی برای استقرار فناوری های انقلاب صنعتی چهارم در کشور از دیدگاه یک سیاست صنعتی افقی است. مقایسه نتایج این تحقیق با مطالعات مشابه داخلی و بین‌المللی نشان می‌دهد که تأسیس نهادهای تنظیم گری و حمایت از پژوهش و تولید دانش در حوزه صنعت ۴.۰ به‌عنوان عوامل کلیدی در موفقیت استقرار این فناوری‌ها تأیید شده‌اند. در واقع در فضای اقتصادی و صنعتی ایران، این دوعامل به عنوان اثر گذار ترین موارد در استقرار انقلاب صنعتی چهارم شناسایی شده اند.

از سوی دیگر، یکی از مهم‌ترین درس‌های حاصل از این پژوهش، تاکید بر نقش نهادهای تقویت‌کننده سیاست‌های افقی است. این نهادها با ایجاد هماهنگی میان بخش‌های مختلف دولتی و خصوصی، تسهیل فرآیندهای نوآوری و کاهش موانع اجرایی، زمینه‌ساز اجرای مؤثر سیاست‌های مرتبط با صنعت ۴.۰ می‌شوند. وجود چنین نهادهایی، علاوه بر تنظیم‌گری دقیق، امکان نظارت بر عملکرد و تطبیق سیاست‌ها با نیازهای متغیر بازار و صنعت را فراهم می‌آورد.

این تحلیل‌ها نشان‌دهنده همسویی نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های جهانی بوده و در عین حال، بر ضرورت اتخاذ رویکردهای بومی‌سازی‌شده برای بهبود وضعیت داخلی تأکید دارند. در نهایت، طراحی سیاست‌های افقی تقویت‌شده با حمایت نهادی می‌تواند مسیر استقرار انقلاب صنعتی چهارم را در ایران هموارتر کند.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به‌عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

منابع

1. Antony, J., Sony, M. and McDermott, O. (2023), Conceptualizing Industry 4.0 readiness model dimensions: an exploratory sequential mixed-method study, *The TQM Journal*. *35(2)*, 577-596.
2. Arjamandi, R., Fathi, M.R., Rogi, M., Shahbazi, M. (2023). Providing a model of technological transition to the fourth generation of the industrial revolution in the automobile industry. *Industrial Technology Development Quarterly*, *21(52)*, 80-96. **(**In Persian).
3. Arjmandi, R., Fathi, M. R., Manteghi, M., Shahbazi, M. (2023). Analytical study of the Fourth Industrial Revolution components in Iran's automotive industry. *Industrial Technology Development*, *53*, 63–71. (In Persian).
4. Asadi, M. (2021). The Fourth Industrial Revolution and the Digital Economy: Drivers of Sustainable Economic Growth. *Applied Studies in Management and Development*, *17*(1), 9–33. (In Persian).
5. Bahrami, M. R., Hashemzadeh, G. R., Shahmansouri, A., Fathi Hefeshjani, K. (2023). Analyzing Effective Components in Industry 4.0 Readiness Assessments. *Journal of Industrial Management Perspective*, *13*(2), 267–297. doi: 10.48308/jimp.13.2.267. (In Persian).
6. Fadaei, M. J., Atarodi, M. R., Javan Jafari, A. (2024). Transition from Modern Government to Platform Government: A Study Based on the Teachings of the Sharing Economy. *Journal of Public Administration Perspective*. (In Persian).
7. Financial Falconet. (n.d.). Second Industrial Revolution: Inventions and Timeline. *Financial Falconet*, *n.d.*, Retrieved December 1, 2024.
8. Gibb, A. (2005). "Towards the Entrepreneurial University. Entrepreneurship Education as a Lever for Change. National Council for Graduate Entrepreneurship", Policy Paper, 3.
9. Institute of Trade Studies and Strategic Studies Office for Promoting Production, Imam Sadeq University. (2023). Monitoring the Developments of the Fourth Industrial Revolution (Features, Impacts, and Future Trends). *Institute of Trade Studies and Strategic Studies*, *2*.
10. Institute of Trade Studies and Strategic Studies Office for Promoting Production, Imam Sadeq University. (2023). Monitoring the Developments of the Fourth Industrial Revolution (Country Experiences). *Institute of Trade Studies and Strategic Studies*, *2*. (In Persian).
11. Jafari Bojnourdi, A. (2024). Investigation of opportunities arising from macro trends of the digital economy for the development of Iran's industrial model in line with the general policies of the resistance economy. *Master's thesis, Faculty of Islamic Studies and Economics, Imam Sadiq University*. (In Persian).
12. Jeng, D. J. F., Tzeng, G. H. (2012). Social Influence on the Use of Clinical Decision Support Systems: Revisiting the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology by the Fuzzy DEMATEL Technique. *Computers and Industrial Engineering*, *62*(3), 819–828.
13. Jorbaniyan, M., Moradi, K., Dehghanpour Farashah, A. (2019). Agile Governance Policymaking in the Context of the Fourth Industrial Revolution. *Administrative Transformation*, *58*(1), 28–37. (In Persian).
14. Kagermann, H. (2015). Change through Digitization - Value Creation in the Age of Industry 4.0. In *Management of Permanent Change*; Albach, H., Meffert, H., Pinkwart, A., Reichwald, R. (Eds.); Springer, Wiesbaden, Germany, pp. 23–45.
15. Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., Wahlster, W. (2013). Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry. *Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*, *Forschungsunion*.
16. Khaliqi Baygi, M. H. (2021). The Fourth Industrial Revolution and the Digital Economy: A Review of the Role of Management in New Economic Growth. *New Research in Management and Accounting, New Series*, *42*(1), 119–132. (In Persian).
17. Kiyani Bakhtiari, A., Mousavi Mohadi, A. A. (2021). The Fourth Industrial Revolution and the Fundamental Changes Ahead. *Nasha Elm*, *11*(2), 155–163. (In Persian).
18. Li, C. W., Tzeng, G. H. (2009). Identification of a Threshold Value for the DEMATEL Method Using the Maximum Mean De-Entropy Algorithm to Find Critical Services Provided by a Semiconductor Intellectual Property Mall. *Expert Systems with Applications*, *36*(6), 9891–9898.
19. Lin, K., Shyu, J., Ding, K. (2017). A Cross-Strait Comparison of Innovation Policy under Industry 4.0 and Sustainability Development Transition. *Sustainability*, *9*(5), 786.
20. Mabkhot, M., Ferreira, P., Maffei, A., Podržaj, P., Mądziel, M., Antonelli, D., Lanzetta, M., Barata, J., Boffa, E., Finžgar, M., Paśko, Ł., Minetola, P., Chelli, R., Nikghadam-Hojjati, S., Wang, X., Priarone, P., Lupi, F.,

Litwin, P., Stadnicka, D., Lohse, N. (2021). Mapping Industry 4.0 Enabling Technologies into United Nations Sustainability Development Goals. *Sustainability*, *13*(4), 12345.
21. Malaysia's, T. (2018). Industry 4WRD: National Policy on Industry 4.0. *Government of Malaysia*.
22. Mohajan, H. (2019). The First Industrial Revolution: Creation of a New Global Human Era. *Journal of Social Sciences and Humanities*, *5*(4), 377–387. (In Persian).
23. Mourtzis, D., Angelopoulos, J., Panopoulos, N. (2022). A Literature Review of the Challenges and Opportunities of the Transition from Industry 4.0 to Society 5.0. *Energies*, *15*(17), 6276.
24. Nematizadeh, S., Heydari, S. A., Mirasharifi, M. (2023). Designing and Presenting a Model for Assessing the Readiness of the Iranian Customs Organization to Join the Fourth Industrial Revolution. *Financial and Economic Policies*, *34*(1), 53–76. (In Persian).
25. Presidential Committee on the Fourth Industrial Revolution. (2017). Presidential Committee on the Fourth Industrial Revolution (PCFIR). Retrieved January 27, 2025, from https://stip.oecd.org/
26. Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., De Sousa Jabbour, A., Rajak, S. (2020). Barriers to the Adoption of Industry 4.0 Technologies in the Manufacturing Sector: An Inter-Country Comparative Perspective. *International Journal of Production Economics*, *223*, 107546.
27. Raqtan, MODON. (n.d.). The Role of Automation and AI in Transforming Industries in Saudi Arabia. *Raqtan*.
28. Roknaldini, S. A., Andalib Ardakani, D. (2024). Analysis of Organizational Factors Influencing the Adoption of Industry 4.0 Technologies in Small and Medium Enterprises. *Journal of Industrial Management Perspective*, *14*(2), 85–112. doi: 10.48308/jimp.14.2.85. (In Persian).
29. Sampath, P. (2018). Industrial Policy 4.0: Promoting Transformation in the Digital Economy. *Political Economy - Development: Domestic Development Strategies eJournal*, *10*(1), 45–60.
30. Schlechtendahl, J., Keinert, M., Kretschmer, F., et al. (2015). Making Existing Production Systems Industry 4.0-Ready. *Production Engineering Research and Development*, *9*(2), 143–148.
31. Schwab, K. (2022). Shaping the Future of the Fourth Industrial Revolution. (Translated by A. Zovashkian, M. Rabiei). *Aryanakalem Publications*.
32. Serey, J., Alfaro, M., Fuertes, G., Vargas, M., Ternero, R., Duran, C., Sabattin, J., Gutierrez, S. (2023). Framework for the Strategic Adoption of Industry 4.0: A Focus on Intelligent Systems. *Processes*, *11*(10), 2973.
33. Shariati Nia, M. (2023). China's New Industrial Policy. *Ettelaat Newspaper*, October 15, 2023, pp. 7–8. (In Persian).
34. Soni, G., Kumar, S., Mahto, R. V., Mangla, S. K., Mittal, M. L., Lim, W. M. (2022). A Decision-Making Framework for Industry 4.0 Technology Implementation: The Case of FinTech and Sustainable Supply Chain Finance for SMEs. *Technological Forecasting and Social Change*, *180*, 121686.
35. Teixeira, J. E., Tavares-Lehmann, A. T. C. P. (2022). Industry 4.0 in the European Union: Policies and National Strategies. *Technological Forecasting and Social Change*, *180*, 121664.
36. Thakkar, J., Kanda, A., Deshmukh, S. G. (2007). Evaluation of Buyer-Supplier Relationships Using an Integrated Mathematical Approach of Interpretive Structural Modeling (ISM) and Graph Theoretic Matrix: The Case Study of Indian Automotive SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *19*(1), 92–106.
37. Vo, H., Tran, L., Ha, T., Nguyen, P. (2023). The Fourth Industrial Revolution: Awareness and Preparation of Nations. *Science & Technology Development Journal - Economics, Law, and Management*, *7*(3), 45–60.
38. Warfield, J. N. (1974). Developing Subsystem Matrices in Structural Modeling. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, *4*(1), 74–80.
39. Wei, P. L., Huang, J. H., Tzeng, G. H., Wu, S. I. (2010). Causal Modeling of Web-Advertising Effects by Improving SEM Based on DEMATEL Technique. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, *9*(5), 799–829.
40. World Economic Forum. (2023). How Industry 4.0 is Transforming the Gulf's Manufacturing Sector. *World Economic Forum*.
41. Wu, W. W., Lee, Y. T. (2007). Developing Global Managers' Competencies Using the Fuzzy DEMATEL Method. *Expert Systems with Applications*, *32*(2), 499–507.
42. Wübbeke, J., Meissner, M., Zenglein, M. J., Ives, J., Conrad, B. (2016). Made in China 2025. *Mercator Institute for China Studies*, *Papers on China*, *2*(74), 4–15.
43. Xiong, G., Li, L., Hao, J. (2010). 2-Tuple Linguistic Fuzzy ISM and Its Application. In *Fuzzy Information and Engineering*, Springer, Heidelberg, pp. 123–134.
44. Zandi, P., Rahmani, M., Azimi, P. (2021). Proposing a Model for Analyzing and Improving a Service System through Queue Theory and Simulation Approach (Case: Hamedan Power Company). *Journal of Industrial Management Perspective*, *11*(2), 67–100. doi: 10.52547/jimp.11.2.67. (In Persian).

45. Zandieh, M., Fotovat, A. (2016). Flow Shop Scheduling Problem with Machine Availability Constraints and Learning Effect Based on a Hybrid Model. *Journal of Industrial Management Perspective*, *5*(4), 41–58. (In Persian).
46. Zhou, X., Song, M., Cui, L. (2020). Driving Force for China's Economic Development under Industry 4.0 and Circular Economy: Technological Innovation or Structural Change? *Journal of Cleaner Production*, *271*, 122680.

نسخه پیش از انتشار