

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

Mehran Ziaei 

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: Ziaei, 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.



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

- استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و نوآوری، دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، اصفهان، ایران *  **مهران ضیائیان**
- دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران  **هاجر سلیمانی زاده**
- استادیار گروه مدیریت بازرگانی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران  **مریم احمدی زهرانی**

چکیده

امروزه هوشمندسازی و استفاده از فناوری‌های صنعت ۴,۰ به دلیل مزایای مختلفی همچون ردیابی مواد اولیه و محصولات تولیدشده، کاهش هزینه‌ها و ... مورد توجه بسیاری از صنایع قرار گرفته است. از جمله 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. در نهایت با استفاده از رویکرد دیماتل فازی روابط علی- معلولی میان عوامل مورد بررسی 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.

مقدمه

فولاد به عنوان 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 به عنوان یکی از محصولات اساسی در بسیاری از صنایع مختلف همچون صنعت ساخت و ساز، صنعت خودروسازی، صنعت الکترونیک، صنعت لوازم خانگی و ... به شمار می‌رود (Bressanelli, Saccani, Perona, & Baccanelli, 2020). با توجه به اهمیت فولاد در صنایع و بخش‌های مختلف، صنعت فولاد به عنوان یکی از صنایع حیاتی و بسیار مهم در جهان و به خصوص 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، به عنوان یکی از صادرکنندگان بزرگ فولاد در منطقه خاورمیانه شناخته شده و در تراز تجاری کشور نیز سودآوری قابل توجهی 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 از جمله 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 رقبای هستند. یکی از پذیرفته‌شده‌ترین رویکردها در میان شرکت‌های تولیدی در چند سال اخیر برای رویارویی با چالش‌های ذکر شده، 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 کسب و کار، هوشمندسازی فرآیندهای تولید محصول و ارائه خدمات با استفاده از فناوری‌های پیشرفته-ای از جمله 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). به عبارتی دیگر 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 به منظور مقابله با چالش‌ها و مشکلات موجود، در جست‌وجوی راهکارهای مناسب در جهت استقرار هر چه بهتر صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد هستند. با وجود مزایای صنعت ۴,۰، تصورات مبهمی در رابطه با پذیرش و استقرار صنعت ۴,۰ وجود دارد (Morovati Sharifabadi, Ziaei, Mirfakhradini, & Zanjirchi, 2024). بسیاری از نویسندگان بیان می‌کنند که پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ کار دشواری بوده و با مشکلات و چالش‌های مختلفی از جمله مسائل علمی، فنی، اقتصادی، اجتماعی، منابع انسانی و حتی سیاسی مواجه است (Wankhede & Vinodh, 2021). در میان عوامل ذکر شده، یکی از مهم‌ترین عوامل استقرار صنعت ۴,۰، نیروی انسانی است (Ziaei Nafchi)

(Mohelská, 2021). به عنوان یکی از ابعاد مطالعات پژوهشی صنعت ۴,۰، جنبه انسانی یک عنصر کلیدی است که سازمان‌ها باید برای انتقال موفقیت آمیز و اجرای دیجیتال سازی به درستی آن را مدیریت کنند (James et al., 2022). عدم توجه به نیروی انسانی می تواند چالش های بسیاری همچون مقاومت کارکنان در برابر تغییرات، عدم استفاده مؤثر از فناوری های صنعت ۴,۰ بکار گرفته شده، اختلال در فرآیندها و رویه های کاری، شکست پروژه استقرار صنعت ۴,۰ و در نهایت تحمیل هزینه سنگین برای صنایع خواستار استقرار صنعت ۴,۰ از جمله صنعت فولاد یزد را به همراه داشته باشد (Pio et al., 2022).

از زمان معرفی صنعت ۴,۰ پژوهش های مختلفی در این حوزه صورت گرفته است. به عنوان مثال باجیک و همکاران^۱ (۲۰۲۰) منابع مالی، زیرساخت های فناوری، مسائل امنیتی و حریم خصوصی و منابع انسانی را از مهم ترین عوامل استقرار صنعت ۴,۰ معرفی کرده اند (Bajic, Rikalovic, Suzic, & Piuri, 2020). سانی و نیک^۲ (۲۰۲۰) در مطالعه خود مدیریت تغییر، فرهنگ سازمانی، دانش و مهارت کارکنان، مدیریت فضای سایبری و ... را از عوامل اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ دانسته اند (Sony & Naik, 2020). پسل و همکاران^۳ (۲۰۱۷) عواملی همچون مدیریت دانش، همکاری و ارتباطات، مدیریت تغییر، منابع مالی و ... را به از عوامل اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ معرفی کرده اند (Pessl, Sorko, & Mayer, 2017). علاوه بر این آروایبه و همکاران^۴ (۲۰۲۴) مسائل امنیتی و حریم خصوصی را به عنوان مهم ترین عامل اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ شناسایی کرده اند (Arroyabe, Arranz, de Arroyabe, & de Arroyabe, 2024). در پژوهش های صورت گرفته عوامل مختلفی همچون منابع انسانی، منابع مالی، زیرساخت های فناوری و ... از سوی محققین به عنوان عوامل اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ معرفی شده است. علی رغم انجام پژوهش های متعدد مرتبط با شناسایی عوامل اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰، نقش نیروی انسانی و عوامل مرتبط با آن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهش های

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

صورت گرفته، منابع انسانی به عنوان یکی از عوامل اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ اشاره شده درحالی که نحوه چگونگی این تأثیر مورد بررسی 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 شناسایی شده است. در ادامه روابط علی و معلولی میان عوامل شناسایی شده با استفاده از رویکرد دیماتل فازی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی روابط علی و معلولی بر اساس رویکرد دیماتل فازی کمک می کند تا درک بهتری از تأثیر عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ بر یکدیگر ایجاد شده و در نهایت 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 به منظور همسو کردن آن‌ها با اهداف صنعت فولاد یزد را در جهت تسهیل استقرار صنعت ۴,۰ یاری می کند. 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 شناسایی شده 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 صنایع لوازم خانگی کشور پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که فرهنگ سازمانی، 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 به عنوان عوامل مؤثر بر مدیریت دانش در استقرار صنعت ۴,۰ در صنایع لوازم خانگی کشور شناسایی شده‌اند (Ziaieian, 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 فرهنگ سازمانی، 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^۱ (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 تجزیه و تحلیل 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^۲ (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^۳ (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^۴ (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. از کان اوزن و کازاناو گلو^۱ (۲۰۲۲) به تجزیه و تحلیل چالش‌های توسعه نیروی کار در صنعت ۴,۰ پرداخته‌اند. در مجموع، 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 از نظر 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. به عبارتی دیگر اثرات علی و معلولی متغیرهای شناسایی شده مورد بررسی قرار نگرفته که خود به عنوان 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 به منظور 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 به صورت جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. عوامل اثرگذار مرتبط با منابع انسانی بر استقرار صنعت ۴,۰

منبع	شرح	عوامل مرتبط با منابع انسانی	ردیف
Bordel & Alcarria, 2024; Ozkan-Ozen & Kazancoglu, 2022	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.	انگیزه کاری ^۲	۱
Müller, 2019; Nadeem, Wong, Za, & Venditti, (2024)	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 وضع شده از سوی سازمان در راستای انجام فرآیندهای موردنیاز در	تعهد کاری ^۳	۲

1. Ozkan-Ozen & Kazancoglu

2. Work motivation

3. Work commitment

منبع	شرح	عوامل مرتبط با منابع انسانی	ردیف
	جهت استقرار صنعت ۴,۰ اشاره دارد.		
Davies, Coole, & Smith,) 2017; Ozkan-Ozen & (Kazancoglu, 2022	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.	دانش فنی و مهندسی ^۱	۳
Ozkan-Ozen &) Kazancoglu, 2022; Veile, Kiel, Müller, & Voigt, (2020	همکاری و تعامل به تبادل اطلاعات و دانش مرتبط با فناوری‌های صنعت ۴,۰، فرآیندهای مورد نیاز در به کارگیری آن، همکاری در راستای حل مسائل ناشی از استقرار صنعت ۴,۰ و ... اشاره دارد.	همکاری و تعامل ^۲	۴
Nimran, Al Musadieq, &) (Afrianty, 2024	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.	یادگیری و توانمندسازی ^۳	۵
Ozkan-Ozen &) (Kazancoglu, 2022	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 اشیا و ... اشاره دارد.	توانایی یادگیری مستمر ^۴	۶
Islam, 2022; Verma &) (Venkatesan, 2022	جذب نیروی ماهر با به کارگیری و استخدام خبرگان و متخصصان حوزه فناوری و صنعت ۴,۰ در جهت استقرار هر	جذب نیروی ماهر ^۵	۷

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

منبع	شرح	عوامل مرتبط با منابع انسانی	ردیف
	چه بهتر صنعت ۴,۰ اشاره دارد.		
Ozkan-Ozen & (Kazancoglu, 2022)	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.	تفکر سیستمی کارکنان ^۱	۸
Joshi et al., 2022; Prinsloo, Sinha, & Von Solms, 2019	امنیت و حفظ حریم خصوصی به توانایی و آگاهی نیروی انسانی از مسائل امنیتی مرتبط با استقرار صنعت ۴,۰ اشاره دارد.	امنیت و حفظ حریم خصوصی ^۲	۹
Silva, Cortez, Pereira, & (Pilastrri, 2021)	تحلیل داده و هوش تجاری به توانایی تحلیل حجم بزرگ داده‌ها و تجزیه و تحلیل و تفسیر آنها توسط نیروی انسانی اشاره دارد.	تحلیل داده و هوش تجاری ^۳	۱۰
Foncubierta-Rodríguez, Ravina-Ripoll, Ahumada-Tello, & (Tobar-Pesantez, 2020)	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.	دریافت حقوق متناسب با فعالیت ^۴	۱۱
Castillo-Vergara, Álvarez-Marín, Villavicencio Pinto, & Valdez-Juárez, 2022; (Khin & Hung Kee, 2022)	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.	سودمندی درک شده ^۵	۱۲
Molino, Cortese, & Ghislieri, 2020; Pandya (& Kumar, 2023)	سهولت درک شده به معنای آسانی و راحتی کارکنان در فهم و استفاده از فناوری‌های پیشرفته و ابزارهای جدید صنعت ۴,۰ است.	سهولت درک شده ^۶	۱۳

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 از لحاظ هدف، کاربردی است چراکه از نتایج آن می‌توان در صنایع و سازمان‌های مختلف خواستار استقرار صنعت ۴,۰ استفاده کرد. همچنین این پژوهش از لحاظ ماهیت و روش، توصیفی-علی و از لحاظ گردآوری داده‌ها، پیمایشی است. مراحل اجرای این پژوهش به صورت 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 ۴,۰: 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 بر هوشمندسازی و استقرار صنعت ۴,۰ با جست و جوی واژگان 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", "وب آف ساینس^۱، ساینس

دایرکت^۲، امرالد^۳، تیلور اند فرانسیس^۴ و اشپرینگر^۵ مقالات مرتبط با موضوع مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با جستجو در پایگاه‌های اطلاعات فارسی مگیران، علم نت و پایگاه علمی جهاد دانشگاهی مقالات داخلی مرتبط با موضوع نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

گام دوم- شناسایی عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد: به منظور بومی‌سازی عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ به دست آمده از ادبیات پژوهش، از خبرگان دانشگاهی و مدیران صنعت فولاد یزد با استفاده از رویکرد دلفی فازی نظرخواهی شد. دلفی فازی، روش دلفی سنتی را با نظریه مجموعه‌های فازی ترکیب می‌کند. در نظریه مجموعه‌های فازی امکان نمایش ابهام و ذهنیت ذاتی در پاسخ‌های انسانی فراهم شده است. رویکرد دلفی فازی می‌تواند به صورت یک مرحله‌ای و چندمرحله‌ای انجام شود. در صورتی که محققان به دنبال اضافه کردن متغیرها و عوامل مورد بررسی نباشند، از رویکرد دلفی فازی یک مرحله‌ای استفاده می‌شود. به عبارتی دیگر برخلاف رویکرد دلفی سنتی، نیاز به تشکیل چندین دور متعدد برای اجماع در نظرات خبرگان نیست. اگر محققان به دنبال اضافه کردن متغیرهای جدید توسط خبرگان باشند، از رویکرد دلفی فازی

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

چند مرحله‌ای استفاده می‌شود. این رویکرد تا جایی ادامه پیدا خواهد کرد که عاملی از حد آستانه پایین تر نباشد. همچنین در راستای مقایسه نظرات خبرگان، در صورتی که اختلاف مقدار فازی زدایی 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 به صورت یک سؤال باز در پرسشنامه از رویکرد چند مرحله‌ای استفاده شده است. به عبارتی دیگر در دور اول نظرات خبرگان جمع‌آوری شده و عواملی که از حد آستانه پایین تر 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 تأیید شده و اختلاف مقدار فازی زدایی 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 مورد نظر برای استفاده از رویکرد دلفی فازی، اساتید دانشگاهی و مدیران صنعت فولاد یزد هستند. با توجه به محدودیت‌های مختلفی از جمله دسترسی به تمامی 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

فعالیت‌هایی اعم از نگارش مقالات، کتاب و ... در حوزه صنعت ۴,۰ و مشارکت در طرح‌های پژوهشی در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات با صنایع مختلف از جمله صنعت فولاد را داشته‌اند. نظرات خبرگان بر اساس متغیرهای زبانی به صورت جدول ۲ جمع‌آوری شده 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 نظر خبرگان، ماتریس نظرات مختلف خبرگان به یک ماتریس اجماع شده تبدیل می‌شود. شایان ذکر است که ارزش فازی هر سؤال به صورت $\tilde{A} = (L_j, M_j, U_j)$ نمایش داده شده که L_j حد پایین، M_j حد متوسط و U_j حد بالا است. بر اساس روابط زیر ماتریس اجماع شده نظر خبرگان تشکیل می‌شود:

$$L_j \cong \text{Min}(x_{ij}) \quad i \cong 1, 2, \dots, n \quad j \cong 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$M_j \cong \left(\prod_{i=1}^{n,m} x_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad i \cong 1, 2, \dots, n \quad j \cong 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$U_j \cong \text{Max}(x_{ij}) \quad i \cong 1, 2, \dots, n \quad j \cong 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

L_j بیان‌گر حد پایین ارزش فازی سؤال یا عامل J ام پرسشنامه می‌باشد که برابر با کوچکترین مقداری است که خبرگان به آن تخصیص داده‌اند. M_j نیز نشان‌دهنده حد وسط ارزش فازی شاخص J ام می‌باشد که از طریق محاسبه میانگین هندسی کلیه نظرات خبرگان به دست می‌آید. علاوه بر این U_j بیان‌گر حد بالای ارزش فازی سؤال یا عامل 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 - فازی زدایی: در این مرحله اعداد فازی محاسبه شده از مراحل قبل به اعداد قطعی تبدیل می‌شوند. در پژوهش‌های مختلف صورت گرفته، روابط متعددی به منظر فازی زدایی اعداد فازی استفاده شده است. در این پژوهش از رابطه ۴ به منظور فازی زدایی بهره گرفته شده است.

$$S_j \cong \frac{L_j \cdot 2M_j \cdot U_j}{4} \quad (4)$$

مرحله چهارم - ارزیابی عوامل یا سؤالات بر اساس حد آستانه: در این مرحله بر اساس تعیین حد آستانه، عوامل تأیید یا رد می‌شوند. به عبارتی دیگر عواملی که برابر یا بزرگتر از حد آستانه باشند، تأیید و عواملی که از حد آستانه کوچک‌تر باشند، رد خواهند شد. در پژوهش‌های 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 ۴،۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد: به منظور 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^۱ ابداع شد. این روش به عنوان بهترین روش برای شناسایی روابط علت و معلولی بین عوامل پیچیده در نظر گرفته شد. روش دیماتل فازی برای تجزیه و تحلیل روابط علی بین اثرگذار بر یک تصمیم در شرایط عدم قطعیت و از طریق متغیرهای زبانی فازی بکار گرفته می‌شود (Priyanka, Ravindran, 2024).

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

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

مرحله اول - شناخت خبرگان: در مرحله اول به منظور 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 تعیین شده 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 به صورت $\tilde{A}=(L_j, M_j, U_j)$ 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 از نظرخواهی از خبرگان ماتریس مقایسات زوجی به صورت رابطه ۵ نشان داده شده است.

$$\tilde{Z}_k \equiv \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} 0 & \tilde{Z}_{12} & \dots & \tilde{Z}_{1n}^{(k)} \\ \tilde{Z}_{21}^{(k)} & 0 & \dots & \tilde{Z}_{2n}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{Z}_{n1}^{(k)} & \tilde{Z}_{n2}^{(k)} & \dots & 0 \end{matrix} \right\} \quad k \equiv 1, 2, \dots, p \quad (5)$$

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 نشان دهنده عوامل و K نشان دهنده خبرگان بوده که از مقدار یک تا P اختیار می کند.

مرحله سوم - تشکیل ماتریس اجماع نظرات خبرگان: با توجه به نظرخواهی بیش از یک خبره، ماتریس های متعدد به دست آمده از نظر خبرگان به یک ماتریس اجماع بر اساس میانگین حسابی تبدیل می شود.

مرحله چهارم - بی مقیاس سازی ماتریس جمیع شده مقایسات زوجی: در این مرحله و بر اساس بی مقیاس سازی خطی، ماتریس به دست آمده از مرحله سوم نرمال می شود. برای انجام بی مقیاس سازی خطی از رابطه ۶ و ۷ استفاده شده است.

$$\tilde{X}_{ij} \cong \frac{\tilde{Z}_{ij}}{r_{\max}} \cong \left(\frac{L_{ij}}{r_{\max}}, \frac{M_{ij}}{r_{\max}}, \frac{U_{ij}}{r_{\max}} \right) \quad (6)$$

که در آن داریم:

$$\tilde{a}_{ij} \cong \left\{ \left| \tilde{Z}_{ij} \right| \cong \left\{ \left| L_{ij} \right|, \left| M_{ij} \right|, \left| U_{ij} \right| \right\} \right\}$$

رابطه ۷ بر اساس این که عدد فازی مثلثی را می توان از مجموع ستونی درایه های ماتریس زیر به صورت رابطه ۸ تشکیل داد، نوشته شده است.

$$r_{\max} \cong \max_{ij} \left\{ \max_{1 \leq i \leq n} \left| u_{ij} \right|, \max_{1 \leq j \leq n} \left| u_{ij} \right| \right\}$$

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 می دهد، بایستی مطابق روش دیماتل قطعی از رابطه ۹ استفاده کرد.

(۹)

$$T \cong \lim_{w \rightarrow \infty} (x \cdot x^2 \cdot \dots \cdot x^w) \cong X(I \otimes X)^{01}$$

انجام این کار به صورت مستقیم از ماتریس فازی \tilde{X}_{ij} امکان پذیر نیست؛ بنابراین برای انجام آن، ابتدا هر کدام از ماتریس های قطعی X_L, X_M, X_U به صورت جداگانه از طریق

$$X(I \otimes X)^{01} \text{ به ماتریس های قطعی } L'_{ij}, M'_{ij}, U'_{ij} \text{ تبدیل می شوند؛ یعنی داریم:} \quad (10)$$

$$\tilde{t}_{ij} \cong (L'_{ij}, M'_{ij}, U'_{ij})$$

$$\lfloor L'_{ij} \rfloor \cong X_L \partial (I \otimes X_L)^{01} \quad (11)$$

$$\lfloor M'_{ij} \rfloor \cong X_M \partial (I \otimes X_M)^{01} \quad (12)$$

$$\lfloor U'_{ij} \rfloor \cong X_U \partial (I \otimes X_U)^{01} \quad (13)$$

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

$$\tilde{T}_k \cong \begin{Bmatrix} 0 & \tilde{t}_{12} & \dots & \tilde{t}_{1n} \\ \tilde{t}_{21} & 0 & \dots & \tilde{t}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{t}_{n1} & \tilde{t}_{n2} & \dots & 0 \end{Bmatrix} \quad (14)$$

هر درایه از ماتریس فوق به صورت $\tilde{t}_{ij} \cong (L'_{ij}, M'_{ij}, U'_{ij})$ می باشد.

مرحله پنجم - پیاده سازی و تحلیل مدل: در این مرحله و پس از محاسبه ماتریس \tilde{T} مقادیر $\tilde{R}_d, \tilde{J}_d, \tilde{J}_d \cdot \tilde{R}_d, \tilde{R}_d \cdot \tilde{J}_d$ و $\tilde{R}_d \cdot \tilde{J}_d \cdot \tilde{R}_d$ برای هر کدام از عوامل به دست می آید. مشابه با روش دیماتل قطعی، \tilde{R}_d مجموع درایه های فازی سطری و \tilde{J}_d مجموع درایه های فازی ستونی است.

مرحله ششم - فازی زدایی: در پژوهش های صورت گرفته مرتبط با رویکرد دیماتل فازی، از روش های مختلفی به منظور فازی زدایی استفاده شده است. به منظور 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.

(۱۵)

$$BNP \cong \frac{(L \cdot M \cdot U)}{3}$$

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 شناسایی شده است. در جدول ۴ و با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳، ماتریس اجماع شده فازی حاصل از نظر خبرگان نشان داده شده است.

جدول ۴. نتایج حاصل از رویکرد اول دلفی فازی

عوامل	حد پایین (L)	حد متوسط (M)	حد بالا (U)	مقدار فازی زدایی 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 به دست آمده در جدول ۴، تمامی عوامل به جز سه عامل توانایی یادگیری مستمر، تحلیل داده و هوش تجاری و امنیت و حفظ حریم خصوصی به دلیل مقدار فازی -

زدایی شده بالاتر از حد آستانه (۰/۶) مورد تأیید قرار گرفتند. علاوه بر این با توجه به خواست پژوهشگران از خبرگان مرتبط با اضافه کردن متغیرهای مورد نظر مؤثر عوامل مرتبط با منابع انسانی بر هوشمندسازی و استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰، سه متغیر آزادی عمل در انجام کار^۱، زمان کافی برای انجام کار^۲ و نوآوری و خلاقیت^۳ 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 مورد نظر خبرگان میان آن‌ها توزیع شد. نتایج حاصل از دور دوم رویکرد دلفی فازی به صورت 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 به دست آمده در رویکرد دلفی فازی در جدول ۵ سه متغیر معرفی شده توسط خبرگان شامل آزادی عمل در انجام کار، نوآوری و خلاقیت و زمان کافی برای انجام کار به عنوان 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 مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس مراحل ذکر شده در رویکرد دیماتل فازی، نتایج به دست آمده به صورت جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. نتایج حاصل از رویکرد دیماتل فازی

عوامل	R	J	R+J	R-J
انگیزه کاری	(۰/۰۲۶، ۰/۰۷۹، ۰/۲۷۲)	(۰/۰۳۳، ۰/۱۰۴، ۰/۳۵۶)	(۰/۰۵۹، ۰/۱۸۴، ۰/۶۲۸)	(-۰/۰۸۴، -۰/۰۲۴، -۰/۰۰۷)
تعهد کاری	(۰/۰۲۵، ۰/۰۷۷، ۰/۲۸۲)	(۰/۰۳۷، ۰/۱۱۳، ۰/۳۷۳)	(۰/۰۶۳، ۰/۱۹۱، ۰/۶۵۵)	(-۰/۰۹۰، -۰/۰۳۵، -۰/۰۱۱)
دانش فنی و مهندسی	(۰/۰۲۷، ۰/۰۹۰، ۰/۳۲۱)	(۰/۰۲۴، ۰/۰۸۱، ۰/۲۹۱)	(۰/۰۵۲، ۰/۱۷۲، ۰/۶۱۳)	(۰/۰۰۳، ۰/۰۰۸، ۰/۰۳۰)
همکاری و تعامل	(۰/۰۴۵، ۰/۱۳۸، ۰/۴۳۷)	(۰/۰۵۲، ۰/۱۴۲، ۰/۴۳۷)	(۰/۰۹۸، ۰/۲۸۱، ۰/۸۷۴)	(-۰/۰۰۶، -۰/۰۰۴، -۰/۰۰۴)
توانمندسازی نیروی انسانی	(۰/۰۲۸، ۰/۰۹۳، ۰/۳۳۱)	(۰/۰۴۹، ۰/۱۹۱، ۰/۴۴۴)	(۰/۰۷۷، ۰/۲۸۵، ۰/۷۷۵)	(-۰/۱۱۳، -۰/۰۹۸، -۰/۰۲۱)
جذب نیروی ماهر	(۰/۰۴۵۹، ۰/۱۴۴، ۰/۳۶۰)	(۰/۰۸۶، ۰/۰۸۶، ۰/۳۶۰)	(۰/۲۳۱، ۰/۸۱۹، ۰/۸۱۹)	(۰/۰۵۸، ۰/۰۹۸، ۰/۰۹۸)

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

بر اساس رابطه فازی زدایی شده، مقادیر جدول ۶، به صورت جدول ۷ فازی زدایی شده است.

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

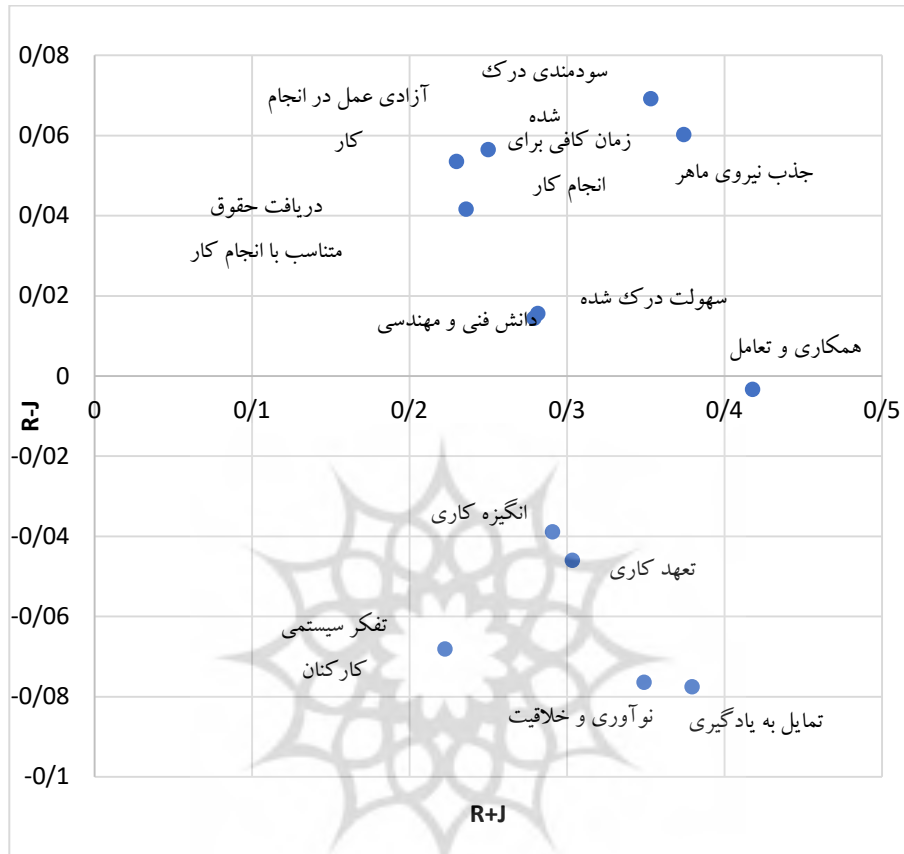
عوامل	R+J	R-J
انگیزه کاری	۰/۲۹۰	-۰/۰۳۸
تعهد کاری	۰/۳۰۳	-۰/۰۴۶
دانش فنی و مهندسی	۰/۲۷۹	۰/۰۱۴
همکاری و تعامل	۰/۴۱۸	۰/۰۰۳
یادگیری و توانمندسازی	۰/۳۷۹	-۰/۰۷۷
جذب نیروی ماهر	۰/۳۷۴	۰/۰۶۰
تفکر سیستمی کارکنان	۰/۲۲۲	-۰/۰۶۸
دریافت حقوق متناسب با فعالیت	۰/۲۳۶	۰/۰۴۱
سودمندی درک شده	۰/۳۵۳	۰/۰۶۹

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

همان گونه که در جدول ۷ نشان داده شده، عامل همکاری و تعامل از بیشترین مقدار R+J برخوردار است. این موضوع نشان دهنده این است که همکاری و تعامل به عنوان مهم ترین عامل در مقایسه با سایر عوامل مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار فناوری های صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد به شمار می رود. همچنین مقدار R-J بزرگ تر از صفر نشان دهنده میزان اثرگذاری و R-J کمتر از صفر نشان دهنده اثرپذیری یک عامل است. با توجه به مقادیر به دست آمده 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 فناوری های صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد است. علاوه بر این نوآوری و خلاقیت و یادگیری و توانمندسازی به عنوان اثرپذیرترین عوامل مرتبط با نیروی انسانی اثرگذار بر استقرار فناوری های صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد شناخته شده است. در شکل ۲ روابط علی- معلولی شناسایی شده حاصل از رویکرد دیماتل فازی نشان داده شده است.

پژوهش‌های علمی و مطالعات فرسنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۲. روابط علی- معلولی



همان گونه 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 $R-J$) به عنوان اثرگذارترین و تمایل به یادگیری اثرپذیرترین عامل ($R-J$) شناخته شده است.

بحث و نتیجه گیری

صنعت فولاد به عنوان یکی از مهم ترین صنایع در رشد اقتصادی و صنعتی کشور در نظر گرفته می شود. صنایع فولاد از جمله صنعت فولاد یزد با چالش ها 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 به سوی صنعت ۴,۰ و استفاده از فناوری‌های آن است. به عبارتی دیگر 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 مورد توجه 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. به عبارتی دیگر عدم توجه به نقش نیروی انسانی، فرآیند استقرار صنعت ۴,۰ در صنعت فولاد یزد را با مشکلات متعددی از جمله مقاومت کارکنان در پذیرش تغییرات، عدم تمایل کارکنان به همکاری، ایجاد کارشکنی در فرآیندهای استقرار و در نهایت 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 مورد بررسی 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 به‌دست آمده از رویکرد دلفی فازی، سه عامل توانایی یادگیری مستمر، تحلیل داده و هوش

تجاری و امنیت و حفظ حریم خصوصی به دلیل مقدار فزاینده‌ی شده پایین‌تر از حد آستانه (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^۱ (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 به‌دست آمده 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 به‌شمار نمی‌رود. به‌عبارتی دیگر 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. به‌عبارتی دیگر 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 مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به بالاترین مقدار R+J برای همکاری و تعامل، این عامل به عنوان 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 اسشمیت و همکاران^۱ (۲۰۲۳) اشتراک گذاری 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 به دست آمده از پژوهش حاضر منطبق است. علاوه بر این ویله و همکاران^۲ (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 اشتراک گذاری 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 به دست آمده دو عامل سودمندی درک شده و جذب نیروی ماهر از بالاترین مقدار R-J

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

برخوردارند. به عبارتی دیگر عامل سودمندی درک شده و جذب نیروی ماهر به عنوان 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 سونتاک^۱ (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 عبدالله و المکتاری^۲ (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 از جمله بهبود شرایط کاری، افزایش توانمندی‌های شغلی و ایجاد فرصت‌های جدید، اشتیاق آن‌ها در فرآیند استقرار صنعت ۴,۰ را افزایش خواهد داد (Abdullah & Almaqari, 2024).

با توجه به نتایج به دست آمده 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. به عبارتی دیگر 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 به دست آمده از مطالعه صورت گرفته توسط وایسال و

1. Masood & Sonntag
2. Abdullah & Almaqari

همکاران^۱ (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. به عبارتی دیگر تمایل به یادگیری نیروی انسانی. به کارگیری نوآوری و خلاقیت نیازمند عوامل اثرگذار مختلفی از جمله جذب نیروی ماهر، سودمندی درک شده، سهولت درک شده و ... است. با توجه به نتایج به دست آمده 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 مورد بررسی قرار بگیرد. علاوه بر این پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی عوامل مرتبط با زیرساخت‌های فنی مورد نیاز در استقرار صنعت ۴,۰ شناسایی و مورد بررسی قرار بگیرد.

در این پژوهش به منظور تأیید عوامل شناسایی شده مرتبط با منابع انسانی اثرگذار بر استقرار صنعت ۴,۰ و هوشمندسازی صنعت فولاد یزد از نظر 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 ... به عنوان 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 به دست آمده باید با احتیاط تعمیم داده شود چراکه ممکن است نظرات سایر خبرگان در این حوزه متفاوت باشد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافی ندارند.

ORCID

Mehran Ziaeiian

Hajar Soleymanizadeh

Maryam Ahmadi Zahrani



<http://orcid.org/0000-0003-4609-2038>



<http://orcid.org/0000-0002-7105-1644>



<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 کار هوشمند*، (۴۸) ۱۲، ۱۵۶-۱۱۹.
۲. وارسته، م، آقاجانی، ح (۱۴۰۲). تحلیل شاخص‌های مدل کسب و کار 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، صادقی‌پور 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), 546-55.⁹
 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., Sacconi, 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. (2024). Prioritizing 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. (2022). 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., Ziaeiian, 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. Petrucci, 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., & Pilastrri, 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. Ziaecian, 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 و کار 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..



پرویشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی