Journal of Industrial Innovations 2(2) (2024) 103 – 126

Industrial Innovations

https://jii.araku.ac.ir

ISSN: 2980-8847

Industry 4: Providing a Model of Effective Internal Factors in Improving Manufacturing Businesses

Seyed Alireza Rokneddini [a], Farnaz Yaghoubi [b], Davood Andalib Ardakani[c*], Seyedeh Fatemeh Tafreshi[d]

[a] Department of Industrial Management, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran.
[b] Department of Industrial Engineering, Faculty of Economics, Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran.
[c] Department of Industrial Management, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran.
[d] Department of Business Administration, Faculty of Management and Accounting, Management and Accounting, University of Tehran (Farabi), Qom, Iran.

Original Article

Use your device to scan and read the article online

Citation: Rokneddini S A, Yaghoubi F, Andalib Ardakani D, Tafreshi S F, Industry 4: Providing a Model of Effective Internal Factors in Improving Manufacturing Businesses. Industrial Innovations. 2024;2(2):103-126.

https://doi.org/10.61186/jii.2.2.103

KEYWORDS

Industry 4.0;
internal effective factors of Industry 4.0;
Improve domestic business.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to identify the internal factors that contribute to improving the development of manufacturing businesses in industry 4 and to provide a structural-interpretation model. In the first stage, internal factors were identified by reviewing the literature by the Meta-synthesis method. The codes of choice include organizational factors, intelligent supply chain, human resources and technology. In the next step, to present the model, effective relationships were determined using structural-interpretation modeling, which results in strategic planning, training and learning ،digital capability and workforce updates are at the lowest level (Eighth level), and at the highest level, i.e., the first level, the cooperation between supplier and distributor ، The transport system and commercial capability are located and the role of effective factors was determined by using MICMAC analysis. In the group of dependent variables, the factors affecting team creativity, business ability, efficient innovation and workforce updating are located. In the group of two-fold and key variables, data analysis factors, artificial intelligence, digital ability, intelligent human resources, the Internet of Things, robotics, employee empowerment are located. In the group of variables affecting strategic planning factors, training and learning, safety system, organizational culture, individual factors, as well as independent variables that include effective factors of supply chain management ،transport and cooperation system between supplier and distributor. Finally, according to the extracted model, practical suggestions were presented to managers and policy makers of small and medium production companies to improve and develop their business by relying on industry 4. Also, suggestions were given to future researchers to conduct future research.

Extended Abstract

1. Introduction

Industry 4 is a combination of 9 pillars based on technological advances (Internet of Things, horizontal and vertical system integration, simulation, autonomous robots, big data and analytics, augmented reality, additive manufacturing, cloud computing and cyber security), which is changing traditional production systems. It aims to fully integrate and automate production systems and optimize flows throughout the value chain, while changing conventional relationships between suppliers, manufacturers and customers. The realization of these physical cyber systems and achieving integrated and dynamic networks is the core of Industry 4.0.

* Corresponding author,
E-mail address: andalib@yazd.ac.ir
DOI: https://doi.org/10.61186/jii.2.2.103
Received: June 8, 2024; Received in revised form: August 7, 2024; Accepted: August 18, 2024
Article type: Research Paper
©Author

The adoption of Industry 4 can enable the development of green products and environmentally sustainable production and production processes through green supply chain management. In addition, these technologies provide opportunities for industrial upgrading.
In studying the emergence of big data analytics from a corporate and supply chain perspective, Kache and Searing (2017) identified 43 opportunities and challenges ranging from operational efficiency and maintenance to levels of customer behavior. 9 The technological advancement of Industry 4.0 offers new strategic opportunities to increase competitiveness through cost optimization, quality, service levels and flexibility. Advances in technology affect decisions about production locations along the value chain and how each unit is managed. Cost-effective production of a single item – rather than a batch – leads to ultimate flexibility and customization without impacting costs. It changes views to create or buy, giving manufacturers access to product markets where more profit is made from personalized production. Additive technologies also simplify processes, eliminate the distinction between manufacturing and assembly, shorten delivery times, and simplify the supply chain by reducing inventory and logistics costs. Integrated systems, using autonomous and collaborative robots, increase production quality, modify the impact of labor on product cost, and thereby influence decisions in manufacturing to streamline the supply chain and reduce lead times. As strategic opportunities, information and communication technologies business model innovations are providing services. Dispersed production models, in which production and consumption are located next to each other or in close proximity to each other, indicate the direction of development paths of nascent supply chains.

2. **Design/methodology/approach**

The current research is a qualitative-quantitative research method and in the framework of mixed methodology and seeks to provide a structural-interpretive model of internal effective factors in the adoption of Industry 4.0 in the improvement of manufacturing business. For this purpose, internal effective factors in Industry 4.0 in improving manufacturing business were first extracted using purposeful-judgmental sampling and through meta-combination. In order to identify the internal effective factors in Industry 4.0 in improving the manufacturing business, the meta-combination method was used in the qualitative part to evaluate scientific resources. Therefore, to use the metacombination method, the seven-step method of Sandelowski and Barroso (2007) was used, which includes the following process: 1 setting the research question; 2 literature review in a systematic way; 3) searching and selecting suitable texts; 4) extraction of text information; 5) analysis of qualitative findings; 6) quality control; 7) Presentation of findings. After the qualitative stage of internal effective factors in Industry 4.0 in improving manufacturing business in 19 categories and a specialized questionnaire, the effectiveness and effectiveness of the factors were evaluated from the point of view of executive managers and university professors in the field of manufacturing companies in Yazd province. The number of the statistical sample in the quantitative part was 12 people and they were selected by the objective-judgment method of experts. For this purpose, structural-interpretive modeling and MICMAC analysis were used. Structural interpretive modeling is an effective and efficient method for subjects in which qualitative variables at different levels of importance interact with each other. This method examines the order and direction of complex relationships between the elements of a system and is a tool to overcome the complexity between elements.

3. **Finding**

In this research, the effective factors were identified through the literature review using the metacomposite method, and finally 60 open codes, 19 central codes and finally 4 selective codes were extracted, then 19 sub-themes in the form of a pairwise comparison questionnaire at the disposal of experts in the field of manufacturing industries in Yazd province. They had at least ten years of work experience, and the information obtained from the questionnaire and its analysis were investigated using the structural-interpretive method, the relationships and the importance of these effective factors. In the qualitative part of the research, four selected codes of intelligent supply chain, organizational factors, human resources and technology were extracted.

In the quantitative part of the research, the internal influencing factors of Industry 4.0 in improving the manufacturing business were classified into eight levels. Strategic planning, updating the workforce, digital capability and training and learning are placed at the lowest level (level seven and eight) and act as the foundation stone in such a way that for the development of the manufacturing business, it is necessary to start from this level or factors. Kurd, because these factors have the greatest impact on other factors, and the highest level (first level) of cooperation between the supplier and distributor, the transportation system and commercial ability was placed. These factors have less stimulating power and more dependence. In fact, these factors are less influential but more influential.

4. **Conclusion**

The aim of the present study was to present a structural-interpretive model of the internal factors influencing the adoption of Industry 4.0 in improving manufacturing business in Yazd province. Based on the alignment of the present study with studies conducted in Yazd, it seems that the ability of businesses to adapt to Industry 4.0 can improve affect their manufacturing business. This can include factors such as management and technical capability as well as developing skills and knowledge among employees. Finally, improving the manufacturing business requires a long-term perspective that considers social, economic, and environmental goals.

To strengthen the development of manufacturing businesses in the context of Industry 4.0, it is necessary to focus on practical strategies based on the identified internal factors that affect team creativity, business ability, entrepreneurial innovation and workforce updating.

نوآوری‌های صنعتی، دوره ۲، شماره ۲، سال ۱۴۰۳، صفحات ۱۰۳ تا ۱۲۶

نوآوری‌های صنعتی

شاپا: ۸۸۴۷-۲۹۸۰

ارائه مدلی از عوامل مؤثر داخلی در بهبود کسب و کارهای تولیدی صنعت ۴.۰

سید علیرضا رکن الدینی [الف]، فرناز یعقوبی [ب]، داود عندلیب اردکانی [ج*]، سیده فاطمه تفرشی [د]

[الف] گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. rokneddinialireza@gmail.com

[ب] گروه مهندسی صنایع، دانشکده اقتصاد، مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. farnaz.yaghoobi74@gmail.com

[ج] گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. andalib@yazd.ac.ir

[د] گروه مدیریت بازرگانی، دانشکده مدیریت و حسابداری، مدیریت و حسابداری، دانشگاه تهران (فارابی)، قم، ایران. Fatemehtafreshi70@gmail.com

واژگان کلیدی

صنعت ۴.۰
عوامل مؤثر داخلی صنعت ۴.۰
بهبود کسب‌وکار داخلی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸

چکیده

هدف این مقاله شناسایی عوامل مؤثر داخلی در بهبود توسعه کسب‌وکارهای تولیدی در صنعت ۴ و ارائه یک مدل ساختاری- تفسیری است. در مرحله اول، عوامل مؤثر داخلی با مرور ادبیات به وسیله روش فراترکیب شناسایی گردید. کدهای انتخابی شامل عوامل سازمانی، زنجیره تأمین هوشمند، منابع انسانی و تکنولوژی می‌باشد. در مرحله بعد، برای ارائه مدل، روابط مؤثر با استفاده از مدل‌سازی ساختاری-تفسیری تعیین گردید که نتایج نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی استراتژیک، آموزش و یادگیری، توانایی دیجیتالی و به‌روزرسانی نیروی کار در پایین‌ترین سطح (سطح هشتم) قرار گرفته‌اند و در بالاترین سطح یعنی سطح اول، همکاری بین تأمین‌کننده و توزیع‌کننده، سیستم حمل و نقل و توانایی تجاری قرار گرفته است و با استفاده از تحلیل MICMAC نقش عوامل مؤثر تعیین گردید؛ که در گروه متغیرهای وابسته عوامل مؤثر خلاقیت تیمی، توانایی تجاری، نوآوری کارآفرینانه و به‌روزرسانی نیروی کار قرار گرفته‌اند. در گروه متغیرهای دو وجهی و کلیدی، عوامل تحلیل داده، هوش مصنوعی، توانایی دیجیتال، منابع انسانی هوشمند، اینترنت اشیا، رباتیک، توانمند سازی کارکنان قرار گرفته است. در گروه متغیرهای تاثیرگذار عوامل برنامه‌ریزی استراتژیک، آموزش و یادگیری، سیستم ایمنی، فرهنگ سازمانی، عوامل فردی قرار گرفته و همچنین متغیرهای مستقل که شامل عوامل مؤثر مدیریت زنجیره تأمین، سیستم حمل‌ونقل و همکاری بین تأمین‌کننده و توزیع‌کننده می‌باشد.

۱- مقدمه

صنعت ۴.۰ ترکیبی از ۹ ستون مبتنی بر پیشرفت‌های فناوری (اینترنت اشیا، یکپارچه سازی سیستم افقی و عمودی، شبیه‌سازی، ربات‌های مستقل، داده‌های بزرگ و تجزیه و تحلیل، واقعیت افزوده، تولید افزودنی، رایانش ابری و امنیت سایبری) است که در حال تغییر سیستم‌های تولید سنتی است [۱]. هدف آن ادغام کامل و خودکارسازی سیستم‌های تولید و بهینه‌سازی جریان‌ها در کل زنجیره ارزش و در عین حال تغییر روابط متعارف بین تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مشتریان است [۲]. تحقق این سیستم‌های فیزیکی سایبری و دستیابی به شبکه‌های یکپارچه و پویا هسته اصلی صنعت ۴.۰ است [۳].

نام صنعت ۴.۰ نمادی از آغاز انقلاب صنعتی چهارم است [۳]. بر این اساس، اثرات اقتصادی و پایداری قابل توجهی انتظار می‌رود. د سوزا جبور [1] و همکاران (۲۰۱۸) ۲۵۰ میلیارد یورو سرمایه گذاری مورد نیاز را طی ۱۰ سال تخمین زدند و رشد تولیدی در درآمد را ۱٪ از تولید ناخالص داخلی آلمان برآورد کردند. پذیرش صنعت ۴.۰ می‌تواند توسعه محصولات سبز و

[1] de Sousa Jabbour

* نویسنده مسئول؛
آدرس پست الکترونیک: andalib@yazd.ac.ir

فرآیندهای تولید و تولید پایدار از نظر زیست محیطی را از طریق مدیریت زنجیره تأمین سبز امکان‌پذیر کند [۴]. علاوه بر این، این فناوری‌ها فرصت‌هایی را برای ارتقای صنعتی فراهم می‌کنند [۵].

در مطالعه ظهور تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ از دیدگاه شرکت و زنجیره تأمین و کاچه و سیورینگ [۱](۲۰۱۷) ۴۳ فرصت و چالش را از کارایی عملیاتی و نگهداری تا سطوح رفتار مشتری شناسایی کردند. ۹ پیشرفت تکنولوژیکی صنعت ۴.۰، فرصت‌های استراتژیک جدیدی را برای افزایش رقابت از طریق بهینه‌سازی هزینه، کیفیت، سطوح خدمات و انعطاف‌پذیری ارائه می‌دهد. پیشرفت تکنولوژی بر تصمیم‌گیری در مورد مکان تولید در طول زنجیره ارزش و نحوه مدیریت هر واحد تأثیر می‌گذارد [۶]. تولید مقرون به صرفه یک کالا - به‌جای دسته‌ای - به انعطاف‌پذیری و شخصی‌سازی نهایی بدون اینکه بر هزینه‌ها تأثیر بگذارد، منجر گردد. برای ایجاد یا خرید دیدگاه‌ها تغییر می‌کند و به تولیدکنندگان امکان دسترسی به بازارهای محصول را می‌دهد که در آن سود بیشتری از تولید شخصی‌سازی شده است [۱]. فن‌آوری‌های افزودنی همچنین فرآیندها را ساده می‌کند، تمایز بین ساخت و مونتاژ را از بین می‌برد، زمان تحویل را کوتاه می‌کند و زنجیره تأمین را با کاهش ذخایر و هزینه‌های لجستیک ساده می‌کند [۷]. سیستم‌های یکپارچه، با استفاده از روبات‌های مستقل و مشارکتی، کیفیت تولید را افزایش می‌دهند، تأثیر نیروی کار بر هزینه محصول را اصلاح می‌کنند و در نتیجه، تصمیم‌گیری‌ها را در محل‌سازی برای ساده‌سازی زنجیره تأمین و کاهش زمان انجام کار، تحت تأثیر قرار می‌دهند و به عنوان فرصت‌های استراتژیک، نوآوری‌های مدل کسب‌وکار فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات در حال ارائه خدمات‌سازی هستند [۸]. مدل‌های تولید پراکنده که در آن تولید و مصرف در کنار هم یا در مجاورت یکدیگر قرار دارند، نشان‌دهنده جهت مسیرهای تکامل زنجیره‌های تأمین نوپا هستند [۷].

از طرف دیگر، پیچیدگی و ناهمگونی سیستم‌های فیزیکی-سایبری می‌تواند نگرانی‌هایی را در مورد اجرای فناوری‌های صنعت ۴.۰ ایجاد کند [۹]. از آنجایی که صنعت ۴.۰ یک پدیده نسبتاً جدید در میان دانشگاهیان و متخصصانی است که با حوزه تولید سروکار دارند [۱۰]، داده‌های تجربی و مطالعات منتشر شده در مورد اجرای فناوری صنعت ۴.۰ در شرکت‌های تولیدی هنوز پراکنده هستند [۱۱]. تحقیقات دانشگاهی بر سطح اجرای فناوری‌های صنعت ۴.۰ از نظر بعد داخلی سازمان از طریق توسعه مدل‌های بلوغ - مدل سه‌بعدی و مدل هفت بعدی که به ترتیب توسط بیبی و ده [۲](۲۰۱۸) و واگیر [۳]و همکاران (۲۰۲۰) توسعه و آزمایش شده‌اند - و شناسایی الگوهای پذیرش، از جمله توالی مراحل پیاده‌سازی شناسایی شده و چارچوبی که توسط فرانک[۴] و همکاران (۲۰۱۹) ایجاد شده است [۸-۱۰]. از آنجایی که پذیرش فناوری‌های نوظهور صنعت ۴.۰ خود پشتیبانی نیست، استفاده از فناوری‌های پیشرفته و همچنین فناوری مهندسی برای موفقیت صنعت ۴.۰ یکی از چالش‌هایی است که محققان در حال حاضر با آن مواجه هستند [۳]. با این حال، تنها تلاش‌های نادر و اخیر برای درک عوامل داخلی در اجرای صنعت ۴.۰ در شرکت‌های تولیدی را می‌توان در ادبیات یافت؛ بنابراین، پژوهش حاضر درصدد پاسخ به سؤال‌های زیر است:

- عوامل مؤثر داخلی در بهبود کسب‌وکار داخلی در صنعت ۴.۰ کدام‌اند؟
- سطح‌بندی عوامل مؤثر داخلی در بهبود کسب‌وکار داخلی در صنعت ۴.۰ به چه صورت می‌باشد؟

۲- مبانی نظری

صنعت ۴.۰ یک انقلاب تکنولوژیکی است که در سال ۲۰۱۵ شکل عملی به خود گرفت [۱۲]. این فناوری توسط مجموعه‌ای از فناوری‌های مخرب اینترنتی هدایت می‌شود که شیوه ایجاد، شکل‌دهی، ارائه و خدمات کسب‌وکارها را مجدداً تعریف کرده‌اند [۱۳]. فناوری‌های صنعت ۴.۰ به تولیدکنندگان کمک می‌کنند تا مهارت خود را افزایش دهند، زمان خرابی را کاهش دهند، هزینه‌ها را کاهش دهند، خود را در بازار متمایز کنند و خدمات، تحویل و کیفیت را بهبود بخشند [۱۴]. یک سازمان پیاده‌سازی صنعت ۴.۰ از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات برای تحقق تحول دیجیتال بلادرنگ کلیه فرآیندهای تجاری

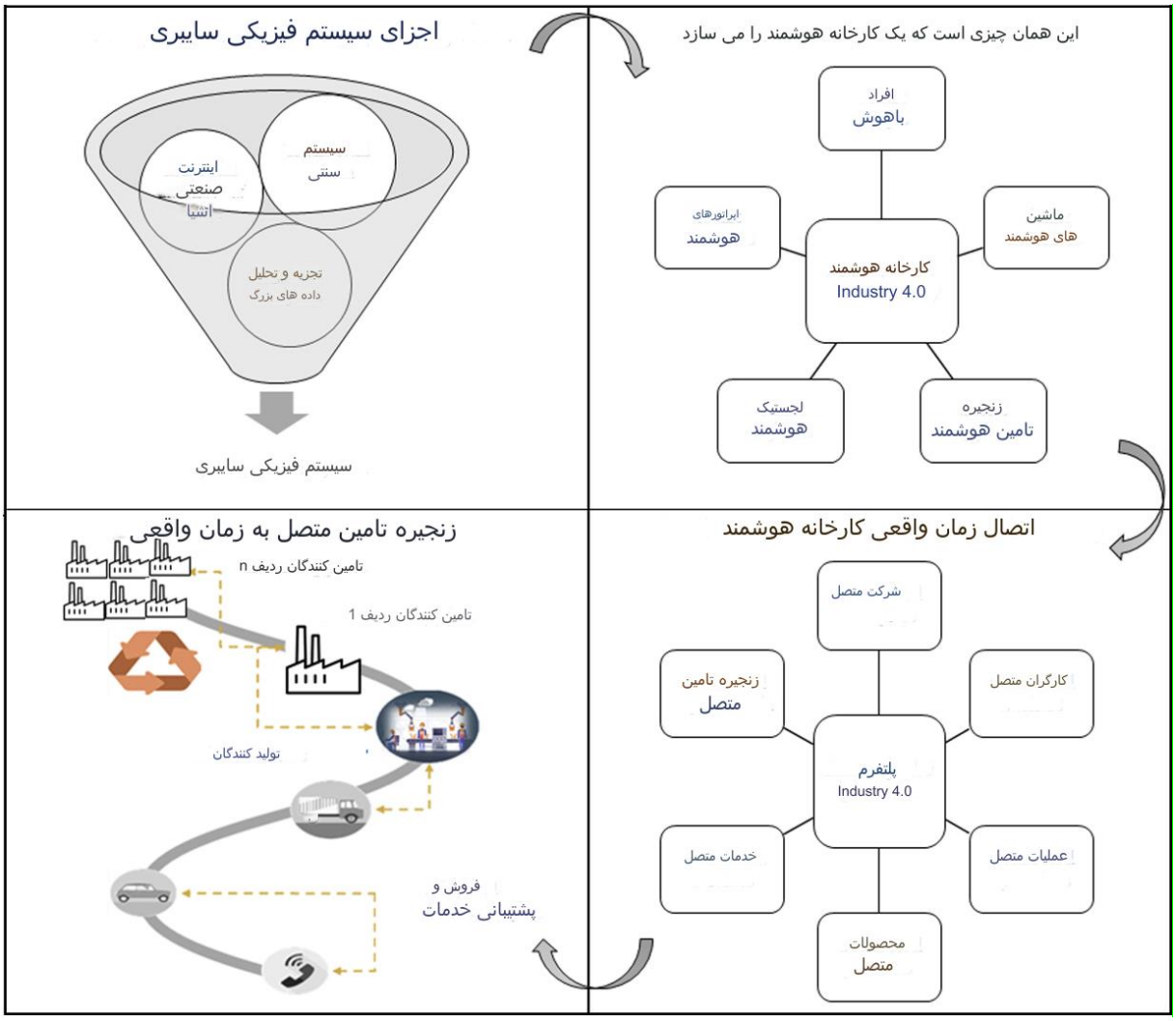
[1] Kache & Seuring
[2] Bibby & Dehe
[3] Wagire
[4] Frank

عمودی و افقی استفاده می‌کند، در حالی که به طور کامل سیستم‌های خلق ارزش و تحویل را یکپارچه می‌کند [۱۵]. سیستم فیزیکی سایبری به‌طورکلی با استفاده از ۹ محرک تکنولوژیکی ذکر شده در جدول ۱ به اتوماسیون هوشمند دست می‌یابد.

جدول ۱ محرک‌های فناوری صنعت ۴.۰

فناوری‌های صنعت ۴	منابع
روباتیک پیشرفته روبات‌های صنعتی مستقل که با کارگران انسانی همکاری می‌کنند.	[۱۶]
تولید مواد افزودنی چاپگرهای سه‌بعدی برای ساخت نمونه‌های اولیه طراحی، اجزای تولید و قطعات یدکی در صورت تقاضا استفاده می‌شود.	[۱۷]
واقعیت افزوده استفاده از واقعیت دیجیتال برای کمک به رویه‌های عملیاتی استاندارد (SOP)، مونتاژ پیچیده، تعمیر و نگهداری، کمک متخصص، تضمین کیفیت و تدارکات.	[۱۶]
شبیه‌سازی مدل‌سازی و طراحی مبتنی بر شبیه‌سازی و توسعه محصولات، خدمات، سیستم‌های تولید و آموزش جدید.	[۱۶]
ادغام سیستم عمودی و افقی ادغام عمودی تمام جنبه‌های سیستم اجرای تولید در سازمان ادغام افقی داده‌ها در سراسر زنجیره ارزش کامل.	[۱۸]
اینترنت صنعتی اشیا ارتباطات دیجیتالی چندجهته بین ماشین‌ها، تجهیزات، محصولات و مشتریان شبکه شده در سطح سیستم	[۱۹]
پردازش ابری مدیریت، در زمان واقعی، مقادیر عظیمی از داده‌ها در یک سیستم باز و همچنین تبادل ارتباطات دیجیتال بلادرنگ برای بهینه‌سازی تمام جنبه‌های تولید.	[۱۷]
امنیت سایبری مدیریت امنیت ارتباطات دیجیتال در یک سیستم بزرگ و یکپارچه بین شرکتی و درون شرکتی که شامل عملیات، مشتریان و محصولات هوشمند متصل است.	[۱۸]
تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ ارزیابی در مقیاس بزرگ داده‌هایی که در کارخانه تولید می‌شوند و در سراسر زنجیره تأمین جمع‌آوری می‌شوند. امکان تصمیم‌گیری بلادرنگ در تمام جنبه‌های تولید را فراهم می‌کند.	[۱۷]

سیستم فیزیکی سایبری موجودیت‌ها و فرآیندهای واقعی را با پردازش اطلاعات شبیه‌سازی شده در تمام سطوح از طریق شبکه‌های بی‌سیم باز و متصل به هم مرتبط می‌کند [۱۵]. فرآیندهای تولید را در زمان واقعی با استفاده از حسگرهای مبتنی بر هوش مصنوعی نظارت می‌کند تا بلافاصله تصمیم‌گیری کند، سپس به‌طور مستقل اجرا می‌شود و به موجب آن دخالت مستقیم انسان در سطح کارخانه به حداقل ممکن می‌رسد [۲۰]. از سوی دیگر، یک کارخانه هوشمند، یک کارخانه مدولار و ساختار یافته است که در آن سیستم فیزیکی-سایبری کل فرآیند فیزیکی را نظارت و کنترل می‌کند [۲۱]. سیستم سایبری-فیزیکی اینترنت صنعتی اشیاء و داده‌های بزرگ و تجزیه و تحلیل را با سیستم‌های سنتی فعلی یکپارچه می‌کند و یک کارخانه هوشمند و زنجیره تأمین هوشمند ایجاد می‌کند [۱۵] که در شکل ۱ توضیح داده شده است. شکل ۱ نمای مفهومی استقرار سیستم فیزیکی-سایبری متصل در زمان واقعی را در یک کارخانه هوشمند و زنجیره تأمین آن نشان می‌دهد که منجر به یکپارچه‌سازی بی‌درنگ شرکت، عملیات، زنجیره تأمین و خدمات می‌شود. ماشین‌ها و تجهیزات در یک کارخانه هوشمند از فناوری‌های اینترنت برای تعامل مداوم با یکدیگر و نیروی کار در سراسر زنجیره‌های تأمین جهانی، از جمله مصرف‌کنندگان و سایر محصولات هوشمند، استفاده می‌کنند [۲۲]. کارخانه‌های هوشمند به دلیل سیستم‌های متصل دیجیتالی بلادرنگ که از فناوری‌های صنعت ۴.۰ مانند اینترنت صنعتی اشیاء، رایانش ابری واقعیت افزوده و تصمیم‌گیری مبتنی بر تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ استفاده می‌کنند، یک تغییر پارادایم در سیستم تولید ایجاد کرده‌اند [۲۳].



شکل ۱ سیستم‌های فیزیکی سایبری- کارخانه هوشمند و زنجیره تأمین هوشمند

۳- پیشینه پژوهش

ادبیات موجود در عوامل مؤثر در بهبود کسب‌وکارهای تولیدی در صنعت ۴.۰ نشان داده است که بسیاری از شرکت‌های تولیدی به دلیل مزایا و فرصت‌هایشان، فناوری‌های تولیدی جدید را اتخاذ می‌کنند [۹]. مزایای پیاده‌سازی صنعت ۴.۰، مانند بهره‌وری و کارایی، عوامل محرک مهم برای پیاده‌سازی صنعت ۴.۰ هستند. علاوه بر مزایای عملیاتی، فرصت‌های بازار و تجاری نیز به عنوان دلیلی در نظر گرفتن اینکه چرا شرکت‌های تولیدی صنعت ۴.۰ را اتخاذ می‌کنند، در نظر گرفته می‌شوند [۱۲]. اگرچه مزایای امیدوارکننده شرکت‌ها را مجبور به پذیرش صنعت ۴.۰ می‌کند، بسیاری از شرکت‌ها در پذیرش صنعت ۴.۰ با چالش‌هایی روبرو هستند [۷]. استنتافت[1] و همکاران (۲۰۲۱) دریافت که صنعت ۴.۰ یک حوزه تحقیقاتی نوپا است که در آن ادبیات دانشگاهی موجود فاقد محرک‌ها و موانع کافی برای صنعت ۴.۰ است [۲۴]. چندین مطالعه نشان داده‌اند که چالش‌ها و موانع احتمالی می‌تواند علاقه شرکت‌ها را برای آغاز تحول دیجیتال مختل کند [۱۵]،[۲۵]. به همین ترتیب، استنتافت و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که موانع درک شده می‌تواند مستقیماً منجر به تصمیم‌گیری برای عدم سرمایه‌گذاری در فناوری‌های جدید شود. فن آوری ها به طور مشابه، جین و آجمرا [2](۲۰۲۰) نشان دادند که تسهیلات اینترنتی، حمایت مالی و

[1] Stentoft
[2] Jain & Ajmera

آموزش مهارتی، توانمندسازی‌های اصلی صنعت ۴.۰ هستند [۲۶]. قباخلو [1] و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی محرک‌ها و موانع پذیرش فناوری صنعت ۴.۰ در میان شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی: یک بررسی سیستماتیک و نقشه راه تحول پرداختند. این مطالعه بر شرکت‌های کوچک و متوسط (SMEs) و پذیرش فناوری‌های صنعت ۴.۰ توسط آن‌ها تمرکز دارد. این سازمان عوامل مختلف تکنولوژیکی، سازمانی و محیطی را در پذیرش فناوری صنعت ۴.۰ شناسایی می‌کند و نقشه راه دیجیتالی سازی را برای تسهیل تحول دیجیتالی شرکت‌های کوچک و متوسط تحت صنعت ۴.۰ ایجاد می‌کند [۲۷]. فیلبین [2] و همکاران (۲۰۲۲) به درک اینکه چگونه تحول دیجیتال می‌تواند شرکت‌های کوچک و متوسط را برای دستیابی به توسعه پایدار قادر سازد پرداختند. این مرور ادبیات سیستماتیک پذیرش فناوری‌های دیجیتال توسط شرکت‌های کوچک و متوسط برای حمایت از نتایج پایداری را بررسی می‌کند. این بخش جنبه‌های فناوری تحول دیجیتال، توسعه پایدار را با توجه به نتیجه سه‌گانه و ویژگی‌های تجاری شرکت‌های کوچک و متوسط تجزیه و تحلیل می‌کند. این مطالعه بینش‌هایی را در مورد ارتباط بین پذیرش فناوری و توسعه پایدار در شرکت‌های کوچک و متوسط ارائه می‌دهد [۲۸]. کمالی ساراجی [3] و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی چالش‌های صنعت ۴.۰ پذیرش برای یک تحول دیجیتال پایدار پرداختند. این مطالعه بر شناسایی چالش‌های پذیرش صنعت ۴.۰ در شرکت‌های فین تک و توسعه روشی برای رتبه‌بندی این چالش‌ها تمرکز دارد. این موضوع اهمیت هماهنگی، همکاری، مقاومت در برابر تغییر و حمایت دولتی را به عنوان چالش‌های مهم برای پذیرش صنعت ۴.۰ برجسته می‌کند از این رو، عوامل تسهیل کننده ممکن است نقش مهمی در تصمیم‌گیری برای شروع تحول دیجیتال داشته باشند، زیرا ممکن است دستیابی به منابع مورد نیاز را تسریع کنند. به عنوان مثال، شرکتی که مشتاق سرمایه‌گذاری در صنعت ۴.۰ برای مزایای خود است، اما از نظر مالی توانایی سرمایه‌گذاری در صنعت ۴.۰ را ندارد، در صورت دسترسی به پشتیبانی مالی، ممکن است همچنان این کار را انجام دهد. علی‌رغم عوامل متعددی که بر تصمیم شرکت‌های تولیدی برای پذیرش صنعت ۴.۰ تأثیر می‌گذارند، آن‌ها تنها توسط مطالعات محدود به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۲۵]. به عنوان مثال، تنها عوامل محرک اجرای صنعت ۴.۰ توسط هوروات و ساوو[4](۲۰۱۹) مورد بحث قرار گرفت [۲۹]، در حالی که عوامل و چالش‌های محرک توسط مولر [5] و همکاران (۲۰۱۸) مورد مطالعه قرار گرفت [۳۰]. این مطالعات بینش‌های ارزشمندی در مورد عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در شرکت‌های کوچک و متوسط، نقش تحول دیجیتال و چالش‌های مرتبط با پذیرش صنعت ۴.۰ ارائه می‌دهند و به طور اختصاصی در مورد عوامل مؤثر داخلی که در پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی مؤثر می‌باشد، انجام نگردیده است.

۴- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع روش تحقیق کیفی - کمی و در چارچوب روش‌شناسی آمیخته بوده و به دنبال ارائه مدل ساختاری - تفسیری عوامل مؤثر داخلی در پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب‌وکار تولیدی است. برای این منظور ابتدا عوامل مؤثر داخلی در صنعت ۴.۰ در بهبود کسب‌وکار تولیدی با استفاده از نمونه‌گیری هدفمند-قضاوتی و از طریق فراترکیب استخراج شد. برای شناسایی عوامل مؤثر داخلی در صنعت ۴.۰ در بهبود کسب‌وکار تولیدی از روش فراترکیب در بخش کیفی جهت ارزیابی منابع علمی استفاده شد. ازآنجایی‌که پژوهش‌های کیفی فراوانی در حوزه عوامل مؤثر در صنعت ۴.۰ در بهبود کسب‌وکار تولیدی انجام شده اما تاکنون مدل جامعی که تمام ابعاد را پوشش دهد صورت نپذیرفته است، بنابراین از روش فراترکیب جهت شناسایی و ترکیب جامع از مؤلفه‌ها و ابعاد عوامل مؤثر داخلی در صنعت ۴.۰ در بهبود کسب‌وکار تولیدی به کار گرفته شد. ازاین‌رو، برای بهره‌گیری از روش فراترکیب، از روش هفت مرحله‌ای سندلوسکی و باروسو (۲۰۰۷) استفاده شد که شامل فرایند زیر می‌باشد: ۱) تنظیم سؤال پژوهش؛ ۲) مرور ادبیات به شکل سیستماتیک؛ ۳) جستجو و انتخاب متون مناسب؛ ۴) استخراج اطلاعات متون؛ ۵) تجزیه‌وتحلیل یافته‌های کیفی؛ ۶) کنترل کیفیت؛ ۷) ارائه یافته‌ها.

[1] Ghobakhloo
[2] Philbin
[3] Kamali Saraji
[4] Horváth & Szabó
[5] Muller

پس از مرحله کیفی عوامل مؤثر داخلی در صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی در ۱۹ مورد دسته‌بندی و پرسشنامه تخصصی میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری عوامل از نظر مدیران اجرایی و اساتید دانشگاهی در حوزه شرکت‌های تولیدی در استان یزد مورد ارزیابی قرار گرفت که تعداد نمونه آماری در بخش کمی ۱۲ نفر بوده و با روش هدفمند-قضاوتی خبرگان انتخاب گردیدند. برای این منظور از مدل‌سازی ساختاری-تفسیری و تحلیل MICMAC استفاده شد. مدل‌سازی تفسیری ساختاری روشی مؤثر و کارا برای موضوعاتی است که در آن متغیرهای کیفی در سطوح مختلف اهمیت بر یکدیگر آثار متقابل دارد. این روش ترتیب و جهت روابط پیچیده میان عناصر یک سیستم را بررسی می‌کند و ابزاری از برای غلبه بر پیچیدگی بین عناصر است [۳۱].

جدول ۲ 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

۵- یافته‌های تحقیق

۵-۱- بخش کیفی

جهت دستیابی به چارچوب اولیه پژوهش بر پایه روش هفت مرحله‌ای فراترکیب سندوسکی و باروسو (۲۰۰۷) هر یک از مراحل اجرایی آن بر اساس پژوهش‌های پیشین ارائه می‌گردد. مرحله نخست فراترکیب مربوط به تنظیم سؤالات پژوهش می‌باشد که بایستی علاوه بر علاقه‌مندی ادامه تحقیقات قبلی پژوهشگر باشد. سؤال‌های پژوهش باید دارای ویژگی‌هایی باشد که در جدول ۳. ارائه گردیده است.

جدول ۳ سؤال‌های پژوهش

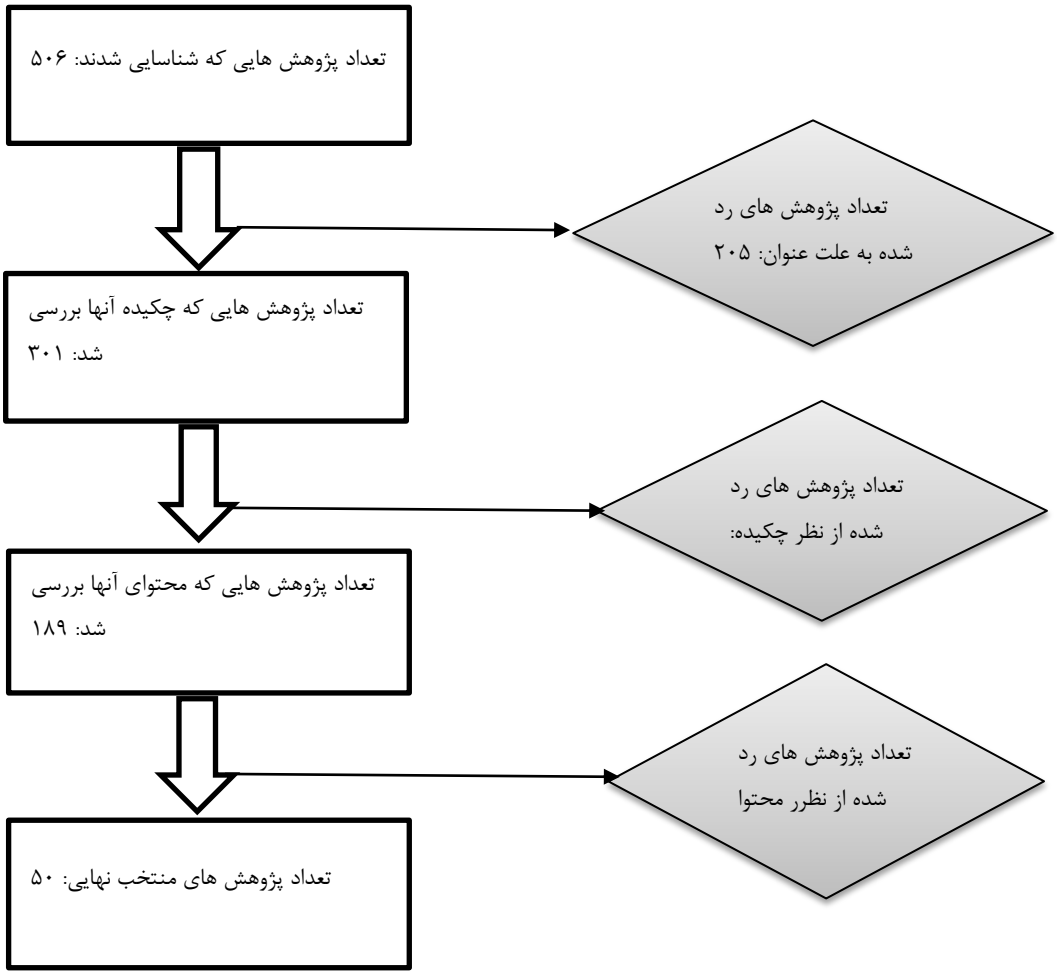
مؤلفه‌ها	سؤال‌های پژوهش
چیستی کار (what)	عوامل مؤثر داخلی در پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کارهای تولیدی چیست؟
جامعه موردمطالعه (who)	مقالات منتشر شده در پایگاه داده‌های داخلی و خارجی
بازه زمانی مطالعه (when)	۱۳۹۰ تا ۱۴۰۳ برای مطالعات داخلی و ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴ برای مطالعات خارجی
چگونگی یا روش مطالعه (how)	بررسی موضوعی آثار، شناسایی و یادداشت‌برداری نکات کلیدی، تحلیل مفاهیم موردمطالعه، دسته‌بندی مفاهیم و مقولات

در بخش ابتدایی مرحله فراترکیب، به پرسش‌های کلی که در این زمینه مطرح گردیده، پاسخ داده شد تا از ابهام‌های بیشتر جلوگیری گردد. بدین ترتیب، فقط آثاری باید در این مطالعه گنجانده شود که در آن‌ها بیشتر به مؤلفه‌ها و ابعاد مهم و تأثیرگذار بر مدل‌سازی عوامل مؤثر داخلی بر پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی پرداخته شده است. بازه زمانی انتخاب شده بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۳ شمسی و ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴ میلادی می‌باشد زیرا در این سال‌ها صنعت ۴.۰ وارد صنایع گردیده و تأثیرگذاری خود را بیشتر از دهه پیش نشان داده است.

برای شروع دقیق و نظام‌مند مطالعات منابع اعم از مقالات، پایان‌نامه‌ها و پژوهش‌هایی که باهدف پژوهش و بازه زمانی مشخص شده متناسب هستند، انتخاب گردیده است. در مرحله بعد پژوهش‌هایی که واجد شرایط برای ورود به فراترکیب انتخاب شدند و معیارهای ورود و خروج بر اساس مطالعه تعیین شدند. معیارهای ورود و خروج از پژوهش شامل زبان مطالعه که فارسی و انگلیسی بوده، موضوع موردمطالعه عوامل مؤثر در پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی بوده است، نوع مطالعه مقالات علمی پژوهشی چاپ شده در مجلات معتبر بوده و سال پژوهش نیز بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴ و ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۳ بوده است، از این رو پژوهشگر جستجوی نظام‌مند خود از پژوهش‌های منتشر شده در منابع مختلف متمرکز کرد و

کلیدواژه‌های مرتبط را پیدا نمود و در پایگاه داده‌های داخلی اعم از بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran) و پایگاه مجلات تخصصی نور (Noormags) و پایگاه داده‌های خارجی اعم ازScienceDirect ، Springer و Elsevier جستجو و مقالات علمی پژوهشی که در مجلات معتبر چاپ شده بودند انتخاب گردید. برای مثال مقالات کنفرانسی و مقالاتی که در وبگاه‌های شخصی منتشر شده بودند انتخاب نگردید. از کلیدواژه‌های "عوامل مؤثر در صنعت ۴.۰"،" عوامل مؤثر سازمانی صنعت ۴.۰"، "کسب و کار تولیدی" جهت جستجو در پایگاه داده‌های داخلی و از کلیدواژه‌های " Effective factors in Industry 4.0", "Effective organizational factors of Industry 4.0", "Manufacturing business استفاده گردید.

در گام سوم پژوهش‌های فراوانی با توجه به تعدد زیاد واژگان کلیدی استخراج گردید که پژوهشگر با توجه به پارامترهای مختلف مقالاتی که هم‌راستای پژوهش نبودند را حذف نمود. ابتدا منابع را بر اساس عنوان مقایسه نمود و تعداد زیادی از مقالات حذف شدند، سپس بر اساس چکیده بررسی و تعدادی مقاله بی‌ربط حذف شدند و در انتها نیز بر اساس متن کامل مقاله محتوای مقاله بررسی شدند که در آنجا نیز تعدادی از مقالات حذف شدند. علاوه بر این، آخرین مقالات لیست شده به‌صورت جداگانه برای تعیین ارتباط آن‌ها با تحقیق حاضر موردمطالعه قرار گرفتند. عوامل مؤثر داخلی در پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی که در این مطالعات مورد بررسی قرار گرفتند، ابتدا در یک صفحه اکسل نقشه‌برداری شدند و سپس عوامل مؤثر تکراری حذف شدند تا اطمینان حاصل شود که لیست نهایی تنها شامل عوامل مؤثر منحصر به فرد است که در شکل۲ خلاصه فرایند ارائه شده است.



شکل۲ خلاصه‌ای از نتایج جستجو و انتخاب مقالات مناسب

شکل۲ نشان می‌دهد که از ۵۰۶ مقاله یافت شده، ۲۰۵ مورد بر اثر مقایسه عنوان، ۱۱۲ مورد بر اثر بررسی چکیده و ۱۳۹

مورد از نظر بررسی متون و محتوای مقاله هم‌خوانی نداشتند که حذف گردیدند و تعداد ۵۰ مقاله مورد تأیید قرار گرفت که در زمینه عوامل مؤثر داخلی در پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی بودند که هم از نظر عنوان و هم از نظر محتوا هم‌راستا با این پژوهش بودند.

در گام چهارم استخراج اطلاعات از متون با توجه به اهداف و سؤالات پژوهش می‌باشد. در این مرحله منابع منتخب و نهایی مجدداً به طور کامل مطالعه شده و شاخص‌های عوامل مؤثر داخلی در پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب‌وکار تولیدی را از درون متن استخراج که در مجموع ۶۰ کد شناسایی گردید. در مرحله بعدی، کدهایی که از متن منابع استخراج شده بودند (کدگذاری باز) و با در نظر گرفتن مفهوم هر یک، آن‌ها با یکدیگر مقایسه و در یک مفهوم مشابه با در نظر گرفتن وجه اشتراکشان توسط محقق دسته‌بندی می‌شوند (کدگذاری محوری) و در نهایت مفاهیم مشابه نیز به همین ترتیب تحت عنوان یک مقوله برچسب‌گذاری می‌شوند (کدگذاری انتخابی). به‌این‌ترتیب، کدها، مفاهیم و مقولات پژوهش مشخص شدند. جدول ۴. کد گذاری‌های انتخابی، محوری و کدهای باز نشان داده شده است.

جدول ۴ کد گذاری‌های انتخابی، محوری و کدهای باز

کدگذاری انتخابی	کدگذاری محوری	کد اولیه	منابع
زنجیره تأمین هوشمند	مدیریت زنجیره تأمین (X1)	بهبود عملکرد زنجیره تأمین	[۳] [۲۶] [۲۹-۳۲]
		بهبود مدیریت موجودی	[۳] [۲۹-۳۳]
		بهینه‌سازی تولید	[۸] [۳۱, ۳۲] [۳۴]
		ارتباط با تأمین‌کنندگان	[۳] [۵] [۲۹-۳۲]
		بهینه‌سازی مدیریت منابع	[۳] [۳۱, ۳۲]
	همکاری بین تأمین‌کننده و توزیع‌کننده (X2)	فناوری‌های نوین ارتباطی بین تأمین‌کننده و توزیع‌کننده	[۲۶] [۳۱, ۳۲]
		به اشتراک‌گذاری اطلاعات	[۷] [۳۱, ۳۲]
		هماهنگی در نیازمندی‌های مشتری	[۲۶] [۳۱, ۳۲]
	سیستم حمل‌ونقل (X3)	کاهش زمان تحویل کالا و خدمات	[۲۵] [۳۱-۳۳]
		کاهش خرابی‌ها و مسائل فنی	[۲۵, ۲۶] [۳۱-۳۳] [۳۵]
		کاهش هزینه‌های تولید و توزیع	[۲۵] [۳۲] [۳۳]
عوامل سازمانی	نوآوری کارآفرینانه (X4)	ایجاد فرصت‌های جدید برای رشد و توسعه	[۲۲] [۳۶-۳۸]
		افزایش بهره‌وری و بهینه‌سازی فرایندهای تولید	[۲۲] [۳۷, ۳۸]
		ایجاد ارزش بیشتر برای مشتریان	[۲۲] [۳۶-۳۸]
	آموزش و یادگیری (X5)	بهبود رقابتی بودن سازمان به‌وسیله آموزش و یادگیری	[۵] [۳۷]
		ارتقای کارایی به‌وسیله آموزش و یادگیری	[۳۷]
		افزایش دانش و توانایی کارکنان	[۳۷] [۳۹]
	برنامه‌ریزی استراتژیک (X6)	بهبود کارایی سازمان به‌وسیله هدف‌گذاری	[۱] [۱۱] [۴۰-۴۴]
		تعیین هدف‌های دقیق	[۱] [۱۱] [۱۸] [۴۱] [۴۳, ۴۴]
	فرهنگ‌سازمانی (X7)	ایجاد فرهنگ جلب و نگهداشت استعدادهای بااستعداد	[۱] [۱۶] [۴۱] [۴۵]
		ایجاد فرهنگ نوآوری و خلاقیت	[۱۶] [۴۶]
	توانایی تجاری (X8)	بهبود توانایی رقابتی	[۱] [۴۱] [۴۷]
		کاهش هزینه‌ها به‌وسیله استفاده از تکنولوژی صنعت ۴.۰	[۴۶, ۴۷]
		رشد درآمدها با استفاده از نوآوری و فناوری جدید	[۱] [۴۵] [۴۷]
		پیش‌بینی نیازهای مشتریان	[۱] [۴۷]
	توانایی دیجیتالی (X9)	یادگیری عمیق	[۴۵] [۴۷]
		توانایی نرم‌افزاری	[۴۷]
		دانش فنی	[۴۷]
منابع انسانی	خلاقیت تیمی (X10)	افزایش رقابت‌پذیری میان تیم‌ها	[۱۴] [۴۸]
		افزایش تعاملات مؤثر درون سازمان	[۱۴] [۴۸]

		افزایش راندمان و بهره‌وری	[۱۴] [۴۸]
		افزایش ابتکار و ایده پردازی	[۱۴] [۴۸]
	به‌روزرسانی نیروی کار (X11)	افزایش توانایی‌های کسب‌وکار	[۱۴] [۴۸, ۴۹]
		افزایش سرعت عمل	[۱۴] [۴۸, ۴۹]
		افزایش رقابت‌پذیری	[۱۴] [۴۸, ۴۹]
	توانمندی کارکنان (X12)	ارتباطات بهتر	[۱۴] [۴۸-۵۱]
		توانایی‌های جدید در کار	[۴۸, ۴۹] [۵۱]
		سرعت در اجرا	[۴۸-۵۱]
		افزایش کیفیت محصولات به‌وسیله توانمندی کارکنان	[۱۴] [۴۸, ۴۹] [۵]
	عوامل فردی (X13)	شخصیت فرد	[۱۶] [۴۸] [۵] [۵۲]
		تجربه کاری فرد	[۱۶] [۴۲] [۴۸]
		دانش فرد	[۱۶] [۴۸]
		مهارت‌های فرد	[۷] [۱۶] [۴۰] [۴۲] [۴۸]
	منابع انسانی هوشمند (X14)	تصمیم‌گیری بهتر با استفاده از تحلیل داده‌ها	[۴۸-۵۰]
		کاهش هزینه‌ها به‌وسیله سیستم خودکار	[۱۲] [۴۲] [۴۸, ۴۹]
		افزایش کارایی با استفاده از اینترنت اشیا جهت کاهش هزینه‌ها	[۱۲] [۴۸, ۴۹]
		کاهش خطا در فرایندهای تولید و خدمات	[۴۸, ۴۹]
		بهبود بهره‌وری با استفاده از هوش مصنوعی و تحلیل داده‌ها	[۴۸, ۴۹]
تکنولوژی	سیستم ایمنی (X15)	پیشگیری از خرابی و تعمیرات پیشگیرانه	[۲۸] [۳۱] [۴۱] [۴۹, ۴۴] [۵۳-۵۶]
		بهبود ایمنی عملیات	[۸] [۱۳] [۱۵] [۴۳] [۴۹, ۵۴] [۵۸-۵۶]
	رباتیک (X16)	کاهش هزینه‌ها و زمان	[۲] [۴] [۵, ۵] [۳۰, ۳۱] [۴۱] [۴۴] [۵۴] [۵۸, ۵۹]
		بهبود فرایندهای تولیدی	[۲] [۴] [۴۱] [۴۳, ۴۴] [۵۴]
	اینترنت اشیا (X17)	اتصال دستگاه‌ها و سیستم‌ها	[۲] [۴] [۳۰] [۴۰, ۴۱] [۴۴] [۵۴] [۵۶] [۵۹-۶۳]
		دسترسی به اطلاعات در زمان موردنیاز	[۲] [۵] [۸] [۳۱] [۴۱] [۴۳, ۴۴] [۵۴] [۵۶] [۶۰, ۶۱] [۶۳]
		نظارت از راه دور	[۲] [۸] [۳۱] [۴۱] [۴۴] [۵۴] [۶۰-۶۲]
		سیستم خودکار جهت کاهش هزینه	[۲] [۸] [۳۰] [۴۴] [۵۴, ۵۵] [۶۰, ۶۲]
	هوش مصنوعی (X18)	بهینه‌سازی عملیات و پیشگیری از خرابی	[۲] [۴] [۴۴] [۵۴]
		بهبود سرعت و دقت در فرایندها	[۲] [۴] [۴۳, ۴۴] [۵۴]
		بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری	[۲] [۴] [۴۴] [۵۴]
	تحلیل داده (X19)	بهره از داده‌های سازمان	[۲] [۴] [۳۰, ۳۱] [۴۳, ۴۴] [۵۴]

در نهایت پس از بررسی مقاله‌ها، با توجه به مبانی نظری پژوهش و شهود پژوهشگر ۶۰ کد باز بدون تکرار استخراج گردید که برخی از کدها به دلیل بی‌ربط بودن حذف گردید و برخی از کدها به دلیل مشابهت و هم‌راستایی معنایی به یک کد تبدیل

گردید و همچنین چهار کد انتخابی زنجیره تأمین هوشمند، عوامل سازمانی، منابع انسانی و تکنولوژی و ۱۹ کد محوری مدیریت زنجیره تأمین، همکاری بین تأمین کننده و توزیع کننده، سیستم حمل و نقل، نوآوری کارآفرینانه، آموزش و یادگیری، برنامه‌ریزی استراتژیک، فرهنگ سازمانی، توانایی تجاری، توانایی دیجیتالی، خلاقیت تیمی، به‌روزرسانی نیروی کار، توانمندی کارکنان، عوامل فردی، منابع انسانی هوشمند، سیستم ایمنی، رباتیک، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و تحلیل داده استخراج گردید. در نهایت پس از اتمام مرحله کیفی پژوهش و استخراج عوامل مؤثر داخلی بر پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی، در مرحله کمی پژوهش از روش تحلیل اثرات متقابل ساختاری-تفسیری استفاده گردید.

۵-۲- بخش کمی

پس شناسایی عوامل تأثیرگذار نهایی داخلی صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی جهت بررسی میزان تأثیر هریک از عوامل نسبت به همدیگر در ماتریس خود تعاملی ساختاری (SSIM) وارد شد. پرسشنامه ۱۹*۱۹ و به صورت مقایسه دو به دو طراحی شده و هر ۱۹ عامل در نظر و ستون اول جدول ذکر شد و از کارشناسان خواسته شد که نوع ارتباطات دو به دویی عوامل را مشخص کنند بدین منظور از چهار نماد به شرح زیر استفاده می‌گردد.

- نماد V: یعنی I منجر به J می‌شود.
- نمادA : یعنی منجر J به I می‌شود.
- نمادX : ارتباط دوطرفه از I به J و برعکس.
- نماد O: هیچ ارتباطی بین I و J وجود ندارد.

۵-۳- 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 به گونه‌ای 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 ماتریسSSIM به اعداد صفر و یک بر حسب قواعد زیر می‌توان به ماتریس دست پیدا کرد:

- اگر خانه IJ در ماتریس SSIM 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 SSIM نماد A گرفته است خانه مربوطه در ماتریس دسترسی عدد صفر و به خانه قرینه آن یعنی خانه I،J عدد ۱ اختصاص می‌یابد.
- اگر خانه IJ در ماتریس SSIM 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 SSIM 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 ISM و اعمال تغییرات موردنظر، ماتریس دسترسی اولیه به همراه ماتریس نهایی مطابق **جدول ۵** تبدیل می‌شود.

۵-۴- ماتریس دسترسی نهایی

پس از تشکیل ماتریس دسترسی اولیه عوامل مؤثر داخلی بر پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی 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 ۵ ماتریس دسترسی نهایی

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	نفوذ
X1	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲
X2	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳
X3	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
X4	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۴
X5	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱۳
X6	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۷
X7	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۳
X8	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۷
X9	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۵
X10	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۷
X11	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۲
X12	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۴
X13	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۹
X14	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱۳
X15	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱۰
X16	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱۵
X17	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱۵
X18	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱۸
X19	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱۸
وابستگی	۸	۸	۸	۱۲	۹	۴	۱۱	۱۵	۱۳	۱۳	۱۱	۱۳	۹	۱۳	۱۱	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	

با توجه به جدول ۵ عوامل تحلیل داده و هوش مصنوعی و همچنین برنامه‌ریزی استراتژیک دارای بالاترین نفوذ و توانایی تجاری بالاترین وابستگی را دارند.

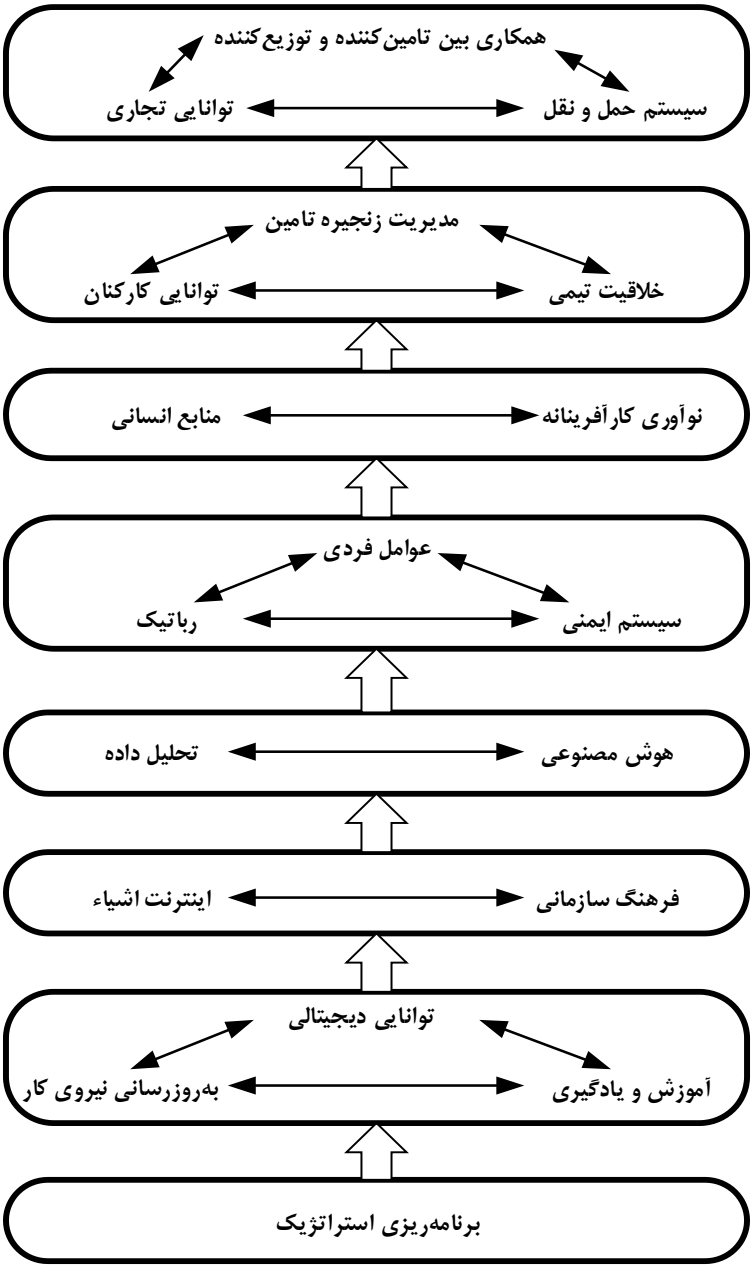
۵-۵- سطح‌بندی عوامل مؤثر داخلی بر پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی

برای تعیین سطح عوامل در مدل نهایی به ازای هر کدام از آن‌ها، به 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 به‌شدت 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 ۶ سطح‌بندی عوامل مؤثر داخلی بر پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی

عوامل مؤثر	مجموعه ورودی	مجموعه خروجی	مجموعه مشترک	سطح
مدیریت زنجیره تأمین	۶،۹،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹			۲
همکاری بین تأمین‌کننده و توزیع‌کننده	۱،۳،۶،۷،۸،۱۵،۱۸،۱۹	۱،۳،۸	۱،۳،۸	۱
سیستم حمل‌ونقل	۱،۲،۶،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹	۲	۲	۱
نوآوری کارآفرینانه	۵،۶،۷،۹،۱۱،۱۳،۱۴،۱۶،۱۸،۱۹	۱۰،۱۴	۱۰،۱۴	۳
آموزش و یادگیری	۹،۱۱	۹،۱۱	۹،۱۱	۷
برنامه‌ریزی استراتژیک	-	-	-	۸
فرهنگ‌سازمانی	۵،۶،۹،۱۷	۵،۱۷	۵،۱۷	۶
توانایی تجاری	۲،۴،۵،۶،۹،۱۰،۱۱،۱۲،۱۳،۱۴،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹	۲،۹،۱۵،۱۶،۱۷،۱،۱۹	۲،۹،۱۵،۱۶،۱۷،۱،۱۹	۱
توانایی دیجیتالی	۵ ،۶ ،۱۱	۵ ،۱۱	۵ ،۱۱	۷
خلاقیت تیمی	۴،۵،۶،۷،۹،۱۱،۱۲،۱۳،۱،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹	۴،۵،۹،۱۲،۱۳،۱۴	۴،۵،۹،۱۲،۱۳،۱۴	۲
به‌روزرسانی نیروی کار	۹،۶،۵	۹	۹	۷
توانمندی کارکنان	۴،۵،۶،۷،۹،۱۰،۱۱،۱۳،۱،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹	۴،۵،۷،۹،۱۰،۱۱،۱۳،۱۴،۱۵، ۱۶،۱۷،۱۸،۱۹	۴،۵،۷،۹،۱۰،۱۱،۱۳،۱۴،۱۶، ۱۷،۱،۱۹	۲
عوامل فردی	۵،۷،۹،۱۱،۱۷،۱۸،۱۹	۵،۷،۹،۱۱	۵،۷۷۹،۱۱	۴
منابع انسانی هوشمند	۴،۵،۶،۷،۹،۱۱،۱۳،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹	۴،۵،۷،۹،۱۱،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸، ۱۹	۴،۵،۷،۹،۱۱،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸، ۱۹	۳
سیستم ایمنی	۶،۷،۹،۱۱،۱۶،۱۷،۱۸،۱،۹	۷،۹،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹	۷،۹،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹	۴
رباتیک	۵،۶،۷،۹،۱۱،۱۵،۱۷،۱۸،۱۹	۶،۷،۹،۱۱،۱۵،۱۷،۱۸،۱۹	۶،۷،۹،۱۱،۱۵،۱۷،۱۸،۱۹	۴
اینترنت اشیا	۵،۶،۷،۹،۱۱	۶،۷،۹،۱۱	۶،۷،۹،۱۱	۶
هوش مصنوعی	۵،۶،۷،۹،۱۱،۱۷،۱۹	۵،۶،۷،۹،۱۱،۱۷،۱۹	۵،۶،۷،۹،۱۱،۱۷،۱۹	۵
تحلیل داده	۵،۶،۷،۹،۱۱،۱۷،۱۸	۵،۶،۷،۹،۱۱،۱۷،۱۸	۵،۶،۷،۹،۱۱،۱۷،۱۸	۵

همان‌طور که در جدول ٦ ملاحظه می‌شود عوامل مؤثر داخلی بر پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی در هشت سطح طبقه‌بندی شدند. در این بخش برنامه‌ریزی استراتژیک، آموزش و یادگیری، توانایی دیجیتالی و به‌روزرسانی نیروی کار در پایین‌ترین سطح قرار گرفته‌اند سطح هشتم که همانند سنگ زیربنایی مدل عمل می‌کند. برای شناسایی عوامل مؤثر داخلی بر پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی می‌بایست 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 همکاری بین تأمین‌کننده و توزیع‌کننده، سیستم حمل و نقل و توانایی تجاری قرار گرفته‌اند. هر چقدر عوامل در سطح بالاتری قرار گیرند قدرت تحریک‌کنندگی آن‌ها کمتر و میزان وابستگی بیشتر می‌شود. در واقع عوامل سطح اول تأثیرگذاری کمتر اما تأثیرپذیری بیشتری دارند.

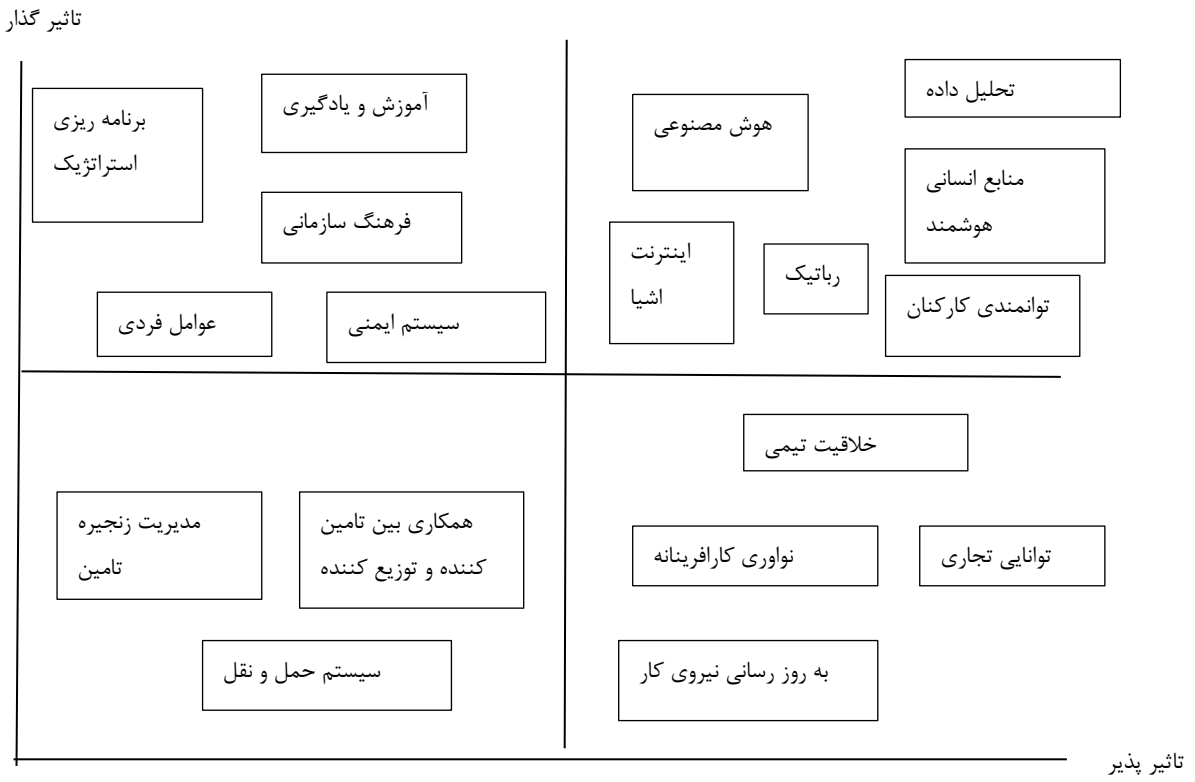


شکل ۳ مدل تفسیری-ساختاری عوامل مؤثر داخلی بر پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی تحلیل MICMAC

در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار MICMAC 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 داخلی بر پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی را در یکی از گروه‌ها یا خوشه‌های چهارگانه طبقه‌بندی نمود:

گروه اول (ربع اول) شامل متغیرهای تأثیرگذار است که قدرت نفوذ و وابستگی ضعیفی دارند. این متغیرها تا حدودی از سایر متغیرها مجزا هستند و ارتباطات کمی دارند درواقع این متغیرها قدرت تبیین‌کنندگی پایینی در شکل‌گیری روابط در مدل سلسله‌مراتبی دارند. این متغیرها در قسمت شمال 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، این متغیرها در شمال شرقی نمودار واقع شده است. گروه

چهارم (ربع چهارم) متغیرهای تأثیرگذار (کلیدی) را در برمی‌گیرد این متغیرها دارای قدرت نفوذ بالا و وابستگی پایینی هستند، این متغیرها 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 روی 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 مکانیزم‌هایی را انتخاب نماید تا در دیگر متغیرها بهبودی حاصل شود.



شکل ۴ عوامل مؤثر داخلی بر پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی با استفاده از نرم‌افزار micmac

در گروه متغیرهای وابسته عوامل مؤثر خلاقیت تیمی، توانایی تجاری، نوآوری کارآفرینانه، به‌روزرسانی نیروی کار قرار گرفته‌اند. عواملی که از قدرت وابستگی بالایی برخوردارند و در واقع هرگونه عملی بر روی این متغیرها باعث تغییر سایر متغیرها می‌شود و خود آن‌ها کمتر می‌توانند متغیرهای دیگر را تغییر دهند. برنامه‌ریزی برای این عوامل نیز زیاد مناسب نیست به خاطر این‌که در سطوح پائین تأثیرگذاری قرار داشته و باید برنامه‌ریزی برای عواملی صورت پذیرد که دارای اثرگذاری بیشتری بوده و در سطوح بالای مدل قرار دارند. در گروه متغیرهای دووجهی و کلیدی عوامل مؤثر تحلیل داده، هوش مصنوعی، توانایی دیجیتال، منابع انسانی هوشمند، اینترنت اشیا، رباتیک، توانمندسازی کارکنان قرار گرفته است عاملی که از قدرت نفوذ تأثیرگذاری و وابستگی بالایی برخوردار است. در واقع هر گونه عملی بر روی این متغیر باعث تغییر سایر متغیرها می‌شود. عامل یا عواملی که در این سطح هم قرار دارند هم تأثیرگذار و هم تأثیرپذیر است؛ یعنی عوامل سطح قبلی پیش‌نیاز این سطح بوده و وابستگی به سطوح قبلی در این عوامل بالاست همچنین عوامل این سطح نیز پیش‌نیاز وقوع عوامل سطح بعدی است و قدرت نفوذ بیشتری بر سطح بعدی دارد. در گروه متغیرهای تأثیرگذار عوامل مؤثر برنامه‌ریزی استراتژیک، آموزش و یادگیری، سیستم ایمنی، فرهنگ‌سازمانی، عوامل فردی قرار گرفته‌اند. عواملی که دارای قدرت نفوذ بالا و وابستگی پایینی هستند، این عوامل همراه با متغیرهای دووجهی و کلیدی مانند سنگ بنای ساختاری سیستم عمل می‌کنند و برای تغییر و تحول اساسی در عملکرد سیستم باید در وهله اول روی آن‌ها تأکید کرد و در آخر متغیرهای مستقل که شامل عوامل مدیریت زنجیره تأمین، سیستم حمل‌ونقل و همکاری بین تأمین‌کننده و توزیع‌کننده قرار گرفته‌اند. این متغیر از سایر متغیرهای پژوهش تأثیر نپذیرفته

و تأثیر نیز نمی‌گذارد و ارتباط بسیار کمی با سیستم دارد.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف پژوهش حاضر ارائه مدل ساختاری-تفسیری عوامل مؤثر داخلی بر پذیرش صنعت ۴.۰ در بهبود کسب‌وکار تولیدی در استان یزد بود. در این پژوهش عوامل مؤثر از طریق مرور ادبیات به‌وسیله روش فراترکیب شناسایی گردید که در نهایت ۶۰ کدباز، ۱۹ کد محوری و در نهایت ۴ کد انتخابی استخراج گردید، سپس ۱۹ مضمون‌های فرعی به‌صورت پرسش‌نامه مقایسه زوجی در اختیار خبرگان حوزه صنایع تولیدی در استان یزد که حداقل ده سال سابقه کار داشتند قرار گرفت و اطلاعات به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه و تحلیل آن با استفاده از روش ساختاری-تفسیری، روابط و اهمیت این عوامل مؤثر مورد بررسی قرار گرفته شد. در بخش کیفی پژوهش چهار کد انتخابی زنجیره تأمین هوشمند، عوامل سازمانی، منابع انسانی و تکنولوژی استخراج گردید. عوامل سازمانی در صنعت ۴.۰ می‌توانند تأثیر مستقیم و حیاتی در آینده کسب‌وکار تولیدی داشته باشند. صنعت ۴.۰ نیازمند تغییر و تطبیق فرهنگ‌سازمانی است. سازمان‌هایی که بتوانند فرهنگ‌سازمانی خود را برای پذیرش و اجرای تکنولوژی‌های صنعت ۴.۰ تغییر دهند، قادر به تسریع روند نوآوری و توسعه پایدار خواهند بود. این تغییر فرهنگ‌سازمانی شامل ایجاد فضای کاری خلاق و متقابل، تشویق به همکاری و تعامل بین بخش‌های مختلف سازمان، توانمندسازی کارکنان برای استفاده از فناوری‌های پیشرفته و ایجاد یک فرهنگ ارزش‌های پایدار می‌شود. ایجاد و توسعه توانمندی‌های سازمانی مناسب برای استفاده از تکنولوژی‌های صنعت ۴.۰ امری بسیار حیاتی است. سازمان‌ها باید توانمندی‌های موردنیاز را در حوزه‌هایی مانند فناوری اطلاعات، تحلیل داده‌ها، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و رباتیک توسعه دهند. این توانمندی‌ها به سازمان‌ها کمک می‌کنند تا بهبود عملکرد، کارایی بالا، مدیریت هوشمند منابع و بهینه‌سازی فرایندها را داشته و درنهایت به بهبود کسب‌وکار منجر شوند. زنجیره تأمین هوشمند یا همان "زنجیره تأمین ۴.۰" در صنعت ۴.۰ اثر مستقیم و قابل‌توجهی بر آینده کسب‌وکارهای تولیدی دارد. زنجیره تأمین هوشمند به‌عنوان یک سیستم مبتنی بر فناوری‌های دیجیتال و همکاری بین عناصر زنجیره تأمین، می‌تواند بهبود عملکرد و پایداری کسب‌وکار را تسهیل کند. زنجیره تأمین هوشمند، امکاناتی را فراهم می‌کند تا عملکرد زنجیره تأمین را بهبود بخشد. با استفاده از فناوری‌های مانند اینترنت اشیا، تحلیل داده‌ها، هوش مصنوعی و بلاکچین ، امکان مانیتورینگ و کنترل بیشتری بر روند تولید، نقل‌وانتقال، ذخیره‌سازی و توزیع محصولات فراهم می‌شود. این بهبودها باعث کاهش ضایعات، بهبود کارایی، کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت محصولات می‌شود و درنهایت به بهبود کسب‌وکار کمک می‌کند. با استفاده از تکنولوژی‌های صنعت ۴.۰، شفافیت بیشتری در زنجیره تأمین ایجاد می‌شود. اطلاعات مربوط به مواد، فرایندها، محصولات و اطلاعات لازم برای پایش و کنترل کیفیت به‌صورت برخط و به‌روز در دسترس قرار می‌گیرد. در عوامل مؤثر تکنولوژی در صنعت ۴.۰ به مجموعه‌ای از تحولات و نوآوری‌های فناورانه اشاره دارد که در حال حاضر در حال اتفاق افتادن است و قرار است تأثیر عمده‌ای بر بهبود کسب‌وکار تولیدی داشته باشد. صنعت ۴.۰ بر پایه استفاده از تکنولوژی‌هایی مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، اتوماسیون و رباتیک، تحلیل داده‌ها، سیستم‌های سایبری، واقعیت مجازی و افزوده شده و سایر فناوری‌های پیشرفته ساخته شده است. با استفاده از تکنولوژی‌های صنعت ۴.۰، شرکت‌ها قادر خواهند بود عملیات خود را بهبود بخشیده و به‌صورت هوشمندتر و کارآمدتر انجام دهند. اتوماسیون و رباتیک، بهره‌وری انرژی، بهینه‌سازی زمان و منابع، کاهش خطاها و افزایش سرعت تولید از جمله مزایایی هستند که بهبود کارایی عملیات را تضمین می‌کنند. این موضوع می‌تواند منجر به کاهش هدر رفت منابع و انرژی، کاهش آلودگی محیط‌زیست و بهبود پایداری عملیات شرکت‌ها شود. همچنین، تکنولوژی‌های صنعت ۴.۰ می‌توانند به شرکت‌های تولیدی کمک کنند تا مدل کسب‌وکار خود را بهبود بخشند و تغییرات اساسی را در آن ایجاد کنند. منابع انسانی در صنعت ۴.۰ نقش بسیار مهمی در بهبود کسب‌وکار تولیدی دارند. منابع انسانی مجرب و ماهر، می‌توانند در ارتقای و بهره‌وری از تجهیزات و فناوری‌های صنعت ۴.۰ نقش بسزایی ایفا کنند. آن‌ها می‌توانند فناوری‌های پیشرفته را به‌خوبی مدیریت کنند، بهبودهای لازم را در فرایندها اعمال کنند و بهینه‌سازی‌های لازم را در زنجیره تأمین و مدیریت تولید انجام دهند. همچنین، منابع انسانی ماهر می‌توانند بهبود قابل‌توجهی در ارتباطات و همکاری داخلی و خارجی سازمان ایجاد کنند. آن‌ها می‌توانند نقش مهمی در تسهیل جریان اطلاعات، همکاری بین بخش‌ها و تیم‌ها و ایجاد

ارتباطات سازنده با مشتریان و همکاران داشته باشند. همچنین، آن‌ها می‌توانند در توسعه شبکه‌های ارتباطی با صنعتیان دیگر نیز نقش مهمی ایفا کنند.

در بخش کمی پژوهش عوامل تأثیرگذار داخلی صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی به هشت سطح طبقه‌بندی گردید. برنامه‌ریزی استراتژیک، به‌روزرسانی نیروی کار، توانایی دیجیتالی و آموزش و یادگیری در پایین‌ترین سطح قرار گرفته (سطح هفت و هشت) و به مثابه سنگ زیربنایی عمل می‌کند به نحوی که برای توسعه کسب و کار تولیدی می‌بایست از این سطح یا عوامل شروع کرد چراکه این عوامل بیشترین تأثیر را بر دیگر عوامل دارد و در بالاترین سطح (سطح اول) همکاری بین تأمین‌کننده و توزیع‌کننده، سیستم حمل و نقل و توانایی تجاری قرار گرفت. این عوامل قدرت تحریک کنندگی کمتر و میزان وابستگی بیشتر دارند. در واقع این عوامل تأثیرگذاری کمتر اما تأثیرپذیری بیشتری دارند.

برنامه‌ریزی استراتژیک، به‌روزرسانی نیروی کار، توانایی‌های دیجیتال و آموزش جنبه‌های حیاتی صنعت ۴.۰ برای بهبود کسب و کار تولیدی هستند. به‌روزرسانی نیروی کار برای تطبیق مشاغل با صنعت ۴.۰ ضروری است. مهارت دیجیتالی یک عنصر حیاتی برای موفقیت کسب و کار در این دوران است. شرکت‌ها باید در آموزش و توسعه کارکنان سرمایه گذاری کنند تا اطمینان حاصل کنند که نیروی کار آن‌ها به مهارت‌های دیجیتال لازم مجهز است. این را می‌توان با ایجاد فرهنگی که یادگیری و توسعه را تشویق می‌کند و همچنین تمرکز بر طرز فکر، مهارت و مجموعه ابزار کارمندان به دست آورد. در واقع، ۹۴ درصد از متخصصان تأیید می‌کنند که اگر کسب و کار فعلی خود را در یادگیری و توسعه مستمر سرمایه گذاری کنند، به آن‌ها وفادار خواهند ماند [۴]. توانایی دیجیتال برای رونق کسب‌وکارها در صنعت ۴.۰ حیاتی هستند. شرکت‌ها باید روی فناوری‌های دیجیتال برای کارمندان سرمایه گذاری کنند، زیرا بیش از نیمی از شرکت‌های متوسط هزینه‌های خود را در این زمینه به میزان قابل توجهی افزایش داده‌اند. علاوه بر این، ۶۹ درصد از این شرکت‌ها قصد دارند در آینده هزینه‌های خود را برای ابزارهای دیجیتال افزایش دهند [۴۷]. در نتیجه، برنامه‌ریزی استراتژیک، به‌روزرسانی نیروی کار، افزایش توانایی‌های دیجیتال و سرمایه‌گذاری در آموزش و یادگیری برای رونق کسب‌وکارها در صنعت ۴.۰ و دستیابی به بهبود کسب و کار تولیدی ضروری است. با اتخاذ این استراتژی‌ها، شرکت‌ها می‌توانند اطمینان حاصل کنند که رقابتی باقی می‌مانند و به آینده‌ای پایدارتر کمک می‌کنند. نتایج به دست آمده در این پژوهش با توجه به جدید بودن این موضوع در ایران و عدم وجود پژوهش‌های مشابه در این زمینه قابل مقایسه نبوده اما در رابطه با استفاده مؤلفه‌ها در صنعت ۴.۰ می‌توان به پژوهش دا روشا [1] و همکاران (۲۰۲۲) اشاره نمود که توانایی های دیجیتال، به‌روزرسانی نیروی کار و برنامه‌ریزی استراتژیک با عوامل مؤثر شناسایی شده در پژوهش حاضر هم‌راستا می‌باشد [۶۴]. در پژوهش خان [2] و همکاران (۲۰۲۲) به توانایی‌های دیجیتال در پژوهش خود اشاره نموده است که اینترنت اشیا را مهم‌ترین ابزار دیجیتالی در توسعه پایداری در صنعت ۴.۰ می‌داند. این پژوهش از نظر مؤلفه توانایی دیجیتال با پژوهش حاضر هم‌راستا می‌باشد [۳۷]. در پژوهش رکن الدینی و همکاران (۱۴۰۲) به عوامل سازمانی که شامل استراتژی سازمان و تخصص و آگاهی کارکنان در خصوص صنعت ۴.۰ بوده است اشاره شده است [۵۹].

همکاری بین تأمین‌کنندگان و توزیع‌کنندگان یک جنبه حیاتی از صنعت ۴.۰ در بهبود کسب و کار تولیدی است. فناوری‌های صنعت ۴.۰، مانند اینترنت اشیا، محاسبات ابری، تجزیه و تحلیل و هوش مصنوعی، می‌توانند به طور قابل توجهی همکاری زنجیره تأمین را بهبود بخشند و به شیوه‌های تجاری کمک کنند. در مطالعه‌ای که کانکل [3] و همکاران (۲۰۲۲) به انجام رسانیده‌اند بر روی همکاری زنجیره تأمین پایدار در صنعت الکترونیک دریافتند که دیجیتالی شدن و فناوری‌های صنعت ۴.۰ پیامدهای مهمی برای همکاری زنجیره تأمین پایدار دارند و با پژوهش حاضر هم‌راستا می‌باشد [۵۰]. در پژوهش چاوهان [4] و همکاران (۲۰۲۲) به این نتیجه رسیدند که این فناوری‌ها سبب ارتباطات بهتر، اشتراک‌گذاری داده‌ها در زمان واقعی و فرآیندهای تصمیم‌گیری بهبودیافته بین تامین‌کنندگان و توزیع‌کنندگان را امکان‌پذیر می‌کنند که در نهایت منجر به شیوه‌های تجاری پایدارتر می‌شود [۵۳]. مطالعه دیگری که فروزش نژاد (۲۰۲۳) در مورد انتخاب تأمین کننده پایدار در عصر صنعت ۴.۰

[1] da Rocha
[2] Khan
[3] Kunkel
[4] Chauhan

اهمیت در نظر گرفتن پایداری، ناب، چابکی و جنبه‌های صنعت ۴.۰ را در فرآیند انتخاب تأمین کننده برجسته می‌کند با در نظر گرفتن هم‌زمان این عوامل، کسب و کارها می‌توانند عملکرد کلی خود را بهبود بخشند و به آینده‌ای پایدارتر کمک کنند [۶۵]. فناوری‌های صنعت ۴.۰ نیز نقش مهمی در مدیریت زنجیره تأمین پایدار دارند. در مطالعه دیگری چاوهان و همکاران (۲۰۲۲) بر روی دیجیتالی سازی مدیریت زنجیره تأمین با فناوری‌های توانمند کننده صنعت ۴.۰ بر اهمیت اینترنت اشیا، محاسبات ابری، هوش مصنوعی، داده‌های بزرگ، بلاکچین و فناوری‌های دوقلوی دیجیتال در دستیابی به پایداری در مدیریت زنجیره تأمین تأکید می‌کند [۵۳]. در نتیجه با توجه به هم‌راستایی پژوهش حاضر با پژوهش‌های انجام گرفته تاکید بر همکاری بین تأمین کنندگان و توزیع کنندگان یک متغیر وابسته در صنعت ۴.۰ برای بهبود کسب و کار تولیدی است. با استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰، کسب و کارها می‌توانند همکاری زنجیره تأمین را بهبود بخشند، تصمیمات بهتری بگیرند و در نهایت به آینده‌ای بهتر کمک کنند.

مفهوم صنعت ۴.۰ تأثیر قابل توجهی بر بهبود کسب و کار تولیدی، به ویژه در زمینه سیستم‌های حمل و نقل دارد. فناوری‌های صنعت ۴.۰، مانند اینترنت اشیا، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ و محاسبات ابری، می‌توانند به توسعه مدل‌ها و شیوه‌های تجاری در صنایع مختلف از جمله حمل‌ونقل کمک کنند. در مطالعه کیس و صدری [۱] (۲۰۲۲) بیان نمودند که در زمینه توسعه کسب و کار پایدار، فناوری‌های صنعت ۴.۰ می‌توانند با بهینه‌سازی مسیرها، کاهش مصرف انرژی و به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی، به بهبود کارایی سیستم‌های حمل‌ونقل کمک کنند [۴۷]. همچنین شارما [۲] و همکاران (۲۰۲۳) مثالی در این رابطه آورده‌اند که راه‌حل‌های مبتنی بر اینترنت اشیا می‌توانند نظارت و کنترل در زمان واقعی سیستم‌های حمل‌ونقل را فعال کنند که منجر به عملیات کارآمدتر و سازگار با محیط‌زیست شود [۶۶]؛ علاوه بر این فرانسلی و توری [۳] (۲۰۲۱) در مطالعه خود بیان می‌کنند که تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ می‌تواند به سازمان‌ها کمک کند تا تصمیمات مبتنی بر داده را برای بهینه‌سازی شبکه‌های حمل و نقل خود، کاهش هزینه‌ها و به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی اتخاذ کنند [۵۶]. کانکل و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه خود اشاره نموده‌اند که فناوری‌های صنعت ۴.۰ همچنین می‌توانند از توسعه مدل‌های تجاری پایدار در بخش حمل‌ونقل حمایت کنند. به عنوان مثال، اتخاذ اصول اقتصاد دایره‌ای و مدل‌های کسب و کار پایدار می‌تواند به سازمان‌ها در دستیابی به مزایای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی کمک کند [۵۰]. در این زمینه شارما و همکاران (۲۰۲۲) در مقاله دیگری اشاره می‌نمایند که فناوری‌های صنعت ۴.۰ می‌توانند اجرای زنجیره‌های تأمین پایدار، کارخانه‌های هوشمند و شهرهای هوشمند را تسهیل کنند [۶۷]. در مقاله استرانهاگن [۴] و همکاران (۲۰۱۷) لجستیک ۴.۰ را، عنصری از صنعت ۴.۰ بیان نموده‌اند که امکانات جدیدی را برای مدل‌های تجاری پایدار در بخش حمل و نقل ارائه می‌دهد [۶۸]. در نتیجه با توجه به هم‌راستایی پژوهش حاضر با مطالعات انجام پذیرفته می‌توان نتیجه گرفت، پذیرش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در سیستم‌های حمل‌ونقل می‌تواند به طور قابل توجهی به بهبود کسب و کار تولیدی کمک کند. این فناوری‌ها می‌توانند به بهبود کارایی سیستم‌های حمل و نقل، کاهش اثرات زیست‌محیطی و حمایت از توسعه مدل‌ها و شیوه‌های تجاری کمک کنند. در نتیجه، سازمان‌های بخش حمل‌ونقل می‌توانند به نتایج اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بهتری دست یابند.

متغیر وابسته توانایی تجاری در صنعت ۴.۰ می‌تواند بر بهبود کسب و کار تولیدی تأثیر بگذارد. کیم [۵] (۲۰۲۱) متغیرهای مؤثر بر رشد پایدار در شرکت‌های کوچک و متوسط، از جمله توانایی مدیریت کارآفرین و توانایی فنی را ارزیابی کرد و نشان داد که متغیرهای تأثیرگذار برای رشد پایدار بر اساس صنعت متفاوت است. توانایی تجاری پایدار مستلزم توسعه مداوم مهارت‌ها و دانش کارکنان است [۳۵]. در مطالعه بانسال و دژاردین [۶] (۲۰۱۴) پایداری کسب و کار را به عنوان توانایی شرکت‌ها برای پاسخگویی به نیازهای مالی کوتاه‌مدت خود بدون به خطر انداختن اهداف بلندمدت خود از جمله پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی تعریف نمودند [۴۴]. بر اساس هم‌راستایی پژوهش حاضر با مطالعات انجام پذیرفته، به نظر می‌رسد توانایی کسب و

[1] Kays & Sadri
[2] Sharma
[3] Franceli & Turri
[4] Strandhagen
[5] Kim
[6] Bansal & DesJardine

کارها برای انطباق با صنعت ۴.۰ می‌تواند بر بهبود کسب و کار تولیدی آن‌ها تأثیر بگذارد. این می‌تواند شامل عواملی مانند مدیریت و توانایی فنی و همچنین توسعه مهارت‌ها و دانش در بین کارکنان باشد. در نهایت، بهبود کسب و کار تولیدی نیازمند چشم‌اندازی بلندمدت است که اهداف اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را در نظر می‌گیرد.

برای تقویت توسعه کسب‌وکارهای تولیدی در زمینه صنعت ۴.۰، تمرکز بر استراتژی‌های عملی مبتنی بر عوامل داخلی شناسایی‌شده که بر خلاقیت تیم، توانایی کسب‌وکار، نوآوری کارآفرینی و به‌روزرسانی نیروی کار تأثیر می‌گذارند، ضروری است. در اینجا چندین پیشنهاد عملی به دست آمده از یافته‌های تحقیق ارائه شده است.

در تجزیه و تحلیل داده‌ها و هوش مصنوعی می‌توان بیان نمود، برای تسهیل تصمیم‌گیری در زمان واقعی، روی تجزیه و تحلیل داده‌های پیشرفته و قابلیت‌های هوش مصنوعی سرمایه گذاری کنید. این امر به شرکت‌های تولیدی امکان می‌دهد تا به سرعت به تغییرات بازار پاسخ دهند و فرآیندهای تولید را بر اساس بینش‌های مبتنی بر داده‌ها بهینه کنند.

در تقویت توانایی‌های دیجیتال می‌توان بیان نمود، آموزش و منابع را برای بهبود شایستگی‌های دیجیتالی نیروی کار ارائه دهید. این شامل آشنایی کارکنان با فناوری‌های جدید مانند اینترنت اشیا و روباتیک است که برای اجرای مؤثر استراتژی‌های صنعت ۴.۰ حیاتی هستند.

در توانمندسازی منابع انسانی هوشمند می‌توان بیان نمود، با مشارکت دادن کارکنان در فرآیندهای تصمیم‌گیری و تشویق ایده‌های نوآورانه، فرهنگ توانمندسازی را در میان کارکنان تقویت کنید. این می‌تواند منجر به افزایش انگیزه و خلاقیت شود که برای نوآوری کارآفرینی حیاتی است.

در اجرای برنامه‌ریزی استراتژیک می‌توان بیان نمود، یک برنامه استراتژیک جامع که با اهداف صنعت ۴.۰ همسو باشد، ایجاد کنید. این باید شامل اهداف روشن، تخصیص منابع و جدول زمانی برای پذیرش فناوری‌ها و فرآیندهای جدید باشد.

در ترویج آموزش و یادگیری مستمر می‌توان بیان نمود، برنامه‌های آموزشی مستمری را ایجاد کنید که هم بر مهارت‌های فنی و هم بر مهارت‌های نرم تمرکز دارند. این اطمینان حاصل می‌کند که نیروی کار سازگار باقی می‌ماند و قادر به استفاده مؤثر از فناوری‌های جدید است.

در فرهنگ سازمانی می‌توان بیان نمود، فرهنگ سازمانی ایجاد کنید که از نوآوری و ریسک‌پذیری حمایت می‌کند. تشویق ارتباطات باز و همکاری بین تیم‌ها می‌تواند منجر به افزایش خلاقیت و توانایی‌های حل مسئله شود.

در مدیریت زنجیره تأمین می‌توان بیان نمود، بر بهبود کارایی زنجیره تأمین از طریق ادغام بهتر تأمین کنندگان و توزیع کنندگان تمرکز کنید. این را می‌توان با استفاده از ابزارهای دیجیتالی که دید و هماهنگی را در سراسر زنجیره تأمین افزایش می‌دهد، به دست آورد.

در تقویت سیستم‌های حمل و نقل می‌توان بیان نمود، در فناوری‌های لجستیک سرمایه گذاری کنید که فرآیندهای حمل و نقل را ساده می‌کند. این شامل استفاده از هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی مسیر و ردیابی بلادرنگ برای کاهش تأخیر و بهبود ارائه خدمات است.

در محدودیت‌های پژوهش نیز می‌توان بیان نمود که پژوهش بر روی گروه خاصی از کارشناسان شرکت‌های تولیدی کوچک و متوسط متمرکز شده است. این نمونه اندک ممکن است به طور کامل نشان‌دهنده بخش تولید گسترده‌تر، به ویژه شرکت‌های بزرگ‌تر یا مناطق مختلف جغرافیایی نباشد. همچنین، یافته‌ها ممکن است برای صنایع خاصی در تولید کاربرد بیشتری داشته باشد و تعمیم‌پذیری را در تمام بخش‌ها محدود کند. اتکای مطالعه به نظرات متخصص می‌تواند سوگیری ایجاد کند، زیرا دیدگاه‌های این افراد ممکن است تمام دیدگاه‌های صنعت را در بر نگیرد. کارشناسان ممکن است سطوح مختلفی از تجربه داشته باشند و ممکن است منافع یا سوگیری‌های خاصی را نمایندگی کنند. از طرف دیگر، این تحقیق عوامل داخلی مختلف و روابط آن‌ها را شناسایی می‌کند، اما ماهیت پویای این تعاملات ممکن است به طور کامل درک نشده باشد. تغییر در یک عامل

می‌تواند منجر به عواقب غیر قابل پیش‌بینی در سایر عوامل شود که ممکن است به اندازه کافی در مطالعه مدل‌سازی نشده باشد.

در پیشنهاد به پژوهشگران آتی می‌توان بیان نمود، مطالعات آتی باید شامل طیف متنوع‌تری از شرکت کنندگان باشد که کارشناسان شرکت‌های تولیدی بزرگ‌تر و مکان‌های جغرافیایی مختلف را در خود جای دهد. این به درک اینکه چگونه یافته‌ها ممکن است در زمینه‌ها و مقیاس‌های مختلف عملیات متفاوت باشد کمک می‌کند.

اجرای مطالعات طولی می‌تواند بینش‌هایی را در مورد چگونگی تکامل عوامل داخلی شناسایی شده در طول زمان و تأثیرات بلندمدت آن‌ها بر توسعه تولید ارائه دهد. این رویکرد می‌تواند ماهیت پویای فناوری‌های صنعت ۴.۰ و تأثیرات آن‌ها بر عملکرد کسب‌وکار را به تصویر بکشد.

انجام مطالعات موردی دقیق در مورد شرکت‌های تولیدی خاصی که شیوه‌های صنعت ۴.۰ را با موفقیت پیاده‌سازی کرده‌اند، می‌تواند بینش عملی و بهترین شیوه‌ها را ارائه دهد. این رویکرد کیفی می‌تواند یافته‌های کمی را تکمیل کند و درک دقیق عوامل داخلی را آشکار کند.

تحقیقات آینده باید رویکردهای بین رشته‌ای را در نظر بگیرد که بینش‌های مهندسی، مدیریت، علوم اجتماعی و فناوری اطلاعات را ترکیب می‌کند. این می‌تواند به درک جامع‌تری از عوامل مؤثر بر توسعه تولید در صنعت ۴.۰ منجر شود.

تحقیقات باید تأثیر فناوری‌های نوظهور مانند بلاکچین، روباتیک پیشرفته و واقعیت افزوده را بر فرآیندهای تولید بررسی کند. درک چگونگی تعامل این فناوری‌ها با عوامل داخلی شناسایی‌شده، می‌تواند بینش‌های ارزشمندی را برای پیاده‌سازی‌های آینده ارائه دهد.

مطالعات آینده باید نقش مشارکت و آموزش کارکنان را در پذیرش فناوری‌های صنعت ۴.۰ بررسی کند. درک اینکه چگونه مهارت‌ها و نگرش‌های نیروی کار بر اثربخشی عوامل داخلی تأثیر می‌گذارد، می‌تواند برنامه‌های آموزشی و استراتژی‌های تعامل بهتری را ارائه دهد.

۷- منابع

[1] Vaidya S, Ambad P, Bhosle S. Industry 4.0 – A Glimpse. Procedia Manufacturing. 2018;20:233-8.

[2] Reubmann M, M. Lorenz P, Gerbert M, Waldner JJ, P. Engel, Harnisch. M. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Boston Consulting Group. 2015;9:54–89.

[3] Li L. China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0". Technological Forecasting and Social Change. 2018;135:66-74.

[4] De Sousa Jabbour ABL, Jabbour CJC, Foropon C, Godinho Filho M. When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. Technological Forecasting and Social Change. 2018;132:18-25.

[5] Rajput S, Singh SP. Identifying Industry 4.0 IoT enablers by integrated PCA-ISM-DEMATEL approach. Management Decision. 2019;57:1784-817.

[6] Kache F, Seuring S. Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management. International Journal of Operations & Production Management. 2017;37:10-36.

[7] MacCarthy BL, Blome C, Olhager J, Srai JS, Zhao X. Supply chain evolution – theory, concepts and science. International Journal of Operations & Production Management. 2016;36:1696-718.

[8] Bibby L, Dehe B. Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector. Production Planning & Control. 2018;29:1030-43.

[9] Frank AG, Mendes GHS, Ayala NF, Ghezzi A. Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. Technological Forecasting and Social Change. 2019;141:341-51.

[10] Wagire AA, Joshi R, Rathore APS, Jain R. Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. Production Planning & Control. 2021;32:603-22.

[11] Moeuf A, Lamouri S, Pellerin R, Tamayo-Giraldo S, Tobon-Valencia E, Eburdy R. Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs. International Journal of Production Research. 2020;58:1384-400.

[12] Kagermann H. Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0. In: Albach H, Meffert H, Pinkwart A, Reichwald R, editors. Management of Permanent Change. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; 2015. p. 23-45.

[13] Liao Y, Deschamps F, Loures EDFR, Ramos LFP. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. International Journal of Production Research. 2017;55:3609-29.

[14] Jones C, Pimdee P. Innovative ideas: Thailand 4.0 and the fourth industrial revolution. Asian International Journal of Social Sciences. 2017;17:4-35.

[15] Kamble SS, Gunasekaran A, Gawankar SA. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. Process Safety and Environmental Protection. 2018;117:408-25.

[16] Almada-Lobo F. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). Journal of Innovation Management. 2016;3:16-21.

[17] Wu D, Rosen DW, Wang L, Schaefer D. Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation. Computer-Aided Design. 2015;59:1-14.

[18] Arnold C, Kiel D, Voigt K-I. HOW THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS CHANGES BUSINESS MODELS IN DIFFERENT MANUFACTURING INDUSTRIES. International Journal of Innovation Management. 2016;20:1640015.

[19] Theorin A, Bengtsson K, Provost J, Lieder M, Johnsson C, Lundholm T, et al. An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0. International Journal of Production Research. 2017;55:1297-311.

[20] Satoglu S, Ustundag A, Cevikcan E, Durmusoglu MB. Lean Production Systems for Industry 4.0. Industry 40: Managing The Digital Transformation. Cham: Springer International Publishing; 2018. p. 43-59.

[21] Golan M, Cohen Y, Singer G. A framework for operator – workstation interaction in Industry 4.0. International Journal of Production Research. 2020;58:2421-32.

[22] Prakash S, Kumar S, Soni G, Jain V, Rathore APS. Closed-loop supply chain network design and modelling under risks and demand uncertainty: an integrated robust optimization approach. Annals of Operations Research. 2020;290:837-64.

[23] Caggiano A. Cloud-based manufacturing process monitoring for smart diagnosis services. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2018;31:612-23.

[24] Stentoft J, Adsbøll Wickstrøm K, Philipsen K, Haug A. Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers. Production Planning & Control. 2021;32:811-28.

[25] Kamali Saraji M, Streimikiene D, Kyriakopoulos GL. Fermatean Fuzzy CRITIC-COPRAS Method for Evaluating the Challenges to Industry 4.0 Adoption for a Sustainable Digital Transformation. Sustainability. 2021;13:9577.

[26] Jain V, Ajmera P. Modelling the enablers of industry 4.0 in the Indian manufacturing industry. International Journal of Productivity and Performance Management. 2021;70:1233-62.

[27] Ghobakhloo M, Iranmanesh M, Vilkas M, Grybauskas A, Amran A. Drivers and barriers of Industry 4.0 technology adoption among manufacturing SMEs: a systematic review and transformation roadmap. Journal of Manufacturing Technology Management. 2022;33:1029-58.

[28] Philbin S, Viswanathan R, Telukdarie A. Understanding how digital transformation can enable SMEs to achieve sustainable development: A systematic literature review. Small Business International Review. 2022;6:e473.

[29] Horváth D, Szabó RZ. Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? Technological Forecasting and Social Change. 2019;146:119-32.

[30] Müller JM, Kiel D, Voigt K-I. What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability. Sustainability. 2018;10:247.

[31] Mandal A, Deshmukh SG. Vendor Selection Using Interpretive Structural Modelling (ISM). International Journal of Operations & Production Management. 1994;14:52-9.

[32] Kharuddin S, Foong S-Y, Senik R. Effects of decision rationality on ERP adoption extensiveness and organizational performance. Journal of Enterprise Information Management. 2015;28:658-79.

[33] Roblek V, Meško M, Krapež A. A Complex View of Industry 4.0. SAGE Open. 2016;6:215824401665398.

[34] Bocken NMP, Geradts THJ. Barriers and drivers to sustainable business model innovation: Organization design and dynamic capabilities. Long Range Planning. 2020;53:101950.

[35] Kim S-S. Sustainable Growth Variables by Industry Sectors and Their Influence on Changes in Business Models of SMEs in the Era of Digital Transformation. Sustainability. 2021;13:7114.

[36] Mayar K, Carmichael DG, Shen X. Resilience and Systems—A Review. Sustainability. 2022;14:8327.

[37] Khan IS, Ahmad MO, Majava J. Industry 4.0 and sustainable development: A systematic mapping of triple bottom line, Circular Economy and Sustainable Business Models perspectives. Journal of Cleaner Production. 2021;297:126655.

[38] Hassas Yeganeh, Yahya B, Jafar TF, Taghi M, Arinpour A. Sustainable business performance model in Iran. . Knowledge of Accounting and Management Audit. 2017;7:181-204.

[39] Rauch E, Dallasega P, Unterhofer M. Requirements and Barriers for Introducing Smart Manufacturing in Small and Medium-Sized Enterprises. IEEE Engineering Management Review. 2019;47:87-94.

[40] Lee J, Bagheri B, Kao H-A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters. 2015;3:18-23.

[41] Masood T, Sonntag P. Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. Computers in Industry. 2020;121:103261.

[42] Atieh AM, Cooke KO, Osiyevskyy O. The role of intelligent manufacturing systems in the implementation of Industry 4.0 by small and medium enterprises in developing countries. Engineering Reports. 2023;5:e12578.

[43] Ghobakhloo M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. Journal of Manufacturing Technology Management. 2018;29:910-36.

[44] Bansal P, DesJardine MR. Business sustainability: It is about time. Strategic Organization. 2014;12:70-8.

[45] Beltrami M, Orzes G, Sarkis J, Sartor M. Industry 4.0 and sustainability: Towards conceptualization and theory. Journal of Cleaner Production. 2021;312:127733.

[46] Aref MR, Jafaranjad A, Kayani Bakhtiari A. Providing the appropriate framework (composite indicators) to evaluate the readiness of companies and industrial towns to implement the fundamental components of the fourth industrial revolution and investment development. Investment Knowledge. 2018;8:23-48.

[47] Kays HM, Sadri AM. Towards Unifying Resilience and Sustainability for Transportation Infrastructure Systems: Conceptual Framework, Critical Indicators, and Research Needs. arXiv preprint arXiv. 2022:2208.10039.

[48] Haibat Elahpour Z, Mehralizadeh Y, Barkat G, Nasiri M. 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. Management of Organizations Training. 2019;9:221-57.

[49] Gomes S, Ferreira J, Lopes JM, Farinha L. The Impacts of the Entrepreneurial Conditions on Economic Growth: Evidence from OECD Countries. Economies. 2022;10:163.

[50] Kunkel S, Matthess M, Xue B, Beier G. 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. 2022;182:106274.

[51] Rauch E, Unterhofer M, Rojas RA, Gualtieri L, Woschank M, Matt DT. A Maturity Level-Based Assessment Tool to Enhance the Implementation of Industry 4.0 in Small and Medium-Sized Enterprises. Sustainability. 2020;12:3559.

[52] Rojko A. Industry 4.0 Concept: Background and Overview. International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM). 2017;11:77.

[53] Chauhan S, Singh R, Gehlot A, Akram SV, Twala B, Priyadarshi N. Digitalization of Supply Chain Management with Industry 4.0 Enabling Technologies: A Sustainable Perspective. Processes. 2022;11:96.

[54] Morrar R, Arman H. The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): A Social Innovation Perspective. Technology Innovation Management Review. 2017;7:12-20.

[55] Ferdows K. Keeping up with growing complexity of managing global operations. International Journal of Operations & Production Management. 2018;38:390-402.

[56] Franceli JC, Zilber Turri SN. Adoption Factors of Enabling I4.0 Technologies and Benefits in the Supply Chain. 10th International Conference on Information Technology Convergence and Services (ITCSE 2021): AIRCC Publishing Corporation; 2021. p. 81-96.

[57] Braccini AM, Margherita EG. Exploring Organizational Sustainability of Industry 4.0 under the Triple Bottom Line: The Case of a Manufacturing Company. Sustainability. 2018;11:36.

[58] Ghobakhloo M, Iranmanesh M. Digital transformation success under Industry 4.0: a strategic guideline for manufacturing SMEs. Journal of Manufacturing Technology Management. 2021;32:1533-56.

[59] Rokn al-Dini SA, Andalib Ardakani D, Zare Ahmadabadi H, Hosseini Bamkan SM. Modeling the enablers of Industry 4.0 in the implementation of a sustainable supply chain with Dimtel's approach - fuzzy network analysis process. Industrial Management Perspective. 2023;13:141-72.

[60] La Rosa G, Iaconelli M, Mancini P, Bonanno Ferraro G, Veneri C, Bonadonna L, et al. First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy. Science of The Total Environment. 2020;736:139652.

[61] Nagy J, Oláh J, Erdei E, Máté D, Popp J. The Role and Impact of Industry 4.0 and the Internet of Things on the Business Strategy of the Value Chain—The Case of Hungary. Sustainability. 2018;10:3491.

[62] Oztemel E, Gursev S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. Journal of Intelligent Manufacturing. 2020;31:127-82.

[63] Manavalan E, Jayakrishna K. A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. Computers & Industrial Engineering. 2019;127:925-53.

[64] da Rocha ABT, de Oliveira KB, Espuny, M., , da Motta Reis JS, Oliveira OJ. Business transformation through sustainability based on Industry 4.0: Heliyon, e10015, 2022.

[65] ForouzeshNejad AA. Leagile and sustainable supplier selection problem in the Industry 4.0 era: a case study of the medical devices using hybrid multi-criteria decision making tool. Environmental Science and Pollution Research. 2022;30:13418-37.

[66] Sharma H, Garg, R., Sewani, H., & Kashef, R. Towards A Sustainable and Ethical Supply Chain Management: The Potential of IoT Solutions. arXiv preprint arXiv:230318135. 2023.

[67] Sharma VP, Prakash S, Singh R. What Prevents Sustainable Last-Mile Delivery in Industry 4.0? An Analysis and Decision Framework. Sustainability. 2022;14:16423.

[68] Strandhagen JO, Vallandingham LR, Fragapane G, Strandhagen JW, Stangeland ABH, Sharma N. Logistics 4.0 and emerging sustainable business models. Advances in Manufacturing. 2017;5:359-69.