Business Intelligence Management Studies
Vol. 13, No.50, Winter 2025; P 187-225
ims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/ims.2024.81718.2513

ATU PRESS

ISSN: 2821-0964 eISSN: 2821-0816 Received: 01 September 2024 Revised: 04 October 2024 Accepted: 17 October 2024 Original Research

The Role of Human Resources in the Establishment of Industry 4.0 Technologies and the Intelligentization of Industries

Mehran Ziaeian * — Assistant Professor, Department of Management, Faculty of Management and Innovation, Shahid Ashrafi Esfahani University, Isfahan, Iran

Hajar Soleymanizadeh — Ph.D student in Industrial Management (Production and Operations), Department of Management Science, Yazd University, Yazd. Iran.

Maryam Ahmadi Zahrani — Assistant Professor Department of Management Science, Yazd University, Yazd. Iran

Abstract

Nowadays, intelligence and industry 4.0 has been the focus of many industries due to its various benefits such as tracking raw materials and manufactured products, reducing costs, etc. One of the most important factors in facilitating the implementation of Industry 4.0 is human resources. The purpose of this research is to investigate the role of human resources on the implementation of Industry 4.0 in the steel industry of Yazd. Using research literature, 13 factors related to human resources affecting the implementation of Industry 4.0 have been identified. In the following, by using the fuzzy Delphi approach and selecting 17 university professors and managers of Yazd steel industry by snowball sampling and asking for their opinions, three factors of continuous learning ability, data analysis and business intelligence, and security and privacy protection weren't confirmed. Also, based on the request of the authors of the research from the

* Corresponding Author: maryamahmadi@yazd.ac.ir

How to Cite: Ziaeian, M., Soleymanizadeh, H., Ahmadi Zahrani, M. (2025). The Role of Human Resources in the Establishment of Industry 4.0 Technologies and the Intelligentization of Industries, *Journal of Business Intelligence Management Studies*, 13(50), 187-225. DOI: 10.22054/ims.2024.81718.2513

related experts, by adding factors related to the implementation of Industry 4.0, three factors of freedom of action in doing work, sufficient time to do work, and innovation and creativity were introduced. Finally, the cause-and-effect relationships between the factors were investigated using the fuzzy DEMATEL approach. The results showed that cooperation and interaction are the most important factors for the implementation of Industry 4.0 in Yazd steel industry. Perceived usefulness and recruitment of skilled labor are known as the most effective factors, and innovation, creativity, learning, and empowerment are known as the most effective factors on the implementation of Industry 4.0.

Introduction

The steel industry is known as one of the vital and very important industries in the world and especially in Iran. Despite the importance of the steel industry in the country, this industry faces many challenges and problems such as the supply of resources and raw materials (Soltanzadeh, Rahmani, & Majidpour, 2024), high production costs and the increase in the price of raw materials (Morshedi, Nezafati, & Shokouhyar, 2023), lack of global standards in the quality of manufactured products (Pourmehdi, Paydar, Ghadimi, & Azadnia, 2022) and...

To answer these challenges, the country's steel industries, including the Yazd steel industry, seek to provide effective solutions for survival, entering global markets and surpassing competitors. One of the most accepted approaches among manufacturing companies in recent years to face the mentioned challenges is Industry 4.0. The use of Industry 4.0 technologies brings various advantages such as predicting errors, minimizing environmentally destructive activities, tracking raw materials and manufactured products, etc. Despite the benefits of Industry 4.0 and the increasing interest in it from researchers and managers of various industries, there are vague perceptions regarding the adoption and deployment of Industry 4.0 (Morovati Sharifabadi, Ziaeian, Mirfakhradini, & Zanjirchi, 2024). Many authors state that the implementation of Industry 4.0 is a difficult task and faces various problems and challenges, including scientific, technical, economic, social, human resources, and even political issues (Wankhede & Vinodh, 2021). Among the mentioned

factors, one of the most important factors for establishing Industry 4.0 is human power (Ziaei Nafchi & Mohelská, 2021). The purpose of the current research is to investigate the role of human resources in the establishment of Industry 4.0 technologies and the intelligentization of Yazd steel industry.

2. Literature Review

The term Industry 4.0 was first introduced in November 2011 by the German government at the Hanover Trade Fair (Frank, Dalenogare, & Ayala, 2019). Industry 4.0 aims to connect the physical and digital worlds, decentralize business processes, intelligentize product production processes and provide services using advanced technologies such as the Internet of Things, blockchain, cyber-physical systems (Entezirian)., & Mehraeen, 2024) and ... in order to simplify production processes, monitor production at any place and time, increase productivity, efficiency and profitability (Javaid, Haleem, Singh, Suman, & Gonzalez, 2022)). Saniuk et al. (2023) investigated the knowledge and skills of industrial and managerial employees for the implementation of Industry 4.0. The results of this research showed that employees' knowledge and skills, creativity and innovation, employees' resistance to changes are among the most important factors affecting the establishment of Industry 4.0 (Saniuk, Caganova, & Saniuk, 2023). In a study, Verma and Venkatsan (2022) investigated human resource factors for the successful implementation of Industry 4.0. The results of this research showed that training, recruitment, job design, performance evaluation and health and safety of employees are among the most important factors in the establishment of Industry 4.0.

3. Methodology

The present research is practical in terms of its purpose, because its results can be used in various industries and organizations to demand the establishment of Industry 4.0. Also, this research is descriptive-causal in terms of nature and method, and survey in terms of data collection. In this research, in order to identify the final influencing factors related to human resources on the establishment of Industry 4.0 technologies and the intelligentization of industries, the fuzzy Delphi approach has been used. In the following, in order to present

the cause-and-effect relationship between the identified factors, the fuzzy DEMATEL approach has been used.

4. Results

In this research, by studying the literature, work motivation factors, work commitment, technical and engineering knowledge, cooperation and interaction, learning and empowerment, system thinking, continuous learning ability, data analysis and business intelligence, security and privacy protection, receiving salaries according to Activity, perceived usefulness and perceived ease were identified as factors related to human resources affecting the establishment of Industry 4.0. In order to verify the identified factors, university experts and Yazd steel industry managers were consulted using the fuzzy Delphi approach. Based on the results obtained from the fuzzy Delphi approach, three factors of continuous learning ability, data analysis and business intelligence, and security and privacy preservation were not confirmed due to the de-fuzzified value lower than the threshold (0.6). In addition, the three variables of freedom of action in the work, sufficient time to do the work and innovation and creativity were introduced by the experts and confirmed in the second stage of asking their opinions. Based on the results of the fuzzy DEMATEL approach and considering the highest value of R+J for cooperation and interaction, this factor was recognized as the most important factor related to human resources in the establishment of Industry 4.0 in Yazd steel industry.

Keywords: Fourth Industrial Revolution, Industry 4.0, Human Resource Management, Fuzzy Delphi, Fuzzy DEMATEL.

مقاله پژوهشی
تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۶
ISSN: 2821-0964 eISSN: 2821-0816

مطالعات مدیریت کسب و کار هوشمند
سال سیزدهم، شماره ۵۰، زمستان ۱۴۰۳، ص ۱۸۷ تا ۲۲۵
ims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/ims.2024.81718.2513

نقش منابع انسانی در استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنایع

مهران ضیائیان * استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و نوآوری، دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، اصفهان، ایران

هاجر سلیمانی‌زاده دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

مریم احمدی زهرانی استادیار گروه مدیریت بازرگانی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

امروزه هوشمندسازی و استفاده از فناوری‌های صنعت ۴,۰ به دلیل مزایای مختلفی همچون ردیابی مواد اولیه و محصولات تولیدشده، کاهش هزینه‌ها و ... موردتوجه بسیاری از صنایع قرار گرفته است. ازجمله مهم‌ترین عوامل در تسهیل استقرار صنعت ۴,۰، عوامل مرتبط با منابع انسانی است. هدف از انجام این پژوهش بررسی نقش منابع انسانی بر استقرار صنعت ۴,۰ در صنعت فولاد یزد است. با استفاده از ادبیات پژوهش، ۱۳ عامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ شناسایی شده است. در ادامه با استفاده از رویکرد دلفی فازی و انتخاب ۱۷ نفر از اساتید دانشگاهی و مدیران صنعت فولاد یزد با روش نمونه‌گیری گلوله برفی و نظرخواهی از آنان، سه عامل توانایی یادگیری مستمر، تحلیل داده و هوش تجاری و امنیت و حفظ حریم خصوصی مورد تأیید قرار نگرفتند. همچنین بر اساس خواست پژوهشگران از خبرگان مرتبط با اضافه کردن عوامل مرتبط بر اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰، سه عامل آزادی عمل در انجام کار، زمان کافی برای انجام کار و نوآوری و خلاقیت معرفی شد. درنهایت با استفاده از رویکرد دیماتل فازی روابط علی- معلولی میان عوامل موردبررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که همکاری و تعامل به‌عنوان مهم‌ترین عامل استقرار صنعت ۴,۰ در صنعت فولاد یزد است. سودمندی درک شده و جذب نیروی ماهر به‌عنوان اثرگذارترین عامل و نوآوری و خلاقیت و یادگیری و توانمندسازی به‌عنوان اثرپذیرترین عوامل بر استقرار صنعت ۴,۰ شناخته شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: انقلاب صنعتی چهارم، صنعت ۴,۰، مدیریت منابع انسانی، دلفی فازی، دیماتل فازی.

* نویسنده مسئول : maryamahmadi@yazd.ac.ir

مقدمه

فولاد به‌عنوان یک محصول کاربردی از اهمیت ویژه‌ای در میان صنایع مختلف برخوردار است. بر اساس آمار منتشرشده، حدود ۹۵ درصد از فلزات تولیدشده در جهان را فولاد و آهن تشکیل می‌دهند (Varasteh.& Aghajani, 2023). علاوه بر این فولاد به‌عنوان یکی از محصولات اساسی در بسیاری از صنایع مختلف همچون صنعت ساخت‌وساز، صنعت خودروسازی، صنعت الکترونیک، صنعت لوازم‌خانگی و ... به شمار می‌رود (Bressanelli, Saccani, Perona, & Baccanelli, 2020). با توجه به اهمیت فولاد در صنایع و بخش‌های مختلف، صنعت فولاد به‌عنوان یکی از صنایع حیاتی و بسیار مهم در جهان و به‌خصوص در کشور ایران شناخته شده است. این صنعت در توسعه اقتصادی و صنعتی کشور، نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند (Mehmanpazir, Khalili-Damghani, & Hafezalkotob, 2019). صنایع فولاد در ایران، علاوه بر تأمین نیازهای داخلی، به‌عنوان یکی از صادرکنندگان بزرگ فولاد در منطقه خاورمیانه شناخته‌شده و در تراز تجاری کشور نیز سودآوری قابل‌توجهی را به همراه دارند (Azimifard, Moosavirad, & Ariafar, 2018). همچنین صنایع فولاد، ایجاد اشتغال پایدار، تحقق توازن تجاری، افزایش قدرت تولیدی و صادراتی کشور را تسهیل می‌کنند (Ghamari, Mahdavi-Mazdeh, & Ghannadpour, 2022). علی‌رغم اهمیت صنعت فولاد در کشور، این صنعت با چالش‌ها و مشکلات بسیاری مانند تأمین منابع و مواد اولیه (Soltanzadeh, Rahmani, & Majidpour, 2024)، بالا بودن هزینه‌های تولید و افزایش قیمت مواد اولیه (Morshedi, Nezafati, & Shokouhyar, 2023)، عدم وجود استانداردهای جهانی در کیفیت محصولات تولیدشده (Pourmehdi, Paydar, Ghadimi, & Azadnia, 2022)، نیاز به مصرف بالای انرژی (Ravanbakhsh, Zahedi, & Ahmadi, 2022)، فعالیت‌های مخرب زیست‌محیطی و آلودگی محیط‌زیست (Javad, Darvishi, & Javad, 2020)، وجود رقبای جهانی (Askary, Makui, & Tajik, 2024) و ... مواجه است. برای پاسخ به این چالش‌ها، صنایع فولاد کشور ازجمله صنعت فولاد یزد، به دنبال ارائه راهکارهایی مؤثر در

جهت بقا، ورود به بازارهای جهانی، ارائه محصولات با کیفیت و مورد انتظار مشتریان و پیشی گرفتن از رقبا هستند. یکی از پذیرفته‌شده‌ترین رویکردها در میان شرکت‌های تولیدی در چند سال اخیر برای رویارویی با چالش‌های ذکرشده، صنعت ۴٫۰ است. اصطلاح صنعت ۴٫۰ برای اولین بار در نوامبر ۲۰۱۱ توسط دولت آلمان در نمایشگاه تجاری هانوفر معرفی شد (Frank, Dalenogare, & Ayala, 2019). صنعت ۴٫۰ به برقراری ارتباط میان دنیای فیزیکی و دیجیتال، تمرکززدایی فرآیندهای کسب‌وکار، هوشمندسازی فرآیندهای تولید محصول و ارائه خدمات با استفاده از فناوری‌های پیشرفته‌ای ازجمله اینترنت اشیاء، بلاک‌چین، سیستم‌های سایبر- فیزیکی (Entezirian, & Mehraeen, 2024) و ... در جهت ساده‌سازی فرآیندهای تولید، نظارت بر تولید در هر مکان و زمان، افزایش بهره‌وری، کارایی و سودآوری اشاره دارد (Javaid, Haleem, Singh, Suman, & Gonzalez, 2022). به‌عبارتی‌دیگر استفاده از فناوری‌های صنعت ۴٫۰ مزایای مختلفی همچون پیش‌بینی خطاها، حداقل کردن فعالیت‌های مخرب زیست‌محیطی، انعطاف‌پذیری تولید، ردیابی مواد اولیه و محصولات تولیدشده، بهبود کیفیت محصول، کاهش هزینه‌های تولید، ارائه محصولات و خدمات انبوه مطابق با نیاز مشتریان، افزایش چابکی در فرآیندها، ایجاد صنعتی پایدار و سودآور و ... را به همراه دارد (Yavuz, Uner, Okumus, & Karatepe, 2023). با توجه به مزایای متعدد صنعت ۴٫۰، مدیران صنعت فولاد یزد به‌منظور مقابله با چالش‌ها و مشکلات موجود، در جست‌وجوی راهکارهای مناسب در جهت استقرار هر چه‌بهتر صنعت ۴٫۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد هستند.

باوجود مزایای صنعت ۴٫۰، تصورات مبهمی در رابطه با پذیرش و استقرار صنعت ۴٫۰ وجود دارد (Morovati Sharifabadi, Ziaeian, Mirfakhradini, & Zanjirchi, 2024). بسیاری از نویسندگان بیان می‌کنند که پیاده‌سازی صنعت ۴٫۰ کار دشواری بوده و با مشکلات و چالش‌های مختلفی ازجمله مسائل علمی، فنی، اقتصادی، اجتماعی، منابع انسانی و حتی سیاسی مواجه است (Wankhede & Vinodh, 2021). در میان عوامل ذکرشده، یکی از مهم‌ترین عوامل استقرار صنعت ۴٫۰، نیروی انسانی است (Ziaei Nafchi

& Mohelská, 2021). به‌عنوان یکی از ابعاد مطالعات پژوهشی صنعت ۴٫۰، جنبه انسانی یک عنصر کلیدی است که سازمان‌ها باید برای انتقال موفقیت‌آمیز و اجرای دیجیتال‌سازی به‌درستی آن را مدیریت کنند (James et al., 2022). عدم توجه به نیروی انسانی می‌تواند چالش‌های بسیاری همچون مقاومت کارکنان در برابر تغییرات، عدم استفاده مؤثر از فناوری‌های صنعت ۴٫۰ بکار گرفته‌شده، اختلال در فرآیندها و رویه‌های کاری، شکست پروژه استقرار صنعت ۴٫۰ و درنهایت تحمیل هزینه سنگین برای صنایع خواستار استقرار صنعت ۴٫۰ ازجمله صنعت فولاد یزد را به همراه داشته باشد (Pio et al., 2022).

از زمان معرفی صنعت ۴٫۰ پژوهش‌های مختلفی در این حوزه صورت گرفته است. به‌عنوان‌مثال باجیک و همکاران[1] (۲۰۲۰) منابع مالی، زیرساخت‌های فناوری، مسائل امنیتی و حریم خصوصی و منابع انسانی را از مهم‌ترین عوامل استقرار صنعت ۴٫۰ معرفی کرده‌اند (Bajic, Rikalovic, Suzic, & Piuri, 2020). سانی و نیک[2] (۲۰۲۰) در مطالعه خود مدیریت تغییر، فرهنگ‌سازمانی، دانش و مهارت کارکنان، مدیریت فضای سایبری و ... را از عوامل اثرگذار بر استقرار صنعت ۴٫۰ دانسته‌اند (Sony & Naik, 2020). پسل و همکاران[3] (۲۰۱۷) عواملی همچون مدیریت دانش، همکاری و ارتباطات، مدیریت تغییر، منابع مالی و ... را به از عوامل اثرگذار بر استقرار صنعت ۴٫۰ معرفی کرده‌اند (Pessl, Sorko, & Mayer, 2017). علاوه بر این آرویابه و همکاران[4] (۲۰۲۴) مسائل امنیتی و حریم خصوصی را به‌عنوان مهم‌ترین عامل اثرگذار بر استقرار صنعت ۴٫۰ شناسایی کرده‌اند (Arroyabe, Arranz, de Arroyabe, & de Arroyabe, 2024). در پژوهش‌های صورت گرفته عوامل مختلفی همچون منابع انسانی، منابع مالی، زیرساخت‌های فناوری و ... از سوی محققین به‌عنوان عوامل اثرگذار بر استقرار صنعت ۴٫۰ معرفی شده است. علی‌رغم انجام پژوهش‌های متعدد مرتبط با شناسایی عوامل اثرگذار بر استقرار صنعت ۴٫۰، نقش نیروی انسانی و عوامل مرتبط با آن کمتر موردتوجه قرارگرفته است. در پژوهش‌های

1. Bajic et al.
2. Sony & Naik
3. Pessl et al.
4. Arroyabe et al.

صورت گرفته، منابع انسانی به‌عنوان یکی از عوامل اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ اشاره‌شده درحالی‌که نحوه چگونگی این تأثیر موردبررسی قرار نگرفته است. در این پژوهش ابتدا عوامل مرتبط با نیروی انسانی اثرگذار بر هوشمندسازی و استقرار صنعت ۴,۰ با استفاده از مطالعه ادبیات پژوهش و نظرخواهی از خبرگان دانشگاهی و مدیران صنعت فولاد یزد با استفاده از رویکرد دلفی فازی شناسایی‌شده است. در ادامه روابط علی و معلولی میان عوامل شناسایی‌شده با استفاده از رویکرد دیماتل فازی موردبررسی قرار گرفته است. بررسی روابط علی و معلولی بر اساس رویکرد دیماتل فازی کمک می‌کند تا درک بهتری از تأثیر عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ بر یکدیگر ایجادشده و درنهایت روابط مهم و بحرانی شناسایی شود. این امر مدیران صنعت فولاد یزد را در جهت ارائه راهکارهای مناسب در راستای شناخت بهتر از نقش منابع انسانی و نحوه رفتار مدیران با نیروی انسانی به‌منظور همسو کردن آن‌ها با اهداف صنعت فولاد یزد را در جهت تسهیل استقرار صنعت ۴,۰ یاری می‌کند. علاوه بر این با شناخت روابط علی-معلولی میان عوامل اثرگذار مرتبط با منابع انسانی بر استقرار صنعت ۴,۰؛ زمینه ارائه پیش‌بینی‌های بهتری در مورد تأثیر تغییرات در یک عامل بر روی سایر عوامل را فراهم کرده که این امر منجر به بهبود تمامی عوامل شناسایی‌شده مرتبط با نیروی انسانی خواهد شد.

پیشینه پژوهش

ضیائیان و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای به بررسی چگونگی تأثیر مدیریت دانش در استقرار صنعت ۴,۰ در صنعت لوازم‌خانگی کشور پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که فرهنگ‌سازمانی، رهبری، نوآوری سازمانی، ساختار سازمانی، ظرفیت جذب، کار گروهی، منابع مالی، سازگاری سیستم‌های اطلاعاتی، انعطاف‌پذیری کارکنان، چشم‌انداز و استراتژی، ارزیابی عملکرد و ارائه بازخورد، آموزش و فناوری‌های صنعت ۴,۰ به‌عنوان عوامل مؤثر بر مدیریت دانش در استقرار صنعت ۴,۰ در صنعت لوازم‌خانگی کشور شناسایی شده‌اند (Ziaeian, Morovati Sharif Abadi, Mirfakhradini, & Zanjirchi, 2023). محقر و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای به مدل‌سازی عوامل آمادگی سازمانی

استقرار کنترل فرآیند آماری هوشمند در عصر صنعت ۴٫۰ با رویکرد ساختاری تفسیری فازی پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که فرهنگ‌سازمانی، آموزش، بهبود مستمر، تعهد مدیریت و ... از عوامل استقرار کنترل فرآیند آماری هوشمند در عصر صنعت ۴٫۰ به شمار می‌روند (Mohaghar, Ghasemian Sahebi, & Sadeghpour Firouzabad, 2023). النادی و عبدالله[1] (۲۰۲۴) به پژوهشی با عنوان صنعت ۴٫۰: بررسی-های انتقادی و ترکیب یافته‌های کلیدی پرداخته‌اند. در این پژوهش یک مرور متون نظام-مند انجام شد که در آن ۲۴۴ مقاله مجلات با داوری همتا در پایگاه داده اسکوپوس تا پایان ماه می ۲۰۲۲ تجزیه‌وتحلیل شدند. این مطالعه نشان داد که صنعت ۴٫۰ هنوز یک موضوع نابالغ بوده و استفاده از این پارادایم جدید فقط یک موضوع فناوری نیست. این پژوهش تأکید می‌کند که عوامل مختلفی همچون عوامل سازمانی، مدیریتی، عوامل فنی و ... از مهم‌ترین عوامل استقرار صنعت ۴٫۰ به شمار می‌روند (Elnadi & Abdallah, 2024). گویندان و آرامپاتزیس[2] (۲۰۲۳) به ارائه چارچوبی برای سنجش آمادگی و موانع برای اجرای صنعت ۴٫۰ پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد که رهبری نامناسب مهم‌ترین مانعی است که یک شرکت برای پذیرش مفهوم صنعت ۴٫۰ باید بر آن غلبه کند (Govindan & Arampatzis, 2023). سانیوک و همکاران[3] (۲۰۲۳) به بررسی دانش و مهارت کارکنان صنعتی و کارکنان مدیریتی برای پیاده‌سازی صنعت ۴٫۰ پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد که دانش و مهارت کارکنان، خلاقیت و نوآوری، مقاومت کارکنان در برابر تغییرات از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر استقرار صنعت ۴٫۰ به شمار می‌روند (Saniuk, Caganova, & Saniuk, 2023). ورما و ونکاتسان[4] (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به بررسی عوامل منابع انسانی برای اجرای موفقیت‌آمیز صنعت ۴٫۰ پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که آموزش، استخدام، طراحی شغل، ارزیابی عملکرد و سلامت و

1. Elnadi & Abdallah
2. Govindan & Arampatzis
3. Saniuk et al.
4. Verma & Venkatesan

امنیت کارکنان از مهم‌ترین عوامل استقرار صنعت ۴٫۰ هستند. ازکان اوزن و کازاناوگلو[1] (۲۰۲۲) به تجزیه‌وتحلیل چالش‌های توسعه نیروی کار در صنعت ۴٫۰ پرداخته‌اند. درمجموع، ۱۳ چالش مختلف توسعه نیروی کار در این مطالعه ارائه شده است. نتایج نشان داد که فقدان مهارت‌های فناوری اطلاعات/دیجیتال نقش مهمی در توسعه نیروی کار ازنظر تأثیرگذاری بر سایر چالش‌ها دارد (Ozkan-Ozen & Kazancoglu, 2022).

در مطالعات صورت گرفته در حوزه استقرار صنعت ۴٫۰، مطالعات کمی در راستای شناسایی عوامل اثرگذار مرتبط با منابع انسانی صورت گرفته است. در این مطالعات صرفاً به شناسایی برخی از متغیرهای اثرگذار مرتبط با منابع انسانی بر استقرار صنعت ۴٫۰ اشاره شده است. به‌عبارتی‌دیگر اثرات علی و معلولی متغیرهای شناسایی‌شده موردبررسی قرار نگرفته که خود به‌عنوان یک شکاف پژوهشی به شمار می‌رود. بررسی اثرات علی- معلولی زمینه شناسایی عوامل مهم اثرگذار بر سایر عوامل مرتبط با نیروی انسانی در راستای استقرار صنعت ۴٫۰ و ارائه راهکارهای مناسب به‌منظور بهبود هر یک از عوامل را فراهم می‌کند. بر اساس مرور مطالعات صورت گرفته، عوامل اثرگذار مرتبط با منابع انسانی بر استقرار صنعت ۴٫۰ به‌صورت جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. عوامل اثرگذار مرتبط با منابع انسانی بر استقرار صنعت ٤٫۰

ردیف	عوامل مرتبط با منابع انسانی	شرح	منبع
۱	انگیزه کاری[2]	انگیزه نیروی انسانی به تمایل کارکنان نسبت به یادگیری و به‌روزرسانی مهارت‌های جدید، فراگیری فناوری‌های صنعت ۴٫۰ و تطابق با تحولات فناورانه اشاره دارد.	(Bordel & Alcarria, 2024; Ozkan-Ozen & Kazancoglu, 2022)
۲	تعهد کاری[3]	تعهد نیروی کار به اراده و تعهد فرد به انجام وظایف و مسئولیت‌های خود در محیط کار، مشارکت فعال در فرآیندهای سازمانی، احترام به قوانین و مقررات وضع‌شده از سوی سازمان در راستای انجام فرآیندهای موردنیاز در	(Müller, 2019; Nadeem, Wong, Za, & Venditti, 2024)

1. Ozkan-Ozen & Kazancoglu
2. Work motivation
3. Work commitment

ردیف	عوامل مرتبط با منابع انسانی	شرح	منبع
		جهت استقرار صنعت ۴,۰ اشاره دارد.	
۳	دانش فنی و مهندسی[1]	دانش فنی و مهندسی کارکنان در صنعت ۴,۰ شامل تسلط بر اصول و روش‌های طراحی، توسعه و پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند، قابلیت ارزیابی و بهینه‌سازی فرآیندها و سیستم‌ها، توانایی استفاده از فناوری‌های صنعت ۴,۰ و توانایی حل مسائل پیچیده و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌ها است.	(Davies, Coole, & Smith, 2017; Ozkan-Ozen & Kazancoglu, 2022)
۴	همکاری و تعامل[2]	همکاری و تعامل به تبادل اطلاعات و دانش مرتبط با فناوری‌های صنعت ۴,۰، فرآیندهای موردنیاز در به‌کارگیری آن، همکاری در راستای حل مسائل ناشی از استقرار صنعت ۴,۰ و ... اشاره دارد.	(Ozkan-Ozen & Kazancoglu, 2022; Veile, Kiel, Müller, & Voigt, 2020)
۵	یادگیری و توانمندسازی[3]	یادگیری و توانمندسازی نیروی انسانی به ارائه آموزش‌های مرتبط با فناوری‌های صنعت ۴,۰ و روش‌های جدید، ارتقاء دانش فنی و تخصصی، تسهیل فرآیند یادگیری مستمر، ترویج فرهنگ یادگیری و نوآوری، توسعه توانمندی‌های نرم مانند همکاری، ارتباطات بین فردی، مهارت‌های رهبری و توانایی مدیریت تغییر در جهت استقرار صنعت ۴,۰ اشاره دارد.	(Nimran, Al Musadieq, & Afrianty, 2024)
۶	توانایی یادگیری مستمر[4]	توانایی یادگیری مستمر به تمایل به یادگیری مداوم، توانایی تسهیل فرآیند یادگیری، ارتقاء مهارت‌های فنی و تخصصی و به‌روزرسانی دانش مرتبط با فناوری‌ها و نرم‌افزارهای جدید صنعت ۴,۰، با توجه به تغییرات مستمر فناوری‌های صنعت ۴,۰ همچون هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء و ... اشاره دارد.	(Ozkan-Ozen & Kazancoglu, 2022)
۷	جذب نیروی ماهر[5]	جذب نیروی ماهر با به‌کارگیری و استخدام خبرگان و متخصصان حوزه فناوری و صنعت ۴,۰ در جهت استقرار هر	(Islam, 2022; Verma & Venkatesan, 2022)

1. Technical and engineering knowledge
2. Cooperation and interaction
3. Learning and empowerment
4. Ability to learn continuously
5. Recruitment of skilled workers

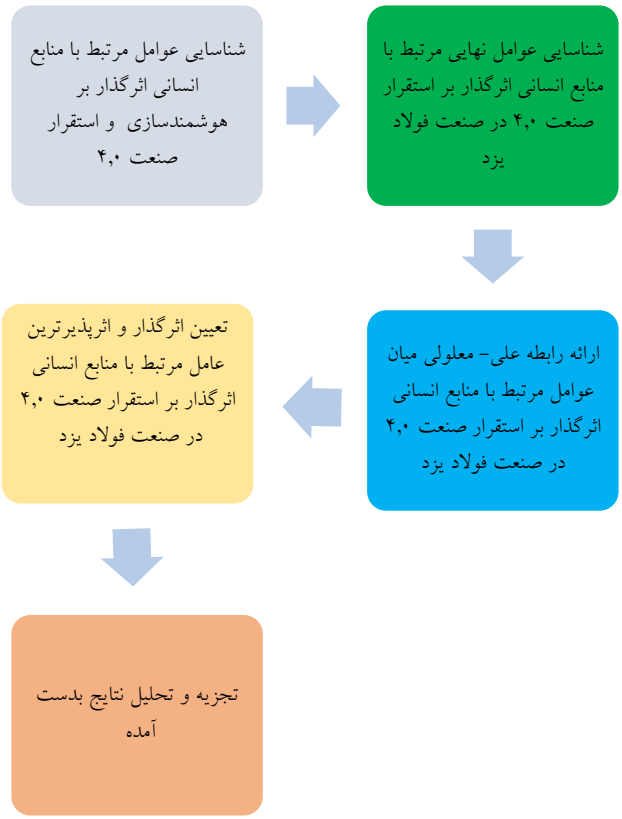
ردیف	عوامل مرتبط با منابع انسانی	شرح	منبع
		چه بهتر صنعت ۴٫۰ اشاره دارد.	
۸	تفکر سیستمی کارکنان[1]	تفکر سیستمی کارکنان به درک آن‌ها از ارتباطات میان اجزای سازمان در قالب یک سیستم، درک تأثیر تغییرات یک بخش از سازمان بر کل سازمان، شناسایی الگوها و روابط پنهان در سیستم و سازمان و ارائه راهکارهایی مناسب در جهت استقرار هر چه بهتر صنعت ۴٫۰ اشاره دارد.	(Ozkan-Ozen & Kazancoglu, 2022)
۹	امنیت و حفظ حریم خصوصی[2]	امنیت و حفظ حریم خصوصی به توانایی و آگاهی نیروی انسانی از مسائل امنیتی مرتبط با استقرار صنعت ۴٫۰ اشاره دارد.	(Joshi et al., 2022; Prinsloo, Sinha, & Von Solms, 2019)
۱۰	تحلیل داده و هوش تجاری[3]	تحلیل داده و هوش تجاری به توانایی تحلیل حجم بزرگ داده‌ها و تجزیه‌وتحلیل و تفسیر آن‌ها توسط نیروی انسانی اشاره دارد.	(Silva, Cortez, Pereira, & Pilastri, 2021)
۱۱	دریافت حقوق متناسب با فعالیت[4]	دریافت حقوق متناسب با فعالیت به قدردانی مدیران، تشویق کارکنان از سوی مدیریت، در نظر گرفتن پاداش و حقوق متناسب با انجام فعالیت‌های مرتبط با استقرار صنعت ۴٫۰ اشاره دارد.	(Foncubierta-Rodríguez, Ravina-Ripoll, Ahumada-Tello, & Tobar-Pesantez, 2020)
۱۲	سودمندی درک شده[5]	سودمندی درک شده به فهم و آگاهی کارکنان از مزایای حاصل از استقرار صنعت ۴٫۰ همچون حفظ امنیت و حریم خصوصی، تحلیل بهتر داده‌ها و شفافیت در آن‌ها، بهبود عملکرد مالی و ... اشاره دارد.	(Castillo-Vergara, Álvarez-Marín, Villavicencio Pinto, & Valdez-Juárez, 2022; Khin & Hung Kee, 2022)
۱۳	سهولت درک شده[6]	سهولت درک شده به معنای آسانی و راحتی کارکنان در فهم و استفاده از فناوری‌های پیشرفته و ابزارهای جدید صنعت ۴٫۰ است.	(Molino, Cortese, & Ghislieri, 2020; Pandya & Kumar, 2023)

1. Systemic thinking of employees
2. Security and privacy
3. Data analysis and business intelligence
4. Receive a salary according to the activity
5. Perceived usefulness
6. Perceived ease of use

روش

پژوهش حاضر ازلحاظ هدف، کاربردی است چراکه از نتایج آن می‌توان در صنایع و سازمان‌های مختلف خواستار استقرار صنعت ۴,۰ استفاده کرد. همچنین این پژوهش ازلحاظ ماهیت و روش، توصیفی- علی و ازلحاظ گردآوری داده‌ها، پیمایشی است. مراحل اجرای این پژوهش به‌صورت شکل ۱ نشان داده شده است.

شکل ۱. مراحل اجرای پژوهش (محقق)



گام اول- شناسایی عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر هوشمندسازی و استقرار صنعت ٤,۰: در گام اول بر اساس مرور ادبیات و پژوهش‌های صورت گرفته عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر هوشمندسازی و استقرار صنعت ۴,۰ شناسایی شد. عوامل مرتبط

با منابع انسانی اثرگذار بـر هوشمندسـازی و اسـتقرار صـنعت ۴٫۰ بـا جسـت‌وجوی واژگـان کلیدی

("Human Resource Management" OR "HRM" OR "Human Resources" OR "HR" OR "Human Resource Management Systems" OR "HRMS" OR "Worker") AND "Personnel management" OR "Employee" OR "Labor" OR ("Industry 4.0", "Industrie 4.0", "The 4th industrial revolution", "The fourth industrial revolution", "I 4.0" در پایگاه‌های اسکوپوس[1]، وب‌آف ساینس[2]، ساینس دایرکت[3]، امرالد[4]، تیلور اند فرانسیس[5] و اشپرینگر[6] مقالات مرتبط بـا موضـوع موردبررسـی قرار گرفت. همچنین با جستجو در پایگاه‌های اطلاعات فارسی مگیران، علـم نـت و پایگـاه علمی جهاد دانشگاهی مقالات داخلی مرتبط با موضوع نیز مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

گام دوم- شناسایی عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر اسـتقرار فنـاوری‌هـای صنعت ٤٫۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد: به‌منظور بـومی‌سـازی عوامـل مـرتبط بـا منابع انسانی اثرگذار بر اسـتقرار صـنعت ۴٫۰ به‌دسـت‌آمده از ادبیـات پـژوهش، از خبرگـان دانشگاهی و مدیران صنعت فولاد یزد با اسـتفاده از رویکـرد دلفـی فـازی نظرخـواهی شـد. دلفی فازی، روش دلفی سنتی را با نظریه مجموعـه‌هـای فـازی ترکیـب مـی‌کنـد. در نظریـه مجموعه‌های فازی امکان نمایش ابهام و ذهنیت ذاتی در پاسخ‌های انسانی فراهم شده است. رویکـرد دلفـی فـازی مـی‌توانـد به‌صـورت یـک مرحلـه‌ای و چندمرحلـه‌ای انجـام شـود. درصورتی‌که محققان به دنبال اضافه کردن متغیرها و عوامل موردبررسی نباشند، از رویکرد دلفی فازی یک مرحله‌ای استفاده می‌شود. به‌عبارتی‌دیگـر بـرخلاف رویکـرد دلفـی سـنتی، نیاز به تشکیل چندین دور متعدد برای اجماع در نظـرات خبرگـان نیسـت. اگـر محققـان بـه دنبـال اضـافه کـردن متغیرهـای جدیـد توسـط خبرگـان باشـند، از رویکـرد دلفـی فـازی

1. Scopus
2. Web of science
3. Science direct
4. Emerald
5. Taylor and Francis
6. Springer

چندمرحله‌ای استفاده می‌شود. این رویکرد تا جایی ادامه پیدا خواهد کرد که عاملی از حد آستانه پایین‌تر نباشد. همچنین در راستای مقایسه نظرات خبرگان، درصورتی‌که اختلاف مقدار فازی‌زدایی شده نظرات آن‌ها برای هر عامل کمتر از ۰/۱ در دور جدید نسبت به دور قبل بود، آن عامل مورد تأیید است. در پژوهش حاضر به دلیل خواست پژوهشگران از خبرگان در راستای اضافه کردن عامل منابع انسانی مؤثر بر استقرار صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد به‌صورت یک سؤال باز در پرسشنامه از رویکرد چندمرحله‌ای استفاده شده است. به‌عبارتی‌دیگر در دور اول نظرات خبرگان جمع‌آوری‌شده و عواملی که از حد آستانه پایین‌تر هستند، حذف می‌شوند. در صورت اضافه کردن عاملی توسط خبرگان، مرحله دوم نظرخواهی انجام می‌شود. این روند تا جایی ادامه پیدا خواهد کرد که تمامی عوامل تأییدشده و اختلاف مقدار فازی‌زدایی شده نظرات آن‌ها برای هر عامل کمتر از ۰/۱ در دور جدید نسبت به دور قبل باشد. مراحل اجرای رویکرد دلفی فازی به شرح زیر بیان شده است (Bahrami, Hashemzadeh, Shahmansouri, & Fathi Hefeshjani, 2023; Petrudi, Ghomi, & Mazaheriasad, 2022):

مرحله اول- جمع‌آوری نظر خبرگان: جامعه آماری موردنظر برای استفاده از رویکرد دلفی فازی، اساتید دانشگاهی و مدیران صنعت فولاد یزد هستند. با توجه به محدودیت‌های مختلفی ازجمله دسترسی به‌تمامی خبرگان، زمان و هزینه از روش نمونه‌گیری گلوله برفی استفاده شده است. بر اساس این روش پس از انتخاب خبرگان اولیه، سایر خبرگان از طریق معرفی خبرگان اولیه شناسایی شده‌اند. این روند تا جایی ادامه یافت که خبرگان جدیدی توسط خبرگان اولیه معرفی نشدند. بر این اساس تعداد ۱۷ خبره شامل مدیران و متخصصان صنعت فولاد یزد و همچنین خبرگان و اساتید دانشگاهی انتخاب شدند. مدیران و متخصصان منتخب صنعت فولاد یزد در این پژوهش تجربه حداقل ۸ سال کار در حوزه صنعت و انجام فعالیت‌های مختلف در خصوص استقرار پروژه‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات را داشته‌اند. علاوه بر این اساتید و خبرگان دانشگاهی منتخب در این پژوهش نیز

فعالیت‌هـایی اعـم از نگـارش مقـالات، کتـاب و ... در حـوزه صـنعت ۴,۰ و مشـارکت در طرح‌های پژوهشی در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات با صنایع مختلف ازجملـه صـنعت فـولاد را داشـته‌اند. نظـرات خبرگـان بـر اسـاس متغیـرهـای زبـانی به‌صـورت جـدول ۲ جمع‌آوری‌شده است.

جدول ۲. اصطلاحات کلامی و اعداد فازی مثلثی متناظر

ردیف	متغیرهای کلامی	اعداد فازی متناظر
۱	بسیار پراهمیت	(۰/۷، ۰/۹، ۱)
۲	پراهمیت	(۰/۵، ۰/۷، ۰/۹)
۳	متوسط	(۰/۳، ۰/۵، ۰/۷)
۴	کم‌اهمیت	(۰/۱، ۰/۳، ۰/۵)
۵	بسیار کم‌اهمیت	(۰، ۰/۱، ۰/۳)

مرحله دوم- محاسبه ارزش فازی هر سؤال: پس از جمع‌آوری نظـر خبرگـان، مـاتریس نظرات مختلف خبرگان به یک ماتریس اجماع شده تبدیل می‌شود. شـایان ذکـر اسـت کـه ارزش فازی هر سؤال به‌صورت $\tilde{A}=(L_j, M_j, U_j)$ نمایش داده شده که L_j حـد پـایین، M_j حد متوسط و U_j حد بالا است. بر اسـاس روابـط زیـر مـاتریس اجمـاع شـده نظـر خبرگـان تشکیل می‌شود:

$$L_j = Min(x_{ij}) \qquad i=1,2,...,n \qquad j=1,2,...,m \qquad (۱)$$

$$M_j = (\prod_{i=1}^{n.m} x_{ij})^{\frac{1}{n}} \qquad i=1,2,...,n \qquad j=1,2,...,m \qquad (۲)$$

$$U_j = Max(x_{ij}) \qquad i=1,2,...,n \qquad j=1,2,...,m \qquad (۳)$$

L_j بیـان‌گـر حـد پـایین ارزش فـازی سـؤال یـا عامـل J ام پرسشـنامه مـی‌باشـد کـه برابـر بـا کوچکترین مقداری است که خبرگان بـه آن تخصـیص داده‌انـد. M_j نیـز نشـان‌دهنـده حـد وسط ارزش فازی شاخص J ام می‌باشد که از طریق محاسبه میانگین هندسـی کلیـه نظـرات خبرگان به دست می‌آید. علاوه بر این U_j بیان‌گر حد بالای ارزش فازی سؤال یا عامـل J ام

پرسشنامه می‌باشد که برابر با بزرگترین مقداری است که خبرگان به آن تخصیص داده‌اند. X_{ij} نیز مقدار تخصیص داده شده توسط خبرگان است.

مرحله سوم- فازی‌زدایی: در این مرحله اعداد فازی محاسبه شده از مراحل قبل به اعداد قطعی تبدیل می‌شوند. در پژوهش‌های مختلف صورت گرفته، روابط متعددی به منظر فازی‌زدایی اعداد فازی استفاده شده است. در این پژوهش از رابطه ۴ به‌منظور فازی‌زادیی بهره گرفته شده است.

$$S_j = \frac{L_j + 2M_j + U_j}{4} \quad (٤)$$

مرحله چهارم- ارزیابی عوامل یا سؤالات بر اساس حد آستانه: در این مرحله بر اساس تعیین حد آستانه، عوامل تأیید یا رد می‌شوند. به‌عبارتی‌دیگر عواملی که برابر یا بزرگتر از حد آستانه باشند، تأیید و عواملی که از حد آستانه کوچک‌تر باشند، رد خواهند شد. درپژوهش‌های مختلف، روش‌های متعددی برای تعیین حد آستانه در نظر گرفته شده است. یکی از روش‌هایی تعیین حد آستانه نظرخواهی از خبرگان می‌باشد (Ahmad, Fei, Shoaib, & Ali, 2024) که در این پژوهش مقدار ۰/۶ برای تعیین حد آستانه در نظر گرفته شده است.

گام سوم- ارائه مدل علی- معلولی میان عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار فناوری‌های صنعت ٤,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد: به‌منظور ارائه مدل علی- معلولی از رویکرد دیماتل فازی استفاده شده است. روش دیماتل از سال ۱۹۷۲ تا ۱۹۷۹ توسط برنامه علوم و امور انسانی موسسه یادبود ژنو[1] ابداع شد. این روش به‌عنوان بهترین روش برای شناسایی روابط علت و معلولی بین عوامل پیچیده در نظر گرفته شد. روش دیماتل فازی برای تجزیه‌وتحلیل روابط علی بین اثرگذار بر یک تصمیم در شرایط عدم قطعیت و از طریق متغیرهای زبانی فازی بکار گرفته می‌شود (Priyanka, Ravindran,

1. Science and human affairs program of Battelle Memorial Institute of Geneva

Sankaranarayanan, & Ali, 2023). گام‌های رویکرد دیماتل فازی شرح زیر است (Derse, 2024; Mao, Chen, Lv, Guo, & Xie, 2023).

مرحله اول- شناخت خبرگان: در مرحله اول به‌منظور تشکیل ماتریس مقایسات زوجی میان عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد، از ۱۷ نفر از خبرگان شامل مدیران صنعت فولاد یزد و اساتید دانشگاهی تعیین‌شده در رویکرد دلفی فازی نظرخواهی شد.

مرحله دوم- تعیین میزان اثرگذاری و اثرپذیری عوامل در محیط فازی: در این مرحله با استفاده از متغیرهای زبانی در شرایط فازی، میزان اهمیت اثرگذاری و اثرپذیری عوامل نسبت به یکدیگر در قالب یک ماتریس مقایسات زوجی تعیین می‌شود. در جدول ۳ متغیرهای زبانی در یک محیط فازی و بر اساس اعداد فازی مثلثی به‌صورت $\tilde{A}=(L_j, M_j, U_j)$ بیان شده است.

جدول ۳. متغیرهای زبانی در محیط فازی

ردیف	متغیرهای کلامی	اعداد فازی متناظر
۱	تأثیر خیلی زیاد	(۰/۷، ۰/۹، ۱)
۲	تأثیر زیاد	(۰/۵، ۰/۷، ۰/۹)
۳	تأثیر کم	(۰/۳، ۰/۵، ۰/۷)
۴	تأثیر خیلی کم	(۰/۱، ۰/۳، ۰/۵)
۵	بدون تأثیر	(۰، ۰/۱، ۰/۳)

پس ازنظر خواهی از خبرگان ماتریس مقایسات زوجی به‌صورت رابطه ۵ نشان داده شده است.

$$\tilde{Z}_k = \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & \tilde{Z}_{12} & \cdots & \tilde{Z}_{1n}^{(k)} \\ \tilde{Z}_{21}^{(k)} & 0 & \cdots & \tilde{Z}_{2n}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{Z}_{n1}^{(k)} & \tilde{Z}_{n2}^{(k)} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad k=1,2,...,p \qquad (۵)$$

بر اساس رابطه ۵، $Z_{ij}^{k} = (L_{ij}^{k}, M_{ij}^{k}, U_{ij}^{k})$ اعداد فازی مثلثی L_{ij}^{k} حد پایین، M_{ij}^{k} حد متوسط و U_{ij}^{k} حد بالا است. همچنین C نشان‌دهنده عوامل و K نشان‌دهنده خبرگان بوده که از مقدار یک تا P اختیار می‌کند.

مرحله سوم- تشکیل ماتریس اجماع نظرات خبرگان: با توجه به نظرخواهی بیش از یک خبره، ماتریس‌های متعدد به‌دست‌آمده ازنظر خبرگان به یک ماتریس اجماع بر اساس میانگین حسابی تبدیل می‌شود.

مرحله چهارم- بی مقیاس‌سازی ماتریس جمیع شده مقایسات زوجی: در این مرحله و بر اساس بی مقیاس‌سازی خطی، ماتریس به‌دست‌آمده از مرحله سوم نرمال می‌شود. برای انجام بی‌مقیاس‌سازی خطی از رابطه ۶ و ۷ استفاده شده است.

$$\tilde{X}_{ij} = \frac{\tilde{Z}_{ij}}{r_{max}} = \left(\frac{L_{ij}}{r_{max}}, \frac{M_{ij}}{r_{max}}, \frac{U_{ij}}{r_{max}}\right) \quad (٦)$$

که در آن داریم:

$$\tilde{a}_{ij} = \sum_{j=1}^{n} \tilde{Z}_{ij} = \left[\sum_{j=1}^{n} L_{ij}, \sum_{j=1}^{n} M_{ij}, \sum_{j=1}^{n} U_{ij}\right]$$

رابطه ۷ بر اساس این‌که عدد فازی مثلثی را می‌توان از مجموع ستونی درایه‌های ماتریس زیر به‌صورت رابطه ۸ تشکیل داد، نوشته شده است.

$$r_{max} = \max_{ij}\left[\max_{1\le i\le n}\sum_{j=1}^{n} u_{ij}, \max_{1\le j\le n}\sum_{i=1}^{n} u_{ij}\right]$$

مرحله پنجم- تشکیل ماتریس روابط غیرمستقیم: در تشکیل ماتریس فازی روابط غیرمستقیم $(\tilde{T})$ که شدت اثر نسبی حاکم بر روابط مستقیم و غیرمستقیم سیستم تحت می‌دهد، بایستی مطابق را روش دیماتل قطعی از رابطه ۹ استفاده کرد. (۹)

$$T=\lim_{w\to\infty}(x+x^2+\dots x^w)=X(I-X)^{-1}$$

انجام این کار به‌صورت مستقیم از ماتریس فازی $\tilde{X}_{ij}$ امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین برای انجام آن، ابتدا هرکدام از ماتریس‌های قطعی X_L، X_M و X_U به‌صورت جداگانه از طریق $X(I$ به ماتریس‌های قطعی L'_{ij}، M'_{ij} و U'_{ij} تبدیل می‌شوند؛ یعنی داریم:

$$\tilde{t}_{ij}=(L'_{ij},M'_{ij},U'_{ij}) \quad (۱۰)$$

$$\left[L'_{ij}\right]=X_L\times(I-X_L)^{-1} \quad (۱۱)$$

$$\left[M'_{ij}\right]=X_M\times(I-X_M)^{-1} \quad (۱۲)$$

$$\left[U'_{ij}\right]=X_U\times(I-X_U)^{-1} \quad (۱۳)$$

با توجه به روابط فوق، ماتریس به‌صورت رابطه ۱۴ تعریف شده است.

$$\tilde{T}_k=\begin{bmatrix}0 & \tilde{t}_{12} & \cdots & \tilde{t}_{1n}\\ \tilde{t}_{21} & 0 & \cdots & \tilde{t}_{2n}\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \tilde{t}_{n1} & \tilde{t}_{n2} & \cdots & 0\end{bmatrix} \quad (۱٤)$$

هر درایه از ماتریس فوق به‌صورت $\tilde{t}_{ij}=(L'_{ij},M'_{ij},U'_{ij})$ می‌باشد.

مرحله پنجم- پیاده‌سازی و تحلیل مدل: در این مرحله و پس از محاسبه ماتریس $\tilde{T}$ مقادیر $\tilde{R}_d$، $\tilde{J}_d$، $\tilde{R}_d+\tilde{J}_d$ و $\tilde{R}_d-\tilde{J}_d$ برای هرکدام از عوامل به دست می‌آید. مشابه با روش دیماتل قطعی، $\tilde{R}_d$ مجموع درایه‌های فازی سطری و $\tilde{J}_d$ مجموع درایه‌های فازی ستونی است.

مرحله ششم- فازی‌زدایی: در پژوهش‌های صورت گرفته مرتبط با رویکرد دیماتل فازی، از روش‌های مختلفی به‌منظور فازی‌زدایی استفاده شده است. به‌منظور فازی زدایی اعداد فازی مثلثی هر یک از عوامل از معیار BNP[1] استفاده شده است. در این پژوهش از رابطه ۱۵ استفاده شده است.

1. Best Non-fuzzy Performance

(۱۵)

$$BNP = \frac{(L + M + U)}{3}$$

یافته‌ها

در این بخش ابتدا بر اساس رویکرد دلفی فازی، عوامل مرتبط با نیروی انسانی اثرگذار بر استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد شناسایی‌شده است. در جدول ۴ و با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳، ماتریس اجماع شده فازی حاصل ازنظر خبرگان نشان داده شده است.

جدول ٤. نتایج حاصل از رویکرد اول دلفی فازی

عوامل	حد پایین (L)	حد متوسط (M)	حد بالا (U)	مقدار فازی‌زدایی شده	نتیجه
انگیزه کاری	۰/۳	۰/۷۲	۱	۰/۶۸	تأیید
تعهد کاری	۰/۳	۰/۶۹	۱	۰/۶۷	تأیید
دانش فنی و مهندسی	۰/۳	۰/۷۶	۱	۰/۷۰	تأیید
همکاری و تعامل	۰/۵	۰/۷۷	۱	۰/۷۶	تأیید
یادگیری و توانمندسازی	۰/۳	۰/۷۰	۱	۰/۶۷	تأیید
توانایی یادگیری مستمر	۰	۰/۱۷	۰/۵	۰/۲۱	رد
جذب نیروی ماهر	۰/۵	۰/۷۷	۱	۰/۷۶	تأیید
تفکر سیستمی کارکنان	۰/۳	۰/۷۰	۱	۰/۶۷	تأیید
امنیت و حفظ حریم خصوصی	۰	۰/۱۵	۰/۵	۰/۲۰	رد
تحلیل داده و هوش تجاری	۰	۰/۱۲	۰/۵	۰/۱۸	رد
دریافت حقوق متناسب با فعالیت	۰/۳	۰/۷۶	۱	۰/۷۰	تأیید
سودمندی درک شده	۰/۳	۰/۷۴	۱	۰/۶۹	تأیید
سهولت درک شده	۰/۵	۰/۸۷	۱	۰/۸۱	تأیید

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۴، تمامی عوامل به‌جز سه عامل توانایی یادگیری مستمر، تحلیل داده و هوش تجاری و امنیت و حفظ حریم خصوصی به دلیل مقدار فازی-

زدایی شده بالاتر از حدآستانه (۰/۶) مورد تأیید قرار گرفتند. علاوه بر این با توجه به خواست پژوهشگران از خبرگان مرتبط با اضافه کردن متغیرهای موردنظر مؤثر عوامل مرتبط با منابع انسانی بر هوشمندسازی و استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰، سه متغیر آزادی عمل در انجام کار[1]، زمان کافی برای انجام کار[2] و نوآوری و خلاقیت[3] توسط خبرگان معرفی شد؛ بنابراین پرسشنامه مرتبط با رویکرد دلفی فازی در دور دوم با حذف عوامل حاصل از دور اول و اضافه کردن عوامل موردنظر خبرگان میان آن‌ها توزیع شد. نتایج حاصل از دور دوم رویکرد دلفی فازی به‌صورت جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵. نتایج حاصل از دور دوم رویکرد دلفی فازی

عوامل	حد پایین (L)	حد متوسط (M)	حد بالا (U)	مقدار فازی-زدایی شده مرحله دوم	مقدار فازی-زدایی شده مرحله اول	اختلاف دو مرحله	نتیجه
انگیزه کاری	۰/۳	۰/۷۱	۱	۰/۶۸	۰/۶۸	۰	تأیید
تعهد کاری	۰/۳	۰/۶۶	۱	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۰۲	تأیید
دانش فنی و مهندسی	۰/۳	۰/۷۴	۱	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۰۱	تأیید
همکاری و تعامل	۰/۵	۰/۷۹	۱	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۰۱	تأیید
توانمندسازی نیروی انسانی	۰/۱	۰/۷۲	۱	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۰۱	تأیید
جذب نیروی ماهر	۰/۵	۰/۷۷	۱	۰/۷۶	۰/۷۶	۰	تأیید
تفکر سیستمی کارکنان	۰/۳	.۰/۷۴	۱	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۰۲	تأیید
دریافت حقوق متناسب با فعالیت	۰/۵	۰/۷۹	۱	۰/۷۷	۰/۷۰	۰/۰۷	تأیید
سودمندی درک شده	۰/۳	۰/۷۶	۱	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۰۱	تأیید
سهولت درک شده	۰/۵	۰/۸۱	۱	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۰۳	تأیید
نوآوری و خلاقیت	۰/۱	۰/۶۷	۱	۰/۶۶	–	–	تأیید

1. Freedom to do work
2. Sufficient time to do the work
3. Innovation and creativity

عوامل	حد پایین (L)	حد متوسط (M)	حد بالا (U)	مقدار فازی- زدایی شده مرحله دوم	مقدار فازی- زدایی شده مرحله اول	اختلاف دو مرحله	نتیجه
آزادی عمل در انجام کار	۰/۳	۰/۷۲	۱	۰/۶۸	–	–	تأیید
زمانی کافی برای انجام کار	۰/۵	۰/۷۷	۱	۰/۷۶	–	–	تأیید

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در رویکرد دلفی فازی در جدول ۵ سه متغیر معرفی‌شده توسط خبرگان شامل آزادی عمل در انجام کار، نوآوری و خلاقیت و زمان کافی برای انجام کار به‌عنوان عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار صنعت ۴٫۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد مورد تأیید قرار گرفت.

پس از شناسایی عوامل نهایی منابع انسانی اثرگذار بر استقرار فناوری‌های صنعت ۴٫۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد، اثر علی- معلولی آن‌ها با استفاده از رویکرد دیماتل فازی موردبررسی قرار گرفته است. بر اساس مراحل ذکرشده در رویکرد دیماتل فازی، نتایج به‌دست‌آمده به‌صورت جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ٦. نتایج حاصل از رویکرد دیماتل فازی

عوامل	R	J	R+J	R-J
انگیزه کاری	(۰/۲۷۲، ۰/۰۷۹، ۰/۰۲۶)	(۰/۳۵۶، ۰/۱۰۴، ۰/۰۳۳)	(۰/۶۲۸، ۰/۱۸۴، ۰/۰۵۹)	(-۰/۰۰۷، -۰/۰۲۴، -۰/۰۸۴)
تعهد کاری	(۰/۲۸۲، ۰/۰۷۷، ۰/۰۲۵)	(۰/۳۷۳، ۰/۱۱۳، ۰/۰۳۷)	(۰/۶۵۵، ۰/۱۹۱، ۰/۰۶۳)	(-۰/۰۱۱، -۰/۰۳۵، -۰/۰۹۰)
دانش فنی و مهندسی	(۰/۳۲۱، ۰/۰۹۰، ۰/۰۲۷)	(۰/۲۹۱، ۰/۰۸۱، ۰/۰۲۴)	(۰/۶۱۳، ۰/۱۷۲، ۰/۰۵۲)	(۰/۰۳۰، ۰/۰۰۸، ۰/۰۰۳)
همکاری و تعامل	(۰/۴۳۷، ۰/۱۳۸، ۰/۰۴۵)	(۰/۴۳۷، ۰/۱۴۲، ۰/۰۵۲)	(۰/۸۷۴، ۰/۲۸۱، ۰/۰۹۸)	(-۰/۰۰۰۴، -۰/۰۰۴، -۰/۰۰۶)
توانمندسازی نیروی انسانی	(۰/۳۳۱، ۰/۰۹۳، ۰/۰۲۸)	(۰/۴۴۴، ۰/۱۹۱، ۰/۰۴۹)	(۰/۷۷۵، ۰/۲۸۵، ۰/۰۷۷)	(-۰/۰۲۱، -۰/۰۹۸، -۰/۱۱۳)
جذب نیروی ماهر	(۰/۴۵۹، ۰/۱۴۴،	(۰/۳۶۰، ۰/۰۸۶،	(۰/۸۱۹، ۰/۲۳۱،	(۰/۰۹۸، ۰/۰۵۸،

عوامل	R	J	R+J	R-J
	(۰/۰۴۷	(۰/۰۲۴	(۰/۰۷۲	(۰/۰۲۳
تفکر سیستمی کارکنان	(۰/۱۸۸، ۰/۰۲۷، ۰/۰۰۵)	(۰/۳۲۳، ۰/۰۸۷، ۰/۰۲۴)	(۰/۵۱۱، ۰/۱۲۵، ۰/۰۳۰)	(-۰/۰۱۸، -۰/۰۵۰، -۰/۱۳۵)
دریافت حقوق متناسب با فعالیت	(۰/۳۲۱، ۰/۰۷۳، ۰/۰۲۱)	(۰/۲۲۷، ۰/۰۵۱، ۰/۰۱۲)	(۰/۵۴۹، ۰/۱۲۴، ۰/۰۳۳)	(۰/۰۹۴، ۰/۰۲۱، ۰/۰۰۸)
سودمندی درک شده	(۰/۴۳۹، ۰/۱۴۴، ۰/۰۴۹)	(۰/۳۱۱، ۰/۰۸۸، ۰/۰۲۷)	(۰/۷۵۰، ۰/۲۳۳، ۰/۰۷۶)	(۰/۱۲۸، ۰/۰۵۶، ۰/۰۲۲
سهولت درک شده	(۰/۳۱۹، ۰/۰۹۴، ۰/۰۳۰)	(۰/۲۹۸، ۰/۰۷۸، ۰/۰۲۲)	(۰/۶۱۸، ۰/۱۷۳، ۰/۰۵۲)	(۰/۰۲۱، ۰/۰۱۶، ۰/۰۰۸)
نوآوری و خلاقیت	(۰/۲۸۳، ۰/۱۱۰، ۰/۰۱۵)	(۰/۴۴۶، ۰/۱۴۳، ۰/۰۴۸)	(۰/۷۳۰، ۰/۲۵۳، ۰/۰۶۴)	(-۰/۰۳۳، -۰/۰۳۲، -۰/۱۶۳)
آزادی عمل در انجام کار	(۰/۳۱۳، ۰۸۶، ۰/۰۲۵)	(۰/۲۰۹، ۰/۰۴۵، ۰/۰۰۹)	(۰/۵۲۳، ۰/۱۳۱، ۰/۰۳۴)	(۰/۱۰۳، ۰/۰۴۰، ۰/۰۱۵)
زمانی کافی برای انجام کار	(۰/۳۳۸، ۰/۰۹۳، ۰/۰۲۶)	(۰/۲۲۹، ۰/۰۵۰، ۰/۰۱۰)	(۰/۵۶۸، ۰/۱۴۴، ۰/۰۳۷)	(۰/۱۰۹، ۰/۰۴۳، ۰/۰۱۶)

بر اساس رابطه فازی‌زدایی شده، مقادیر جدول ۶، به‌صورت جدول ۷ فازی‌زدایی شده است.

جدول ۷. مقادیر (R+J) و (R-J) فازی‌زدایی شده

عوامل	R+J	R-J
انگیزه کاری	۰/۲۹۰	-۰/۰۳۸
تعهد کاری	۰/۳۰۳	-۰/۰۴۶
دانش فنی و مهندسی	۰/۲۷۹	۰/۰۱۴
همکاری و تعامل	۰/۴۱۸	۰/۰۰۳
یادگیری و توانمندسازی	۰/۳۷۹	-۰/۰۷۷
جذب نیروی ماهر	۰/۳۷۴	۰/۰۶۰
تفکر سیستمی کارکنان	۰/۲۲۲	-۰/۰۶۸
دریافت حقوق متناسب با فعالیت	۰/۲۳۶	۰/۰۴۱
سودمندی درک شده	۰/۳۵۳	۰/۰۶۹

عوامل	R+J	R-J
سهولت درک شده	۰/۲۸۱	۰/۰۱۵
نوآوری و خلاقیت	۰/۳۴۹	-۰/۰۷۶
آزادی عمل در انجام کار	۰/۲۲۹	۰/۰۵۳
زمانی کافی برای انجام کار	۰/۲۵۰	۰/۰۵۶

همان‌گونه که در جدول ۷ نشان داده شده، عامل همکاری و تعامل از بیشترین مقدار R+J برخوردار است. این موضوع نشان‌دهنده این است که همکاری و تعامل به‌عنوان مهم‌ترین عامل در مقایسه با سایر عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد به شمار می‌رود. همچنین مقدار R-J بزرگ‌تر از صفر نشان‌دهنده میزان اثرگذاری و R-J کمتر از صفر نشان‌دهنده اثرپذیری یک عامل است. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده در جدول ۶، دو عامل سودمندی درک شده و جذب نیروی ماهر از بیشترین مقدار R-J در مقایسه با سایر عوامل برخوردارند. این موضوع نشان-دهنده اثرگذار بودن سودمندی درک شده و جذب نیروی ماهر بر روی سایر عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد است. علاوه بر این نوآوری و خلاقیت و یادگیری و توانمندسازی به‌عنوان اثرپذیرترین عوامل مرتبط با نیروی انسانی اثرگذار بر استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد شناخته شده است. در شکل ۲ روابط علی- معلولی شناسایی‌شده حاصل از رویکرد دیماتل فازی نشان داده شده است.

شکل ۲. روابط علی- معلولی

همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده عامل همکاری و تعامل از بیشترین مقدار **R+J** (محور افقی) در مقایسه با سایر عوامل منابع انسانی اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ برخوردار است. علاوه بر این عامل سودمندی درک شده (بیشترین مقدار **R-J**) به‌عنوان اثرگذارترین و تمایل به یادگیری اثرپذیرترین عامل (**R-J**) شناخته شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

صنعت فولاد به‌عنوان یکی از مهم‌ترین صنایع در رشد اقتصادی و صنعتی کشور در نظر گرفته می‌شود. صنایع فولاد ازجمله صنعت فولاد یزد با چالش‌ها و مشکلات متعددی

همچون عدم ردیابی محصولات، افزایش ضایعات ناشی از تولید، قدمت بالای تجهیزات و عدم کارایی آن‌ها، محدودیت در دسترسی منابع طبیعی، پیامدهای مخرب زیست‌محیطی ناشی از انجام فعالیت و فرآیندها و ... مواجه است. یکی از راهکارهای مقابله با چالش‌های موجود صنعت فولاد یزد، حرکت به‌سوی صنعت ۴٫۰ و استفاده از فناوری‌های آن است. به‌عبارتی‌دیگر با استفاده از فناوری‌های مختلفی همچون اینترنت اشیاء، بلاک‌چین و ... می‌توان ردیابی محصولات، کنترل فرآیند استخراج بهینه منابع، کنترل آلاینده‌ها و ... را امکان‌پذیر ساخت. با توجه به مزایای صنعت ۴٫۰، استقرار فناوری‌های صنعت ۴٫۰ موردتوجه بسیاری از محققین، سازمان‌ها و صنایع مختلف قرار گرفته است. در دهه گذشته مطالعات بسیاری به استقرار صنعت ۴٫۰ و عوامل اثرگذار بر آن پرداخته‌اند. یکی از عوامل مهم اثرگذار در موفقیت استقرار صنعت ۴٫۰، نیروی انسانی است. به‌عبارتی‌دیگر عدم توجه به نقش نیروی انسانی، فرآیند استقرار صنعت ۴٫۰ در صنعت فولاد یزد را با مشکلات متعددی ازجمله مقاومت کارکنان در پذیرش تغییرات، عدم تمایل کارکنان به همکاری، ایجاد کارشکنی در فرآیندهای استقرار و درنهایت شکست پروژه استقرار صنعت ۴٫۰ مواجه خواهد کرد. علی‌رغم انجام پژوهش‌های متعدد در حوزه صنعت ۴٫۰، چگونگی نقش منابع انسانی به‌عنوان دارایی با ارزش سازمان‌ها و صنایع مختلف موردبررسی قرار نگرفته است. هدف از انجام این پژوهش بررسی نقش منابع انسانی در استقرار فناوری‌های صنعت ۴٫۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد است. در این پژوهش با مطالعه ادبیات، عوامل انگیزه کاری، تعهد کاری، دانش فنی و مهندسی، همکاری و تعامل، یادگیری و توانمندسازی، تفکر سیستمی، توانایی یادگیری مستمر، تحلیل داده و هوش تجاری، امنیت و حفظ حریم خصوصی، دریافت حقوق متناسب با فعالیت، سودمندی درک شده و سهولت درک شده به‌عنوان عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار فناوری‌های صنعت ۴٫۰ شناسایی شدند. به‌منظور تأیید عوامل شناسایی‌شده از خبرگان دانشگاهی و مدیران صنعت فولاد یزد با استفاده از رویکرد دلفی فازی نظرخواهی شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از رویکرد دلفی فازی، سه عامل توانایی یادگیری مستمر، تحلیل داده و هوش

تجاری و امنیت و حفظ حریم خصوصی به دلیل مقدار فازی‌زدایی شده پایین‌تر از حدآستانه (۰/۶) مورد تأیید قرار نگرفتند. سه عامل نام برده شده نقش تعیین‌کننده در موفقیت اجرای صنعت ۴٫۰ پس از دوران استقرار دارند و نمی‌توان از آن‌ها به‌عنوان عوامل اثرگذار بر استقرار صنعت ۴٫۰ نام برد. در پژوهش صورت گرفته توسط بردله و همکاران[1] (۲۰۲۲) تحلیل داده و هوش تجاری به‌عنوان عامل اثرگذار بر استقرار فناوری‌های صنعت ۴٫۰ در نظر گرفته شد. آن‌ها در پژوهش خود تحلیل داده، شناسایی الگوها، روابط و روندهای مهم را در داده‌های تولید شده توسط سیستم‌ها، دستگاه‌ها و فرآیندهای صنعت ۴٫۰ به‌عنوان عامل تعیین‌کننده موفقیت استقرار صنعت ۴٫۰ معرفی کرده‌اند (Bordeleau, Mosconi, & de Santa-Eulalia, 2020). نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه بردله و همکاران (۲۰۲۲) با مطالعه حاضر همسو نیست. بر اساس نظر خبرگان و نتایج حاصل از رویکرد دلفی فازی، تحلیل داده و هوش تجاری به‌عنوان عامل تعیین‌کننده در زمان استقرار صنعت ۴٫۰ به شمار نمی‌رود. به‌عبارتی‌دیگر عامل تحلیل داده و هوش تجاری به‌عنوان عامل اثرگذار پس از دوره استقرار صنعت ۴٫۰ و استفاده از فناوری‌های مرتبط با آن است. علاوه بر این دو عامل حفظ حریم خصوصی و امنیت و یادگیری مستمر در پژوهش صورت گرفته توسط اوزکن- اوزن و کازانکوگلو (۲۰۲۲) به‌عنوان عوامل اثرگذار مرتبط با منابع انسانی در جهت استقرار صنعت ۴٫۰ شناسایی شدند. نتایج پژوهش صورت گرفته توسط اوزکن- اوزن و کازانکوگلو (۲۰۲۲) با نتایج حاصل از رویکرد دلفی فازی و نظرخواهی از اساتید دانشگاهی و مدیران صنعت فولاد یزد در این پژوهش سازگار نیست. به‌عبارتی‌دیگر عوامل امنیت و حفظ حریم خصوصی و یادگیری مستمر چگونگی استفاده از فناوری‌های صنعت ۴٫۰ می‌تواند مرتبط با دوره پس از استقرار صنعت ۴٫۰ و فناوری‌های آن در صنایع مختلف در نظر گرفته شود. علاوه بر این با توجه به خواست پژوهشگران از خبرگان مرتبط با اضافه کردن متغیرهای مورد نظر مرتبط با عوامل انسانی اثرگذار بر استقرار صنعت ۴٫۰، سه متغیر آزادی عمل در انجام کار، زمان کافی برای انجام کار و نوآوری و خلاقیت

1. Bordeleau et al.

توسط خبرگان معرفی شد و در مرحله دوم نظرخواهی از آن‌ها مورد تأیید قرار گرفت. پس از تأیید عوامل نهایی توسط خبرگان دانشگاهی و مدیران صنعت فولاد یزد، روابط علی و معلولی میان عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار فناوری‌های صنعت ۴٫۰ با استفاده از رویکرد دیماتل فازی موردبررسی قرار گرفت. با توجه به بالاترین مقدار R+J برای همکاری و تعامل، این عامل به‌عنوان مهم‌ترین عامل مرتبط با منابع انسانی در استقرار فناوری‌های صنعت ۴٫۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد به شمار می‌رود. با توجه به عدم شناخت کافی از فرآیندهای مورد نیاز در استقرار صنعت ۴٫۰، عدم الگوی مناسب در این زمینه در کشور، وجود ابهام در رویه‌ها و فعالیت‌ها، شناخت فرآیندهای اساسی در موفقیت استقرار صنعت ۴٫۰ در صنعت فولاد یزد و کاهش مقاومت کارکنان در پذیرش تغییرات مورد نیاز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین اشمیت و همکاران[1] (۲۰۲۳) اشتراک‌گذاری دانش میان کارکنان، همکاری و هماهنگی میان آن‌ها و مدیران در بخش‌ها و قسمت‌های مختلف صنایع را عامل مهمی بر درک بهتر کارکنان از مزایا و چگونگی استقرار صنعت ۴٫۰ و کاهش میزان ترس آنان در مواردی همچون از دست دادن منافع شخصی، عدم توانایی در استفاده از فناوری‌های جدید بکار گرفته شده و ... معرفی کرده‌اند (Schmidt, Veile, Müller, & Voigt, 2023) که با نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر منطبق است. علاوه بر این ویله و همکاران[2] (۲۰۲۰) در مطالعه خود بیان کردند که با توجه به پیچیدگی‌های فناوری‌های صنعت ۴٫۰ و عدم شناخت کافی از فرآیندهای مورد نیاز، همکاری و به اشتراک‌گذاری دانش از اهمیت ویژه‌ای در استقرار صنعت ۴٫۰ برخوردار است (Veile et al., 2020).

همان‌گونه که در رویکرد دیماتل فازی شرح داده شد، مقادیر R-J نشان‌دهنده اثرگذاری یا اثرپذیری عوامل هستند. در صورت مثبت بودن مقدار R-J، یک عامل اثرگذار و در صورت منفی بودن R-J با یک عامل اثرپذیر مواجه هستیم. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده دو عامل سودمندی درک شده و جذب نیروی ماهر از بالاترین مقدار R-J

1. Schmidt et al.
2. Veile et al.

برخوردارند. به‌عبارتی‌دیگر عامل سودمندی درک شده و جذب نیروی ماهر به‌عنوان اثرگذارترین عوامل مرتبط با منابع انسانی بر استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد شناخته شده‌اند. یکی از موانع اصلی استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰ در صنعت فولاد یزد مقاومت کارکنان به دلیل ترس آن‌ها نسبت به از دست دادن منافع شخصی است. درک کارکنان از مزایا و فواید صنعت ۴,۰ در زمینه‌هایی همچون رشد بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها، افزایش منافع مالی برای کارکنان و ... می‌تواند زمینه‌ساز عواملی همچون انگیزه کاری و تمایل به همکاری، تعهد کاری، نوآوری و خلاقیت، تمایل به یادگیری فرآیندهای موردنیاز استقرار صنعت ۴,۰ و ... باشد. مسعود و سونتاگ[1] (۲۰۲۰) درک سودمندی توسط کارکنان درباره اهمیت و نیاز تغییر، میزان قبول و پذیرش آن را از عوامل مهم استقرار صنعت ۴,۰ معرفی کرده‌اند (Masood & Sonntag, 2020). همچنین عبداله و المکتاری[2] (۲۰۲۴) ادعا کرده‌اند که درک سودمندی توسط کارکنان درباره استقرار صنعت ۴,۰، انگیزه و رغبت آن‌ها را برای مشارکت فعال در فرآیند استقرار افزایش می‌دهد. آن‌ها بیان داشتند که درک کارکنان نسبت به مزایای صنعت ۴,۰ ازجمله بهبود شرایط کاری، افزایش توانمندی‌های شغلی و ایجاد فرصت‌های جدید، اشتیاق آن‌ها در فرآیند استقرار صنعت ۴,۰ را افزایش خواهد داد (Abdullah & Almaqtari, 2024).

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از رویکرد دیماتل فازی، عامل جذب نیروی انسانی نیز دومین عامل اثرگذار بر سایر عوامل شناخته شده است. جذب نیروی انسانی متخصص در حوزه صنعت ۴,۰ می‌تواند میزان آگاهی و دانش کارکنان نسبت به فرآیندهای موردنیاز و چگونگی استفاده از فناوری‌های صنعت ۴,۰ را افزایش دهد. به‌عبارتی‌دیگر استفاده از نیروی انسانی متخصص در حوزه صنعت ۴,۰ می‌تواند زمینه افزایش انگیزه و تعهد کاری کارکنان، ارائه ایده‌های خلاقانه و نوآورانه، انگیزه یادگیری دانش موردنیاز و ... را فراهم کند. نتایج این پژوهش با نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه صورت گرفته توسط وایسال و

1. Masood & Sonntag
2. Abdullah & Almaqtari

همکاران[1] (۲۰۱۹) همسو است (Whysall, Owtram, & Brittain, 2019). آن‌ها بیان کردند که صنعت ۴,۰ با پیچیدگی بالای خود، به مدیریت و حل مسائل پیچیده نیاز دارد. نیروی انسانی ماهر می‌تواند با تحلیل و بررسی مسائل پیچیده راهکارهای مختلفی در جهت شناسایی و رفع مشکلات فنی و عملیاتی در سیستم‌های پیچیده و تسهیل فرآیند استقرار صنعت ۴,۰ ارائه دهد. همچنین با توجه به کمترین مقدار R-J، دو عامل یادگیری و توانمندسازی و نوآوری و خلاقیت کارکنان از اثرپذیرترین عوامل مؤثر بر استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد معرفی شده است. به‌عبارتی‌دیگر تمایل به یادگیری نیروی انسانی. به‌کارگیری نوآوری و خلاقیت نیازمند عوامل اثرگذار مختلفی ازجمله جذب نیروی ماهر، سودمندی درک شده، سهولت درک شده و ... است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده پیشنهاد می‌شود که مدیران صنعت فولاد یزد با جذب افراد متخصص در حوزه صنعت ۴,۰ و همکاری و تعامل با صنایع فولاد فعال در این حوزه در سایر شهرها و حتی خارج از کشور، میزان درک و آگاهی کارکنان و مدیران خود را از چگونگی روند استقرار صنعت ۴,۰ و مزایای حاصل از آن افزایش دهند. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی عوامل مؤثر بر توسعه همکاری و تعامل میان کارکنان و سازمان‌های مختلف در جهت استقرار صنعت ۴,۰ موردبررسی قرار بگیرد. علاوه بر این پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی عوامل مرتبط با زیرساخت‌های فنی موردنیاز در استقرار صنعت ۴,۰ شناسایی و موردبررسی قرار بگیرد.

در این پژوهش به‌منظور تأیید عوامل شناسایی‌شده مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد ازنظر ۱۷ نفر از خبرگان این حوزه استفاده شد. بر اساس نظرات خبرگان پژوهش، سه عامل امنیت و حریم خصوصی، تحلیل داده و هوش تجاری، یادگیری مستمر و ... به‌عنوان عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ مورد تأیید قرار نگرفتند. از سویی دیگر بر اساس نظرات خبرگان سه عامل آزادی عمل در انجام کار، زمان کافی برای انجام کار و نوآوری و خلاقیت توسط

1. Whysall et al.

نتایج به‌دست‌آمده باید با احتیاط تعمیم داده شود چراکه ممکن است نظرات سایر خبرگان در این حوزه متفاوت باشد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

ORCID

Mehran Ziaeian **http://orcid.org/0000-0003-4609-2038**
Hajar Soleymanizadeh **http://orcid.org/0000-0002-7105-1644**
Maryam Ahmadi Zahrani **http://orcid.org/0009-0002-6742-7060**

منابع

۱. انتظاریان، ن، مهرآیین، م (۱۴۰۳). تأثیر مدیریت دانش و فناوری‌های صنعت ۴,۰ در سازمان‌ها: رویکرد فراترکیب. *مطالعات مدیریت کسب و کارهوشمند*، (۴۸) ۱۲، ۱۵۶-۱۱۹.

۲. وارسته، م، آقاجانی، ح (۱۴۰۲). تحلیل شاخص‌های مدل کسب‌وکار مدور در صنعت فولاد ایران. مدیریت عملیات، (۱۱) ۳. ۳۸-۱۰.

۳. بهرامی، م، هاشم‌زاده، غ. م، شاه‌منصوری، ا، فتحی هفشجانی، ک (۱۴۰۲). تحلیل مؤلفه‌های مؤثر بر ارزیابی آمادگی صنعت نسل چهارم. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی*، (۲) ۱۳، ۲۹۷-۲۶۷.

۴. ضیائیان، م، مروتی شریف آبادی، ع، میرفخرالدینی، س. ح، زنجیرچی، سم (۱۴۰۲). بررسی چگونگی تأثیر مدیریت دانش در استقرار صنعت ۴,۰ در صنعت لوازم خانگی کشور. *علوم و فنون مدیریت اطلاعات*، (۴)۹، ۲۹۲-۲۶۱.

۵. محقر، ع، قاسمیان صاحبی، ا، صادقپور فیروزآباد، ع (۱۴۰۲). مدلسازی عوامل آمادگی سازمانی استقرار کنترل فرایند آماری هوشمند در عصر صنعت ۴,۰ با رویکرد ساختاری-تفسیری فازی، *چشم‌انداز مدیریت صنعتی*، (۴) ۱۳، ۱۰۷-۸۵.

References

6. Abdullah, A. A. H., & Almaqtari, F. A. (2024). The impact of artificial intelligence and Industry 4.0 on transforming accounting and auditing practices. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, *10*(1), 100218 .
7. Ahmad, M. S., Fei, W ,.Shoaib, M., & Ali, H. (2024). Identification of Key Drivers for Performance Measurement in Sustainable Humanitarian Relief Logistics: An Integrated Fuzzy Delphi-DEMATEL Approach. *SUSTAINABILITY*, *16*(11), 4412.
8. Arroyabe, M. F., Arranz, C. F., de Arroyabe ,I. F., & de Arroyabe, J. C. F. (2024). The effect of IT security issues on the implementation of industry 4.0 in SMEs: Barriers and challenges. *Technological Forecasting and Social Change*, *199*, 123051.
9. Askary, M., Makui, A., & Tajik, M. (2024). A robust multi-objective MIP model to optimize the supply chain of steel industry taking into account the sustainability approach. *RAIRO-OPERATIONS RESEARCH*, *58*(2), 1059-1091.
10. Azimifard, A., Moosavirad, S. H., & Ariafar, S. (2018). Selecting

sustainable supplier countries for Iran's steel industry at three levels by using AHP and TOPSIS methods. *Resources Policy*, *57*, 30-44.

11. Bajic, B., Rikalovic, A., Suzic, N., & Piuri, V. (2020). Industry 4.0 implementation challenges and opportunities: A managerial perspective. *IEEE Systems Journal, 15*(1), 546-55.۹
12. Bordel, B., & Alcarria, R. (2024). Assessment of human motivation through analysis of physiological and emotional signals in Industry 4.0 scenarios. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-21.
13. Bordeleau, F.-E., Mosconi, E., & de Santa-Eulalia, L. A. (2020). Business intelligence and analytics value creation in Industry 4.0: a multiple case study in manufacturing medium enterprises. *PRODUCTION PLANNING & CONTROL, 31*(2-3), 173-185.
14. Bressanelli, G., Saccani, N., Perona, M., & Baccanelli, I. (2020). Towards circular economy in the household appliance industry: An overview of cases. *Resources, 9*(11), 128.
15. Castillo-Vergara, M., Álvarez-Marín, A., Villavicencio Pinto, E., & Valdez-Juárez, L. E. (2022). Technological acceptance of industry 4.0 by students from rural areas. *ELECTRONICS, 11*(14), 2109.
16. Davies, R., Coole, T., & Smith, A. (2017). Review of socio-technical considerations to ensure successful implementation of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing, 11*, 1288-1295.
17. Derse, O. (20 .(۲۴Prioritizing solutions of green Reverse logistics barriers with Fuzzy DEMATEL–FUCOM–SWARA methods. *Ecological Indicators, 165*, 112198.
18. Elnadi, M., & Abdallah, Y. O. (2024). Industry 4.0: critical investigations and synthesis of key findings. *Management Review Quarterly*, *74*(2), 711-744.
19. Foncubierta-Rodríguez, M.-J., Ravina-Ripoll, R., Ahumada-Tello, E., & Tobar-Pesantez, L. B. (2020). Are Spanish public employees happier in their work performance in the industry 4.0 era? *Polish Journal of Management Studies, 22*.
20. Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, *210*, 15-26.
21. Ghadimi, P., Donnelly, O., Sar, K., Wang, C & ,.Azadnia, A. H. (2022). The successful implementation of industry 4.0 in manufacturing: An analysis and prioritization of risks in Irish industry. *Technological Forecasting and Social Change, 175*, 121394.
22. Ghamari, R., Mahdavi-Mazdeh, M., & Ghannadpour ,S. F. (2022). Resilient and sustainable supplier selection via a new framework: a

case study from the steel industry. *Environment, Development and Sustainability*, 1-39.

23. Govindan, K., & Arampatzis, G. (2023). A framework to measure readiness and barriers for the implementation of Industry 4.0: A case approach. *Electronic Commerce Research and Applications, 59*, 101249.
24. Islam, M. A. (2022). Industry 4.0: Skill set for employability. *Social Sciences & Humanities Open, 6*(1), 100280.
25. James, A. T., Kumar, G ,.Tayal, P., Chauhan, A., Wadhawa, C., & Panchal, J. (2022). Analysis of human resource management challenges in implementation of industry 4.0 in Indian automobile industry. *Technological Forecasting and Social Change, 176*, 121483.
26. Javad, M. O. M., Darvishi, M., & Javad, A. O. M. (2020). Green supplier selection for the steel industry using BWM and fuzzy TOPSIS: A case study of Khouzestan steel company. *Sustainable Futures, 2*, 100012.
27. Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Gonzalez, E. S . .(۲۰۲۲)Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers, 3*, 203-217.
28. Joshi, S., Pise, A. A., Shrivastava, M., Revathy, C., Kumar, H., Alsetoohy, O., & Akwafo, R. (2022 .(Adoption of blockchain technology for privacy and security in the context of industry 4.0. *Wireless Communications and Mobile Computing, 2022*(1), 4079781.
29. Khin, S., & Hung Kee, D. M. (2022). Identifying the driving and moderating factors of Malaysian SMEs' readiness for Industry 4.0. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 35*(7), 761-779.
30. Mao, Q., Chen, J., Lv, J., Guo, M., & Xie, P. (2023). Selection of plastic solid waste treatment technology based on cumulative prospect theory and fuzzy DEMATEL. *Environmental Science and Pollution Research, 30*(14), 41505-41536.
31. Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry, 121*, 103261.
32. Mehmanpazir, F., Khalili-Damghani, K & ,.Hafezalkotob, A. (2019). Modeling steel supply and demand functions using logarithmic multiple regression analysis (case study: Steel industry in Iran). *Resources Policy, 63*, 101409.
33. Molino, M., Cortese, C. G., & Ghislieri, C. (2020). The promotion of technology acceptance and work engagement in industry 4.0: From personal resources to information and training. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(7), 2438.

34. Morovati Sharifabadi, A., Ziaeian, M., Mirfakhradini, S. H., & Zanjirchi, S. M. (2024). Toward Industry 4.0 in home appliance industry: challenges and future perspectives. *Journal of Advances in Management Research*.
35. Morshedi, A., Nezafati, N., & Shokouhyar, S. (2023). Motivational Factors Affecting Knowledge Sharing in Steel Industry Supply Chain: A Mixed Qualitative-Quantitative Method Analysis. *Journal of the Knowledge Economy*, 1-39.
36. Müller, J. M. (2019). Assessing the barriers to Industry 4.0 implementation from a workers' perspective. *IFAC-PapersOnLine*, *52*(13), 2189-2194.
37. Nadeem, K., Wong, S. I., Za, S., & Venditti, M. (2024). Digital transformation and industry 4.0 employees: Empirical evidence from top digital nations. *Technology in Society*, *76*, 102434.
38. Nimran, U., Al Musadieq, M., & Afrianty, T. W. (2024). Empowerment effect on competence and organizational commitments: Organizational learning culture as moderating. *Multidisciplinary Reviews*, *7*(2), 2024038-2024038.
39. Ozkan-Ozen, Y. D., & Kazancoglu, Y. (2022). Analysing workforce development challenges in the Industry 4.0. *International Journal of Manpower*, *43*(2), 310-333.
40. Pandya, D., & Kumar, G. (2023). Applying Industry 4.0 technologies for the sustainability of small service enterprises. *Service Business*, *17*(1), 37-59.
41. Pessl, E., Sorko, S. R., & Mayer, B. (2017). Roadmap Industry 4.0–implementation guideline for enterprises. *International Journal of Science, Technology and Society*, *5*(6), 193-202.
42. Petrudi, S. H. H., Ghomi, H., & Mazaheriasad, M. (2022). An Integrated Fuzzy Delphi and Best Worst Method (BWM) for performance measurement in higher education. *Decision Analytics Journal*, *4*, 100121.
43. Pio, P. C., Rampasso, I. S., Cazeri, G. T., Santa-Eulalia, L. A., Pavan Serafim, M., & Anholon, R. (2022). Human resources and Industry 4.0: an exploratory study in the Brazilian business context. *Kybernetes*, *51*(11), 3305-3319.
44. Pourmehdi, M., Paydar, M. M., Ghadimi, P., & Azadnia, A. H. (2022). Analysis and evaluation of challenges in the integration of Industry 4.0 and sustainable steel reverse logistics network. *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING*, *163*, 107808.
45. Prinsloo, J., Sinha, S., & Von Solms, B. (2019). A review of industry 4.0 manufacturing process security risks. *Applied Sciences*, *9*(23), 5105.

46. Priyanka, R., Ravindran ,K., Sankaranarayanan, B., & Ali, S. M. (2023). A fuzzy DEMATEL decision modeling framework for identifying key human resources challenges in start-up companies: Implications for sustainable development. *Decision Analytics Journal, 6*, 100192.
47. Ravanbakhsh ,N., Zahedi, R., & Ahmadi, A. (2022). A Review of Recent Developments in Optimizing and Reducing Energy Consumption in Steel Industry Arc Furnaces. *Recent Adv Petrochem Sci 7 (2): RAPSCI. MS. ID. 555710 (2022), pp. 1–22. DOI: 10.19080/RAPSCI, 555710*.
48. Saniuk, S., Caganova, D., & Saniuk, A. (2023). Knowledge and skills of industrial employees and managerial staff for the industry 4.0 implementation. *Mobile Networks and Applications, 28*(1), 220-230.
49. Schmidt, M.-C., Veile, J. W., Müller, J. M., & Voigt, K-.I. (2023). Industry 4.0 implementation in the supply chain: a review on the evolution of buyer-supplier relationships. *International Journal of Production Research, 61*(17), 6063-6080.
50. Silva, A. J., Cortez, P., Pereira, C., & Pilastri, A. (2021). Business analytics in Industry 4.0: A systematic review. *Expert Systems, 38*(7), e12741.
51. Soltanzadeh, J., Rahmani, S., & Majidpour, M. (2024). Technological catch-up in the Iranian steel industry: Integrating regime-based and complex product systems approaches .*Resources Policy, 89*, 104601.
52. Sony, M., & Naik, S. (2020). Critical factors for the successful implementation of Industry 4.0: a review and future research direction. *PRODUCTION PLANNING & CONTROL, 31*(10), 799-815.
53. Veile, J. W., Kiel, D., Müller, J. M & ,.Voigt, K.-I. (2020). Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Technology Management, 31*(5), 977-997.
54. Verma, A., & Venkatesan, M. (2022). HR factors for the successful implementation of Industry 4.0: A systematic literature review. *Journal of General Management, 47*(2), 73-85.
55. Wankhede, V. A., & Vinodh, S. (2021). Analysis of Industry 4.0 challenges using best worst method: A case study. *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING, 159*, 1074.۸۷
56. Whysall, Z., Owtram, M., & Brittain, S. (2019). The new talent management challenges of Industry 4.0. *JOURNAL OF MANAGEMENT DEVELOPMENT, 38*(2), 118-129.
57. Yavuz, O., Uner, M. M., Okumus, F., & Karatepe, O. M. (2023). Industry 4.0 technologies, sustainable operations practices and their impacts on

sustainable performance. *Journal of Cleaner Production, 387*, 135951.

References [In Persian]

1. Ziaei Nafchi, M., & Mohelská, H. (2021). Strategic challenges of human resources allocation in industry 4.0. *INFORMATION, 12*(3), 120.
2. References (In Persian)
3. Bahrami, M. R., Hashemzadeh, G. R., Shahmansouri, A., & Fathi Hefeshjani, K. (2023). Analyzing Effective Components in Industry 4.0 Readiness Assessments. *Journal of Industrial Management Perspective, 13*(2), 267-297 .(In Persian)
4. Entezirian, N., Mehraeen, M., (2024). The effect of knowledge management and industry technologies 0.4 in organizations: a hybrid approach. Intelligent Business Management Studies, (48) 12, 156-119. (In Persian)
5. Mohaghar, A., Ghasemian Sahebi, I., & Sadeghpour Firouzabad, A . (2023) .Modeling Organizational Readiness Factors for Smart Statistical Process Control in the Era of Industry 4.0 with Fuzzy Interpretative Structural Modeling. *Journal of Industrial Management Perspective, 13*(4), 85-107 .(In Persian)
6. Varasteh, M., Aghajani, H, (2023). Analysis of circular business model indicators in Iran's steel industry. *Operations Management*, (11) 3. 10-38.
7. Ziaeian, M., Morovati Sharif Abadi, A., Mirfakhradini, S. H., & Zanjirchi, S. M. (2023). Investigating how knowledge management affects the implementation of Industry 4.0 in the home appliance industry of the country. *Sciences and Techniques of Information Management, 9*(4), 261-292 .(In Persian)

استناد به این مقاله: ضیائیان، مهران.، سلیمانی‌زاده، هاجر.، احمدی زهرانی، مریم. (۱۴۰۳). نقش منابع انسانی در استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنایع، *مطالعات مدیریت کسب وکار هوشمند*، ۱۳(۵۰)، ۱۸۷-۲۲۵.
DOI: 10.22054/ims.2024.81718.2513

Journal of Business Intelligence Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License..