ACECR - Sharif University Branch
Quarterly Journal of
Industrial Technology Development

Presenting an interpretative structural model of factors affecting the implementation of Industry 4.0 (case study: small and medium manufacturing businesses in Yazd province)

■ **Seyed Alireza Rokneddini**
PhD student of Industrial Management, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran

■ **Davood Andalib Ardakani**[+*]
Associate Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran

Receive date: 7 May 2024, Revise date: 28 September 2024, & Accept date: 01 March 2024
10.22034/jtd.2025.2028386.1932

Abstract
Industry 4.0 is known as the fourth industrial revolution that can help improve environmental sustainability by integrating advanced technologies. In order to implement Industry 4.0 in business development, manufacturers face many factors that need to be identified and analyzed. The purpose of the present research is to identify the factors influencing the implementation of Industry 4.0 and provide a structural-interpretive model. In terms of the purpose of this research, it is part of applied-developmental research and in terms of the type of research, it is considered a hybrid (exploratory mix) and also the number of statistical sample in the quantitative part was 12 people, which was based on the objective-judgment method of experts who have experience working in small companies and They had average production and were selected. In the first stage, in order to identify the factors affecting the implementation of Industry 4.0, the metacomposite method was used, and then the structural-interpretive modeling method was used to stratify these factors, and finally, the role of each factor was determined by using the mik-mak analysis. The results of metacombination method, identification of 24 sub-factors in 6 main dimensions of environmental factors, knowledge management, socio-cultural factors, economic situation, technological infrastructure and the role of the government were extracted and then a structural-interpretive model with nine levels was presented which provides financial resources and inflation. economic are placed at the lowest level (ninth level) and saving natural resources and environmental protection were placed at the highest level, i.e. the first level; Therefore, it is suggested that the small and medium manufacturing businesses of Yazd province try to provide financial resources for the implementation of Industry 4.0 and control economic inflation with market analysis.

Keywords:
Fourth industrial revolution, sustainability, business development, interpretive structural modeling.

× Corresponding Author
[+] Email: andalib@yazd.ac.ir

How to cite: Rokneddini, S. A., Andalibi Ardakani, D. (2025), Presenting an interpretative structural model of factors affecting the implementation of Industry 4.0 (case study: small and medium manufacturing businesses in Yazd province), Quarterly journal of Industrial Technology Development, 23(61), 73-96

فصلنامه علمی توسعه تکنولوژی صنعتی
پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی

ارائه مدل ساختاری تفسیری عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ (مطالعه موردی: کسب وکارهای کوچک و متوسط تولیدی در استان یزد)

■ سید علیرضا رکن الدینی [۱]
دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران
■ داود عندلیب اردکانی*+
دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۷/۷ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱
صفحات: ۹۶-۷۳
10.22034/jtd.2025.2028386.1932

چکیده

صنعت ۴,۰ به‌عنوان چهارمین انقلاب صنعتی شناخته می‌شود که با ادغام فناوری‌های پیشرفته می‌تواند به بهبود پایداری محیطی کمک کند. تولیدکنندگان جهت پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در توسعه کسب و کار با عوامل زیادی روبه‌رو هستند که شناسایی و تحلیل آن‌ها ضروری است. هدف پژوهش حاضر، شناسایی عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ و ارائه یک مدل ساختاری-تفسیری است. این پژوهش از نظر هدف جزء تحقیقات کاربردی-توسعه‌ای و از نظر نوع تحقیق، ترکیبی (آمیخته اکتشافی) قلمداد می‌شود. همچنین تعداد نمونه آماری در بخش کمّی ۱۲ نفر بود که با روش هدفمند-قضاوتی خبرگانی که سابقه فعالیت در شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی داشتند انتخاب شدند. در مرحله اول، جهت شناسایی عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ از روش فراترکیب استفاده گردید و سپس با استفاده از روش مدل‌سازی ساختاری-تفسیری این عوامل سطح‌بندی و در نهایت با استفاده از تحلیل میک مک نقش هر یک از عوامل تعیین گردید. نتایج روش فراترکیب، شناسایی ۲۴ عامل فرعی در ۶ بعد اصلی عوامل زیست‌محیطی، مدیریت دانش، فرهنگی-اجتماعی، وضعیت اقتصادی، زیرساخت فناوری و نقش دولت استخراج گردید و سپس مدلی ساختاری-تفسیری با نه سطح ارائه گردید که تأمین منابع مالی و تورم اقتصادی در پایین‌ترین سطح (سطح نهم) و صرفه‌جویی در منابع طبیعی و حفاظت از محیط‌زیست در بالاترین سطح یعنی سطح اول، قرار گرفت؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود، کسب و کارهای کوچک و متوسط تولیدی استان یزد در زمینه تأمین منابع مالی جهت پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ کوشش نمایند و تورم اقتصادی را با تحلیل بازار کنترل نمایند.

واژگان کلیدی: انقلاب صنعتی چهارم، پایداری، توسعه کسب و کار، مدلسازی ساختاری تفسیری.

۱ آدرس پست الکترونیکی: rokneddinialireza@gmail.com
* عهده دار مکاتبات
+ آدرس پست الکترونیکی: andalib@yazd.ac.ir

نحوه استناددهی به این مقاله: رکن الدینی، سیدعلیرضا. عندلیب اردکانی، داود. (۱۴۰۴). ارائه مدل ساختاری تفسیری عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴,۰ (مطالعه موردی: کسب وکارهای کوچک و متوسط تولیدی در استان یزد)، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، (۶۱)۲۳، ۹۶-۷۳.
ناشر: پژوهشکده توسعه تکنولوژی

۱- مقدمه

صنعت ۴,۰ که به‌عنوان چهارمین انقلاب صنعتی شناخته می‌شود، نشان دهنده یک تغییر دگرگون کننده در فرایندهای تولید و عملیاتی از طریق ادغام فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، داده‌های بزرگ و اتوماسیون است. هدف این پارادایم افزایش کارایی، بهره‌وری و پاسخگویی در بخش‌های مختلف، از جمله تولید و کشاورزی است(Suleiman et al., 2022). به‌عنوان مثال، در کشاورزی، پذیرش اصول صنعت ۴,۰ برای پرداختن به چالش‌هایی مانند تغییرات آب و هوایی و امنیت غذایی با فعال کردن شیوه‌های کشاورزی هوشمند که از دستگاه‌های اینترنت اشیا برای جمع‌آوری داده‌ها و تصمیم‌گیری مستقل استفاده می‌کند، بسیار مهم است(Ali et al., 2023). علاوه بر این، پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴,۰ با ارائه ابزارهایی برای کنترل و عملکرد بهتر در طول چرخه عمر پروژه، بهبود مدیریت پروژه را تسهیل می‌کند. با این حال، پذیرش موفقیت‌آمیز این فناوری‌ها برحسب منطقه، تحت تأثیر عواملی مانند مراحل توسعه صنعتی و سیاست‌های عمومی حمایت‌کننده از نوآوری متفاوت است(Borges et al., 2022).

مشخصه پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در شرکت‌های تولیدی، ادغام فناوری‌های پیشرفته مانند اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی و سیستم‌های فیزیکی سایبری است که در مجموع کارایی تولید و سازگاری با تقاضاهای بازار را افزایش می‌دهند(Kumar et al., 2024). صنعت ۴,۰ اجرای سیستم‌های تولید هوشمند را امکان‌پذیر می‌سازد، جایی که ماشین‌ها و فرایندها به هم مرتبط هستند و می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. این امر امکان نظارت، کنترل و بهینه‌سازی در زمان واقعی فرایندهای تولید را فراهم می‌کند(Müller & Däschle, 2018). همچنین منجر به افزایش اتوماسیون و استفاده از رباتیک در تولید شده است(Protic et al., 2020) .

با فراوانی داده‌های تولید شده توسط ماشین‌ها و فرایندهای متصل، صنعت ۴,۰ تصمیم‌گیری مبتنی بر داده را امکان‌پذیر می‌کند. تجزیه‌وتحلیل پیشرفته و تکنیک‌های هوش مصنوعی را می‌توان برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و استخراج بینش‌های ارزشمند برای بهینه‌سازی فرایندهای تولید، پیش‌بینی نیازهای تعمیر و نگهداری و بهبود عملکرد کلی به کار برد (Ghobakhloo et al., 2022) و برای سفارشی‌سازی و شخصی‌سازی صنعت ۴,۰ امکان سفارشی‌سازی و شخصی‌سازی بیشتر محصولات را فراهم می‌کند(Nowell et al., 2018). در تحول نیروی کار نیز صنعت ۴,۰ تغییراتی را در نیروی کار صنایع تولیدی ایجاد می‌کند. با افزایش اتوماسیون و استفاده از فناوری‌های پیشرفته، مهارت‌ها و شایستگی‌های جدید مورد نیاز است(Protic et al., 2020). این تغییرات و تحولات ایجاد شده توسط صنعت ۴,۰ پتانسیل ایجاد انقلابی در صنایع تولیدی را دارد که منجر به افزایش کارایی، بهره‌وری و رقابت می‌شود. با این حال، آن‌ها همچنین چالش‌هایی را از نظر پذیرش فناوری، آموزش نیروی کار و امنیت سایبری ارائه می‌کنند. برای شرکت‌ها مهم است که این تغییرات را برای رقابتی ماندن در چشم‌انداز تولید در حال تحول سازگار کنند و از آن استقبال کنند.

با بهره‌گیری از دانش و تخصص صنعت ۴,۰، کسب‌وکارها می‌توانند محصولات، خدمات و فرایندهای نوینی را توسعه دهند که به چالش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی می‌پردازد(Alvarez-Meaza et al., 2020) و همچنین همکاری و مشارکت را در داخل و خارج سازمان را ارتقا می‌دهد با شناسایی عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰، کسب‌وکارها می‌توانند درک خود را از شیوه‌های نوین فرایندها افزایش دهند، نوآوری را تقویت کنند، به‌طور مؤثر همکاری کنند، تصمیم‌های آگاهانه بگیرند و به‌طور مداوم عملکرد خود را بهبود بخشند. این می‌تواند منجر به موفقیت بلندمدت تجاری شود و در عین حال به کیفیت محصولات و رونق اقتصادی کمک کند.

با توجه به اینکه علاقه فزاینده‌ای به صنعت ۴,۰ وجود دارد، بررسی‌های سیستماتیک و گسترده تحقیقات اخیر در مورد صنعت ۴,۰ در پژوهش‌های داخلی کمیاب است. این مقاله به دنبال عوامل مؤثر در پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در شرکت‌های تولیدی است. این مقاله مقوله‌های تحقیقاتی در پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ را بر اساس یک مرور ادبیات شناسایی می‌کند، یعنی مقالات مفهومی در صنعت ۴,۰، تعاملات انسان و ماشین، تعاملات ماشین و تجهیزات، فناوری‌های صنعت ۴,۰ و زمینه فرهنگی و نقش دولت را شناسایی می‌کند و سپس با توجه به مقولات شناسایی شده از ادبیات، مدلی ساختاری-تفسیری با توجه به وضعیت شرکت‌های تولیدی در داخل ایران ارائه می‌گردد.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

صنعت ۴,۰ که در سال ۲۰۱۱ ابداع شد، نشان دهنده فاز فعلی تغییرات صنعتی است. بر اساس انقلاب صنعتی سوم و مشخصه‌های آن عبارت‌اند از: ادغام ارتباطات، فناوری‌های اطلاعات هوشمند و اینترنت اشیا (IoT)، افزایش اتوماسیون، نظارت بر خود و تجزیه و تحلیل توسط ماشین‌های هوشمند، همگرایی قلمروهای فیزیکی، دیجیتالی و بیولوژیکی، هوش

مصنوعی، ویرایش ژن و رباتیک تبدیل شبکه‌های تولید و عرضه. اصطلاح "صنعت ۴,۰" در سال ۲۰۱۱ به‌طور عمومی معرفی شد و بر رقابت‌پذیری المان در تولید تأکید داشت. این نشان‌دهنده تغییر الگو به سمت سیستم‌های به هم پیوسته، هوشمند و خودکار است(Lasi et al., 2014). فناوری‌های جدید موجود فقط برای بهبود معماری ارزش‌آفرینی شرکت‌ها منتشرشده‌اند که نشان‌دهنده مجموعه‌ای از فرصت‌ها است که شامل افزایش کارایی و بهبود عملکرد است (کاهش زمان، هزینه‌ها یا شکست، ارائه آموزش کارکنان و غیره) (Antunes et al., 2018).این فرصت‌ها می‌تواند بهترین راه برای جلب توجه شرکت‌های تولیدی سنتی برای اتخاذ فناوری‌های صنعت ۴,۰ بدون پرداختن به ریسک‌های بالاست(Ibarra et al., 2018). (Paravizo et al., 2018)سه دسته از مهارت‌های مورد نیاز در عصر صنعت ۴,۰ را معرفی کردند که عبارت‌اند از: (۱) حوزه فنی که می‌تواند شامل نصب دستگاه‌های فناوری اطلاعات یا راه‌اندازی وسایل نقلیه خودکار باشد، (۲) مهارت تحولی بیشتر شامل پیشنهاد و تحقق تغییرات است و (۳) اجتماعی، این یکی شامل تعامل بین اعضا است؛ به‌عنوان مثال کار تیمی، انتقال دانش و کسب دانش و غیره (Schallock et al., 2018).به نظر می‌رسد صنعت ۴,۰ متحد جدیدی در دستیابی به تولید پایدار است که یکی از جنبه‌های کلیدی دستیابی به توسعه پایدار در عصر معاصر است؛ پارادایم‌های سازمان‌های صنعتی جدید با تمرکز ذاتی بر بهره‌وری منابع و افزایش "مسئولیت اجتماعی شرکت"(Paravizo et al., 2018). با تسهیل صنعت ۴,۰ می‌توان به کاهش ضایعات، مصرف انرژی و منابع و همچنین بهبود شرایط کاری دست یافت(Müller et al., 2018). صنعت ۴,۰ فرصت‌های جدیدی را معرفی می‌کند که ممکن است رویکرد تولید سنتی برنامه‌ریزی، کنترل و مدیریت را مختل کند(Moeuf et al., 2018).

مولر[۲] و همکاران (۲۰۱۸) مطالعه‌ای را ارائه می‌کنند که به تغییرات اخیر در برنامه‌ریزی و اقدامات کنترل تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط مرتبط با صنعت ۴,۰ می‌پردازد. این مطالعه نشان داد که در مورد فناوری‌ها، کم‌هزینه‌ترین شبیه‌سازی‌ها مانند محاسبات ابری یا شبیه‌سازی، بیشترین استفاده را در شرکت‌های کوچک و متوسط دارند در حالی که آن‌هایی که نشان‌دهنده تحولات عمیق تجاری مانند داده‌های بزرگ (Ge et al., 2018)یا سیستم‌های فیزیکی سایبری هستند(Lee et al., 2015)توسط شرکت‌های کوچک و متوسط در نظر گرفته نمی‌شوند. مولر[۳] و همکاران (۲۰۱۸) توضیح می‌دهند که درک راه‌های مختلف مقابله با صنعت ۴,۰ برای مدیران شرکت‌های کوچک و متوسط ضروری است. این مطالعه امکان‌های متنوعی را برای نوآوری مدل‌های کسب‌وکار تولید شرکت‌های کوچک و متوسط با توجه به تقاضای صنعت ۴,۰ نشان می‌دهد و مدیران را تشویق می‌کند تا سناریوهای بیشتری را برای تجارت خود بررسی کنند.

گانزاراین[۴] و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل فرایند گام به گام را برای رهبری و آموزش شرکت‌ها برای شناسایی فرصت‌های متنوع‌سازی جدید در صنعت ۴,۰ ارائه می‌کنند. مطالعه انجام شده بر روی نمونه‌ای نماینده از شرکت‌های کوچک و متوسط در کشور باسک نشان داد که تنها تعداد کمی از شرکت‌های کوچک و متوسط از هر روش صنعت ۴,۰ استفاده می‌کنند، اما آن‌ها همچنین نیاز واقعی به پشتیبانی هدایت شده در توسعه چشم‌انداز صنعت ۴,۰ خاص شرکت و برنامه‌ریزی پروژه خاص را نشان می‌دهند. مولر و همکاران (۲۰۱۸) راهبردهای زیر را برای شرکت‌های کوچک و متوسط به‌منظور دستیابی به اجرای صنعت ۴,۰ پیشنهاد می‌کنند. برنامه‌های سازگاری به‌ویژه برای شرکت‌های کوچک و متوسط، پیاده‌سازی سیستم‌های کمکی هوشمند برای حمایت از کارکنان در طراحی محل کار و رفع کمبود مهارت‌ها. با توجه به اینکه ضرورت پرداختن به عوامل مؤثر در پیاده سازی صنعت ۴,۰ در شرکت‌های کوچک و متوسط روشن گردید، این پژوهش درصدد پاسخگویی به دو سوال بر می‌آید:

- عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴,۰ کدامند؟
- سطح‌بندی عوامل تأثیرگذار بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ به چه صورت است؟

جدول ۱: روند صنعت ۴,۰ از ابتدا تا کنون

روند صنعت ۴,۰	سال
معرفی مفهوم صنعت ۴ در نمایشگاه هانوفر المان	۲۰۱۱
المان راهبرد صنعت ۴ را به‌عنوان راهبرد ملی پذیرفت	۲۰۱۳
کشورهای سراسر جهان شروع به پذیرش اصول صنعت ۴ نمودند	۲۰۱۵
پیشرفت‌های قابل توجه در فناوری در اینترنت اشیا و هوش	۲۰۱۸

۲ Moeuf
۳ Müller
۴ Ganzarain

مصنوعی
تأثیر همه‌گیری کووید ۱۹ و شتاب در تحول دیجیتال ۲۰۲۰
تمرکز بر پایداری با تأکید بر فناوری پایدار و سبز ۲۰۲۲

در بررسی ادبیات پژوهش عوامل مؤثر در پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ محقق مقالات را به ۱۰ گروه دسته‌بندی نمود. دسته اول موانع پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در صنایع تولیدی است. از موانع شناسایی شده در پیاده سازی صنعت ۴,۰ می‌توان به فقدان چشم‌انداز بلندمدت، در دسترس بودن به‌موقع داده‌ها و اتوماسیون، عدم ادغام ناب شش سیگما، فقدان استانداردهای کیفیت صنعت ۴,۰ و ابزارهای تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ (Rajak et al., 2025)پر کردن شکاف بین فرصت‌های فناوری و کاربرد عملی، نیاز به تحقیقات بیشتر، همکاری و برنامه‌ریزی راهبردی(Zeba & Čičak, 2023). دانش فنی ناکافی صنعت ۴,۰، نارسایی زیرساخت، نیاز به سرمایه‌گذاری بالا، چالش امنیت سایبری، مهارت ناکافی نیروی کار، اختلالات شغلی، مشکلات مربوط به داده‌ها، عدم مدیریت و کیفیت داده‌ها، عدم حمایت سیاست‌گذاران، عدم‌حمایت مدیریت عالی، زنجیره ارزش با هماهنگی ضعیف، بی‌تفاوتی کارکنان(Hossain et al., 2023) اشاره نمود. دسته دوم در مورد بهبود کیفیت به‌وسیله فناوری‌های صنعت ۴,۰ است. در بررسی مقاله توسعه راهبرد شش سیگما مبتنی بر شرکت‌های کوچک و متوسط، نویسندگان کاربرد شش سیگما را در یک شرکت کوچک و متوسط توصیف می‌کنند و نشان می‌دهند که چگونه این شرکت از یک روش مقرون‌به‌صرفه ۶ سیگما برای ریشه‌کن کردن یک مسئله حیاتی به کیفیت (CTQ) استفاده می‌کند(Thomas & Barton, 2006). در بررسی مقاله‌ای دیگر، موضوع بهبود کیفیت از طریق رویکرد شش‌سیگمای ناب مورد مطالعه قرار گرفته است. در این پژوهش، ادغام اصول ناب و شش‌سیگما با هدف ارتقای کیفیت تولید از طریق کاهش ضایعات، شناسایی ریشه مشکلات و اجرای اقدامات اصلاحی به کار گرفته شده است. در دسته‌بندی سوم، تمرکز بر مدیریت محیطی و سیستم‌های مدیریت زیست‌محیطی است. در همین چارچوب، مقاله‌ای با محوریت فناوری‌های اصلی صنعت ۵,۰ به شناسایی محرک‌ها، موانع و مزایای اجرای سیستم‌های مدیریت زیست‌محیطی در شرکت‌های تولیدی واقع در بخش کالداس کلمبیا می‌پردازد(Ocampo-López et al., 2018). در مقاله‌ای دیگر عوامل تعیین کننده مزایای حاصل از اجرای استانداردهای EN۹۱۰۰ مورد تحقیق قرار می‌گیرد که عوامل مؤثر بر اثرات مثبت ناشی از اجرای استاندارد مدیریت کیفیت EN۹۱۰۰ در صنعت هوافضا را به‌طور خاص با نگاهی به‌اندازه شرکت، مدت‌زمان اجرای استاندارد و نوع انگیزه پذیرش استاندارد (داخلی یا خارجی) بررسی می‌کند(Pelantová & Šlaichová, 2017). در دسته‌بندی چهارم، موضوع مدیریت انرژی و رهبری تحول‌آفرین مورد بررسی قرار گرفته است. در مقاله‌ای با عنوان روش شغلیِ معادل به‌عنوان ابزاری برای مدیریت انرژی در بخش هتلداری، کاربرد روش اشغالِ معادل به‌منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی در هتل‌ها تشریح شده است. این روش به هتل‌ها امکان می‌دهد تا از طریق پایش و کنترل عملیاتی و همچنین اجرای برنامه‌های اقدام اصلاحی، به صرفه‌جویی مؤثر در انرژی دست یابند(Ochoa et al., 2018). در مقاله‌ای با محوریت بررسی ارتباط بین رهبری تحول‌آفرین و شیوه‌های مدیریت کیفیت در هتل‌های اسپانیا، رابطه میان این دو متغیر مورد تحلیل قرار گرفته است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که هتل‌هایی که از سطوح بالاتری از رهبری تحول‌گرا برخوردارند، دارای شیوه‌های مدیریت کیفیت توسعه‌یافته‌تر و ساخت‌یافته‌تری نیز هستند. این رابطه دوطرفه گزارش شد؛ به‌طوری‌که توسعه بیشتر شیوه‌های مدیریت کیفیت نیز با سطوح بالاتر رهبری تحول‌آفرین همراه است(Portela Maquieira et al., 2022). مقالات دسته پنجم بر موضوعاتی همچون تقویت صنعت، ابر فناوری و پذیرش تولید تمرکز دارند. در یکی از این مطالعات، هدف پژوهش شناسایی عوامل موفقیت حیاتی برای اجرای مدیریت کیفیت جامع در صنعت تولید پاکستان است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که پنج عامل کلیدی در موفقیت اجرای مدیریت کیفیت جامع در این بخش عبارت‌اند از: آموزش، کیفیت خدمات، بهبود مستمر، مشارکت کارکنان و رضایت مشتری(Wassan et al., 2023). در بررسی عوامل حیاتی موفقیت در اجرای صنعت ناب ۴,۰ در زنجیره تأمین تولید، رباتیک، واقعیت مجازی/افزوده و محاسبات ابری عوامل اصلی موفقیت حیاتی هستند که سایر عوامل موفقیت حیاتی شناسایی شده را برای پیاده‌سازی صنعت ناب ۴,۰ در زنجیره‌های تأمین تولید هدایت می‌کنند (Kashyap et al., 2023).0 در ارزیابی توانمندسازی‌های فناوری ابری برای تقویت پذیرش صنعت ۴,۰ در شرکت‌های تولیدی خرد، کوچک و متوسط، مشخص شد که یکپارچه‌سازی سیستم‌ها، مدیریت پروژه و فشار رقابتی از مهم‌ترین عوامل کلیدی هستند که نقش بسزایی در اجرای فناوری ابری و در نتیجه تقویت پذیرش صنعت ۴,۰ در این دسته از شرکت‌ها ایفا می‌کنند(Subramanian et al., 2021). در دسته ششم، موضوع اثرات زیست‌محیطی و منابع انرژی تجدید پذیر مورد بررسی قرار گرفته است. در یکی از مقالات این دسته، رابطه تجربی میان کارایی کلی تجهیزات و پایداری تولید

در صنعت ۴,۰ با استفاده از رویکرد مطالعه زمان تحلیل شده است. در این پژوهش، یک روش مبتنی بر مطالعه زمان برای ارزیابی اثربخشی کلی تجهیزات و شناسایی مسائل مرتبط با بهینه‌سازی راندمان آن‌ها به کار گرفته شد؛ رویکردی که در عین حال، پایداری سیستم تولید را نیز مدنظر قرار می‌دهد(Ghafoorpoor Yazdi et al., 2018). در مقاله ارزیابی محرک‌ها در اجرای تولید پایدار در هند پنج عامل به‌عنوان "گروه علت" برای اجرای تولید پایدار در هند شناسایی شدند: فشار اجتماعی و نگرانی‌های عمومی، مقررات و سیاست‌های دولت، مشارکت مدیریت ارشد، تعهد و حمایت، راهبردها و فعالیت‌های مؤثر در راستای تولید مسئولیت‌پذیر اجتماعی و روند بازار(Garg et al., 2014). در بررسی اثرات تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ بر تولید پایدار نشان داده شد که تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ ارزش بسیار زیادی در حمایت از شیوه‌های تولید پایدار در صنایعی که انرژی بالایی مصرف می‌کنند، ضایعات/انتشار گازهای گلخانه‌ای بالا منتشر می‌کنند و به نیروی کار زیادی نیاز دارند، ارائه می‌کند(Mesquita et al., 2025). دسته هفتم به موضوع دیجیتالی شدن و مدیریت آن می‌پردازد. در یکی از مطالعات این دسته، با عنوان تقاضا برای مهارت‌های دیجیتالی کارکنان در زمینه بانکداری ۴,۰، تأثیر دیجیتالی شدن بر تقاضا برای مهارت‌های دیجیتال در بخش مالی ــ به‌ویژه در حوزه بانکداری ۴,۰ ــ بر اساس داده‌های ثانویه و داده‌های اولیه گردآوری‌شده از شرکت‌های چک مورد بررسی قرار گرفته است(Mazurchenko et al., 2022) در مطالعه‌ای دیگر، با تمرکز بر مدیریت در نوآوری‌های مرتبط با دیجیتالی‌سازی و با تأکید بر میزان خودگردانی شغلی، هدف پژوهش شناسایی سطح اجرای نوآوری‌های دیجیتال در مشاغل و بررسی این موضوع بود که آیا این مشاغل به کارکنان اجازه می‌دهند حداکثر استقلال را در انجام وظایف داشته باشند. این مطالعه بر اساس داده‌های حاصل از نظرسنجی ۸۴۱ شرکت در محیط بین‌المللی اتحادیه اروپا (EU-27) انجام شد. نتایج نشان داد که پاسخ‌دهندگان، وضعیت مورد انتظار نواوری‌های دیجیتالی و سطح استقلال شغلی را مثبت‌تر از وضعیت فعلی ارزیابی کرده‌اند. همچنین، شرکت‌های بزرگ‌تر نسبت به شرکت‌های کوچک‌تر، رتبه‌های بالاتری برای وضعیت فعلی نواوری‌های دیجیتال گزارش کردند و در مقابل، شرکت‌های بخش تولید نسبت به بخش خدمات و سایر بخش‌ها، ارزیابی پایین‌تری از سطح فعلی استقلال کارکنان ارائه دادند(Stacho et al., 2023). در دسته هشتم، موضوع زنجیره تأمین و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است. در یکی از مقالات این دسته، با عنوان ادغام خارجی در زنجیره تأمین کشاورزی-غذایی، مروری بر ادبیات علمی مرتبط با مکانیزم‌های یکپارچه‌سازی خارجی و تأثیر آن‌ها بر عملکرد زنجیره‌های تأمین کشاورزی-غذایی ارائه شده است(Ruiz Moreno et al., 2015). در مقاله چالش‌ها و روندها در لجستیک ۴,۰ چالش‌ها و روندها در اجرای لجستیک ۴,۰ را بررسی می‌کند، مفهومی که به دلیل پیشرفت‌های تکنولوژیکی انقلاب ۴,۰ پدیدار شده است و یک مفهوم‌سازی از لجستیک ۴,۰ شامل تعریف، اهداف، ویژگی‌ها و فناوری‌های نماینده ارائه می‌نماید (Malagón-Suárez & Orjuela-Castro, 2023). در دسته نهم، موضوع نیروی کار و منابع انسانی مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان نمونه، در مقاله‌ای با عنوان رویکردی چندمعیاره برای ادغام عملکرد ایمنی و بهداشت شغلی و بهره‌وری سیستم‌های صنعتی در زمینه پیری نیروی کار، نتایج نشان می‌دهد که ریسک‌های روانی–اجتماعی و ایمنی شغلی از مهم‌ترین محرک‌ها برای مدیریت یکپارچه عملکرد ایمنی، سلامت شغلی و بهره‌وری سیستم‌های صنعتی در میان نیروی کار سالخورده هستند(Ortiz-Barrios et al., 2022). در یکی از مطالعات مرتبط با دسته نهم، مقاله‌ای با عنوان «صنعت ۴,۰ به‌عنوان چالشی برای مهارت‌ها و شایستگی‌های نیروی کار» با استفاده از یک تحلیل کتاب‌سنجی، مهارت‌ها و شایستگی‌های موردنیاز نیروی کار برای انطباق با فناوری‌های صنعت ۴,۰ را شناسایی کرده است. این مطالعه همچنین سطح آگاهی کارکنان شرکت‌های چندملیتی در مجارستان را نسبت به فناوری‌های صنعت ۴,۰ ارزیابی می‌کند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که مهارت‌های بین فردی مهم‌ترین مجموعه مهارت‌ها و شایستگی‌های موردنیاز برای نیروی کار آینده در عصر صنعت ۴,۰ هستند. علاوه بر این، شایستگی‌های مرتبط با نوآوری ــ به‌ویژه توانایی بهره‌گیری از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین ــ نیز به‌عنوان عوامل کلیدی برای آمادگی نیروی کار در مواجهه با تحولات فناورانه مطرح شده‌اند(Alhloul & Kiss, 2022). در دسته دهم، موضوع پیش‌بینی تقاضا و استفاده از روش‌های یادگیری عمیق مورد توجه قرار گرفته است. در یکی از مقالات این دسته با عنوان پیش‌بینی تقاضای صنعت تولید منطقه‌ای با رویکرد یادگیری عمیق، استان گوانگدونگ چین به‌عنوان مطالعه موردی به کار رفته است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که مدل مبتنی بر یادگیری عمیق عملکرد دقیق‌تری نسبت به روش‌های مرسوم پیش‌بینی ارائه می‌دهد، به‌ویژه زمانی که علاوه

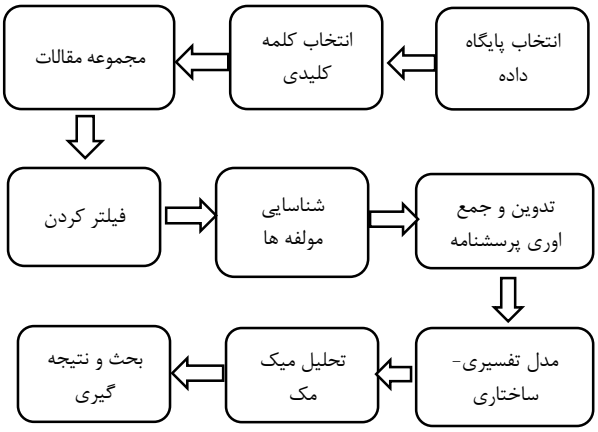
بر داده‌های تاریخی تقاضـــا، مجموعه‌ای از عوامل متنوع در مدل لحاظ می‌شود. بر اساس نتایج این مطالعه، ترکیب عواملی همچون متغیرهـای فنـاورانه، دولتی، اقتصـــادی و خدماتی موجب بهبود قابل‌توجه دقت پیش‌بینی تقاضای صنعت تولید در مقایسه با اتکا صـرف به داده‌های تاریخی می‌شـود(Dou et al., 2021). در مقاله مدل پیش‌بینی تقاضا با استفاده از روش‌های یادگیری عمیق برای مدیریت زنجیره تأمین ۴,۰ در مورد استفاده از روش‌های یادگیری عمیق، بـه‌ویژه میـانگین متحرک یکپارچه رگرســـیون خودکار و حافظه بلندمدت کوتاه‌مدت، برای توسـعه یک سیستم پیش‌بینی دقیق تقـاضـــا برای مدیریت زنجیره تأمین ۴,۰ به منظور حفظ تعادل بین عرضـــه و تقاضـــا و بهبود تصـــمیم‌گیری ارائه می‌دهد. نتایج نشـــان داد که مدل‌های حافظه بلندمدت کوتاه‌مدت برای پیش‌بینی تقاضـــا در مدیریت زنجیره تأمین از مدل‌های میانگین متحرک یکپارچه رگرسیون خودکار بهتر عمل می‌کنند(Terrada et al., 2022). با توجه به بررســـی ادبیات مقالات در مورد پیاده سـازی صـنعت ۴,۰ به ده گروه موانع پیاده سـازی صـنعت ۴,۰، بهبود کیفیت به وسیله فناوری‌های صنعت ۴,۰، مدیریت محیطی و ســـیســـتم‌های محیطی، مدیریت انرژی و رهبری تحول‌آفرین، تقویت صـنعت، ابر فناوری، پذیرش تولید، اثرات زیست‌محیطی و منابع انرژی تجدید پذیر، دیجیتالی شـدن و مدیریت آن، زنجیره تأمین و کشاورزی، نیروی کار و منابع انسانی و پیش‌بینی تقاضا و یادگیری عمیق دسـته‌بندی گردید. همان‌طور که مشاهده گردید اغلب مقالات به بررسی یک و یا دو موضوع از پیاده سازی صنعت ۴,۰ تمرکز نموده‌اند، اما پژوهش حاضـر درصـدد بررسـی عوامل مؤثری اسـت که در پیاده سـازی صـنعت ۴,۰ تأثیرگذار باشـد. بنـابراین مـدلی از این عوامـل بـا توجـه بـه شـــرایط و موقعیت شرکت‌های تولیدی در داخل ایران ارائه خواهد شد.

۳- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضـر از نوع روش تحقیق آمیخته اکتشافی (کیفی-کمی) بوده و به دنبال ارائه مدل سـاختاری-تفسیری عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ است. برای این منظور ابتدا عوامل مؤثر صنعت ۴,۰ از طریق تکنیک فراترکیب شناسایی گردید. از آنجایی کـه مقـالـات و پژوهش‌هـای فراوانی در حوزه عوامـل مؤثر در پیاده‌ســازی صــنعت ۴,۰ انجام گردیده اســت، اما تاکنون مدل جامعی که تمام ابعاد را پوشـش دهد ارائه نشـده اسـت؛ بنابراین تکنیک فراترکیب جهت شـــناســـایی و ترکیب جامع از مؤلفه‌ها و ابعاد عوامل مؤثر بر پیاده سـازی صنعت ۴,۰ به کار گرفته شد. از این رو، برای بهره‌گیری از روش فراترکیب، از روش هفت مرحله‌ای سندلوسکی و باروسو[5] (۲۰۰۷) استفاده گردید.

۱) تنظیم سوال پژوهش؛ ۲) مرور ادبیات به شکل سیستماتیک؛ ۳) جستجو و انتخاب متون مناسب؛ ۴) استخراج اطلاعات متون؛ ۵) تجزیه و تحلیل یافته‌های کیفی؛ ۶) کنترل کیفیت؛ ۷) ارائه یافته‌ها.

پس از شـناسایی عوامل تاثیرگذار بر پیاده سازی صنعت ۴,۰، میزان تـاثیرگـذاری و تاثیرپذیری عوامل از نظر مدیران اجرایی و اسـاتید دانشـگاهی در شـرکت‌های تولیدی کوچک و متوسط در اســـتـان یزد مورد ارزیـابی قرار گرفت که تعداد نمونه آماری در بخش کمی ۱۲ نفر بوده و بـا روش هـدفمند-قضـــاوتی خبرگان انتخاب گردید. با توجه به تمرکز بالای صـنایع تولیدی در اسـتان یزد از جمله کاشی و سرامیک، محصولات غذایی، صنایع پلاستیک و ســـایر واحـدهـای تولیـدی نمونـه آماری این پژوهش از میان شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی فعال در این استان انتخاب شـد. در بخش کمی، برای انجام مدل‌سـازی ساختاری-تفسیری، پرسـشـنامه مقایسـه زوجی بر اسـاس مقولات شـناسـایی‌شده در بخش فراترکیـب طراحی و در اختیـار اعضـــای نمونه آماری قرار گرفـت. پس از جمع‌آوری داده‌هـا، از تحلیـل میـک مـک برای طبقـه‌بندی متغیرها بر اســـاس میزان قدرت نفوذ و وابســـتگی اسـتفاده گردید و متغیرها در چهار گروه مستقل، وابسته، پیوندی و خودگردان دسته‌بندی شدند.



شکل ۱: فرایند پژوهش

۴- یافته‌های پژوهش

۴-۱- شناسایی عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴,۰

مرحله نخســـت فراترکیب مربوط به تنظیم ســـوالات پژوهش

[5] Sandelowski, Barroso

اســـت کـه بـایســـتی علـاوه بر علاقه‌مندی ادامه تحقیقات قبلی پژوهشـگر باشـد. سـوال‌های پژوهش باید دارای ویژگی‌هایی باشد که در جدول ۲: سوال‌های پژوهش ارائه گردیده است.

جدول ۲: سوال‌های پژوهش

مؤلفه‌ها	سوال‌های پژوهش
چیستی کار (what)	عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴,۰ چیست؟
جامعه مورد مطالعه (who)	مقـالات منتشـــر شـــده در پایگاه داده‌های داخلی و خارجی
بازه زمانی مطالعه (when)	۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ برای مطالعات داخلی و ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۳ برای مطالعات خارجی
چگونگی یا روش مطالعه (how)	بررسـی موضـوعی آثار، شـناسایی و یادداشت برداری نکات کلیدی، تحلیل مفاهیم مورد مطالعه، دسته‌بندی مفاهیم و مقولات

در بخش ابتدایی مرحله فراترکیب، پرســش‌های کلی در این زمینه مطرح گردیده و پاســخ داده شــد تا از ابهام‌های بیشــتر جلوگیری گردد. بـدین ترتیـب، فقط آثاری باید در این مطالعه گنجانده شــود که در آن‌ها بیشــتر به مؤلفه‌ها و ابعاد مهم و تاثیرگذار بر مدل‌سـازی عوامل مؤثر بر پیاده‌سـازی صـنعت ۴,۰ پرداخته شـده است. بازه زمانی انتخاب شده بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ شـمسـی و ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۳ میلادی اسـت؛ زیرا در این سـال‌ها صـنعت ۴,۰ وارد صـنایع گردیده و تاثیرگذاری خود را بیشتر از دهه پیش نشان داده است.

برای شــروع دقیق و نظام‌مند مطالعات منابع اعم از مقالات علمی پژوهشـــی و پژوهش‌هایی که با هدف پژوهش و بازه زمانی مشـخص شـده متناسب هستند، انتخاب گردیده است. در مرحله بعد پژوهش‌هایی که واجد شرایط برای ورود به فراترکیب انتخاب شـدند و معیارهای ورود و خروج بر اسـاس مطالعه تعیین شـدند. معیارهای ورود و خروج از پژوهش شـامل زبان مطالعه که فارسی و انگلیســی، موضــوع مورد مطالعه عوامل مؤثر بر پیاده ســازی صــنعت ۴,۰ در توســعه کســب و کار پایدار، نوع مطالعه مقالات علمی پژوهشـی چاپ شـده در مجلات معتبر و سـال پژوهش که بین ســال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۳ و ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ بوده اســت. ازاین‌رو، پژوهشگر جستجوی نظام‌مند خود از پژوهش‌های منتشر شـده در منابع مختلف را متمرکز کرده و کلیدواژه‌های مرتبط را پیدا نمود. همچنین مقالاتی از پایگاه داده‌های داخلی اعم از بانک اطلاعات نشـریات کشـور[۶] و پایگاه مجلات تخصـصی نور[۷] و پایگاه داده‌های خارجی اعم از ســاینس دایرکت، اشــپرینگر و الزویر[۸] جسـتجو و مقالات علمی پژوهشی که در مجلات معتبر چاپ شده بودند انتخاب گردید. برای مثال مقالات کنفرانســی و مقالاتی که در وبگاه‌های شــخصــی منتشــر شــده بودند انتخاب نگردید. از کلیدواژه‌های "عوامل مؤثر صــنعت ۴,۰"،"عوامل مؤثر صــنعت ۴,۰ " جهت جستجو در پایگاه داده‌های داخلی و از کلیدواژه‌های "Industry 4.0"،"I 4.0"،"Digital technologies"، "Enablers"، "factors"، "Success factors"، " factors of industry 4.0 "، استفاده گردید.

در گام سوم پژوهش‌های فراوانی با توجه به تعدد زیاد واژگان کلیـدی اســتخراج گردید که پژوهشــگر با توجه به پارامترهای مختلف، مقالات غیرهمراسـتا با پژوهش را حذف نمود. ابتدا منابع را بر اسـاس عنوان مقایسه نمود که در این حالت تعداد زیادی از مقالات حذف شـدند. سـپس بر اسـاس چکیده بررسـی و تعدادی مقاله بی‌ربط حذف شدند و در انتها نیز بر اساس متن کامل مقاله محتوای مقاله بررســی شــدند که در آنجا نیز تعدادی از مقالات حذف شـدند. علاوه بر این، آخرین مقالات لیسـت شـده به‌صورت جداگانه برای تعیین ارتباط آن‌ها با تحقیق حاضـر مورد مطالعه قرار گرفتند. عوامل مؤثر بر پیاده سـازی صـنعت ۴,۰ که در این مطالعات مورد بررسـی قرار گرفتند، ابتدا در یک صـفحه اکسـل نقشــه‌برداری شــدند و ســپس عوامل تکراری حذف شــدند تا اطمینان حاصـل شـود که لیست نهایی تنها شامل عوامل منحصر به فرد اسـت در شـکل ۲: خلاصـه‌ای از نتایج جسـتجو و انتخاب مقالات مناسب۲، خلاصه فرایند ارائه شده است.

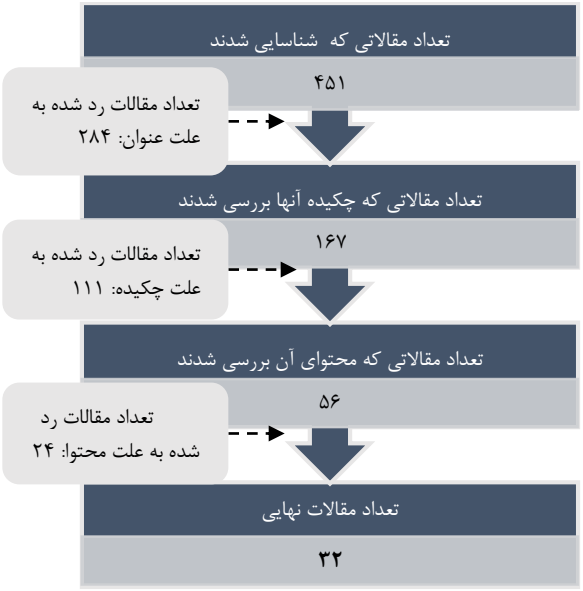
شـکل ۲: خلاصه‌ای از نتایج جستجو و انتخاب مقالات مناسب نشـــان می‌دهد که از ۴۵۱ مقاله یافت شـــده، ۲۸۴ مورد بر اثر مقایسه عنوان، ۱۱۱ مورد بر اثر بررسی چکیده و ۲۴ مورد از نظر بررســـی متون و محتوای مقـالـه هم‌خوانی نداشـــتند که حذف گردیـدنـد. همچنین تعداد ۳۲ مقاله مورد تائید قرار گرفت که در زمینه عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴,۰ بودند که هم از نظر عنوان و هم از نظر محتوا، هم‌راستا با این پژوهش بودند.

در گام چهارم اسـتخراج اطلاعات از متون با توجه به اهداف و سوالات پژوهش است در این مرحله منابع منتخب و نهایی مجدداً به‌طور کامل مطالعه شـده و عوامل مؤثر بر پیاده سـازی صـنعت ۴,۰ را از درون متن استخراج گردید.

۶ Magiran

۷ Noormags

۸ Science Direct, Springer, Elsevier



شکل ۲: خلاصه‌ای از نتایج جستجو و انتخاب مقالات مناسب

برای کنترل و سنجش پایایی مفاهیم به دست آمده نتایج در اختیار دو نفر از خبرگان حوزه مدیریت صنعتی و مهندسی صنایع قرار گرفته تا نظرات مقایسه شوند. سپس نتایج توسط شاخص کاپا ارزیابی شد. ضریب کاپا کمتر از ۰/۲ بیانگر توافق کم است، ضریب کاپا بین ۰/۲ و ۰/۴ متوسط و ۰/۴ تا ۰/۶ بیانگر توافق زیاد و ۰,۶ تا ۰,۸ توافق خیلی زیاد را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص برای پایایی ۰,۶۷۵ در نرم‌افزار SPSS با سطح معناداری ۰/۰۰۴ و انحراف معیار ۰/۱۸ محاسبه شد که چون مقدار آن بالای ۰,۶ است رقم قابل قبولی است.

جدول ۳: آزمون مقایسه کدگذاری‌های محقق

	مقدار	انحراف معیار	تخمین T	سطح معناداری
درجه توافق کاپا	۰/۶۷۵	۰/۱۸	۶/۱۹	۰/۰۰۴

در مجموع ۸۲ کد شناسایی شد. کدهای استخراج‌شده از منابع (کدهای اولیه) بر اساس معنا و محتوای مشترک با یکدیگر مقایسه و تجمیع شدند و در قالب مفاهیم مشابه در مرحله کدگذاری محوری دسته‌بندی گردیدند. در ادامه، مفاهیم حاصل نیز با توجه به وجوه اشتراکشان ادغام‌شده و در سطح بالاتری تحت عنوان مقوله‌های اصلی در مرحله کدگذاری انتخابی برچسب‌گذاری شدند. به این ترتیب، کدها، مفاهیم و مقولات پژوهش مشخص شدند. در جدول ۴ کدهای انتخابی، محوری و کدهای اولیه نشان داده شده است.

جدول ۴: کدهای انتخابی، محوری و اولیه عوامل مؤثر در پیاده سازی صنعت ۴,۰

کد انتخابی	کد محوری	کد اولیه	منبع
عوامل زیست‌محیطی	صرفه‌جویی در منابع طبیعی (A)	بهره‌وری منابع، مدیریت بهینه مواد، بهینه‌سازی مصرف انرژی، کاهش مصرف آب	(Ghobakhloo, (de Sousa Jabbour et al., 2018), 2020),(Hassas Yeganeh et al., 2017),(Kays & Sadri, 2022),(Khan et al., 2021)
	حفاظت از محیط زیست (B)	ترویج محصولات پایدار، کنترل آلودگی‌ها، بازیافت و بازیابی مواد، بهینه‌سازی مصرف منابع، کاهش انتشار آلاینده‌ها، استفاده از مواد پایدار، مدیریت پسماندها، کاهش مصرف منابع	(Hassas Yeganeh et al., (da Rocha et al., 2022), 2017),(Kays & Sadri, 2022),(Khan et al., 2021),(Morrar et al., 2017),(Qin et al., 2016),(Witkowski, 2017)
مدیریت دانش	کاربرد دانش (C)	پیش‌بینی و تصمیم‌گیری هوشمند، بهبود فرایندها	(Shayganmehr et al., 2021)(Ghobakhloo, 2020),
	اشتراک دانش (D)	ایجاد فضاهای همکاری و تبادل اطلاعات، پایگاه داده‌های مشترک	(Shayganmehr et al., 2021)(Ghobakhloo, 2020),
	ذخیره دانش (E)	انتقال دانش به نسل‌های آینده، افزایش امنیت دانش، حفظ تجربیات و دانش سازمانی	(Shayganmehr et al., 2021)(Ghobakhloo, 2020),
	ایجاد دانش (F)	بهره از دانش جمعی کارمندان، بهبود فرایندهای تولید به وسیله نوآوری، طراحی محصولات جدید	(Shayganmehr et al., 2021)(Ghobakhloo, 2020),
فرهنگی-اجتماعی	سرمایه اجتماعی (G)	جذب و نگهداشت نیروی کار ماهر، تعاملات و همکاری‌های داخلی، تقویت روابط با مشتریان	(Khan et al., 2021)
	توسعه انسانی و مشارکت (H)	توسعه مهارت‌ها و دانش کارکنان، مشارکت فعال کارکنان، آموزش و یادگیری مداوم	(da Rocha et al., 2022; (Ghobakhloo et al., 2022), Hecklau et al., 2016),(Witkowski, 2017)
	فرهنگ‌سازی (I)	ارتقای فرهنگ همکاری و هماهنگی، ایجاد فرهنگ پایداری، ارتقای فرهنگ کارآفرینی	(de Sousa Jabbour et al., (da Rocha et al., 2022), 2018),(Ghobakhloo, 2020),(Kays & Sadri, 2022)
	همکاری و تعامل (J)	هماهنگی و همکاری، اشتراک دانش و تجربه، مشارکت کارکنان در تصمیم‌گیری، ایجاد فضایی برای تعامل و همکاری	(Bocken & Geradts, (Beltrami et al., 2021), 2020),(da Rocha et al., 2022),(Hecklau et al., 2016),(Khan et al., 2021),(Haibat Elahpour et

			al.,2020), (Mangelkramer, 2022)
	انعطاف‌پذیری و نوآوری (K)	تولید انعطاف‌پذیرتر، تشویق ریسک‌پذیری، داشتن تفکر خلاقانه در کارکنان، توانایی تطبیق با تغییرات	(Khan et al., 2021)(Bansal & DesJardine, 2014),
وضعیت اقتصادی	مدیریت هزینه (L)	استفاده از فناوری‌های ارتباطی، استفاده از سیستم‌های مدیریت مالی، استفاده از روش‌های تولید هوشمند، بهینه‌سازی فرایندهای کاری	(Ghobakhloo et al., (Ghobakhloo, 2020), 2022),(Gomes et al., 2022),(Kays & Sadri, 2022)
	شرایط مالی و هزینه‌های سازمان (M)	هزینه‌های بازاریابی و فروش، ایمنی و بهداشت کار، هزینه‌های آموزش و آموزش دهی، سرمایه‌گذاری در تجهیزات و فناوری‌های پیشرفته	(Bocken & Geradts, (Bansal & DesJardine, 2014), 2020),(Ghobakhloo et al., 2022),(Gomes et al., 2022),(Zhou et al., 2015)
	تورم اقتصادی (N)	افزایش ریسک نرخ ارز، افزایش هزینه‌های تولید، کاهش قدرت خرید مشتریان	(Kamble et al., 2018),(Khan et (Gomes et al., 2022), al., 2021),(Kunkel et al., 2022),(Qin et al., 2016)
ایجاد زیرساخت فناوری	ایجاد زیرساخت‌های فناوری (O)	ارتباطات ماشین به انسان، ارتباطات ماشین به ماشین، سیستم‌های ارتباطی، سیستم‌های حفاظتی، بسترهای ابری	(Morrar et al., 2017),(Mayer & Oosthuizen, 2022),(Manavalan & Jayakrishna, 2019),(Kunkel et al., 2022),(Bansal & DesJardine, 2014; Franceli & Turri, 2021; Sharma et al., 2023),(Shayganmehr et al., 2021),(Witkowski, 2017), (Zahorian and Rahim Nia., 2014),(Zhou et al., 2015)
	ایجاد زیرساخت‌های بهره از فناوری بلاک چین (Q)	پشتیبانی از تجارت الکترونیکی و بازارهای آنلاین، اطمینان ،کیفیت و سلامت محصولات، مقیاس‌پذیری در زنجیره تأمین، شفافیت در اطلاعات، بهبود امنیت	(Bansal & DesJardine, 2014),(Franceli & Turri, 2021),(Ghobakhloo et al., 2022),(Manavalan & Jayakrishna, 2019),(Mayer & Oosthuizen, 2022),(Morrar et al., 2017),(Shahriarynia et al., 2020),(Sharma et al., 2023),(Witkowski, 2017), (Zahorian and Rahim Nia., 2014),(Zhou et al., 2015)
	ایجاد زیرساخت استفاده از اینترنت اشیا (R)	بهره‌برداری از هوش مصنوعی و یادگیری عمیق، امکان جمع‌آوری داده‌های مرتبط با فرایندهای تولید	(Franceli & Turri, (Bansal & DesJardine, 2014), 2021),(Ghobakhloo et al., 2022),(Horváth & Szabó, 2019),(Kamble et al., 2018),(Mayer & Oosthuizen, 2022),(Shahriarynia et al., 2020),(Sharma et al., 2023),(Witkowski, 2017), (Zahorian and Rahim Nia., 2014),(Zhou et al., 2015)
	سامانه‌های اتوماسیون (S)	گسترش استفاده از ربات‌ها، خطوط تولید هوشمند، تولید اتوماتیک، کنترل کیفیت	(Manavalan & Jayakrishna, (Kays & Sadri, 2022), 2019),(Mayer & Oosthuizen, 2022),(Witkowski, 2017), (Zahorian and Rahim Nia., 2014)
نقش دولت	زیرساخت‌های ارتباطی (T)	نظام ارتباطات سریع و ایمن، اینترنت پرسرعت، شبکه‌های ارتباطی پیشرفته	(Franceli & Turri, (Azarian et al., 2020), 2021),(Horváth & Szabó, 2019),(Kamble et al., 2018),(Mayer & Oosthuizen, 2022),(Sharma et al., 2023),(Witkowski, 2017), (Zahorian and Rahim Nia., 2014),(Zhou et al., 2015)
	سیاست‌های پشتیبانی از نوآوری (U)	تشویق به تحقیق و توسعه، ارائه تسهیلات و اعطای تخفیف‌های مالیاتی	(da Rocha et al., (Bocken & Geradts, 2020), 2022),(Franceli & Turri, 2021),(Ghobakhloo et al., 2022),(Morrar et al., 2017),(Rokneddini et al., 2023)
	تأمین منابع انسانی (V)	ایجاد برنامه جهت توسعه منابع انسانی، جذب استعدادهای جوان	(Ghobakhloo et al., (Bansal & DesJardine, 2014), 2022),(Hecklau et al., 2016),(Horváth & Szabó, 2019),(Mangelkramer, 2022),(Rokneddini et al., 2023)
	ایجاد زیرساخت‌های فرهنگی (W)	حمایت از توسعه انرژی‌های پاک، ایجاد زیرساخت‌های نیازمندی‌های محیطی	(Franceli & Turri, (de Sousa Jabbour et al., 2018)0, 2021),(Hecklau et al., 2016)
	تأمین منابع مالی (X)	سرمایه‌گذاری در شرکت‌های نوپا و استارت اپ های مرتبط با صنعت ۴، کمک‌های مالی، اعطای تسهیلات اعطایی	(Gomes et al., (Franceli & Turri, 2021), 2022),(Kunkel et al., 2022),(Morrar et al., 2017),(Rokneddini et al., 2023),(Strandhagen et al., 2017)
	حمایت از تحقیق و توسعه (P)	ایجاد شراکت‌های عمومی-خصوصی، تعیین استانداردها، تسهیلات مالیاتی، تسهیلات تحقیق و توسعه	(Ghobakhloo et al., (Ghobakhloo, 2020), 2022),(Shahriarynia et al., 2020),(Strandhagen et al., 2017),(Zahorian and Rahim Nia., 2014)

در نهایت ۸۲ کد اولیه از تکنیک فراترکیب استخراج گردید. عوامل زیست‌محیطی، مدیریت دانش، فرهنگی-اجتماعی، وضعیت اقتصادی و نقش دولت و ایجاد زیرساخت فناوری به‌عنوان کد انتخابی و صرفه‌جویی در منابع طبیعی، حفاظت از محیط‌زیست، کاربرد دانش، اشتراک دانش، ذخیره دانش، ایجاد دانش، سرمایه اجتماعی، توسعه انسانی و مشارکت، فرهنگ‌سازی، همکاری و تعامل، انعطاف‌پذیری و نوآوری، مدیریت هزینه، شرایط مالی و هزینه‌های سازمان، تورم اقتصادی، ایجاد زیرساخت‌های فناوری، حمایت از تحقیق و توسعه، ایجاد زیرساخت‌های بهره از فناوری بلاک چین، ایجاد زیرساخت استفاده از اینترنت اشیا، سامانه‌های اتوماسیون، زیرساخت‌های ارتباطی، سیاست‌های پشتیبانی از نوآوری، تأمین منابع انسانی، ایجاد زیرساخت‌های فرهنگی و تأمین منابع مالی به‌عنوان کد محوری استخراج گردید. در نهایت پس از اتمام مرحله کیفی پژوهش و استخراج عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴,۰، در مرحله کمی پژوهش از روش تحلیل اثرات متقابل ساختاری-تفسیری استفاده گردید.

۴-۲- مدل ساختاری-تفسیری

پس از شناسایی عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰، این عوامل برای بررسی میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متقابل، در ماتریس خودتعاملی ساختاری وارد شدند. جدول شماره ۵ در بخش مدل‌سازی ساختاری–تفسیری، اطلاعات خبرگان این ماتریس را ارائه می‌کند.

برای جمع‌آوری داده‌های لازم، پرسشنامه‌ای به‌صورت مقایسه دوبه‌دو در قالب یک ماتریس ۲۴×۲۴ طراحی شد؛ به‌گونه‌ای که هر ۲۴ عامل در سطر و ستون‌های پرسشنامه قرار گرفته و از خبرگان خواسته شد نوع رابطه و میزان تأثیر هر عامل بر سایر عوامل را تعیین کنند. به‌منظور مشخص کردن نوع روابط میان عوامل، از چهار نماد زیر استفاده شد:

نماد V: یعنی I منجر به J می‌شود.

نماد A: یعنی منجر J به I می‌شود.

نماد X: ارتباط دو طرفه از I به J و برعکس.

نماد O: هیچ ارتباطی بین I و J وجود ندارد.

جدول ۵: اطلاعات جمعیت شناختی خبرگان

	مدرک		سابقه		
	کارشناسی	کارشناسی ارشد	بین ۱۰-۱۵ سال	بین ۱۵-۲۰ سال	بیشتر از ۲۰ سال
تعداد	۵	۷	۷	۳	۲
درصد	۰/۴۱	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۲۵	۰/۱۶

۴-۳- ماتریس دسترسی اولیه

ماتریس دسترسی اولیه از تبدیل ماتریس خود تعاملی ساختاری به ماتریس دو ارزشی (۰ و ۱) حاصل گردید. برای این منظور در هر سطر عدد یک جایگزین علامت‌های V و X و عدد صفر، جایگزین علامت‌های A و O در ماتریس شد. پس از تبدیل علائم تمام سطرها به (۰ و ۱)، ماتریس دسترسی اولیه ایجاد و در مرحله بعد روابط ثانویه بین متغیرها کنترل شد. رابطه ثانویه به‌گونه‌ای است که اگر متغیر J منجر به متغیر I شود و این متغیر به K منجر شود. پس متغیر J منجر به متغیر K خواهد شد. با تبدیل نمادهای روابط ماتریس خود-تعامل ساختاری به اعداد صفر و یک بر حسب قواعد زیر می‌توان به ماتریس دست پیدا کرد:

اگر خانه IJ در ماتریسی خود-تعامل ساختاری نماد V گرفته باشد، خانه مربوطه در ماتریس دسترسی عدد ۱ به خانه قرینه آن یعنی خانه JI عدد ۱ اختصاص می‌یابد.

اگر خانه IJ در ماتریس خود-تعامل ساختاری نماد A گرفته است، خانه مربوطه در ماتریس دسترسی عدد صفر و به خانه قرینه آن یعنی خانه IJ عدد ۱ اختصاص می‌یابد.

اگر خانه IJ در ماتریس خود-تعامل ساختاری نماد X گرفته است، خانه مربوطه در ماتریس دسترسی عدد ۱ و به خانه قرینه آن یعنی خانه JI عدد ۱ اختصاص می‌یابد.

اگر خانه IJ در ماتریس خود-تعامل ساختاری نماد ۰ گرفته است، خانه مربوطه در ماتریس دسترسی عدد صفر و به خانه قرینه آن یعنی خانه J، عدد صفر اختصاص می‌یابد.

با توجه به قوانین تکنیک ساختاری-تفسیری و اعمال تغییرات مورد نظر، ماتریس دسترسی اولیه به همراه ماتریس نهایی مطابق جدول شماره ۶ تبدیل می‌شود.

۴-۴- ماتریس دسترسی نهایی

پس از تشکیل ماتریس دسترسی اولیه عوامل تاثیرگذار بر پیاده سازی صنعت ۴,۰ با دخیل نمودن انتقال‌پذیری در روابط متغیرها، ماتریس دسترسی نهایی تشکیل شد تا ماتریس دسترسی اولیه سازگار گردد. برای این منظور کلیه روابط ثانویه بین متغیرها، بررسی شد تا ماتریس دسترسی نهایی به دست آید. در این ماتریس قدرت نفوذ و میزان وابستگی هر متغیر نشان داده می‌شود. قدرت نفوذ هر متغیر عبارت است از تعداد نهایی متغیرهایی شامل خودش که می‌تواند در ایجاد آن‌ها نقش داشته باشد و میزان وابستگی عبارت است از تعداد نهایی متغیرهایی که موجب ایجاد متغیر مذکور می‌شوند.

جدول ۶: ماتریس دسترسی نهایی

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	V	X	W	Y	نفوذ
A	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵
B	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵
C	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۶
D	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷
E	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷
F	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷
G	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۶
H	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱۰
I	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱۵
J	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱۴
K	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹
L	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲۳
M	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲۳
N	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۹
O	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱۶
P	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱۳
Q	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱۱
R	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱۳
S	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۶
T	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱۴
V	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱۵
X	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۶
W	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱۹
Y	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۲۰
وابستگی	۴	۳	۵	۶	۴	۷	۲	۷	۴	۷	۸	۶	۵	۳	۲	۴	۴	۴	۲	۳	۳	۳	۲	۴	

با توجه به جدول عوامل مدیریت هزینه، شرایط مالی و هزینه‌های سازمان و تأمین منابع مالی دارای بالاترین نفوذ و همکاری و تعامل و انعطاف‌پذیری و نوآوری بالاترین وابستگی را دارند.

۴-۵- سطح‌بندی عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴,۰

برای تعیین سطح عوامل در مدل نهایی به ازای هر کدام از آن‌ها، مجموعه خروجی (دستیابی)، ورودی (پیش‌نیاز) و مشترک تشکیل شد. در همین خصوص، مجموعه دستیابی شامل خود متغیر و متغیرهایی است که از آن تأثیر می‌پذیرند (خروجی)، مجموعه پیش‌نیاز شامل خود متغیر و متغیرهایی است که بر آن تأثیر می‌گذارند (ورودی). مجموعه مشترک نیز اشتراک دو مجموعه فوق است، چنانچه مجموعه‌های دستیابی و مشترک برای یک متغیر یکسان باشد، آن متغیر در بالاترین سطح مدل قرار می‌گیرد. این بدین معناست که این معیار به شدت تحت تأثیر سایر معیارها قرار داشته و اثرگذاری کمی بر روی سایر معیارها دارد. پس از تعیین سطح هر یک از متغیرها متغیر مذکور کنار گذاشته شده و سطح‌بندی برای سایر متغیرها به همین ترتیب تا زمانی که تمامی متغیرها تعیین سطح شوند تکرار می‌گردد.

جدول ۷: سطح‌بندی عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴,۰

عوامل	مجموعه ورودی	مجموعه خروجی	مجموعه مشترک	سطح
صرفه‌جویی در منابع طبیعی	۲،۷،۹،۱۰،۱۱،۱۲،۱۳،۱۴،۱۵،۱۶،۱۸،۲۲،۲۴،۲۵	۲،۱۱،۱۲،۱۳،۱۴	۲،۱۱،۱۲،۱۳،۱۴	۱
حفاظت از محیط ریست	۱،۷،۹،۱۰،۱۱،۱۲،۱۳،۱۴،۱۸،۲۰،۲۲،۲۴،۲۵	۱،۱۱،۱۲،۱۳،۱۴	۱،۱۱،۱۲،۱۳،۱۴	۱
کاربرد دانش	۴،۵،۶،۸،۹،۱۰،۱۱،۱۲،۱۳،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹،۲۰،۲۱،۲۴،۲۵	۱۰،۱۲،۱۳،۱۹	۱۰،۱۲،۱۳،۱۹	۲
اشتراک دانش	۵،۶،۸،۹،۱۰،۱۱،۱۲،۱۳،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹،۲۰،۲۲،۲۴	۵،۶،۱۰،۱۲،۱۳	۵،۶،۱۰،۱۲،۱۳	۳
ذخیره دانش	۴،۶،۸،۹،۱۰،۱۲،۱۳،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹،۲۰،۲۴	۴،۶،۱۰،۱۲،۱۳	۴،۶،۱۰،۱۲،۱۳	۴
ایجاد دانش	۴،۵،۸،۹،۱۰،۱۱،۱۲،۱۳،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۲۰،۲۲،۲۳،۲۴،۲۵	۴،۵،۱۰،۱۲،۱۳	۴،۵،۱۰،۱۲،۱۳	۴
سرمایه اجتماعی	۸،۹،۱۰،۱۲،۱۳،۱۴،۲۴،۲۵	۱۰،۱۳	۱۰،۱۳	۲
توسعه انسانی و مشارکت	۳،۴،۵،۶،۷،۹،۱۰،۱۱،۱۲،۱۳،۱۵،۱۶،۱۸،۱۹،۲۰،۲۲،۲۳،۲۴،۲۵	۳،۴،۵،۶،۷،۱۰،۱۱،۱۲،۱۳،۲۳	۳،۴،۵،۶،۷،۱۰،۱۱،۱۲،۱۳،۲۳	۳
فرهنگ‌سازی	۱۰،۱۲،۱۳،۱۵،۱۶،۲۰،۲۲،۲۳،۲۴،۲۵	۱۰،۱۲،۲۴	۱۰،۱۲،۲۴	۷
همکاری و تعامل	۳،۴،۵،۶،۷،۸،۹،۱۱،۱۲،۱۳،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹،۲۰،۲۲،۲۳،۲۴،۲۵	۹	۹	۳
انعطاف‌پذیری و نوآوری	۱،۲،۳،۴،۵،۶،۸،۹،۱۰،۱۲،۱۳،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۲۰،۲۱،۲۲،۲۳،۲۴،۲۵	۱،۲،۳،۴،۶،۸،۱۰،۱۲،۱۳	۱،۲،۳،۴،۶،۸،۱۰،۱۲،۱۳	۲
مدیریت هزینه	۱،۲،۳،۴،۵،۶،۸،۹،۱۱،۱۳،۱۴،۱۵،۱۷،۱۸،۲۰،۲۱،۲۴،۲۵	۱۳،۲۵	۱۳،۲۵	۸
شرایط مالی و هزینه‌های سازمان	۱،۲،۳،۴،۵،۶،۷،۸،۱۱،۱۲،۱۴،۱۵،۱۷،۱۸،۲۰،۲۱،۲۳،۲۴،۲۵	۱۲،۲۵	۱۲،۲۵	۸
تورم اقتصادی	۱،۲،۲۱	۲۱	۲۱	۹
ایجاد زیرساخت‌های فناوری	۱۲،۱۳،۱۴،۱۶،۲۱،۲۲،۲۴،۲۵	۱۲،۱۳،۲۴	۱۲،۱۳،۲۴	۶
حمایت از تحقیق و توسعه	۷،۹،۱۰،۱۲،۱۳،۱۵،۲۱،۲۲،۲۴،۲۵	۹،۱۰،۱۵	۹،۱۰،۱۵	۵
ایجاد زیرساخت‌های بهره از فناوری بلاک چین	۱۲،۱۳،۱۴،۱۵،۱۸،۲۱،۲۲،۲۴،۲۵	۱۲،۱۳،۱۸	۱۲،۱۳،۱۸	۶
ایجاد زیرساخت استفاده از اینترنت اشیا	۱۲،۱۳،۱۴،۱۵،۱۷،۲۱،۲۲،۲۴،۲۵	۱۲،۱۳،۱۷	۱۲،۱۳،۱۷	۶
سامانه‌های اتوماسیون	۳،۱۲،۱۳،۱۵،۱۷،۱۸،۱۰،۲۰،۲۵	۱۰،۲۰	۱۰،۲۰	۵
زیرساخت‌های ارتباطی	۹،۱۰،۱۲،۱۳،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹،۲۲،۲۳،۲۴،۲۵	۹،۱۰،۱۲،۱۳،۲۲،۲۴	۹،۱۰،۱۲،۱۳،۲۲،۲۴	۵
سیاست‌های پشتیبانی از نوآوری	۳،۷،۹،۱۰،۱۲،۱۳،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۲۰،۲۱،۲۴،۲۵	۹،۱۰،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۲۰،۲۱، ۲۴	۹،۱۰،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۲۰،۲۱،۲۴	۴
تأمین منابع انسانی	۷،۸،۱۲،۱۳،۲۲،۲۵	۱۳	۱۳	۷
ایجاد زیرساخت‌های فرهنگی	۹،۱۲،۱۳،۱۵،۲۰،۲۱،۲۲،۲۳،۲۵	۹،۱۲،۱۳	۹،۱۲،۱۳	۷
تأمین منابع مالی	۱۲،۱۳،۱۴	۱۲،۱۳	۱۲،۱۳	۹

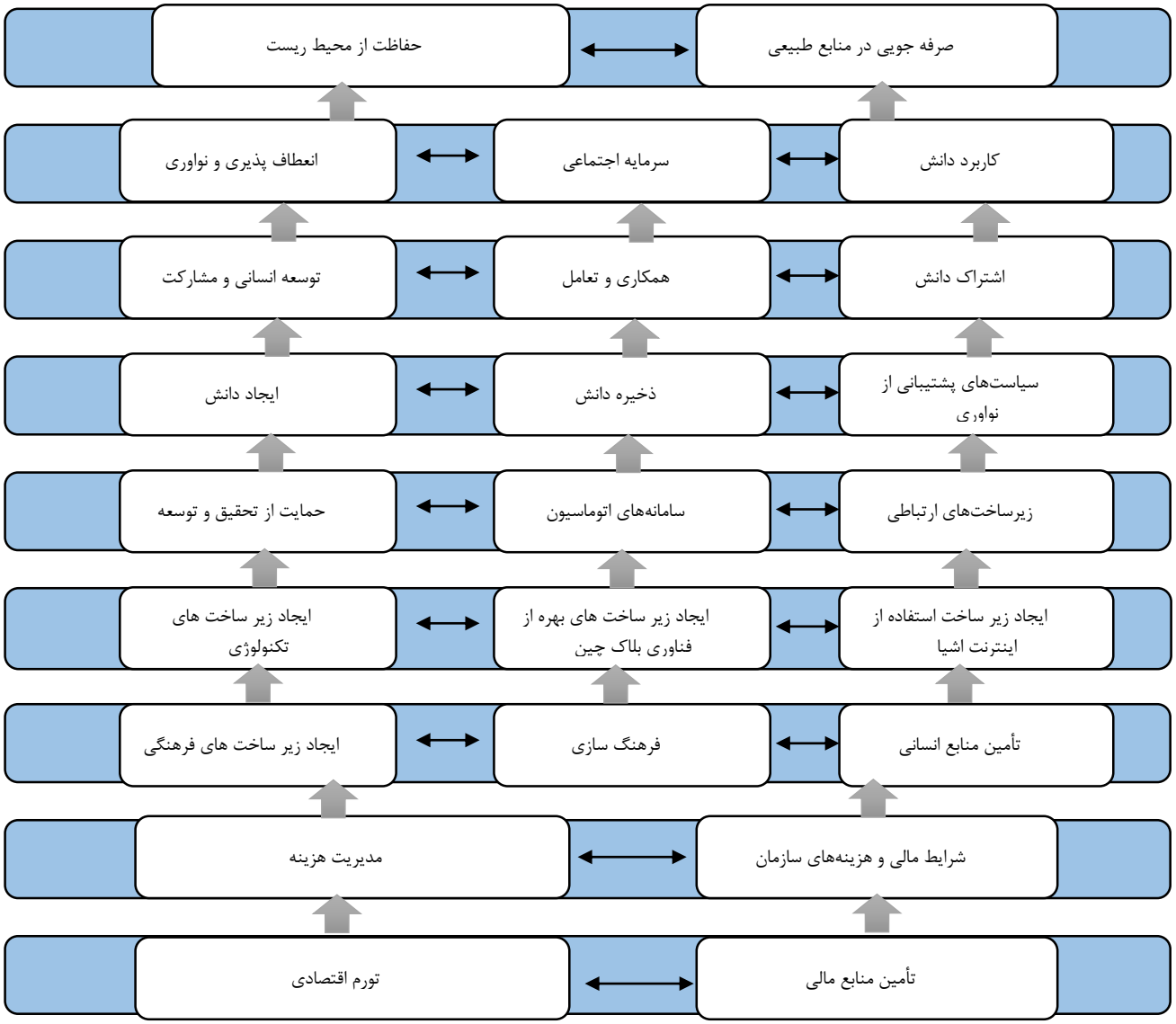
همان‌طور که در جدول شماره ۷ ملاحظه می‌شود، عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴,۰ در نه سطح طبقه‌بندی شدند. در این بخش مدیریت هزینه، شرایط مالی و هزینه‌های سازمان، تورم اقتصادی و تأمین منابع مالی در پایین‌ترین سطح قرار گرفته‌اند. سطح نهم همانند سنگ زیربنایی مدل عمل می‌کند. پس شناسایی عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴,۰، از این متغیر شروع و به سایر متغیرها سرایت کند. در واقع، این عامل بیشترین تأثیر را بر دیگر عوامل دارد و در بالاترین سطح یعنی سطح اول صرفه‌جویی در منابع طبیعی، حفاظت از محیط زیست قرار گرفته‌اند. هر چقدر عوامل در سطح بالاتری قرار گیرند، قدرت تحریک‌کنندگی آن‌ها کمتر و میزان وابستگی بیشتر می‌شود. در واقع عوامل سطح اول تاثیرگذاری کمتر اما تاثیرپذیری بیشتری دارند.

۴-۶- تحلیل میک مک

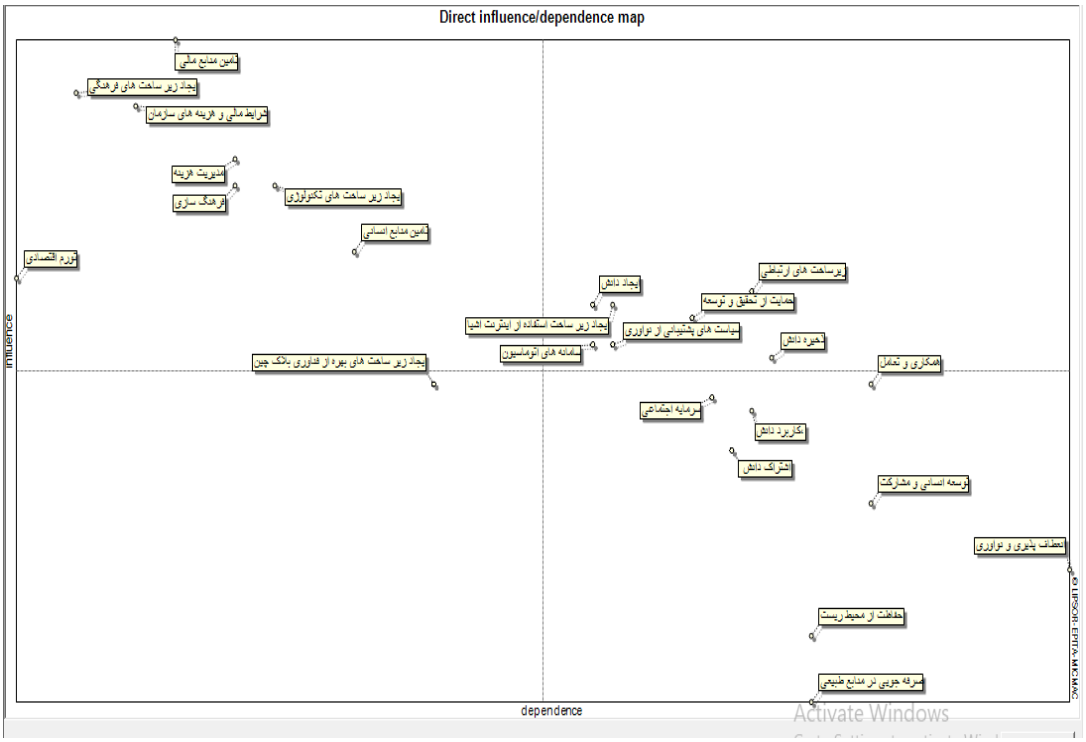
در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار میک مک نوع متغیرها با توجه به اثرگذاری و اثرپذیری بر سایر متغیرها مشخص می‌شود و پس از تعیین قدرت نفوذ یا اثرگذاری و قدرت وابستگی عوامل می‌توان تمامی عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴,۰ را در یکی از گروه‌ها یا خوشه‌های چهارگانه طبقه‌بندی نمود:

گروه اول (ربع اول)، شامل متغیرهایی است که قدرت نفوذ و

وابستگی ضعیفی دارند. این متغیرها تا حدودی از سایر متغیرها مجزا هستند و ارتباطات کمی دارند. در واقع، این متغیرها قدرت تبیین‌کنندگی پایینی در شکل‌گیری روابط در مدل سلسله مراتبی دارند. این متغیرها در قسمت جنوبی غربی نمودار قرار گرفته است. گروه دوم (ربع دوم) متغیرهای وابسته هستند که از قدرت نفوذ ضعیف اما وابستگی بالایی برخوردارند. این متغیرها در قسمت جنوب شرقی نمودار قرار دارند. گروه سوم ربع سوم متغیرهای دووجهی و کلیدی هستند که از قدرت نفوذ (تحریک‌کنندگی) و وابستگی بالایی برخوردارند. در واقع هرگونه عملی بر روی این متغیرها باعث تغییر سایر متغیرها می‌شود و در شمال شرقی نمودار واقع شده است. گروه چهارم (ربع چهارم) متغیرهای تاثیرگذار (کلیدی) را در برمی‌گیرد. این متغیرها دارای قدرت نفوذ بالا و وابستگی پایینی هستند و در شمال غربی نمودار واقع شده است. در تحلیل قدرت و وابستگی این دسته مانند سنگ بنای ساختاری سیستم عمل می‌کنند و برای تغییر و تحول اساسی در عملکرد سیستم باید وی آن‌ها تأکید کرد. به عبارتی دیگر، مدیریت بایستی توجه ویژه‌ای به آن‌ها مبذول نماید تا بتواند تأثیر آن‌ها را بر دیگر متغیرها مورد پایش قرار داده و مکانیسم‌هایی را انتخاب نماید تا در دیگر متغیرها بهبودی حاصل شود.



شکل ۳: مدل تفسیری-ساختاری عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴.۰



شکل ۴: نقشه تاثیرگذاری و تاثیرپذیری مستقیم عوامل بیست‌وچهار گانه

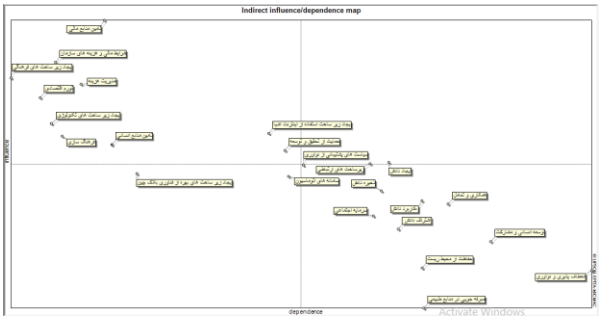
اولین گام نتایج تحلیل میک مک، جدول ویژگی‌های تاثیرگذاری مستقیم عوامل است. اندازه این جدول برای ۲۴ عامل شناخته شده ۲۴×۲۴ است که در دو دور چرخش آماری داده‌ها به دست آمده است.

در تحلیل نقشه تاثیرگذاری و تاثیرپذیری مستقیم عوامل بیست و چهارگانه مشخص می‌شود که عوامل صرفه‌جویی در منابع طبیعی، حفاظت از محیط ریست، کاربرد دانش، اشتراک دانش، سرمایه اجتماعی، توسعه انسانی و مشارکت، همکاری و تعامل و انعطاف‌پذیری و نوآوری جز متغیرهای وابسته بوده و بیشترین اثرپذیری و کمترین اثرگذاری را دارد. متغیر ذخیره دانش، ایجاد دانش، حمایت از تحقیق و توسعه، ایجاد زیرساخت استفاده از اینترنت اشیا، سامانه‌های اتوماسیون، زیرساخت‌های ارتباطی و سیاست‌های پشتیبانی از نوآوری متغیری دو وجهی است که داری اثرگذاری و اثرپذیری فراوان است. متغیر فرهنگ‌سازی، مدیریت هزینه، شرایط مالی و هزینه‌های سازمان، تورم اقتصادی، ایجاد زیرساخت‌های فناوری، تأمین منابع انسانی، ایجاد زیرساخت‌های فرهنگی و تأمین منابع مالی متغیر مستقل است که دارای نفوذ و تاثیرگذاری بالایی بوده و تاثیرپذیری اندکی دارد. در انتها متغیر ایجاد زیرساخت‌های بهره از فناوری بلاک چین، متغیری خودگردان بوده که میزان تاثیرگذاری و تاثیرپذیری اندکی دارد. در ماتریس اثرات مستقیم وضعیت متغیرها معلوم و معین است. در شکل شماره ۴ که وضعیت متغیرها را نشان می‌دهد، هیچ‌کدام از متغیرها در حالت مرزی قرار نگرفتند.

جدول ۸: نتایج تحلیل اثرهای مستقیم عوامل بیست چهارگانه

ردیف	عامل	نوع متغیر	وضعیت متغیر	میزان تاثیرگذاری	میزان تاثیرپذیری	خالص تاثیرگذاری
۱	صرفه‌جویی در منابع طبیعی	وابسته	معین	۳	۴۴	-۳۱
۲	حفاظت از محیط ریست	وابسته	معین	۸	۴۴	-۳۶
۳	کاربرد دانش	وابسته	معین	۲۵	۴۱	-۱۶
۴	اشتراک دانش	وابسته	معین	۲۲	۴۰	-۱۸
۵	ذخیره دانش	دو وجهی	معین	۲۹	۴۲	-۱۳
۶	ایجاد دانش	دو وجهی	معین	۳۳	۳۳	۰
۷	سرمایه اجتماعی	وابسته	معین	۲۶	۳۹	-۱۳
۸	توسعه انسانی و مشارکت	وابسته	معین	۱۸	۴۷	-۲۹
۹	فرهنگ‌سازی	مستقل	معین	۴۲	۱۵	۲۷
۱۰	همکاری و تعامل	وابسته	معین	۲۷	۴۸	-۲۱
۱۱	انعطاف‌پذیری و نوآوری	وابسته	معین	۱۳	۵۷	-۴۴
۱۲	مدیریت هزینه	مستقل	معین	۴۴	۱۵	۲۹
۱۳	شرایط مالی و هزینه‌های سازمان	مستقل	معین	۴۸	۱۰	۳۸
۱۴	تورم اقتصادی	مستقل	معین	۳۵	۴	۳۱
۱۵	ایجاد زیرساخت‌های فناوری	مستقل	معین	۴۲	۱۷	۲۵
۱۶	حمایت از تحقیق و توسعه	دو وجهی	معین	۳۲	۳۸	-۶
۱۷	ایجاد زیرساخت‌های بهره از فناوری بلاک چین	خودگردان	معین	۲۷	۲۵	۲
۱۸	ایجاد زیرساخت استفاده از اینترنت اشیا	دو وجهی	معین	۳۳	۳۴	-۱
۱۹	سامانه‌های اتوماسیون	دو وجهی	معین	۳۰	۳۳	-۳
۲۰	زیرساخت‌های ارتباطی	دو وجهی	معین	۳۴	۴۱	-۷
۲۱	سیاست‌های پشتیبانی از نوآوری	دو وجهی	معین	۳۰	۳۴	-۴
۲۲	تأمین منابع انسانی	مستقل	معین	۳۷	۲۱	۱۶
۲۳	ایجاد زیرساخت‌های فرهنگی	مستقل	معین	۴۹	۷	۴۲
۲۴	تأمین منابع مالی	مستقل	معین	۵۳	۱۲	۴۱

منبع: یافته‌های پژوهش



شکل ۵: نقشه تاثیرگذاری و تاثیرپذیری غیرمستقیم عوامل بیست‌وچهار گانه

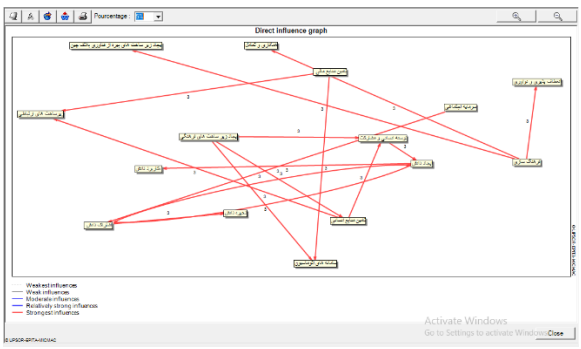
در تحلیل نقشه تاثیرگذاری و تاثیرپذیری غیرمستقیم نقش عوامل تغیر نمود. سامانه‌های اتوماسیون در ناحیه خودگردان قرار گرفت و دیگر متغیرهایی که در ناحیه دو وجهی قرار داشتند به ناحیه مستقل و وابسته منتقل شدند (شکل ۵). سه عامل ایجاد دانش، زیرساخت‌های ارتباطی و سیاست‌های پشتیبانی از نوآوری در مرز قرار گرفتند و وضعیتی نامعلوم و نامعین دارند و احتمال گرایش آن‌ها به ناحیه دیگر در صورت تغییر شرایط وجود دارد.

جدول ۹: نتایج تحلیل اثرهای غیرمستقیم عوامل بیست چهارگانه عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴.۰

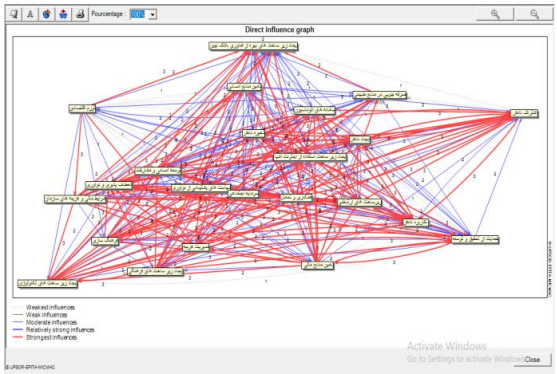
ردیف	عامل	نوع متغیر	وضعیت متغیر	میزان تاثیرگذاری	میزان تاثیرپذیری	خالص تاثیرگذاری
۱	صرفه‌جویی در منابع طبیعی	وابسته	معین	۷۲۶	۳۱۱۶۰	-۳۰۴۳۴
۲	حفاظت از محیط ریست	وابسته	معین	۶۲۸۲	۳۱۰۴۵	-۲۴۷۶۳
۳	کاربرد دانش	وابسته	معین	۱۵۵۸۹	۳۱۰۲۸	-۱۵۴۳۹
۴	اشتراک دانش	وابسته	معین	۱۱۶۵۷	۲۹۳۴۱	-۱۷۶۸۴
۵	ذخیره دانش	وابسته	معین	۱۶۹۴۸	۲۸۱۳۹	-۱۱۱۹۱
۶	ایجاد دانش	دو وجهی	نامعین	۲۰۸۹۹	۲۸۶۶۸	-۷۷۶۹
۷	سرمایه اجتماعی	وابسته	معین	۱۳۴۹۳	۲۷۵۶۹	-۱۴۰۷۶
۸	توسعه انسانی و مشارکت	وابسته	معین	۹۹۳۷	۳۵۹۲۵	-۲۵۹۸۸

۹	فرهنگ‌سازی	مستقل	معین	۲۴۵۲۸	۵۴۰۵	۱۹۱۲۳
۱۰	همکاری و تعامل	وابسته	معین	۱۵۱۳۵	۳۲۸۸۴	-۱۷۷۴۹
۱۱	انعطاف‌پذیری و نوآوری	وابسته	معین	۵۹۰۷	۴۳۱۱۳	-۳۷۲۰۶
۱۲	مدیریت هزینه	مستقل	معین	۳۱۷۱۷	۶۷۵۲	۲۴۹۶۵
۱۳	شرایط مالی و هزینه‌های سازمان	مستقل	معین	۳۴۷۵۸	۴۹۳۷	۲۹۸۲۱
۱۴	تورم اقتصادی	مستقل	معین	۲۹۸۴۶	۳۸۴۲	۲۶۰۰۴
۱۵	ایجاد زیرساخت‌های فناوری	مستقل	معین	۲۶۲۵۳	۴۶۴۸	۲۱۶۰۵
۱۶	حمایت از تحقیق و توسعه	مستقل	معین	۲۲۵۴۰	۲۱۲۷۰	۱۲۷۰
۱۷	ایجاد زیرساخت‌های بهره از فناوری بلاک چین	خودگردان	معین	۱۹۳۴۵	۱۰۷۳۳	۸۶۱۲
۱۸	ایجاد زیرساخت استفاده از اینترنت اشیا	مستقل	معین	۲۴۹۰۷	۲۰۱۱۷	۴۷۹۰
۱۹	سامانه‌های اتوماسیون	خودگردان	معین	۱۸۹۵۸	۲۱۵۲۸	-۲۵۷۰
۲۰	زیرساخت‌های ارتباطی	وابسته	نامعین	۲۰۷۱۶	۲۷۳۳۲	-۶۶۱۶
۲۱	سیاست‌های پشتیبانی از نوآوری	وابسته	نامعین	۲۰۰۷۵۰۸	۲۲۵۸۱	-۲۰۷۳
۲۲	تأمین منابع انسانی	مستقل	معین	۲۳۳۴۸	۸۹۴۶	۱۴۴۰۲
۲۳	ایجاد زیرساخت‌های فرهنگی	مستقل	معین	۳۲۵۷۹	۱۷۶۶	۳۰۸۱۳
۲۴	تأمین منابع مالی	مستقل	معین	۴۰۵۶۵	۸۴۱۲	۳۲۱۵۳

در تحلیل شدت ارتباط در تاثیرگذاری مستقیم متغیرها در سطح ۵٪ (شکل ۶)، از مجموع رابطه‌های قابل ارزیابی بین پانزده عامل مشخص می‌شود که شدیدترین ارتباط را در تاثیرگذاری مستقیم دارد. همچنین شدت ارتباط تاثیرگذاری مستقیم متغیرها در سطح ۱۰۰٪ نیز در شکل ۷ ارائه شده است. با توجه به فراوانی و پیچیدگی خروجی‌های میک مک خلاصه نتایج در جدول ۹ ارائه می‌شود.



شکل ۶: شدت ارتباط در تاثیرگذاری مستقیم متغیرها (در سطح ۵٪)



شکل ۷: شدت ارتباط در تاثیرگذاری مستقیم متغیرها (در سطح ۱۰۰٪).

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در عصر حاضر، صنعت ۴,۰ به‌عنوان یک پارادایم جدید در عرصه تولید و کسب‌وکار ظهور کرده است که با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته همچون هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و تولید افزایشی، چشم‌انداز جدیدی را برای افزایش بهره‌وری، انعطاف‌پذیری و پاسخ‌گویی به نیازهای مشتریان ایجاد کرده است. با این حال، پیاده‌سازی موفق این مفاهیم در شرکت‌های تولیدی کوچک و متوسط با چالش‌های متعددی روبرو است که نیازمند شناسایی و مدیریت عوامل کلیدی تاثیرگذار است.

از تکنیک فراترکیب مجموعه‌ای جامع از ۸۲ کد اولیه که به ۲۴ مؤلفه و سپس به شش بعد تقسیم‌بندی می‌شوند، استخراج گردید: عوامل محیطی، مدیریت دانش، عوامل اجتماعی-فرهنگی، وضعیت اقتصادی، زیرساخت‌های فناوری و نقش دولت. این رویکرد سیستماتیک نه تنها ماهیت چندوجهی چالش‌های پیش روی شرکت‌های کوچک و متوسط در استان یزد را برجسته می‌کند، بلکه به هم‌پیوندی این عوامل در زمینه پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ نیز تأکید می‌ورزد. یکی از مهم‌ترین دستاوردهای این تحقیق، استفاده از پرسشنامه مقایسه‌ای زوجی برای جمع‌آوری نظرات کارشناسان درباره اهمیت و روابط بین این ۲۴ مؤلفه است. با تحلیل این روابط از طریق یک روش ساختاری-تفسیری و میک مک، متغیرها به چهار دسته مستقل، وابسته، مرتبط و خودمختار طبقه‌بندی شدند. این طبقه‌بندی درک دقیقی از چگونگی تاثیرگذاری عوامل مختلف بر یکدیگر ارائه می‌دهد و بینش‌های ارزشمندی برای مدیرانی که به دنبال پیمایش پیچیدگی‌های پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ هستند، فراهم می‌آورد.

علاوه بر این، یافته‌ها ساختار سلسله‌مراتبی را نشان می‌دهد که در آن منابع مالی و تورم اقتصادی در پایین‌ترین سطح قرار دارند؛ در حالی که صرفه‌جویی در منابع طبیعی و حفاظت از محیط‌زیست در بالاترین سطح اولویت قرار گرفته‌اند. این بینش به‌ویژه برای مدیران در شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی حائز اهمیت است؛ زیرا بر اهمیت هم‌راستایی راهبردهای مالی با اهداف پایداری تأکید می‌کند. با تمرکز بر تأمین منابع مالی و کنترل تورم اقتصادی از طریق تحلیل بازار، کسب‌وکارها می‌توانند محیطی مساعد برای پذیرش فناوری‌های صنعت ۴٫۰ ایجاد کنند. در نتیجه، این تحقیق نه تنها یک شکاف بحرانی در درک عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴٫۰ را پر می‌کند؛ بلکه توصیه‌های عملی برای مدیران کسب‌وکارهای تولیدی کوچک و متوسط ارائه می‌دهد. مدل ساختاری تفسیری به‌عنوان یک چارچوب راهبردی عمل می‌کند که می‌تواند فرایندهای تصمیم‌گیری را هدایت کند و به سازمان‌ها کمک کند تا به‌طور مؤثر ابتکارات صنعت ۴٫۰ را پیاده‌سازی کنند و هم‌زمان به نگرانی‌های مربوط به پایداری رسیدگی نمایند. این تمرکز دوگانه بر پیشرفت فناوری و حفظ محیط زیست، شرکت‌های کوچک و متوسط را در موقعیتی قرار می‌دهد تا در یک فضای رقابتی فزاینده موفق شوند که توسط نوآوری و پایداری هدایت می‌شود.

نتایج نشان داد که عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴٫۰ به نه طبقه سطح‌بندی گردید. تورم اقتصادی، تأمین منابع مالی، مدیریت هزینه و شرایط مالی و هزینه‌های سازمان در پایین‌ترین سطح قرار گرفته (سطح هشت و نه) و به مثابه سنگ زیربنایی عمل می‌کند؛ به نحوی که می‌بایست از این سطح یا عوامل شروع کرد. چراکه این عوامل بیشترین تأثیر را بر دیگر عوامل دارد و در بالاترین سطح (سطح اول) حفاظت از محیط زیست و صرفه‌جویی در منابع طبیعی قرار گرفت. این عوامل قدرت تحریک‌کنندگی کمتر و میزان وابستگی بیشتر دارند. در واقع این عوامل تاثیرگذاری کمتر اما تاثیرپذیری بیشتری دارند.

نتایج به دست آمده در این پژوهش با توجه به جدید بودن این موضوع در ایران و عدم وجود پژوهش‌های مشابه در این زمینه قابل‌مقایسه نبوده است؛ اما در رابطه با استفاده مؤلفه‌ها در صنعت ۴٫۰ می‌توان به پژوهش محمدیان[۹] و همکاران (۲۰۲۲) اشاره نمود که فشار نظارتی محیطی، فشار مشتری، عدم اطمینان محیطی و مزایای تجاری مورد انتظار اثرات مثبتی بر میزان ضایعات، انرژی و مدیریت منابع دارد که به نوبه خود تأثیر مثبتی بر عملکرد پایدار شرکت‌های تولیدی بزرگ دارد(Mohammadian et al., 2022)، مطالعه دیگری توسط دولابی و همکاران (۲۰۲۲) دریافتند که شیوه‌های مسئولیت اجتماعی شرکت و عوامل محیطی تأثیر مثبتی بر عملکرد پایدار شرکت‌های تجاری دارند. ابزارهای بازاریابی رسانه‌های اجتماعی نیز برای تعدیل رابطه بین مسئولیت اجتماعی شرکت و تولید پایدار شرکت‌های تجاری یافت شد(Doulabi et al., 2022). مطالعه مونتانو واله[۱۰] (۲۰۱۶) دریافتند که حمایت مدیریت ارشد از فعالیت‌های زیست‌محیطی، کار تیمی زیست‌محیطی و حمایت دولت عوامل اصلی موفقیت حیاتی برای دستیابی به پایداری زنجیره تأمین هستند (Montaño-Valle, 2016).مطالعه‌ای توسط گرندا[۱۱] و همکاران (۲۰۲۳) دریافتند که فناوری‌های صنعت ۴٫۰ تأثیر مثبتی بر پایداری زیست‌محیطی و شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز دارند، به استثنای خرید سبز که تأثیر آن ناچیز است(Chafla Granda et al., 2023). در پایان، مقالات علمی پیشنهاد می‌کنند که فشار مقررات محیطی، فشار مشتری، شیوه‌های مسئولیت اجتماعی شرکت، عوامل موفقیت حیاتی و فناوری‌های صنعت ۴٫۰ هستند.

فناوری‌های صنعت ۴٫۰ مانند اتوماسیون، دیجیتالی‌سازی و یکپارچه‌سازی می‌توانند تقاضا برای مواد خام، انرژی و حمل‌ونقل را افزایش دهند و منجر به اثرات منفی زیست‌محیطی مانند افزایش مصرف منابع، انتشار گازهای گلخانه‌ای و جریان زباله شود. نیاز به مراکز داده عظیم و فرایندهای تولید پویا در کارخانه‌های هوشمند نیز می‌تواند مصرف انرژی را افزایش داده و اثرات منفی زیست‌محیطی داشته باشد. با این حال، صنعت ۴٫۰ همچنین فرصت‌هایی را برای بهبود پایداری زیست‌محیطی فراهم می‌کند، مانند امکان استفاده کارامدتر از منابع، کاهش مصرف انرژی و آب و کاهش انتشار کربن از طریق فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا و هوش مصنوعی استفاده کنند. شفافیت داده‌ها در زنجیره تأمین همچنین می‌تواند به نظارت بر جریان مواد کمک کند و مدیریت بهتر زباله و لجستیک معکوس را امکان‌پذیر کند. به‌طور خلاصه، عوامل محیطی مانند حفاظت از منابع و کاهش آلودگی بر اجرای صنعت ۴٫۰ تأثیر می‌گذارند، زیرا هم تأثیرات

۹ Mohammadian

۱۰ Montaño-Valle

۱۱ Granda

مثبت و هم منفی وجود دارد که باید از طریق برنامه‌ریزی دقیق و راهبردهای کاهش مورد توجه قرار گیرند.

در صنعت ۴,۰، مدیریت دانش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ زیرا در محیط پویا و پیچیده‌ای که در آن کسب‌وکارها فعالیت می‌کنند، دسترسی به دانش و بهره‌وری از آن امری حیاتی است. در توسعه کسب و کار پایدار در صنعت ۴,۰، عوامل مدیریت دانش به شکل‌های مختلفی نقش دارند. مدیریت دانش به جمع‌آوری دانش از داخل و خارج سازمان در مورد فناوری‌ها، بازارها و روندها کمک می‌نمایند. سپس، سازمان‌دهی این دانش به‌صورت منطقی و قابل‌فهم برای تمامی اعضای سازمان صورت می‌گیرد. در انتقال دانش، راه‌اندازی سیستم‌ها و فرایندها برای انتقال دانش از افرادی که از سازمان خارج می‌شوند به افراد جدید و همچنین، استفاده از آموزش‌ها، کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی برای انتقال دانش درون سازمان انجام می‌گیرد. در کاربرد دانش، استفاده از دانش برای بهبود فرایندها، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری در تولید و ارائه خدمات و همچنین، استفاده از دانش برای نوآوری و توسعه محصولات و خدمات جدید اهمیت دارد. همچنین، استفاده از دانش برای شناسایی و حل مشکلات فنی و فرایندی در زمینه تولید و عرضه محصولات بسیار مفید است. در ذخیره دانش، ایجاد سیستم‌ها و فرایندهایی برای ذخیره و حفظ دانش در صورت جابجایی کارکنان یا بازنشستگی آن‌ها و همچنین، استفاده از پایگاه‌های دانش داخلی برای ذخیره و به اشتراک‌گذاری دانش در سازمان بسیار مؤثر است. در اشتراک دانش، سازمان‌دهی دانش به صورتی که ارتباطات داخلی و همکاری بین بخش‌های سازمان تسهیل شود. همچنین، استفاده از ابزارهای فناوری اطلاعات برای به اشتراک‌گذاری دانش و همکاری در سازمان ضروری است. به کمک این عوامل، مدیریت دانش می‌تواند کمک کند تا کسب و کارها در محیطی رقابتی و پویا پایداری خود را حفظ کرده و با تغییرات و نوآوری‌های صنعت ۴,۰ سازگار شوند. این امر بهبود فرایندها، ارتقاء کیفیت محصولات و خدمات و درنهایت افزایش رضایت مشتریان را نیز به دنبال دارد.

عوامل اجتماعی-فرهنگی که شامل سرمایه اجتماعی، توسعه و مشارکت انسانی، فرهنگ‌سازی، همکاری و تعامل، انعطاف‌پذیری و نوآوری می‌شود، می‌تواند به‌صورت قابل توجهی بر پیاده سازی صنعت ۴,۰ در صنایع تولیدی به روش‌های زیر تأثیر بگذارد. اجرای موفقیت‌آمیز صنعت ۴,۰ نیازمند مهارت مجدد و ارتقاء مهارت نیروی کار برای توسعه مهارت‌ها و قابلیت‌های لازم است. سیستم‌های مدیریت دانش که از آموزش و توسعه مهارت‌ها پشتیبانی می‌کنند، بسیار مهم هستند. تفاوت در نگرش‌ها، ارزش‌ها و باورها بین مدیریت و کارکنان در کشورهای مختلف می‌تواند مشکلات عملکردی در پیاده سازی فناوری‌های صنعت ۴,۰ ایجاد کند. شرکت‌های چندملیتی باید هنجارها و رفتارهای فرهنگی هر کشور میزبان را درک کرده و با آن‌ها سازگاری داشته باشند. نتایج جستجو نشان می‌دهد که چگونه خودروسازان ژاپنی توانستند شیوه‌های مدیریتی خود مانند چرخش شغلی، حلقه‌های کیفیت و سیستم کایزن را با موفقیت به شرکت‌های تابعه اروپایی خود منتقل کنند و یک سیستم تولید انعطاف‌پذیر و نوآورانه جدید را برای صنعت ۴,۰ ایجاد کنند.

عوامل اقتصادی مانند مدیریت هزینه، شرایط مالی و تورم اقتصادی می‌توانند به‌صورت قابل‌توجهی بر پیاده سازی صنعت ۴,۰ در صنایع تولیدی تأثیر بگذارند. پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴,۰ می‌تواند به سرمایه‌گذاری‌های اولیه قابل توجهی در زمینه‌هایی مانند اتوماسیون، دیجیتالی سازی و ادغام نیاز داشته باشد. مدیریت دقیق هزینه برای اطمینان از قابلیت مالی این طرح‌ها بسیار مهم است. همچنین، سلامت مالی کلی و دسترسی به سرمایه شرکت‌های تولیدی می‌تواند بر توانایی آن‌ها برای سرمایه‌گذاری و پذیرش فناوری‌های صنعت ۴,۰ تأثیر بگذارد. شرایط مالی نامطلوب ممکن است مانع اجرای صنعت ۴,۰ شود. افزایش تورم و عدم اطمینان اقتصادی می‌تواند بر تحلیل هزینه و فایده پروژه‌های صنعت ۴,۰ تأثیر بگذارد و توجیه سرمایه‌گذاری‌های مورد نیاز را برای شرکت‌های تولیدی چالش‌برانگیزتر کند. فشارهای تورمی ممکن است شرکت‌ها را وادار کند که صرفه‌جویی در هزینه‌های کوتاه‌مدت را بر تحول فناوری بلندمدت اولویت دهند. به‌طور خلاصه، عوامل اقتصادی مدیریت هزینه، شرایط مالی و تورم اقتصادی می‌توانند چالش‌های مهمی را برای اجرای صنعت ۴,۰ در صنایع تولیدی ایجاد کنند. شرکت‌ها باید به‌دقت قابلیت مالی و بازگشت سرمایه این طرح‌ها را به‌ویژه در مواجهه با بادهای معکوس اقتصادی ارزیابی کنند.

ایجاد زیرساخت‌های فناوری، از جمله توسعه زیرساخت‌های فناوری، زیرساخت‌های فناوری بلاک چین و زیرساخت‌های اینترنت اشیا و سیستم‌های اتوماسیون، به‌طور قابل توجهی بر پیاده سازی صنعت ۴,۰ در کسب و کارهای تولیدی تأثیر می‌گذارد. توسعه زیرساخت‌های فناوری قوی برای پشتیبانی از یکپارچه‌سازی فناوری‌های صنعت ۴,۰ مانند اتوماسیون، دیجیتال‌سازی و تبادل داده ضروری است. یک زیرساخت فناوری به‌خوبی تثبیت شده، اتصال و ارتباط یکپارچه بین سیستم‌ها و دستگاه‌های مختلف را امکان‌پذیر می‌کند و اجرای کارآمد

راه‌حل‌های صنعت ۴٫۰ را تسهیل می‌کند. در مورد پیاده سازی زیرساخت‌های فناوری بلاک‌چین می‌تواند امنیت، شفافیت و قابلیت ردیابی داده‌ها و تراکنش‌ها را در محیط‌های صنعت ۴٫۰ افزایش دهد. فناوری بلاک‌چین می‌تواند به اطمینان از یکپارچگی تبادل داده‌ها، فرایندهای زنجیره تأمین و قراردادهای هوشمند کمک کند و به افزایش اعتماد و کارایی در صنایع تولیدی کمک کند. در مورد ایجاد زیرساخت‌های متناسب با اینترنت اشیا و سیستم‌های اتوماسیون برای فعال کردن قابلیت‌های اتصال و اتوماسیون مرکزی صنعت ۴٫۰ بسیار مهم است. این زیرساخت‌ها از استقرار دستگاه‌های اینترنت اشیا، حسگرها و ماشین‌های هوشمند پشتیبانی می‌کنند و امکان جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل و تصمیم‌گیری در زمان واقعی را برای بهینه‌سازی فرایندهای تولید و افزایش کارایی عملیاتی فراهم می‌کنند. به‌طور خلاصه، ایجاد زیرساخت‌های فناوری، شامل زیرساخت‌های فناوری، زیرساخت‌های فناوری بلاک‌چین و زیرساخت‌های اینترنت اشیا و سیستم‌های اتوماسیون، نقش اساسی در تسهیل اجرای موفقیت‌آمیز صنعت ۴٫۰ در کسب و کارهای کوچک و متوسط تولیدی ایفا می‌کند. این زیرساخت‌ها پایه و اساس اتصال، امنیت و اتوماسیون لازم برای استفاده از پتانسیل کامل فناوری‌های صنعت ۴٫۰ را فراهم می‌کنند.

دولت می‌تواند نقش مهمی در توسعه زیرساخت‌های ارتباطی قوی، مانند اینترنت پرسرعت و شبکه‌های G۵ ایفا کند تا اتصال مورد نیاز برای فناوری‌های صنعت ۴٫۰ مانند اینترنت اشیا و سیستم‌های اتوماسیون را فعال کند. دولت‌ها می‌توانند سیاست‌ها و مشوق‌هایی را اجرا کنند که پذیرش فناوری‌های صنعت ۴٫۰ توسط کسب و کارهای کوچک و متوسط تولیدی، مانند اعتبارات مالیاتی، یارانه‌ها و چارچوب‌های نظارتی را تشویق و حمایت کند. همچنین، دولت‌ها می‌توانند در برنامه‌های آموزشی سرمایه‌گذاری کنند تا مهارت‌ها و شایستگی‌های لازم را در میان نیروی کار برای راه‌اندازی و حفظ فناوری‌های صنعت ۴٫۰ توسعه دهند و اجرای این فناوری‌ها را در کسب و کارهای کوچک و متوسط تولیدی تسهیل کنند. دولت‌ها می‌توانند به ایجاد فرهنگ نوآوری، همکاری و انعطاف‌پذیری در صنایع تولیدی کمک کنند که برای اجرای موفقیت‌آمیز صنعت ۴٫۰ ضروری است. در رابطه با تأمین منابع مالی، دولت‌ها می‌توانند حمایت‌های مالی مانند کمک‌های بلاعوض، وام‌ها یا صندوق‌های سرمایه‌گذاری را برای کمک به کسب و کارهای تولیدی برای غلبه بر هزینه‌های اولیه بالای مرتبط با اجرای فناوری‌های صنعت ۴٫۰ ارائه دهند. در نهایت، در رابطه با حمایت از تحقیق و توسعه، دولت‌ها می‌توانند از فعالیت‌های تحقیق و توسعه در کسب و کارهای تولیدی حمایت کنند و امکان توسعه فناوری‌ها و راه‌حل‌های جدید صنعت ۴٫۰ را فراهم کنند که می‌تواند در بخش تولید پیاده‌سازی شود.

با توجه به اینکه تورم اقتصادی، تأمین منابع مالی، مدیریت هزینه و شرایط مالی و هزینه‌های سازمان تأثیرگذارترین عوامل است، به نحوی که می‌بایست از این سطح یا عوامل شروع کرد؛ چراکه این عوامل بیشترین تأثیر را بر دیگر عوامل دارد؛ بنابراین، پیشنهاد می‌گردد سازمان‌ها باید تخصیص بودجه اختصاصی برای فناوری‌های صنعت ۴٫۰ را در اولویت قرار دهند. این شامل سرمایه‌گذاری در اتوماسیون، دستگاه‌های اینترنت اشیا و ابزارهای تجزیه و تحلیل داده است که می‌تواند کارایی عملیاتی را افزایش دهد. در واقع، تخصیص بودجه اختصاصی برای فناوری‌های صنعت ۴٫۰ برای سازمان‌های تولیدی که به دنبال افزایش کارایی عملیاتی و رقابتی ماندن در بازار هستند، بسیار مهم است. با سرمایه‌گذاری در اتوماسیون، دستگاه‌های اینترنت اشیا و ابزارهای تجزیه و تحلیل داده، شرکت‌ها می‌توانند پتانسیل کامل صنعت ۴٫۰ را باز کنند و از مزایای افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و بهبود تصمیم‌گیری بهره‌مند شوند. سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پیشرفته اتوماسیون، مانند روباتیک و یادگیری ماشینی، می‌تواند فرایندهای تولید را ساده کند، خطاها را کاهش دهد و توان عملیاتی را افزایش دهد. این نه تنها کارایی را افزایش می‌دهد، بلکه به سازمان‌ها کمک می‌کند تا از رقبا جلوتر بمانند. استقرار دستگاه‌های اینترنت اشیا در سراسر اکوسیستم تولیدی، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها را در زمان واقعی ممکن می‌سازد. از این داده‌ها می‌توان برای بهینه‌سازی فرایندها، پیش‌بینی نیازهای تعمیر و نگهداری و بهبود کیفیت محصول استفاده کرد. استفاده از ابزارهای تجزیه و تحلیل داده‌ها به سازمان‌ها این امکان را می‌دهد که بینش‌های ارزشمندی را از حجم عظیم داده‌های تولید شده توسط فناوری‌های صنعت ۴٫۰ به دست آورند. از این بینش‌ها می‌توان برای تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر داده‌ها، شناسایی زمینه‌های بهبود و هدایت نوآوری استفاده کرد. از طرفی، وضعیت فعلی عملیات تولیدی خود را ارزیابی کنید و مناطقی را شناسایی کنید که فناوری‌های صنعت ۴٫۰ می‌توانند بیشترین تأثیر را داشته باشند. این به شما کمک می‌کند سرمایه‌گذاری‌های خود را اولویت‌بندی کنید و اطمینان حاصل کنید که بودجه شما به طور مؤثر تخصیص می‌یابد. برای ایجاد یک برنامه بلندمدت برای اجرای فناوری‌های صنعت ۴٫۰

این نقشه راه باید شامل نقاط عطف، جدول زمانی و تخصیص بودجه خاص باشد تا اطمینان حاصل شود که سرمایه‌گذاری‌های شما با اهداف کلی کسب و کار شما همسو است. برای گزینه‌های تأمین مالی مانند اجاره یا تأمین مالی، تجهیزات را در نظر بگیرید تا به توزیع هزینه سرمایه‌گذاری‌های صنعت ۴,۰ در طول زمان کمک کنید. این امر می‌تواند تخصیص بودجه برای این فناوری‌ها را بدون فشار بر جریان نقدی شما آسان‌تر کند. در نهایت، با اولویت‌بندی تخصیص بودجه برای فناوری‌های صنعت ۴,۰، سازمان‌های تولیدی می‌توانند خود را برای موفقیت در چشم‌انداز تولید به‌سرعت در حال تحول قرار دهند. با سرمایه‌گذاری در اتوماسیون، دستگاه‌های اینترنت اشیا و تجزیه و تحلیل داده‌ها، شرکت‌ها می‌توانند کارایی عملیاتی خود را افزایش دهند، هزینه‌ها را کاهش دهند و نوآوری را هدایت کنند.

به محققان پیشنهاد می‌گردد مطالعات آتی باید گسترش تحقیقات را به‌گونه‌ای درنظربگیرند که کسب و کارهای تولیدی در استان‌ها یا مناطق مختلف را شامل شود. این امکان تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴,۰ را در زمینه‌های مختلف فراهم می‌کند. از طرفی، برای تنوع صنعت، شامل طیف وسیع‌تری از بخش‌های تولیدی (به عنوان مثال، منسوجات، خودرو، الکترونیک) برای شناسایی چالش‌ها و فرصت‌های خاص بخش مربوط به پذیرش صنعت ۴,۰ پژوهشی انجام گردد. همچنین، انجام مطالعات طولی برای مشاهده اینکه چگونه تأثیر عوامل مختلف در طول زمان با اجرای فناوری‌های صنعت ۴,۰ توسط سازمان‌ها تغییر می‌کند. این می‌تواند بینشی در مورد پویایی روابط متقابل عوامل و اثرات بلندمدت آن‌ها بر عملکرد ارائه دهد. در نهایت، از مدل‌سازی معادلات ساختاری برای اعتبارسنجی روابط بین عوامل و ارزیابی اهمیت نسبی آن‌ها در زمینه صنعت ۴,۰ استفاده کنید.

در این پژوهش محدودیت دسترسی به خبرگانی بود که به صنعت ۴,۰ تسلط داشته باشند، زیرا اغلب صنایع تولیدی در یزد به‌صورت سنتی مشغول به فعالیت بوده و اطلاعاتی در این حوزه نداشتند. همچنین، تمرکز صرف بر استان یزد ممکن است کاربرد یافته‌ها را در مناطق دیگر با زمینه‌های مختلف اقتصادی، فرهنگی و صنعتی محدود کند.

فهرست منابع

Ahmady, G. A., Mehrpour, M., & Nikooravesh, A. (2016). Organizational structure. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 230, 455-462.

Alavi, M., & Leidner, D. E. (2001). Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues. MIS quarterly, 107-136.

Alhloul, A., & Kiss, E. (2022). Industry 4.0 as a Challenge for the Skills and Competencies of the Labor Force: A Bibliometric Review and a Survey. Sci, 4(3), 34.

Ali, B., Zakeri, A., Llieva, A., & Iliev, O. (2023). Reshaping of the Future Farming: From Industry 4.0 Toward Agriculture 4.0. American Journal of Applied Scientific Research, 2, 64.

Allameh, S. M., & Zare, S. M. (2011). Examining the impact of KM enablers on knowledge management processes. Procedia computer science, 3, 1211-1223.

Alvarez-Meaza, I., Pikatza-Gorrotxategi, N., & Rio-Belver, R. M. (2020). Sustainable business model based on open innovation: Case study of Iberdrola. Sustainability, 12(24), 10645.

Antunes, J., Pinto, A., Reis, P., & Henriques, C. (2018). Industry 4.0: A challenge of competition. Millenium–Journal of Education, Techologies, and Helth, 6(2), 89-97.

Azarian, M., Yu, H., & Solvang, W. D. (2020, October). Integrating additive manufacturing into a virtual Industry 4.0 factory. In International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation (pp. 587-594). Singapore: Springer Singapore.

Bansal, P., & DesJardine, M. R. (2014). Business sustainability: It is about time. Strategic organization, 12(1), 70-78.

Beltrami, M., Orzes, G., Sarkis, J., & Sartor, M. (2021). Industry 4.0 and sustainability: Towards conceptualization and theory. Journal of Cleaner Production, 312, 127733

Blinova, E., Ponomarenko, T., & Knysh, V. (2022). Analyzing the Concept of Corporate Sustainability in the Context of Sustainable Business Development in the Mining Sector with Elements of Circular Economy. Sustainability, 14(13), 8163.

Bocken, N. M., & Geradts, T. H. (2020). Barriers and drivers to sustainable business model innovation: Organization design and dynamic capabilities. Long range planning, 53(4), 101950.

Borges, I. B., Alves, J. L., de Lima, L. K. A., & de Nadae, J. (2022). Indústria 4.0: impactos das novas tecnologias no gerenciamento de projetos. Exacta, 20(4), 832-860.

Chen, M., Mao, S., & Liu, Y. (2014). Big data: A survey. Mobile networks and applications, 19, 171-209.

Chen, T.F. (2020). An Integrated Model of Innovation Value Chain For Sustainable Competitive Advantage In High-tech Industry.

da Rocha, A. B. T., de Oliveira, K. B., Espuny, M., da Motta Reis, J. S., & Oliveira, O. J. (2022). Business transformation through sustainability based on Industry 4.0. Heliyon.

de Sousa Jabbour, A. B. L., Jabbour, C. J. C., Foropon, C., & Godinho Filho, M. (2018). When titans meet–Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. Technological Forecasting and Social Change, 132, 18-25.

Dombrowski, U., Wullbrandt, J., & Krenkel, P. (2018). Industrie 4.0 in production ramp-up management. Procedia Manufacturing, 17, 1015-1022.

Dou, Z., Sun, Y., Zhang, Y., Wang, T., Wu, C., & Fan, S. (2021). Regional manufacturing industry demand forecasting: A deep learning approach. Applied Sciences, 11(13), 6199.

Doulabi, H., Khamseh, A., & Torabi, T. (2022). Evaluation of Key Factors Influencing Technological Innovation Management in the Petrochemical Industry with a Focus on Chemical Companies. Petroleum Business Review, 6(3), 1-16.

Enke, J., Glass, R., Kreß, A., Hambach, J., Tisch, M., & Metternich, J. (2018). Industrie 4.0–Competencies for a modern production system: A curriculum for Learning Factories. Procedia manufacturing, 23, 267-272.

Franceli, J. C., & Turri, S. N. Z. (2021). Adoption factors of enabling I4. 0 technologies and benefits in the supply chain. arXiv preprint arXiv:2108.01207.

G., Zeba., M., Čičak. (2023). Implementation of Industry 4.0 in the Manufacturing Industry: A Bibliometric Approach. doi: 10.5644/pi2023.209.06.

Ganji, E.N., Shah, S., Coutroubis, A., & Gestring, I. (2018). Towards a Sustainable Demand Chain Framework: Successful Product Development Integration and Drivers. 2018 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD), 166-171.

Ganzarain, J.; Errasti, N. (2016). Three Stage Maturity Model in SME's toward Industry 4.0. J. Ind. Eng. Manag. 2016, 9, 1119–1128.

Garg, D., Luthra, S., & Haleem, A. (2014). An evaluation of drivers in implementing sustainable manufacturing in India: using DEMATEL approach. International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, 8(12), 3875-3880.

Ge, M., Bangui, H., & Buhnova, B. (2018). Big data for internet of things: a survey. Future generation computer systems, 87, 601-614.

Ghafoorpoor Yazdi, P., Azizi, A., & Hashemipour, M. (2018). An empirical investigation of the relationship between overall equipment efficiency (OEE) and manufacturing sustainability in industry 4.0 with time study approach. Sustainability, 10(9), 3031.

Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. Journal of cleaner production, 252, 119869.

Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Vilkas, M., Grybauskas, A., & Amran, A. (2022). Drivers and barriers of Industry 4.0 technology adoption among manufacturing SMEs: a systematic review and transformation roadmap. Journal of Manufacturing Technology Management, 33(6), 1029-1058.

Gomes, S., Ferreira, J., Lopes, J. M., & Farinha, L. (2022). The impacts of the entrepreneurial conditions on economic growth: Evidence from OECD countries. Economies, 10(7), 163.

Granda, J. L. C., Chico, M. F. H., Chavez, W. G. Y., Moreno-Vallejo, P. X., & Vela, G. D. C. (2023). SUSTAINABLE TOURISM WITH THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE GALAPAGOS ISLANDS-ECUADOR. Journal of Namibian Studies: History Politics Culture, 33, 3999-4017.

Haibat Elahpour Zahra, Mehralizadeh, Yadullah, Barkat Gholamhossein, Nasiri Maria. (2020) Education and learning strategies and entrepreneurial innovation in the era of the fourth industrial revolution in the food industry companies of the industrial towns of Ahvaz city. Organizational Training Management Journal. 1399; 9(1):221-257 (in Farsi)

Hassas Yeganeh, Yahya, Babajani, Jafar, Tagvi Fard, Mohammad Taghi, & Arinpour, Arash. (2017). Sustainable business performance model in Iran. Knowledge of Accounting and Management Audit, 7(27), 181-204. (In Persian)

Hecklau, F., Galeitzke, M., Flachs, S., & Kohl, H. (2016). Holistic approach for human resource management in Industry 4.0. Procedia Cirp, 54, 1-6.

Horváth, D., & Szabó, 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.

Hossain, S., Hassan, S., & Karim, R. (2023). Assessment of Critical Barriers to Industry 4.0 Adoption in Manufacturing Industries of Bangladesh: An ISM-Based Study. Brazilian Journal of Operations & Production Management, 20(3), 1797-1797.

Ibarra, D., Ganzarain, J., & Igartua, J. I. (2018). Business model innovation through Industry 4.0: A review. Procedia manufacturing, 22, 4-10.

Ijaz Baig, M., & Yadegaridehkordi, E. (2023). Exploring moderating effects of industry 4.0 adoption on sustainable

performance of Malaysian manufacturing organizations. Journal of Industrial and Production Engineering, 40, 271-286.

Islam, M.; Jantan, A.; Binti Hashim, H.; Chong, C.W.; Abdullah, M.M.; Rahman, M.; Hamid, A.B. Fourth Industrial Revolution in Developing Countries: A Case on Bangladesh. J. Manag. Inf. Decis. Sci. 2018, 21, 1–9.

Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. Process safety and environmental protection, 117, 408-425.

Kashyap, A., Yadav, A. K., Vatsa, O. N., Chandaka, T. N., & Shukla, O. J. (2023). Investigation of the critical success factors in the implementation of the lean industry 4.0 in manufacturing supply chain: an ISM approach. Management of Environmental Quality: An International Journal, 34(4), 981-996.

Kays, H. M., & Sadri, A. M. (2022). Towards Unifying Resilience and Sustainability for Transportation Infrastructure Systems: Conceptual Framework, Critical Indicators, and Research Needs. arXiv preprint arXiv:2208.10039.

Khan, I. S., Ahmad, M. O., & Majava, J. (2021). Industry 4.0 and sustainable development: A systematic mapping of triple bottom line, Circular Economy and Sustainable Business Models perspectives. Journal of Cleaner Production, 297, 126655.

Kluczek, A., Gladysz, B., Buczacki, A., Krystosiak, K., Ejsmont, K., & Palmer, E. (2023). Aligning sustainable development goals with Industry 4.0 for the design of business model for printing and packaging companies. Packaging Technology and Science, 36(4), 307-325.

Kumar, T. R., Kawade, M. M., Bharti, G. K., & Laxmaiah, G. (2024). Implementation of Intelligent CPS for Integrating the Industry and Manufacturing Process. In AI-Driven IoT Systems for Industry 4.0, 273-288. CRC Press.

Kunkel, S., Matthess, M., Xue, B., & Beier, G. (2022). Industry 4.0 in sustainable supply chain collaboration: Insights from an interview study with international buying firms and Chinese suppliers in the electronics industry. Resources, conservation and recycling, 182, 106274.

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. Business & information systems engineering, 6, 239-242.

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing letters, 3, 18-23.

López, O. L. O., Ríos, L. V. B., & Bastidas, L. S. B. (2018). Impulsores, barreras y beneficios para la implementación de sistemas de gestión ambiental en industrias de Caldas, Colombia. Luna Azul, (46), 210-234.

Lyaskovskaya, E., & Khudyakova, T. (2021). Sharing economy: For or against sustainable development. Sustainability, 13(19), 11056

Malagon-Suarez, C. P., & Orjuela-Castro, J. A. (2023). Challenges and Trends of the logistics 4.0 ; Retos y Tendencias de la Logística 4.0. Ingeniería; Vol. 28 No. Suppl (2023): Bogotá, Committed with the Development of Science and Technology; E18492 ; Ingeniería; 28 Núm. Suppl (2023): Bogotá, Comprometida Con El Desarrollo de La Ciencia y La Tecnología; E18492 ; 2344-8393 ; 0121-750X. https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/reving/article/view/18492

Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. Computers & industrial engineering, 127, 925-953.

Mangelkramer, D. (2022). Addressing responsibility in innovation processes for sustainability: Lessons for responsible management of sustainable innovation form a systematic literature review. Frontiers in Research Metrics and Analytics, 7, 1057378.

Mayer, C. H., & Oosthuizen, R. M. (2022). Sustainability in Industry 4.0 Business Practice: Insights From a Multinational Technology Company. Frontiers in Sustainability, 3, 886986.

Mazurchenko, A., Zelenka, M., & Maršíková, K. (2022). DEMAND FOR EMPLOYEES' DIGITAL SKILLS IN THE CONTEXT OF BANKING 4.0. https://dspace.tul.cz/handle/15240/164985

Melati, G. I., & Ardi, R. (2021). Drivers and Barriers of Sustainable Supply Chain's Enhancement in Pharmaceutical Industry in Indonesia: A Conceptual Model. In Proceedings of the 4th Asia Pacific Conference on Research in Industrial and Systems Engineering, 141-148.

Mesquita, L. L., Lizarelli, F. L., & Duarte, S. (2023). Big data analytics and lean practices: impact on sustainability performance. Production Planning & Control, 1-24.

Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. International journal of production research, 56(3), 1118-1136.

Mohammadian, A., Vares, S. H., Hajiheydari, N., Khajeheian, D., & Kargar Shouraki, M. (2022). Analyzing the interaction of key factors of Sustainable Business Model Innovation in the Digital Age Based on Dynamic Capabilities Using An integrative meta-synthesis and interpretive structural modeling (ISM) approach. Journal of Information Technology Management, 14(1), 20-40.

Montaño-Valle, A. (2016). Sustainability strategy as a source of competitive advantages in the tourism industry. A model for the integration of natural resources. European Journal of Tourism Research, 14, 106-109.

Morrar, R., Arman, H., & Mousa, S. (2017). The fourth industrial revolution (Industry 4.0): A social innovation perspective. Technology innovation management review, 7(11), 12-20.

Müller, J. M., & Däschle, S. (2018). Business model innovation of industry 4.0 solution providers towards customer process innovation. Processes, 6(12), 260.

Müller, J. M., & Voigt, K. I. (2018). Sustainable industrial value creation in SMEs: A comparison between industry 4.0 and made in China 2025. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 5, 659-670.

Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K. I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. Technological forecasting and social change, 132, 2-17.

Müller, J.M., Kiel, D., & Voigt, K. (2018). What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability. Sustainability, 10, 247.

Ndiaye, N.; Abdul Razak, L.; Nagayev, R.; Ng, A. Demystifying small and medium enterprises' (SMEs) performance in emerging and developing economies. Borsa Istanb. Rev. 2018, 18, 269–281

Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic analysis: Striving to meet the trustworthiness criteria. International journal of qualitative methods, 16(1), 1609406917733847..

Nunes, M.L., Pereira, A.C., & Alves, A.C. (2018). Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June 2017, Vigo (Pontevedra), Spain Smart products development approaches for Industry 4. 0.

Ortiz-Barrios, M., Silvera-Natera, E., Petrillo, A., Gul, M., & YUCESAN, M. (2022). A multicriteria approach to integrating occupational safety & health performance and industry systems productivity in the context of aging workforce: A case study. Https://Www.Sciencedirect.Com/Science/Article/Pii/S0925753522001047#! https://hdl.handle.net/11323/9223

Paravizo, E., Chaim, O. C., Braatz, D., Muschard, B., & Rozenfeld, H. (2018). Exploring gamification to support manufacturing education on industry 4.0 as an enabler for innovation and sustainability. Procedia manufacturing, 21, 438-445.Premkumar, G., & Roberts, M. (1999). Adoption of new information technologies in rural small businesses. Omega, 27(4), 467-484.

Pelantová, V., & Šlaichová, E. (2017). The contribution to the integration of management systems oriented to the sustainable and TQM. Amfiteatru Economic, 19(11), 951-965.

Portela Maquieira, S., Tarí, J. J., & Molina-Azorín, J. F. (2022). Associations between transformational leadership and quality management practices in Spanish hotels.

Premkumar, G., & Roberts, M. (1999).Adoption of new information technologies in rural small businesses, Omega, 27(4), 467-484.

Protic, A., Jin, Z., Marian, R., Abd, K., Campbell, D., & Chahl, J. (2020, December). Implementation of a bi-directional digital twin for industry 4 labs in academia: A solution based on opc ua. In 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 979-983, IEEE.

Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. Procedia cirp, 52, 173-178.

Ranjit, Roy, Ghatak., Jose, Arturo, Garza-Reyes. (2024). Investigating the barriers to Quality 4.0 adoption in the Indian manufacturing sector: insights and implications for industry and policy-making. doi: 10.1108/ijqrm-09-2023-0277

rewnowski, A., & Ecosystem Inception Team. (2018). The Chicago consensus on sustainable food systems science. Frontiers in nutrition, 4, 74.

Richnák, P., & Fidlerová, H. (2022). Impact and Potential of Sustainable Development Goals in Dimension of the Technological Revolution Industry 4.0 within the Analysis of Industrial Enterprises, 15(10), 3697.

Rokneddini, S. A., Andalib Ardakani, D., Zare Ahmadabadi, H., & Hosseini Bamkan, S. M. (2023). Modeling the Enablers of Industry 4.0 in the Implementation of a Sustainable Supply Chain with fuzzy DEMATEL-ANP. Journal of Industrial Management Perspective, 13(1, Spring 2023), 141-172.

Ruiz Moreno, A. F., Caicedo Otavo, A. L., & Orjuela Castro, J. A. (2015). External Integration on Agri-Food Supply Chain: A review to the state of the art ; Integración Externa en las Cadenas de Suministro Agroindustriales: Una Revisión al Estado del Arte. Ingeniería; Vol. 20 No. 2 (2015): July - December; 167-188 ; Ingeniería; Vol. 20 Núm. 2 (2015): Julio - Diciembre; 167-188 ; 2344-8393 ; 0121-750X. https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/reving/article/view/8278

Sarif, S. M. M., Ismail, Y., Yahya, R., & Nabi, A. (2022). Influence Of Ta'awun (Mutual Cooperation) And Sejahtera Leadership In Sustaining Community Engagement. Journal of Islamic Management Studies, 5(2), 3-19.

Schallock, B., Rybski, C., Jochem, R., & Kohl, H. (2018). Learning Factory for Industry 4.0 to provide future skills beyond technical training. Procedia manufacturing, 23, 27-32.

Schauder, D., Fukushima, I., Onodera, N., & Araki, K. (2008). Electronic publishing of professional articles: attitudes of academics and implications for the scholarly communication industry. Journal of Information Processing and Management, 38(2), 137-148.

Schröder, C. (2016). The challenges of industry 4.0 for small and medium-sized enterprises. Friedrich-Ebert-Stiftung:

Bonn, Germany, 7, 1-28.

Shahriarynia, Arash, Elfat, Laiya, Amiri, Maqsood, & Kazzazi, Abolfazl. (2019). A hybrid approach to develop a structural model of factors affecting cooperation in the supply chain of home appliance industries. Industrial Management Perspectives, 10(1), 119-89. doi: 10.52547/jimp.10.1.89 (in persian).

Sharma, H., Garg, R., Sewani, H., & Kashef, R. (2023). Towards A Sustainable and Ethical Supply Chain Management: The Potential of IoT Solutions. arXiv preprint arXiv:2303.18135.

Shayganmehr, M., Kumar, A., Garza-Reyes, J. A., & Moktadir, M. A. (2021). Industry 4.0 enablers for a cleaner production and circular economy within the context of business ethics: A study in a developing country. Journal of Cleaner Production, 281, 125280.

Sonu, Rajak., Prakash, Kumar., Aayush, Modi., Vikas, Swarnakar., Jiju, Antony., Michael, Sony. (2024). An assessment of barriers to integrate lean six sigma and industry 4.0 in manufacturing environment: case based approach. doi: 10.1080/0951192x.2024.2335969

Stacho, Z., Stachová, K., Lukáč, M., Kupec, V., & Petrů, N. (2023). MANAGEMENT REFLECTIONS ON INNOVATIONS IN DIGITALIZATION, WITH AN EMPHASIS ON DEGREE OF WORK AUTONOMY. https://dspace.tul.cz/handle/15240/167101

Strandhagen, J.O., Vallandingham, L.R., Fragapane, G., Strandhagen, J.W., Stangeland, A.B.H., Sharma, N. (2017). Logistics 4.0 and Emerging Sustainable Business Models, Advances in Manufacturing, 5 (4), 359-369.

Subramanian, G., Patil, B. T., & Gardas, B. B. (2021). Evaluation of enablers of cloud technology to boost industry 4.0 adoption in the manufacturing micro, small and medium enterprises. Journal of Modelling in Management, 16(3), 944-962.

Suleiman, Z., Shaikholla, S., Dikhanbayeva, D., Shehab, E., & Turkyilmaz, A. (2022). Industry 4.0: Clustering of concepts and characteristics. Cogent Engineering, 9(1), 2034264.

Sun, H., & Chu, X. (2022). Industry 4.0 powered process technology innovation, firm's leanness, and eco-environmental performance during the COVID-19 phase. Frontiers in Environmental Science, 10, 902182.

Terrada, L., El Khaili, M., & Ouajji, H. (2022). Demand forecasting model using deep learning methods for supply chain management 4.0. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 13(5).

Thomas, A. J., & Barton, R. A. (2006). Developing an SME based six sigma strategy. https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/2904/

Valencia Ochoa, G. E., Cardenas Escorcia, Y. del C., & Meriño, L. (2018). Application of equivalent occupation method as a tool for energy management in hotel sector. http://hdl.handle.net/11323/1411

Veile, J.W., Birkel, H., Schmidt, M., Rücker, M., Müller, J.M., Hartmann, E., & Voigt, K. (2021). Green and Lean? – Understanding ecological and environmental implications in the light of Industry 4.0. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1196.

Wassan, A. N., Memon, M. S., Mari, S. I., & Kalwar, M. A. (2023). Identifying the critical success factors of total quality management implementation in manufacturing industry of Pakistan: an exploratory factor analysis. Journal of Applied Research in Technology & Engineering, 4(1), 55-68.

Witkowski, K. (2017). Internet of things, big data, industry 4.0–innovative solutions in logistics and supply chains management. Procedia engineering, 182, 763-769.

Yaqub, M.Z., & Alsabban, A.S. (2023). Industry-4.0-Enabled Digital Transformation: Prospects, Instruments, Challenges, and Implications for Business Strategies. Sustainability.

Zahorian, Maitham, and Rahim Nia, Fariborz. (2014). Presenting a model of sustainable development of business clusters in Iran. Entrepreneurship Development, 8(1), 41-59. (In Persian).

Zakoldaev, D. A., Shukalov, A. V., & Zharinov, I. O. (2019, June). From Industry 3.0 to Industry 4.0: Production modernization and creation of innovative digital companies. In IOP conference series: Materials Science and Engineering, 560(1), 012206). IOP Publishing.

Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015, August). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In 2015 12th International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD), 2147-2152, IEEE.