



Evaluation and Assessment of the Implementation Level of Industry 4.0 in Product Lifetime Extension Based on the OPLO-POCOD Method

**Mohammad Rahim
Ramazanian** 

Associate Professor, Department of Management, Faculty of Management and Economics, University of Guilan, Rasht, Iran.

**Marjan Khodaparast
Nodehei** 

Master of Student of Industrial Management (Production and Operation), Department of Management, Faculty of Management and Economics, University of Guilan, Rasht, Iran.

Reza Sheikh 

Associate Professor, Department of Management, Faculty of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, Semnan, Iran.

Abstract

Digital transformation and Industry 4.0 have emerged as key drivers for enhancing competitiveness and improving product quality across various industries, particularly in the automotive parts sector. This research focuses on Guilan Province, examining the extent of Industry 4.0 technologies' implementation aimed at increasing product longevity. Initially, through qualitative content analysis of 35 articles published between 2016 and 2024, 16 sub-criteria were identified within four main groups. Subsequently, using the novel OPLO-POCOD method (Opportunity Lost Assessment Based on Distance in Polar Coordinate Space) and surveying 14 experts from 10 parts manufacturing companies, the performance of these companies was analyzed. The results indicated that criteria such as automated warehousing systems, inventory management automation, and blockchain-based tracking had the highest impact on increasing product lifespan, with the lowest opportunity loss values of 0.0231, 0.0242, and

* Corresponding Author: ramazanian@guilan.ac.ir

How to Cite: Ramazanian, M.R., Khodaparast Nodehei, M., & Sheikh, R. (2025). Evaluation and Assessment of the Implementation Level of Industry 4.0 in Product Lifetime Extension Based on the OPLO-POCOD Method, *Industrial Management Studies*, 23(77), 1-44.

0.0253, respectively. On the other hand, the physical-information integration of the supply chain using cloud computing is still in the early stages of implementation. This research uniquely combines qualitative analyses with the innovative OPLO-POCOD method, enabling precise ranking of companies and identification of execution gaps. The findings emphasize the importance of focusing on smart technologies to achieve more sustainable and competitive production, assisting managers and policymakers in prioritizing Industry 4.0 strategies. Overall, while automotive parts industries in Guilan have made progress in areas such as automated warehousing, there is a need to accelerate the implementation of new technologies like cloud computing to fully realize the benefits of Industry 4.0 and complete the digital transformation process.

Introduction

In the contemporary competitive landscape, enhancing production quality and adopting sustainable supply chain management strategies—particularly with an emphasis on extending product lifespan—have evolved into strategic imperatives. Increasing product longevity not only alleviates pressure on natural resources and mitigates environmental impacts but also significantly enhances the economic value of products. Industry 4.0, as a transformative paradigm, leverages smart technologies such as additive manufacturing, the Internet of Things (IoT), robotics, and artificial intelligence to provide unprecedented potential for achieving these objectives. This digital transformation, enabling real-time tracking throughout the entire product lifecycle, predictive maintenance optimization, and production personalization, directly contributes to extending the useful life of products. The integration of this concept with Industry 4.0 smart technologies substantially enhances the capacity to realize these goals. This is particularly critical in complex and capital-intensive industries such as automotive and auto parts manufacturing, where production quality is directly linked to safety and competitiveness. However, despite prevailing assertions regarding the role of Industry 4.0 in sustainable development, few studies have specifically examined the impact of smart technologies on product lifespan extension. Aiming to address this research gap, this study focuses on the auto parts manufacturing industry to identify key components for enhancing product longevity within the Industry 4.0 framework. Employing an

innovative methodology—the Lost Opportunity Technique based on distance in polar coordinate space—it investigates the extent of implementation of these factors within the industry. The findings of this research are poised to provide industrial managers and policymakers with a strategic roadmap for developing more sustainable and competitive products.

Methodology

The present study is applied in purpose and descriptive-survey in terms of data collection, adopting a multiple case study approach. This research was conducted using a mixed-methods (qualitative-quantitative) approach in two phases. In the qualitative phase, content analysis and a systematic review of library sources and reputable databases from 2016 to 2024 were employed to identify the most influential factors affecting product lifespan extension, with an emphasis on smart technologies within Industry 4.0. In the quantitative phase, a researcher-developed questionnaire based on a ten-point scale and the novel “Opportunity Losses-Based Polar Coordinate Distance (OPLO-POCOD)” was used to collect field data from 10 active companies in the automotive parts industry in Guilan Province. Sampling was performed using targeted and snowball sampling methods, and the questionnaires were completed by 14 experts (production managers, IT managers, and production line supervisors) with at least five years of professional experience and familiarity with Industry 4.0 concepts. The reliability of the questionnaire was confirmed with a Cohen’s kappa coefficient of 0.743, and its validity was endorsed by specialists. Finally, the collected data were analyzed using the OPLO-POCOD technique, and the companies under study were ranked based on the identified criteria.

Findings

The findings of this study, conducted using a mixed-methods approach (qualitative content analysis and the OPLO-POCOD technique), reveal that the adoption of Industry 4.0 technologies plays a significant role in enhancing product longevity in the automotive parts manufacturing industry. In the qualitative phase, which involved the analysis of 35 studies published between 2016 and 2024, 16 key concepts were

identified across four main criteria: additive manufacturing, the Internet of Things (IoT), robotics, and smart supply chain management. The reliability of this analysis was confirmed with a Cohen's kappa coefficient of 0.743. In the quantitative phase, employing the novel OPLO-POCOD technique and surveys of 14 experts across 10 automotive parts manufacturing companies, the studied companies were ranked based on their level of adoption of Industry 4.0 technologies. The results indicated that Companies 4, 3, and 5 achieved the highest percentages of opportunity gained (94.4%, 94.3%, and 93.9%, respectively) and the lowest levels of lost opportunity (below 0.061), securing the top ranks. In contrast, Companies 7, 2, and 8, with the highest levels of lost opportunity (between 0.131 and 0.174), demonstrated the weakest performance in adopting these technologies. These findings underscore the direct impact of implementing Industry 4.0 technologies—particularly in additive manufacturing, the Internet of Things, and smart supply chain management—on extending product lifespan.

Discussion and conclusion

The present study aimed to assess the level of Industry 4.0 implementation in automotive parts manufacturing companies in Guilan Province. The findings revealed that three criteria—automated warehouse systems, inventory management automation, and blockchain-based traceability, all falling within the domain of data transparency and tracking—were identified as the most effective factors in enhancing product longevity. These results indicate that in Iran's industrial context, the most fundamental layers of digitalization serve as essential prerequisites for achieving higher-level objectives such as the circular economy. On the other hand, the findings demonstrate that despite relative progress in certain foundational technologies, significant challenges persist in smart supply chain management, rooted in infrastructural limitations and weaknesses in strategic coordination among supply chain actors. This study contributes to the academic discourse in several ways, including the development of a prioritized operational framework (OPLO-POCOD) for assessing industrial readiness, the identification of specific mechanisms effective within each criterion, and the adaptation of global findings to Iran's specific industrial context. By bridging theoretical literature with practical

industry requirements, this research provides a valuable roadmap for industrial managers and policymakers. Based on the research findings, it is recommended that industrial managers allocate resources toward improving smart supply chain management. Furthermore, policymakers are advised to facilitate the successful implementation of Industry 4.0 by developing national cloud platforms for supply chain integration, providing targeted incentives to companies committed to national standards, and establishing mandatory data exchange standards. For future research, it is suggested that emerging criteria such as human-robot collaboration be examined, the study be replicated in other national industries, fuzzy logic-based methods be employed, and causal methods be utilized to analyze relationships among the identified criteria.

Keywords: Industry 4.0, OPLO-POCOD Method, Product Lifetime Extension, Qualitative Content Analysis.



ارزیابی و سنجش میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر محصول مبتنی بر روش OPLO-POCOD

دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه
گیلان، رشت، ایران.

محمد رحیم رمضانیان *

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مدیریت صنعتی (تولید و عملیات)،
دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

مرجان خداپرست نوده‌ئی

دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت،
دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان، ایران.

رضا شیخ

چکیده

تحوّل دیجیتال و صنعت ۴,۰ به عنوان محرکی کلیدی برای افزایش رقابت پذیری و بهبود کیفیت محصولات در صنایع مختلف، به ویژه در حوزه قطعه سازی خودرو، اهمیت یافته است. این پژوهش با تمرکز بر استان گیلان، میزان استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰ را در راستای افزایش طول عمر محصولات موردبررسی قرار داده است. ابتدا با تحلیل محتوای کیفی ۳۵ مقاله بین سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۴، ۱۶ معیار فرعی در چهار گروه اصلی شناسایی شد. سپس، با به کارگیری روش نوین OPLO-POCOD (ارزیابی فرصت‌های ازدست‌رفته بر پایه فاصله در فضای مختصات قطبی) و نظر سنجی از ۱۴ خبره در ۱۰ شرکت قطعه‌سازی، عملکرد این شرکت‌ها تحلیل گردید. نتایج نشان داد معیارهایی مانند سیستم مکانیزه انبارداری، اتوماسیون مدیریت موجودی و ردیابی مبتنی بر بلاکچین به ترتیب با کمترین مقدار فرصت ازدست‌رفته (۰/۰۲۳۱، ۰/۰۲۴۲ و ۰/۰۲۵۳) بیشترین تأثیر را در افزایش عمر محصولات داشته‌اند. از سوی دیگر، یکپارچگی فیزیکی-اطلاعاتی زنجیره تأمین با استفاده از رایانش ابری هنوز در مرحله آغازین اجرا قرار دارد. این پژوهش برای نخستین بار با ترکیب تحلیل‌های کیفی

ارزیابی و سنجش میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر...؛ رمضانیان و همکاران | ۷

و روش نوین OPLO-POCOD، امکان رتبه‌بندی دقیق شرکت‌ها و شناسایی شکاف‌های اجرایی را فراهم کرده است. یافته‌ها اهمیت تمرکز بر فناوری‌های هوشمند را در دستیابی به تولید پایدارتر و رقابت پذیرتر برجسته می‌سازد و به مدیران و سیاست‌گذاران در جهت اولویت‌بندی راهبردهای صنعت ۴,۰ یاری می‌رساند. در مجموع، اگرچه صنایع قطعه‌سازی خودرو در گیلان در حوزه‌هایی مانند انبارداری مکانیزه پیشرفت داشته‌اند، اما برای تکمیل فرآیند تحول دیجیتال و بهره‌برداری کامل از مزایای صنعت ۴,۰، نیازمند تسریع در پیاده‌سازی فناوری‌های نوینی مانند رایانش ابری هستند.

کلیدواژه‌ها: افزایش طول عمر محصول، تحلیل محتوای کیفی، روش OPLO-POCOD، صنعت ۴,۰.

مقدمه

در حال حاضر، رقابت برای بهبود کیفیت تولید به عنوان یک موضوع مهم و راهبردی شناخته شده است به طوری که بسیاری از شرکت‌ها به علت تعهد به توسعه پایدار، در حال بازنگری در نحوه انجام تجارت و طراحی استراتژی‌هایی برای مدیریت پایدار زنجیره تأمین و چرخه عمر محصولات خود می‌باشند (Formentini & Taticchi, 2016). مدیران سازمان‌ها نیز به خوبی درک نموده‌اند که برای پاسخ به نیازهای متغیر مشتریان و دستیابی به موفقیت در این بازار پویا، باید به مدیریت چرخه عمر محصولات و نوآوری در ارائه آن‌ها توجه بیشتری داشته باشند (فرح‌بخش و همکاران، ۱۴۰۱). یکی از مفاهیم کلیدی که در این زمینه به طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته، طول عمر محصول^۱ است که به مدت زمانی اشاره دارد که یک محصول می‌تواند به طور مؤثر و کارآمد عمل کند (Murakami et al., 2010). طول عمر محصول نه تنها بر کیفیت و عملکرد محصول تأثیرگذار است، بلکه افزایش آن منجر به کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش ارزش اقتصادی محصول می‌شود (Aparisi et al., 2015)؛ بنابراین، در دنیای امروز که منابع طبیعی به سرعت در حال کاهش هستند، اهمیت طول عمر محصول به وضوح احساس می‌شود. از طرف دیگر، افزایش طول عمر محصول^۲ به اقداماتی اشاره دارد که به منظور افزایش مدت زمان استفاده از محصولات در مراحل پس از تولید (Bakker et al., 2014) و کاهش جریان مواد، انرژی و ضایعات (Cox et al., 2013) انجام می‌شود.

حال اگر این حوزه با فناوری‌های هوشمند صنعت ۴٫۰ ترکیب شود مزایای بیشتری نیز حاصل می‌گردد؛ زیرا تحولات فناوری در سطح کلان سازمان بسیار حائز اهمیت بوده و موجب تعیین روش و کسب موقعیت برتر رقابتی و بقا آن می‌گردد؛ بنابراین، تدوین استراتژی‌های فناوری امری حیاتی و استراتژیک به شمار می‌رود (محمدی و بابائی، ۱۴۰۰)؛ به طوری که برخی از محققان و صاحب نظران، استراتژی فناوری را در سطحی بالاتر از سایر استراتژی‌های عملیاتی یک بنگاه، طبقه‌بندی نموده‌اند. اگرچه صنعت ۵٫۰ و مفهوم

1 Product Life

2 Product Lifetime Extension (PLE)

3 Industry 4.0

شتاب‌دهی دیجیتال به عنوان موج بعدی تحوّل صنعتی مطرح هستند، این پژوهش به دلیل تمرکز بر راهکارهای عملیاتی افزایش طول عمر محصول و عدم بلوغ فناوری‌های صنعت ۵,۰ در محیط‌های صنعتی فعلی، محدود به بررسی صنعت ۴,۰ شده است. مفهوم صنعت ۴,۰ که به عنوان انقلاب صنعتی چهارم نیز شناخته می‌شود، عمدتاً به لطف حجم عظیم داده‌های تولید شده، اثرات چندبعدی بر محصول، فرآیند تولید، نظارت و کنترل و در نتیجه نگهداری و بازاریابی اعمال می‌کند (Ertz & Gasteau, 2023). این مفهوم، تولید هوشمند را به عنوان عنصر اصلی خود معرفی می‌کند (Kagerman et al., 2013) و به صنایع مختلف کمک می‌کند تا به نیازهای دائماً در حال تغییر مشتریان پاسخ دهند و همواره در تلاش برای ارائه محصولاتی با کیفیت بالاتر، طراحی بهتر و طول عمر بیشتر باشند (Ertz & Gasteau, 2023).

این رویکرد، به‌ویژه در صنعت خودرو و قطعه‌سازی، جایی که هزینه‌های تولید و نگهداری بسیار بالاست، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. صنعت خودروسازی به عنوان یکی از صنایع مهم و استراتژیک کشور، باید با تحولات سریع فناوری همگام شود. در این صنعت، استفاده از فناوری به‌طور فزاینده‌ای افزایش یافته و روش‌های تولید به‌طور مداوم در حال تغییر هستند (Özcan et al., 2020). نظام تولید در صنایع خودرو، باید توجه ویژه‌ای به کیفیت تولید داشته باشد تا بتواند در شرایط متلاطم کنونی رقابت کند. یکی از عوامل بسیار تعیین‌کننده در کسب مزیت رقابتی خودروسازان، چگونگی تولید کالای مورد تقاضای مشتریان به‌صورت بهینه است (محقر و همکاران، ۱۴۰۰) که می‌توان با کمک گرفتن از صنعت ۴,۰ بر این مسئله غلبه کرد؛ چراکه این صنعت یکی از صناعی است که قابلیت رعایت یکپارچه اصول استراتژی صنعت ۴,۰ یا صنعت هوشمند را در ساختار خود داراست و تحوّل دیجیتال در آن، منافع مثبتی برای مصرف‌کنندگان و جامعه به همراه خواهد داشت (Deryabina & Trubnikova, 2021). از سوی دیگر، صنعت خودرو تنها نتیجه کار تولیدکنندگان نهایی نیست، بلکه شامل شبکه‌ای از تأمین‌کنندگان قطعات و مواد بزرگ و کوچکی است که به‌طور اختصاصی قطعاتی را برای چندین

تولیدکننده خودرو تأمین می‌نمایند؛ بنابراین، تقویت صنعت قطعه‌سازی برای خدمات‌رسانی به صنعت خودرو در داخل کشور، ضروری است (کوهی‌ا قدم و همکاران، ۱۳۹۸). صنعت قطعه‌سازی خودرو به‌عنوان یکی از صنایع مادر و تأمین‌کننده نیازهای خودرو سازان، کاملاً به صنعت خودرو سازی وابسته است؛ چراکه تولید قطعات با کیفیت مناسب، منجر به تولید خودروهای با کیفیت بالاتر، ارتقاء عمر مفید خودروها و در نتیجه، افزایش ایمنی سرنشینان می‌گردد (اسکینی و آهنگری، ۱۴۰۱)؛ بنابراین، توجه به فناوری‌های هوشمند در سیستم‌های تولید می‌تواند به ارتقاء طول عمر محصول و در نتیجه تولید محصولات با کیفیت و سودآوری بیشتر برای شرکت‌های تولیدی در فضای رقابتی کنونی منجر شود (Ertz & Gasteau, 2023). این پدیده می‌تواند هم‌زمان فرصت‌ها و تهدیدهای گسترده‌ای برای صنایع کشورمان به‌همراه داشته باشد. لذا، با تدوین برنامه‌های راهبردی متناسب و تکیه بر توانمندی‌ها و مزیت‌های رقابتی ایران، می‌توان ضمن حفظ و ارتقای سطح رقابت‌پذیری صنایع کشور، از این فضای در حال شکل‌گیری در جهت بهینه‌سازی فرآیندهای توسعه صنعتی استفاده بهینه نمود. در نتیجه، مدیران صنعت خودرو و قطعه‌سازی باید بر استفاده از تکنولوژی‌های جدید در تولید و برنامه‌ریزی تولید تأکید بیشتری داشته باشند و از فرصت‌های انقلاب صنعتی چهارم جهت ایجاد توسعه پایدار در صنعت بهره‌مند شوند (امینی و همکاران، ۱۴۰۱).

با وجود ادعاهایی مبنی بر اینکه صنعت ۴,۰ به پایداری کمک می‌کند (Saw et al., 2021; Show et al., 2021; Renda et al., 2022)، تحقیقات کمی به بررسی تأثیر پیشرفت‌های تکنولوژیکی این انقلاب بر افزایش طول عمر محصول پرداخته‌اند. از این رو، کاربرد گسترش طول عمر محصول به‌اندازه‌ی کافی در ادبیات موجود پوشش داده نشده و این زمینه حداقل در منابع داخلی فاقد تحقیقی است که به‌طور کلی خلاصه کند که چگونه فناوری‌های هوشمند که بخشی از پدیده‌ی صنعت ۴,۰ در نظر گرفته می‌شوند، به گسترش عمر محصول کمک می‌کنند. در مجموع، این مطالعه با تأکید بر سهم مجموعه‌ای از فناوری‌های هوشمند صنعت ۴,۰، به درک بهتر از اهمیت طول عمر محصول و گسترش آن

ارزیابی و سنجش میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر...؛ رضانیان و همکاران | ۱۱

در عصر صنعت چهارم کمک می‌کند. همچنین، یک نمای کامل و جامع از کاربرد این دو مفهوم برای تولید محصولات پایدارتر به مدیران و متخصصان این صنعت ارائه می‌دهد. پژوهش حاضر باهدف ارزیابی و سنجش میزان استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر محصول در شرکت‌های قطعه‌ساز خودرو انجام شده است. از نوآوری‌های این پژوهش این است که با بررسی ادبیات تحقیق، مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر افزایش عمر محصول با تأکید بر صنعت ۴,۰ را شناسایی نمود و به صورت عملی در صنایع قطعه‌سازی انجام شد. همچنین، با استفاده از تکنیک نوین فرصت از دست رفته بر مبنای فاصله در فضای مختصات قطبی به ارزیابی میزان استقرار این عوامل در صنعت نام‌برده پرداخته است. لذا پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به پرسش‌های زیر می‌باشد:

(۱) مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر افزایش طول عمر محصول با تأکید بر فناوری‌های هوشمند صنعت ۴,۰ در شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو کدام‌اند؟

(۲) عملکرد شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو از نظر میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش عمر محصول، به تفکیک معیارهای اصلی، به چه ترتیبی است؟

(۳) وضعیت شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو از نظر میزان استقرار صنعت ۴,۰ در کشور چگونه ارزیابی می‌شود؟

این تحقیق شامل ۴ بخش دیگر نیز می‌باشد. در بخش اول، به بررسی مبانی نظری و پیشینه پژوهش بر اساس مطالعات داخلی و خارجی در حوزه موضوع مورد نظر پرداخته شده است؛ در بخش دوم، روش‌شناسی پژوهش بیان شده است؛ در ادامه نیز به تجزیه و تحلیل نتایج و سپس، بحث و نتیجه‌گیری پیرامون یافته‌های پژوهش پرداخته شده است.

پیشینه پژوهش

امروزه، کیفیت به دلیل تضمین قابلیت اطمینان محصولات و خدمات ارائه شده به مشتری‌ها مطابق با نیازها و انتظارات آن‌ها (Carvalho et al., 2021)، به عنوان یک عامل حیاتی در موفقیت کسب و کار در نظر گرفته می‌شود (Kandade et al., 2021). از طرفی، دستیابی به کیفیت بالا برای ایجاد اعتماد، رضایت و وفاداری در میان مشتریان و تضمین موفقیت

مشاغل در بلندمدت امری ضروری به شمار می آید (Nuryakin & Priyo, 2018). به طوری که بسیاری از شرکت ها روند تولید خود را به گونه ای تنظیم کرده اند که در یک زمان مناسب روی محصولات سفارشی سازی انبوه متمرکز شوند (Zonnenshain & Kenett, 2020). از سویی دیگر، تولید و سفارشی سازی انبوه، پیچیدگی های جدیدی را در فرآیندهای تولید به ارمغان آورده که سازمان ها و شرکت های مختلف را نیازمند به کارگیری رویکردهایی نوین در بهبود کیفیت محصولات و خدمات کرده است (Rojko, 2017).

یکی از مفاهیم مهم و کلیدی در این زمینه، مفهوم طول عمر محصول است. طول عمر محصول به عنوان یک مفهوم اساسی در اقتصاد دایره ای، به دوره زمانی اشاره دارد که در طی آن یک محصول کاربردی بوده و به طور مؤثر و کارآمد عمل می نماید (Murakami et al., 2010). طبق گفته دن هولندر^۱ و همکاران (۲۰۱۷)، این مدت زمان از لحظه عرضه محصول برای استفاده آغاز می شود و تا زمان منسوخ شدن آن، پس از بازیابی در سطح محصول، ادامه می یابد (Den Hollander et al., 2017). افزایش این طول عمر می تواند علاوه بر تأثیر بر کیفیت محصول و عملکرد آن، در کاهش اثرات زیست محیطی نیز ایفای نقش کند (Aparisi et al., 2015)؛ چرا که امروزه با افزایش روند مصرف کالاهای مصرفی، جامعه ما با چالش های زیست محیطی جدی از جمله افزایش تولید زباله های شهری، انتشار مواد خطرناک و گازهای گلخانه ای مواجه است که زندگی افراد و سلامت نسل های آینده را تهدید می کند (Lienig & Bruemmer, 2017)؛ به همین دلیل، افزایش طول عمر محصول می تواند به کاهش آثار منفی زیست محیطی و افزایش ارزش اقتصادی محصول، با تأثیر بر ورودی و خروجی ضایعات تولید، منجر شود (Aparisi et al., 2015). در مجموع، طبق نظر ونس و کرامر^۲ (۲۰۰۶)، گسترش طول عمر محصول به عنوان یکی از زمینه های ارتقای پایداری، به ابزار و استراتژی هایی اشاره دارد که برای افزایش مدت زمان عمر محصولات به کار می روند. این ابزارها در جهت بهبود طراحی محصول (Bakker et al.,

1 Den Hollander

2 Ven Nes & Cramer

ارزیابی و سنجش میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر...؛ رضانیان و همکاران | ۱۳

(2014a; Ven Nes & Cramer, 2003; Ven Nes & Cramer, 2006) و ارتقاء طول عمر آن در مراحل پس از تولید (Bakker et al., 2014a,b) به کار گرفته می‌شوند.

ترکیب مفهوم افزایش عمر محصول با حوزه فناوری‌های هوشمند صنعت ۴,۰ می‌تواند باعث ایجاد مزایای بیشتر شود زیرا بررسی‌ها نشان می‌دهند که با پیشرفت فناوری اطلاعات و ارتباطات و ظهور صنعت ۴,۰، علاوه بر رفع مشکلات و چالش‌های موجود در روش‌های سنتی مدیریت کیفیت، می‌توان به‌طور چشمگیری طول عمر محصولات و کیفیت آن‌ها را بهبود بخشید (Talaie et al., 2022). ظهور انقلاب صنعتی چهارم که به‌عنوان صنعت ۴,۰ نیز شناخته می‌شود، اولین بار در سال ۲۰۱۱ توسط نمایندگان دولت آلمان باهدف افزایش قدرت رقابت صنایع تولیدی این کشور مطرح شد (Walker et al., 2019). این صنعت به‌نوعی نمایانگر یک روند جدید در اتوماسیون، تبادل داده و بهبود کیفیت است (Peter et al., 2023) که با بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند، راه‌حل‌های نوآورانه‌ای در تولید ارائه می‌دهد.

بر اساس مرور ادبیات انجام شده، چارچوب نظری این پژوهش بر چهار محور اصلی استوار است:

فناوری‌های هوشمند

این محور به هسته فناوریانه صنعت ۴,۰ می‌پردازد. رشد بهره‌وری صنعتی همیشه تحت تأثیر رشد روزافزون تکنولوژی بوده است و پیشرفت تکنولوژی در سال‌های اخیر در جایگاهی خاص قرار گرفته است. فناوری‌های صنعت ۴,۰ به‌عنوان چارچوبی یکپارچه از فناوری‌های دیجیتال و هوشمند تعریف می‌شود که با اتصال سیستم‌های فیزیکی و دیجیتال، امکان بهینه‌سازی فرآیندهای تولید، پایش بلادرنگ کیفیت محصول و افزایش طول عمر آن را فراهم می‌کند. بر مبنای این تعاریف، تحول صنعت ۴,۰ از طریق فناوری‌های هوشمند مختلف (مانند: اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی، داده‌های بزرگ، سرورهای پیشرفته، اینترنت و...) به تولیدکنندگان این امکان را می‌دهد تا ارزش بیشتری برای مشتریان ایجاد کرده و محصولات پیشرفته‌تر و باکیفیت‌تری ارائه دهند (Radziwill, 2018)؛ این امر باعث شده تا

صنعت ۴,۰ شامل معیارهایی گردد که کیفیت محصولات تولیدی نسل بعد را تحت تأثیر قرار دهد (مروتی شریف آبادی و همکاران، ۱۴۰۱).

فرآیندهای تولید پیشرفته

این محور بر جنبه‌های فیزیکی و تولیدی صنعت ۴,۰ تمرکز دارد. صنعت ۴,۰ با استفاده از سیستم‌های خودکار و هوشمند، خطاهای تولید را به حداقل می‌رساند. همچنین، حسگرهای تعبیه‌شده در خط تولید، کیفیت محصولات را در لحظه بررسی کرده و از تولید قطعات معیوب جلوگیری می‌کند. این امر، علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید، موجب افزایش انعطاف پذیری خطوط تولید، افزایش کیفیت و بهره‌وری (Dalenogare et al., 2018; Jabbur et al., 2018) و در نتیجه افزایش طول عمر محصولات نهایی می‌گردد. علاوه بر این، فناوری‌های صنعت ۴,۰، امکان طراحی محصولات بادوام و با کارایی بالا را نیز فراهم می‌کنند. به عنوان مثال، فناوری پرینت سه‌بعدی و تولید افزودنی^۱ امکان ساخت قطعات با ساختارهای پیچیده و مقاوم را فراهم می‌کند که در روش‌های سنتی قابل دستیابی نیستند. همچنین، این فناوری به مهندسان اجازه می‌دهد که با آزمایش محصولات در محیط مجازی، نقاط ضعف طراحی را قبل از تولید شناسایی کنند (Sauerwein et al., 2019).

پایش و نگهداری پیش‌بینانه^۲

این محور بر حفظ و بهینه‌سازی عملکرد محصول در طول عمر آن تمرکز دارد. این قابلیت این امکان را فراهم می‌کند که ماشین‌ها با استفاده از حسگرهای هوشمند تعبیه‌شده، موقعیت دقیق هر محصول را در هر مرحله از تولید مشخص کنند و اقدامات لازم را برای ساخت آن‌ها انجام دهند (Frank et al., 2019). بدین صورت، این قابلیت به بهبود کیفیت و افزایش پاسخگویی در صورت بروز مشکل کمک خواهد کرد.

1 Additive Manufacturing (AM)

2 Predictive Maintenance

زنجیره تأمین هوشمند^۱

این محور به هماهنگی و بهینه سازی کل زنجیره ارزش می پردازد چراکه صنعت ۴,۰ امکان ردیابی محصولات در تمام مراحل چرخه عمر آن ها را فراهم می کند. همچنین، تبادل اطلاعات و ادغام زنجیره تأمین، همگام سازی تولید با تأمین کنندگان برای کاهش زمان تحویل و تحریف اطلاعاتی را نیز در نظر می گیرد (Ivanov et al., 2016). این امر به شرکت ها کمک می کند تا استراتژی های بهینه برای افزایش عمر محصولات را تدوین نمایند.

درعین حال، بررسی ها نشان می دهند که این چهار محور به صورت سیستماتیک باهم در ارتباط بوده و فناوری های صنعت ۴,۰ به لطف حجم عظیمی از داده های بزرگ تولید شده، اثرات چندبعدی بر عملکرد محصول، فرآیند تولید، نظارت و کنترل و همچنین، نگهداری و بازایی اعمال می کنند (Ertz & Gasteau, 2023). به طور کلی، در این پژوهش منظور از استقرار صنعت ۴,۰، نهادینه کردن تمام و کمال فناوری های مطرح شده در این صنعت نبوده و به نوعی به عنوان یک نگرش و فلسفه در نظر گرفته شده است که تلاش می شود تا با استناد به کارهای علمی، جامعه را به این سمت سوق داد.

از سوی دیگر، صنعت ۴,۰ با ارائه این راه حل های نوآورانه، فرصت های زیادی برای افزایش طول عمر محصولات ایجاد کرده است که به صنایع مختلف در تولید محصولات بادوام و کارایی بالا سود می رساند. یکی از این صنایع، صنعت خودرو و قطعه سازی است که به عنوان یکی از صنایع مهم و تأثیرگذار کشور، نیازمند تطابق با این تحولات سریع فناوری است. این صنعت که در دهه ۴۰ شمسی با تولید متوسط ۵۰ هزار دستگاه خودرو در سال آغاز به کار کرد، به عنوان دومین صنعت مهم اقتصاد کشور شناخته می شود. بر اساس آمارها، به جز ایران خودرو و سایپا که بیش از ۹۰٪ تولیدات را به خود اختصاص داده اند، ۱۳ شرکت خصوصی دیگر نیز با تولید کم فعالیت دارند. صنعت قطعه سازی نیز به عنوان بخش اصلی تأمین کننده قطعات خودرو، نقش حیاتی در تولید خودروهای با کیفیت و متنوع ایفا می کند. این دو صنعت به عنوان دو بخش کلیدی در توسعه اقتصادی و صنعتی

کشور، کاملاً به یکدیگر وابسته بوده و از یک خانواده هستند. چراکه تولید قطعات با کیفیت، به تولید خودروهای باکیفیت بالا و افزایش امنیت سرنشینان منجر می‌شود (اسکینی و آهنگری، ۱۴۰۱)؛ بنابراین، توجه به فناوری‌های هوشمند ارائه‌شده در فرآیند تولید قطعات خودرو می‌تواند امکان انعطاف‌پذیری، استفاده بیشتر از منابع (Karabegovic et al., 2022)، ارتقاء طول عمر قطعات و در نتیجه تولید محصولات بادوام را ایجاد کند و منجر به سوآوری این شرکت‌ها در فضای رقابتی امروزی شود. همچنین، شکوفایی این صنعت به دلیل چالش‌های زیست‌محیطی کمتر از سایر صنایع، ایجاد اشتغال، ارزش‌افزوده بالا و همچنین پراکندگی در سراسر کشور، می‌تواند به توسعه پایدار کشور کمک کند (ارجمندی و همکاران، ۱۴۰۱).

مطالعات متعددی به بررسی جنبه‌های مختلف صنعت ۴,۰ پرداخته‌اند. خوش‌سپهر و همکاران (۱۴۰۰)، تحولات گسترده فناوری‌های دیجیتال را در تمامی بخش‌ها مورد تأکید قرار داده و بر ضرورت گذار از روش‌های سنتی به کیفیت ۴,۰ اشاره کرده‌اند. آن‌ها نشان دادند که در پی تحولات انقلاب صنعتی چهارم، فناوری‌ها به‌طور کلی دستخوش تغییر شده‌اند و فناوری‌هایی مانند سیستم‌های سایبر-فیزیکال، چاپ سه‌بعدی، بلاک‌چین، کلان‌داده‌ها و... تمامی بخش‌های جهان را متحول ساخته‌اند و باعث شده‌اند تا تمام فعالیت‌های سازمانی، شهری و... با کمک این فناوری متحول شوند و مفاهیمی مانند شهرهای هوشمند، حمل‌ونقل هوشمند، تولید هوشمند، طراحی محصول هوشمند و... شکل گیرند. با تغییر در این مفاهیم، انتظار می‌رود دیگر نتوان از روش‌های سنتی برای انجام امور و بررسی کیفیت سازمانی استفاده نمود و نیاز به تغییر در انجام فعالیت‌های تمامی بخش‌ها و ایجاد مفهومی به نام کیفیت ۴,۰ ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. همسو با این یافته‌ها، ارجمندی و همکاران (۱۴۰۱) با ارائه چارچوبی جامع و یکپارچه از صنعت ۴,۰ در قالب پارادایم صنعت خودرو، بر اهمیت عوامل سازمانی، سیاستی و محیطی در این گذار تأکید نموده‌اند.

ارزیابی و سنجش میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر...؛ رمضانیان و همکاران | ۱۷

همچنین، مطالعه مروتی شریف آبادی و همکاران (۱۴۰۱) با تمرکز بر صنعت لوازم خانگی، نشان داد که برای کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید، صنعت لوازم خانگی می‌بایست به ردیابی مواد اولیه و محصولات خود بپردازد؛ این اقدام به تسریع در بهبود فرآیندهای کاهش هزینه و کاهش هدر رفت منابع کمک کرده و کیفیت را ارتقاء می‌دهد. همچنین، یافته‌ها در سناریو روبه‌جلو نشان می‌دهد که بهبود در کاهش ضایعات و هزینه‌ها می‌تواند زمان چرخه تولید را کاهش دهد که این امر منجر به کاهش زمان تحویل محصول می‌شود و زمینه را برای ردیابی مؤثرتر محصولات و خدمات فراهم می‌کند.

Xu et al. (2018) نیز به نقش یکپارچه‌سازی دنیای سایبری-فیزیکی در جمع‌آوری و مبادله داده‌های بلادرنگ اشاره کرده‌اند که این امر می‌تواند منجر به بهبود کیفیت محصولات و خدمات ارائه‌شده به مشتریان و همچنین اقدامات اصلاحی در رابطه با کیفیت در کوتاه‌ترین زمان ممکن شود. در ادامه، Ertz & Patrick. (2019)، در مطالعه‌ای موردی، استراتژی‌های افزایش طول عمر محصول را در کسب و کارها بررسی نموده و ابزارها و بینش‌های مفیدی برای کاهش ضایعات در بخش پزشکی و بهبود بخش مراقبت‌های بهداشتی ارائه داده‌اند.

از سوی دیگر، Frank et al. (2019) بر چالش‌های پیاده‌سازی فناوری‌های پایه صنعت ۴,۰ تأکید کرده‌اند و نشان داده‌اند که اگرچه تولید هوشمند نقش محوری دارد، اما اجرای تجزیه و تحلیل و کلان‌داده‌ها در عمل با دشواری همراه است. این یافته، با نتایج پژوهش Ammar et al. (2021) که بر قابلیت پیش‌بینی هوشمند برای نظارت صحیح تجهیزات در صنایع و شناسایی زود هنگام عیوب در مواد تأکید داشتند، در تضاد نسبی قرار می‌گیرد.

یافته‌های مطالعه Deryabina & Trubnikova. (2021) نیز نشان داد که تحوّل دیجیتال در صنعت خودرو، تحولات مثبتی را هم برای مصرف‌کنندگان و هم برای جامعه به همراه داشته و در عین حال بر محیط‌زیست نیز تأثیر می‌گذارد و مشاغل جدیدی ایجاد می‌کند که باید مورد توجه قرار گیرند.

در پژوهش جدیدتر، Ertz & Gasteau. (2023) با تمرکز بر چهار فناوری کلیدی - از جمله ساخت افزودنی، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ، اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی - سه استراتژی اصلی (طراحی بهبود یافته، نگهداری و بازیابی) را برای افزایش عمر محصول شناسایی کرده و نشان دادند که این فناوری‌ها نه تنها به پایداری از طریق افزایش عمر و بهبود طراحی محصول کمک می‌کنند، بلکه در رسیدن به نتایج مطلوب تجاری و مدیریتی از طریق بهینه‌سازی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری نیز مؤثر هستند.

سرانجام، Piron et al. (2024) نیز مشارکت‌های بالقوه در مراحل مختلف چرخه عمر محصول با سیستم‌های فیزیکی - سایبری، اینترنت اشیاء و شبیه‌سازی و مدل‌سازی را به عنوان مؤثرترین فناوری‌ها برای ایجاد فهرست‌های چرخه حیات مشخص می‌کنند. همچنین، به ارائه راهنمایی‌های عملی برای ادغام فناوری‌های هوشمند در فعالیت‌های تولیدی پرداخته و بینش‌های ارزشمندی برای ارزیابی پایداری محیطی ارائه نموده‌اند.

مرور نظام‌مند پیشینه‌های پژوهشی نشان می‌دهد که اگرچه مطالعات متعددی به بررسی ابعاد مختلف صنعت ۴,۰ پرداخته‌اند، اما ادبیات موجود از چند جهت دارای نقصان است. مطالعات پیشین عمدتاً بر جنبه‌های فناوریانه صنعت ۴,۰ متمرکز بوده‌اند و به اندازه کافی به تأثیر یکپارچه این فناوری‌ها بر افزایش طول عمر محصولات، به‌ویژه در زمینه صنعت قطعه‌سازی، نپرداخته‌اند. شکاف تحقیقاتی اصلی در فقدان یک چارچوب جامع و بومی برای سنجش هم‌زمان بلوغ صنعت ۴,۰ و تأثیر آن بر افزایش طول عمر محصول در صنعت قطعه‌سازی ایران نهفته است. بیشتر مطالعات موجود در زمینه کشورهای توسعه‌یافته انجام شده و بنابراین یافته‌های آن‌ها با شرایط بومی و ساختار صنعتی ایران هم‌خوانی کامل ندارد. علاوه بر این، رویکردهای موجود غالباً بخشی و شکسته هستند و نتوانسته‌اند دیدگاه یکپارچه‌ای ارائه دهند. از بُعد نظری، این پژوهش در صدد است با توسعه یک چارچوب مفهومی جامع، شکاف موجود در ادبیات را پر کرده و با تلفیق ابعاد فناوریانه و مدیریتی، درکی همه‌جانبه از رابطه بین صنعت ۴,۰ و طول عمر محصول ارائه دهد. این چارچوب می‌تواند مبنایی برای توسعه نظریه‌های بومی در زمینه تحول دیجیتال صنایع ایران فراهم

ارزیابی و سنجش میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر...؛ رضانیان و همکاران | ۱۹

آورد. از جنبه عملی، یافته‌های این پژوهش می‌تواند نقشه راه روشنی برای مدیران صنعتی و سیاست‌گذاران فراهم کند. ارائه ابزار سنجش بلوغ صنعت ۴,۰ و شناسایی اولویت‌های سرمایه‌گذاری، به شرکت‌های قطعه‌سازی در گذار موفقیت‌آمیز به سمت صنعت ۴,۰ کمک خواهد کرد. همچنین، الگوهای عملیاتی ارائه‌شده می‌تواند زمینه‌ساز کاهش ضایعات، بهبود کیفیت محصولات و افزایش رقابت‌پذیری صنعت شود. در نهایت، این پژوهش با پر کردن شکاف‌های موجود در ادبیات، هم از بُعد نظری و هم از بُعد عملی، سهم ارزشمندی در پیشبرد دانش و عمل در حوزه صنعت ۴,۰ و اقتصاد چرخشی در ایران خواهد داشت. یافته‌های این مطالعه می‌تواند هم به توسعه تئوری‌های بومی مدیریت فناوری کمک کند و هم به عنوان راهنمای عملی برای صنعت‌گران و سیاست‌گذاران مورد استفاده قرار گیرد.

روش

پژوهش حاضر بر مبنای هدف، کاربردی و از حیث روش و نحوه گردآوری داده‌ها توصیفی-پیمایشی از نوع مطالعه موردی چندگانه است. در پژوهش حاضر، ابتدا با مرور مبانی نظری و مطالعات پیشین از طریق روش تحلیل محتوا، اقدام به جمع‌آوری اطلاعات لازم جهت شناسایی سنجه‌های پژوهش شد. در این راستا، به منظور دستیابی به نتایج مطلوب و اطلاعات نظری موردنیاز، از منابع و اطلاعات کتابخانه‌ای نظیر: مقالات، اسناد و مدارک علمی و مراجعه به نشریات و پایگاه‌های داده معتبر، بهره گرفته شده است. سپس، باهدف سنجش یافته‌ها و افزایش اطمینان از نتایج، از تکنیک نوین فرصت ازدست‌رفته بر مبنای فاصله در فضای مختصات قطبی^۱، روش میدانی و ابزار پرسشنامه‌ای محقق ساخته مبتنی بر مقیاس ده‌گانه (۱: بسیار ضعیف تا ۱۰: عالی)، بهره گرفته شد تا از داده‌های حاصل، در جهت پاسخگویی به سه پرسش اصلی: (۱) مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر افزایش طول عمر محصول با تأکید بر فناوری‌های هوشمند صنعت ۴,۰ در شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو کدام‌اند؟ (۲) عملکرد شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو از نظر میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰

1 Opportunity Losses-Based Polar Coordinate Distance (OPLO-POCOD)

در راستای افزایش عمر محصول، به تفکیک معیارهای اصلی، به چه ترتیبی است؟^۳) وضعیت شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو از نظر میزان استقرار صنعت ۴,۰ در کشور چگونه ارزیابی می‌شود؟، استفاده گردد. پرسشنامه‌های تهیه‌شده جهت جمع‌آوری داده‌های میدانی، شامل سه بخش بودند. بخش اول، به معرفی موضوع پژوهش و همچنین توضیح مفاهیم موردنظر اختصاص داشت. بخش دوم، شامل اطلاعات جمعیت شناختی خبرگان این حوزه بود که در آن اطلاعاتی نظیر جنسیت، رده‌سنی، میزان تحصیلات، تجربه کاری و حوزه فعالیت مورد سؤال قرار گرفتند. بخش سوم نیز شامل سؤالات اختصاصی بود.

به‌منظور اطمینان از اعتبار محتوای پرسشنامه، از نظرات متخصصان و اساتید دانشگاه بهره گرفته شد و در این خصوص اصلاحات لازم صورت گرفت. همچنین، برای ارزیابی پایایی، از ضریب کاپای کوهن^۱ استفاده شد که مقدار ۰/۷۴۳ نشانگر برخورداری ابزار پژوهش از پایایی مطلوب است.

در پژوهش حاضر، جامعه آماری به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول، جامعه آماری جهت انجام تحلیل محتوای کیفی است و شامل پژوهش‌های منتشرشده در پایگاه‌های علمی معتبر داخلی و خارجی مرتبط با موضوع پژوهش است که برای جست‌وجوی کلیدواژه‌ها، محدوده زمانی ۲۰۲۴-۲۰۱۶ در نظر گرفته شد. بخش دوم، جامعه آماری جهت اجرای تکنیک فرصت ازدست‌رفته بر مبنای فاصله در فضای مختصات قطبی، باهدف سنجش یافته‌ها است. در این بخش، جامعه آماری را ده شرکت فعال در صنعت قطعه‌سازی استان گیلان تشکیل می‌دادند که به‌صورت هدفمند انتخاب شده‌اند. در انتخاب شرکت‌های موردبررسی معیارهایی همچون فعال‌بودن در حوزه تولید قطعات خودرو، داشتن بیش از ۵۰ پرسنل و تمایل مدیریت شرکت برای مشارکت در پژوهش دخیل بوده است. به دلیل ماهیت کیفی-توصیفی پژوهش و محدودبودن جامعه متخصصان، از روش نمونه‌گیری هدفمند^۲ و گلوله‌برفی^۳ استفاده شد؛ بدین صورت که ابتدا با سه شرکت شناخته‌شده که معیارهای فوق را داشتند ارتباط برقرار شد و سپس از آن‌ها خواسته شد تا سایر شرکت‌های

1 Cohen's Kappa

2 Purposive Sampling

3 Snowball Sampling

ارزیابی و سنجش میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر...؛ رضانیان و همکاران | ۲۱

واجدشرایط را معرفی کنند. در هر شرکت، پرسشنامه توسط مدیر تولید، مدیر فناوری اطلاعات یا سرپرست خطوط تولید که بیشترین آشنایی را با فرآیندهای اجرایی و فناوریهای شرکت داشتند، تکمیل گردید. در انتخاب خبرگان نیز تلاش شد تا از افرادی با تحصیلات عالی، داشتن حداقل ۵ سال سابقه فعالیت در حوزه مرتبط و آشنایی با مفاهیم گسترش طول عمر محصول و صنعت ۴,۰ نظرخواهی شود که در قالب جدول (۱) به ویژگیهای جمعیتشناختی این خبرگان اشاره شده است. همانطور که در جدول (۱) مشاهده می شود، از مجموع ۱۴ خبره شرکت کننده، ۲۹ درصد (۴ نفر) زن و ۷۱ درصد (۱۰ نفر) مرد بودند. در خصوص رده سنی نیز، بیشتر شرکت کنندگان در گروه سنی بالاتر از ۵۰ سال قرار داشتند. بیشترین شرکت کنندگان دارای تحصیلات کارشناسی بودند که سهم ۶۴ درصدی (۹ نفر) از خبرگان را تشکیل داده اند. در زمینه سوابق کاری نیز تمامی خبرگان بیش از ۱۰ سال تجربه کاری داشتند. حوزه تخصص اکثر شرکت کنندگان در صنعت قطعه سازی خودرو بود که ۴۳ درصد (۶ نفر) از خبرگان را تشکیل داده اند.

جدول ۱. مشخصات خبرگان.

ردیف	گویه	ویژگی های مشارکت کنندگان	فراوانی	درصد فراوانی
۱	جنسیت	زن	۴	۲۹٪
		مرد	۱۰	۷۱٪
۲	رده سنی	زیر ۲۰ سال	–	۰
		۲۰–۳۰ سال	–	۰
		۳۰–۴۰ سال	۱	۷٪
		۴۰–۵۰ سال	۶	۴۳٪
		بالای ۵۰ سال	۷	۵۰٪
۳	تحصیلات	کارشناسی	۹	۶۴٪
		کارشناسی ارشد	۴	۲۹٪
		دکتری و بالاتر	۱	۷٪
۴	تجربه کاری	کمتر از ۵ سال	–	۰
		۵–۱۰ سال	–	۰
		بالاتر از ۱۰ سال	۱۴	۱۰۰٪

ردیف	گویه	ویژگی‌های مشارکت‌کنندگان	فراوانی	درصد فراوانی
۵	حوزه تخصص	شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو	۶	۴۳٪
		مدیریت عمر محصول	۲	۱۵٪
		صنعت ۴/۰	۳	۲۱٪
		نگهداری و تعمیرات	-	۰
		مدیریت زنجیره تأمین	۲	۱۴٪
		تحقیق و توسعه	۱	۷٪

در این پژوهش، فرآیند جمع‌آوری داده‌ها در بخش میدانی به این صورت بود که ابتدا پس از اخذ مجوزهای لازم، با مدیران یا متخصصان اجرایی شرکت‌های انتخاب‌شده ارتباط برقرار شد و هدف پژوهش به‌طور شفاف توضیح داده شد. در گام بعد، پرسشنامه به‌صورت حضوری یا آنلاین در اختیار پاسخ‌دهندگان قرار گرفت و نحوه تکمیل پرسشنامه و مفاهیم مرتبط برای آن‌ها شرح داده شد. همچنین برای اطمینان از دقت داده‌ها، پژوهشگر در حین تکمیل داده‌ها حضور داشت تا به سؤالات احتمالی پاسخ دهد. درنهایت، داده‌های گردآوری‌شده برای هر شرکت به‌طور جداگانه مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت.

روش تحلیل محتوا

تحلیل محتوا به‌عنوان یکی از ابزارهای تجزیه و تحلیل مطالعات کیفی است که توسط گرانهم و لاندمن^۱ در سال ۲۰۰۴ مطرح شده است (Graneheim & Lundman, 2004). این روش با کدگذاری و طبقه‌بندی نظام‌یافته، در پی تلخیص و یکپارچه‌سازی مفاهیم از حجم زیادی از داده‌های متنی، به‌منظور ایجاد یافته‌هایی جامع و تفسیری در جهت دستیابی به بینش‌های جدید در خصوص پدیده مورد مطالعه می‌باشد (Tajabadi et al., 2020).

در پژوهش حاضر، این روش طی هفت گام به شرح گام ۱: تنظیم سؤالات پژوهش؛ گام ۲: بررسی جامع متون؛ گام ۳: جست‌وجو و انتخاب مقاله‌های مناسب؛ گام ۴: استخراج یافته‌ها؛ گام ۵: تجزیه و تحلیل و تلفیق یافته‌های کیفی؛ گام ۶: کنترل کیفیت و گام ۷: جمع‌بندی نتایج و ارائه یافته‌ها اجرا گردید.

1 Graneheim & Lundman

تکنیک فرصت ازدست‌رفته بر مبنای فاصله در فضای مختصات قطبی (OPLO-POCOD)

روش فرصت ازدست‌رفته بر اساس فاصله در فضای مختصات قطبی که نخستین بار توسط شیخ و صنفی، باهدف رتبه‌بندی، انتخاب و مرتب‌سازی گزینه‌ها، در سال ۲۰۲۴ معرفی شد (Sheikh & Senfi, 2024)، یکی از تکنیک‌های نوین کمی در حوزه تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ می‌باشد. این روش، با ترکیب و تبدیل ایده فرصت ازدست‌رفته به فاصله در فضای مختصات قطبی، نوآوری جدیدی در تصمیم‌گیری چندمعیاره ایجاد کرده است. از مزایای این روش که باعث تمایز آن نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌گردد این است که این تکنیک با در نظر گرفتن فرصت‌های ازدست‌رفته احتمالی هر گزینه که اغلب در روش‌های سنتی نادیده گرفته می‌شوند، ارزیابی جامع‌تری از گزینه‌ها ارائه می‌دهد. همچنین، استفاده از مختصات قطبی در این روش، نمایشی ملموس از فواصل ایجاد می‌کند که امکان مقایسه مؤثر گزینه‌ها را نیز فراهم می‌نماید. این امر، روش مذکور را به یک تکنیک متمایز برای حل مسائل پیچیده و تصمیم‌گیری آگاهانه در حوزه‌های مختلف تبدیل می‌کند. علاوه‌براین، روش OPLO-POCOD در مقایسه با سایر روش‌ها از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار است به‌طوری که ضریب همبستگی اسپیرمن^۲ محاسبه شده برای آن بیش از ۰/۹ می‌باشد. همچنین، اثبات کارایی این مدل نسبت به مدل‌های دیگر ازجمله MOORA، MCRAT، ARAS، SAW، TOPSIS، VIKOR و WASPAS نشان‌دهنده استحکام و اثربخشی آن است (Sheikh & Senfi, 2024).

به‌طور کلی، الگوریتم اجرایی این روش به این صورت است که ابتدا ماتریس تصمیم اولیه بر اساس اطلاعات دریافتی از تصمیم‌گیرندگان تشکیل شده و در صورت ناهمگونی واحد معیارها، با نرمال‌سازی خطی استاندارد می‌شود. سپس، ماتریس فرصت ازدست‌رفته (OPL) ساخته می‌شود که برای معیارهای سود، اختلاف هر مقدار از بیشینه ستون و برای معیارهای زیان، اختلاف از کمینه ستون محاسبه می‌گردد. در ادامه، ماتریس زوج مرتب‌ها

1 Multi-Criteria Decision Making (MCDM)

2 Spearman

از ترکیب ماتریس اولیه و OPL ایجادشده و فاصله هر گزینه از بهترین مقدار معیارها در فضای قطبی با استفاده از روابط ریاضی مشخص می‌شود. با اعمال وزن معیارها به ماتریس فاصله، ماتریس فاصله وزنی به دست می‌آید. در ادامه، فاصله کل هر گزینه از جمع سطری مقادیر وزنی محاسبه شده و سپس درجه فرصت ازدست‌رفته (DOL) (بین ۰ تا ۱) و درصد فرصت به‌دست‌آمده (POA) تعیین می‌شوند. بدیهی است که هرچه DOL به صفر نزدیک‌تر و POA به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، گزینه عملکرد بهتری دارد. درنهایت، گزینه‌ها بر اساس کمترین میزان فرصت ازدست‌رفته و بیشترین فرصت کسب‌شده رتبه‌بندی می‌شوند. این روش، با ترکیب فاصله سنجی وزنی و تحلیل فرصت‌های ازدست‌رفته، امکان ارزیابی دقیق گزینه‌ها را فراهم می‌کند (Sheikh & Senfi, 2023;2024).

در پایان، می‌توان گام‌های عملیاتی برای انجام پژوهش حاضر را در قالب شکل (۱) ترسیم نمود.

شکل ۱. نمودار گام‌های پژوهش



یافته‌ها

پس از شناسایی و استخراج مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر گسترش عمر محصول با تأکید بر صنعت ۴,۰ از طریق تحلیل محتوای کیفی، این عوامل جهت رتبه‌بندی در اختیار خبرگان پژوهش قرار گرفت تا از طریق نظرخواهی از آن‌ها، میزان اهمیت و سطح استقرار هر یک از مؤلفه‌ها در حوزه مورد مطالعه با استفاده از تکنیک فرست‌ازدست‌رفته بر اساس فاصله در فضای مختصات قطبی (OPLO-POCOD) تعیین گردد.

در گام نخست پژوهش، باهدف شناسایی عوامل مؤثر بر افزایش طول عمر محصول در چارچوب صنعت ۴،۰، از روش تحلیل محتوای کیفی استفاده شد. پرسش‌های اصلی پژوهش عبارت بودند از:

- (۱) مهم‌ترین ابعاد و مؤلفه‌های مؤثر بر افزایش طول عمر محصول با تأکید بر فناوری‌های هوشمند صنعت ۴،۰ در شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو کدام‌اند؟
- (۲) عملکرد این شرکت‌ها از نظر میزان تحقق استقرار صنعت ۴،۰ در راستای افزایش عمر محصول، به تفکیک معیارهای اصلی، چگونه است؟
- (۳) وضعیت شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو از نظر میزان استقرار صنعت ۴،۰ در کشور چگونه ارزیابی می‌شود؟

در گام بعد، با انجام یک بررسی نظام‌مند، مقالات منتشرشده بین سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۴ در پایگاه‌های داده معتبر داخلی و خارجی مانند Springer، Science Direct، PubMed، Magiran و SID مورد جست‌وجو قرار گرفت. کلمات کلیدی مورد استفاده در جست‌وجو شامل کلمات کلیدی لاتین نظیر:

“Product Life, Product Life Cycle, PLC, Product Lifetime/Lifespan Extension, PLE, Product Life Management, PLM, Industry 4.0, L4.0, Automotive Industry, Automotive Parts Manufacturing Companies, Big Data, Smart Business, AI And PLM, Blockchain, Digital Twin, Robots, Internet of Things, Additive Manufacturing, Smart supply Chain, M2M, Smart Manufacturing.”

و معادل‌های فارسی «مدیریت چرخه عمر محصول»، «صنعت ۴،۰»، «اینترنت اشیاء»، «رباتیک»، «هوش مصنوعی»، «زنجیره تأمین هوشمند» و دیگر مفاهیم مرتبط بود.

مقالات یافت‌شده طی سه مرحله غربالگری شدند: در مرحله اول، با در نظر گرفتن محدودیت‌های بودجه و دسترسی، تنها مقالات دارای دسترسی آزاد مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین، بر اساس محتوا، نوع سند و زبان، برخی مقالات حذف شدند و فقط مقاله‌های مرتبط با موضوع در مجلات معتبر علمی انتخاب شدند. علاوه بر این، مقاله‌هایی که به زبان‌های دیگری غیر از فارسی و انگلیسی نوشته شده بودند نیز حذف شدند. در

ارزیابی و سنجش میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر...؛ رضانیان و همکاران | ۲۷

مرحله دوم، عنوان و چکیده مقالات موردبررسی قرار گرفتند و در مرحله سوم، محتوای آن‌ها با توجه به انطباق با پرسش‌های پژوهش ارزیابی شد. در نهایت، ۳۵ مطالعه انتخاب و مورد تحلیل قرار گرفت. در ادامه، داده‌های مربوط به هر مقاله شامل نام نویسنده، سال انتشار و عوامل مؤثر بر طول عمر محصول استخراج و کدگذاری شد. سپس کدهای مشابه یا مرتبط در قالب معیارها و زیرمعیارها دسته‌بندی شدند که نتایج این دسته‌بندی در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲. مهم‌ترین معیارها و زیرمعیارهای استخراج‌شده از روش تحلیل محتوا.

معیار	زیرمعیار	منابع
ساخت‌افزودنی	تسریع فعالیت‌های تحقیق و توسعه	(۲۳)
	توسعه و بهینه‌سازی نمونه‌های اولیه	(۲۳)
	طراحی انعطاف‌پذیر	(۲۳، ۲۹، ۳۰، ۵۲)
اینترنت‌اشیاء	اتوماسیون مدیریت موجودی	(۴۴، ۲۳)
	اتوماسیون مدیریت داده‌ها	(۴۱، ۳۹، ۱۱)
	بهینه‌سازی فرآیندها با استفاده از دریافت اطلاعات به‌روز	(۶۱، ۴)
	تشخیص زودهنگام خرابی	(۲۳)
رباتیک	خودکارسازی فرآیندها	(۱۲، ۱۱)
	بهبود عملکرد اپراتور	(۴۴، ۲۳، ۲۲، ۶۵)
	سیستم مکانیزه انبارداری	(۱۳)
مدیریت هوشمند زنجیره تأمین	جمع‌آوری و ارائه اطلاعات مرتبط توسط اینترنت اشیا	(۴، ۱۱، ۲۳، ۳۹، ۶۱)
	مسیریابی بهینه موجودی توسط هوش مصنوعی	(۲۳، ۳۸، ۵۹، ۶۰)
	ایجاد یکپارچگی فیزیکی - اطلاعاتی در زنجیره تأمین توسط رایانش ابری	(۴۷، ۳۱)
	ایجاد قابلیت ردیابی توسط بلاک‌چین	(۵۱، ۲۷، ۲۵، ۶)
	بهبود عملیات انبارداری توسط ربات‌ها	(۱۳)
	برنامه‌ریزی خودکار از طریق هوش مصنوعی	(۳۴، ۳۳)

برای اطمینان از پایایی کدگذاری، از ضریب کاپای کوهن استفاده شد که مقدار ۰,۷۴۳ نشان‌دهنده توافق قابل قبول بین کدگذاران بود. در نهایت بر اساس نتایج حاصل از تحلیل محتوا، ۱۶ مفهوم در چهار معیار اصلی شامل ساخت افزودنی، اینترنت اشیاء، رباتیک و مدیریت هوشمند زنجیره تأمین شناسایی و دسته‌بندی شدند.

در بخش کمی پژوهش، به منظور سنجش میزان استقرار این مؤلفه‌ها، از پرسشنامه‌ای بسته مبتنی بر روش OPLO-POCOD استفاده شد. این پرسشنامه توسط ۱۴ نفر از خبرگان و متخصصان فعال در ده شرکت قطعه‌سازی خودرو در استان گیلان تکمیل گردید. در طراحی پرسشنامه تلاش شد تا به چارچوب، شکل و محتوای آن توجه شود تا پاسخ‌هایی کامل و جامع نیز حاصل شود. در ادامه، از هر یک از خبرگان خواسته شد تا به طور جداگانه به میزان استقرار عوامل شناسایی شده امتیاز دهند. پس از استخراج نظرات تمامی خبرگان، از داده‌های جمع‌آوری شده میانگین گرفته شد و با در نظر گرفتن وزن‌های تعیین شده از طریق روش بهترین-بدترین^۱، میزان استقرار هر یک از عوامل بر اساس گام‌های روش OPLO-POCOD و استفاده از نرم‌افزار اکسل^۲، محاسبه و برای ارزیابی آماده شد. جدول (۳) نتایج به دست آمده از محاسبه فاصله کل، درجه فرصت ازدست‌رفته (DOL) و درصد فرصت کسب شده (POA) را نشان می‌دهد.

جدول ۳. فاصله کل، درجه فرصت ازدست‌رفته و درصد فرصت کسب شده.

	فاصله کل	DOL	POA
A ₁	۳/۶۸۳	۰/۰۹۹	۰/۹۰۱
A ₂	۵/۰۵۷	۰/۱۳۶	۰/۸۶۴
A ₃	۲/۱۲۵	۰/۰۵۷	۰/۹۴۳
A ₄	۲/۰۸۴	۰/۰۵۶	۰/۹۴۴
A ₅	۲/۲۵۲	۰/۰۶۱	۰/۹۳۹
A ₆	۳/۵۵۰	۰/۰۹۶	۰/۹۰۴
A ₇	۶/۴۵۶	۰/۱۷۴	۰/۸۲۶
A ₈	۴/۸۶۸	۰/۱۳۱	۰/۸۶۹

1 Best-Worst Method (BWM)

2 Excel

ارزیابی و سنجش میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر...؛ رمضانیان و همکاران | ۲۹

	فاصله کل	DOL	POA
A ₉	۴/۱۳۸	۰/۱۱۱	۰/۸۸۹
A ₁₀	۲/۹۱۳	۰/۰۷۸	۰/۹۲۲

درنهایت، با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده DOL و POA گزینه‌ها طی گام قبل، رتبه‌بندی شرکت‌ها بر اساس کمترین میزان فرصت ازدست‌رفته و بیشترین فرصت کسب‌شده انجام شد که نتایج نهایی آن به‌صورت جامع در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴. رتبه‌بندی شرکت‌ها.

رتبه	گزینه	رتبه	گزینه
۵	A ₆	۶	A ₁
۱۰	A ₇	۹	A ₂
۸	A ₈	۲	A ₃
۷	A ₉	۱	A ₄
۴	A ₁₀	۳	A ₅

نتایج حاصل از اجرای روش OPLO-POCOD بر روی ده شرکت قطعه‌سازی (مطابق جدول ۳ و ۴) نشان داد که شرکت‌های ۴، ۳ و ۵ با کمترین میزان فرصت ازدست‌رفته (DOL به ترتیب ۰/۰۵۶، ۰/۰۵۷ و ۰/۰۶۱) و بالاترین درصد فرصت کسب‌شده (POA)، در رتبه‌های برتر قرار گرفتند. این امر حاکی از عملکرد مطلوب آن‌ها در به‌کارگیری فناوری‌های کلیدی صنعت ۴,۰ نظیر تولید افزودنی، اینترنت اشیاء، رباتیک و مدیریت هوشمند زنجیره تأمین است که این امر، آن‌ها را به مطلوب‌ترین گزینه‌ها جهت استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر محصول تبدیل می‌کند. در مقابل، شرکت‌های ۷، ۲ و ۸ با بالاترین مقادیر DOL (به ترتیب ۰/۱۷۴، ۰/۱۳۶ و ۰/۱۳۱)، ضعیف‌ترین عملکرد را در استقرار این فناوری‌ها نشان دادند.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نقش کلیدی صنعت ۴,۰ در افزایش طول عمر محصولات از طریق کاهش ضایعات و بهبود کیفیت، پژوهش حاضر باهدف سنجش و ارزیابی میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ جهت افزایش طول عمر محصولات در شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو استان گیلان انجام شد. ابتدا، با بررسی و مرور ادبیات انجام‌شده، شکاف تحقیقاتی استخراج گردید. در ادامه، با مرور مبانی نظری و مطالعات پیشین از طریق روش تحلیل محتوای کیفی، ۱۶ مفهوم در قالب ۴ معیار اصلی به‌عنوان مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر در بهبود عمر محصول در بستر فناوری‌های هوشمند انقلاب صنعتی چهارم استخراج گردید. سپس، به سنجش و ارزیابی عوامل مؤثر با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه -OPLO-POCOD و استفاده از نرم‌افزار اکسل پرداخته شد. تحلیل نتایج حاصل از به‌کارگیری چارچوب OPLO-POCOD در شرکت‌های قطعه‌سازی مورد مطالعه، الگوی اولویت‌بندی واضحی را آشکار می‌سازد. یافته‌ها نشان داد که سه معیار سیستم مکانیزه انبارداری، اتوماسیون مدیریت موجودی و ردیابی مبتنی بر بلاک‌چین - که همگی در حوزه شفافیت و ردیابی داده قرار می‌گیرند - به‌ترتیب با کمترین مقدار فرصت‌ازدست‌رفته، به‌عنوان مؤثرترین عوامل در افزایش تولید عمر محصول (قطعات) شناسایی شدند. این یافته‌ها حاکی از آن است که در بافت صنعتی ایران، پایه‌ای‌ترین لایه‌های دیجیتال‌سازی (داده‌محور) پیش‌نیاز اساسی برای تحقق اهداف والاتری مانند اقتصاد چرخشی هستند و به‌کارگیری مؤلفه‌های شناسایی شده می‌تواند در تقویت سیستم‌های تولیدی، افزایش راندمان، کاهش ضایعات و درنهایت، تولید محصولاتی با کیفیت بالاتر و طول عمر بیشتر سودمند باشد. در مقابل و در تضادی قابل توجه، یافته‌ها نشان می‌دهد که علی‌رغم پیشرفت نسبی در برخی فناوری‌های پایه مانند رباتیک و اینترنت اشیا، چالش‌های جدی در مدیریت زنجیره تأمین هوشمند جهت یکپارچه‌سازی سیستم‌ها وجود دارد که به نظر می‌رسد این شکاف ریشه در محدودیت‌های زیرساختی و احتمالاً ضعف در هماهنگی راهبردی بین بازیگران زنجیره تأمین دارد.

ارزیابی و سنجش میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر...؛ رمضانیان و همکاران | ۳۱

یافته‌های این پژوهش در خصوص مهم‌ترین ابعاد و مؤلفه‌های مؤثر بر افزایش طول عمر محصول، ضمن هم‌خوانی با ادبیات جهانی، اولویت‌بندی و بینش جدیدی را به‌طور ویژه در بافت صنعت قطعه‌سازی خودرو ارائه می‌نماید. به‌طور مشخص، تأثیر قوی معیارهایی چون ساخت‌افزودنی، اینترنت اشیاء و رباتیک بر افزایش عمر محصول، یافته‌ای است که مطالعات متعددی از جمله گریفیتس و همکاران (۲۰۱۶)، لیونی و همکاران (۲۰۱۹)، اولسن و تاملین (۲۰۲۰)، مولائی و بنی‌هاشمی (۱۴۰۰)، مروتی‌شریف‌آبادی و همکاران (۱۴۰۱) و ارتز و گاستیو (۲۰۲۳) بر آن صحه گذاشته‌اند؛ این همگرایی بین‌المللی حاکی از آن است که این فناوری‌ها به‌عنوان ارکان اساسی صنعت ۴,۰ بدون در نظر گرفتن موقعیت جغرافیایی، تأثیر خود را بر پایداری محصول نشان می‌دهد. با این حال، نکته تمایز و مشارکت اصلی این پژوهش در شناسایی مکانیسم‌های خاص مؤثر در هر معیار است. برای نمونه، درحالی‌که مطالعه تئورین و همکاران (۲۰۱۵) به‌طور کلی به نقش اینترنت اشیاء در بهبود بهره‌وری سیستم و ارتقاء کنترل کیفیت اشاره کرده، یافته‌های حاضر به‌طور عینی نشان می‌دهد که در شرکت‌های قطعه‌سازی مورد مطالعه، اتوماسیون مدیریت موجودی و داده‌ها، به‌عنوان ملموس‌ترین و مؤثرترین مکانیسم این فناوری شناخته می‌شوند. این یافته، عملیاتی‌تر بودن پژوهش حاضر را نمایان می‌سازد.

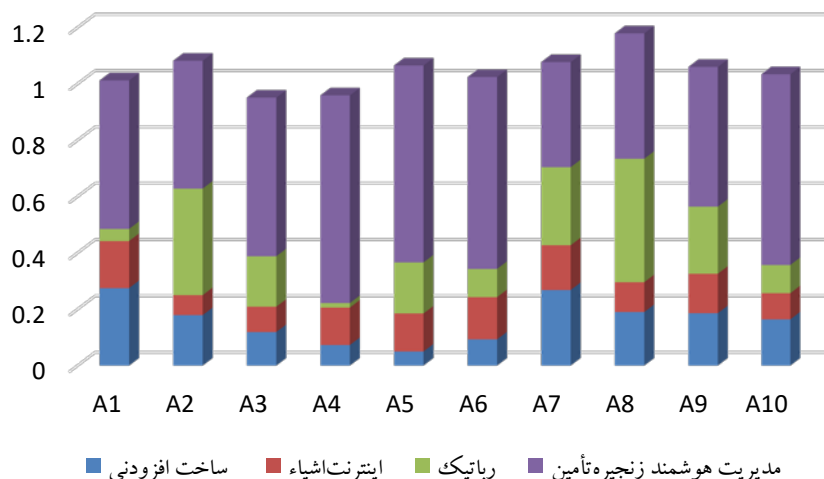
درنهایت، اگرچه معیار مدیریت هوشمند زنجیره تأمین به‌عنوان یک هدف نهایی در مطالعاتی مانند ایوانو و همکاران (۲۰۱۶)، لی و همکاران (۲۰۱۷)، اسماعیلیان و همکاران (۲۰۲۰) و پیرون و همکاران (۲۰۲۴) مورد تأکید قرار گرفته، اما یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که در عمل، شرکت‌های قطعه‌سازی ایرانی برای دستیابی به این هدف نیازمند عبور از چالش‌های زیرساختی در یکپارچه‌سازی فناوری‌های پایه هستند.

در مجموع، این پژوهش با ارائه یک چارچوب عملیاتی اولویت‌بندی‌شده (OPLO-POCOD)، نقشه راهی شفاف برای شرکت‌های قطعه‌سازی ترسیم کرده و به آن‌ها کمک می‌کند تا با شاخص‌های عینی، میزان آمادگی خود را برای استقرار صنعت ۴,۰ بسنجند؛ چراکه راهکارهای پیشنهادی مانند نگهداری پیش‌بینانه و پایش بلادرنگ، مستقیماً ضایعات

و هزینه های تعمیرات را کاهش داده و طول عمر محصولات را افزایش می دهد. این موضوع در بازار خودروی ایران که با چالش های تحریم و کمبود قطعات مواجه است، اهمیتی دوچندان دارد؛ بنابراین، پژوهش حاضر می تواند با پیوند ادبیات نظری و مقتضیات عملی صنعت قطعه سازی خودرو، به عنوان نقشه راهی ارزشمند برای مدیران و سیاست گذاران صنعت سودمند باشد.

مطابق نمودار (۲)، یافته های این پژوهش تصویر گویایی از وضعیت استقرار صنعت ۴,۰ در شرکت های قطعه سازی - به تفکیک معیارهای اصلی - ارائه می دهد و مبنای محکمی برای ارائه پیشنهادهای کاربردی در سطوح مختلف فراهم می کند.

شکل ۲. ارزیابی عملکرد شرکت ها به تفکیک معیارهای اصلی.



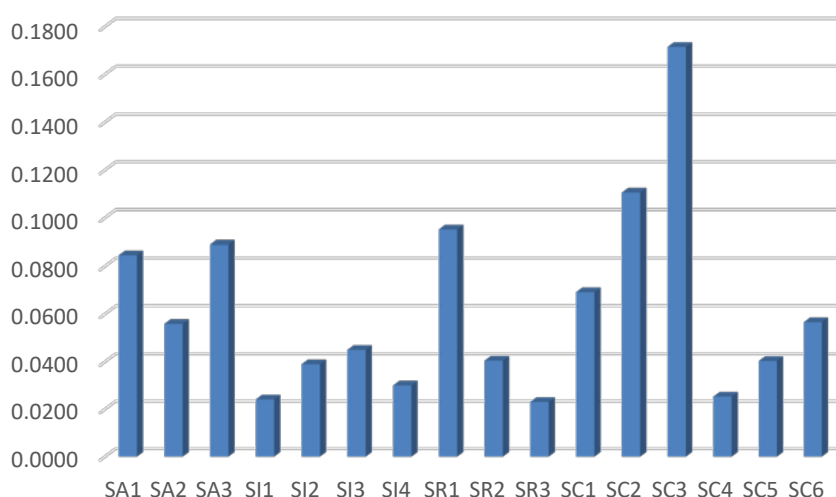
نتایج حاصل از ارزیابی شرکت ها (نمودار ۲) نشان می دهد که شرکت های ۴، ۳ و ۵ با کمترین میزان فرصت ازدست رفته، نسبت به سایر شرکت های مورد بررسی از بالاترین پتانسیل جهت استقرار موفق صنعت ۴,۰ برخوردارند. با این حال، تحلیل جزئی تر حاکی از آن است که هر شرکت تنها در یک معیار خاص - به ترتیب: شرکت قطعه سازی چهارم در معیار رباتیک، شرکت سوم در معیار اینترنت اشیاء و شرکت پنجم در معیار ساخت افزودنی -

ارزیابی و سنجش میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر...؛ رضانیان و همکاران | ۳۳

بهترین عملکرد را نشان می‌دهند. نکته حائز اهمیت، ضعف مشترک و معنادار تمامی شرکت‌های مورد بررسی در معیار مدیریت هوشمند زنجیره تأمین است. این یافته نشان‌دهنده چالشی کلان در اکوسیستم صنعتی ایران و نیاز به بازنگری در سیاست‌های سرمایه‌گذاری فناوری است. در این راستا، به مدیران این شرکت‌ها پیشنهاد می‌شود که جهت رسیدن به کارایی مطلوب، ضمن حفظ مزیت‌ها، منابع مالی خود را ابتدا به سمت بهبود مدیریت زنجیره تأمین هوشمند (به‌ویژه یکپارچه‌سازی فیزیکی-اطلاعاتی) سوق دهند تا از این طریق عملکرد خود را در معیار مذکور بهبود بخشند. همچنین، ارائه تسهیلات مالی برای خرید نرم‌افزارهای یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین، می‌تواند تحول‌آفرین باشد زیرا استقرار صنعت ۴,۰ نیازمند همکاری هر دو بخش دولتی و خصوصی است. از سویی دیگر، به علت وجود مقاومت کارکنان در برابر پذیرش فناوری‌های جدید، برگزاری دوره‌های آموزشی برای کاهش این شکاف نیز ضروری می‌باشد.

درنهایت، نتایج این پژوهش عملکرد شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو را از نظر میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در کشور مطابق نمودار (۳) ارزیابی می‌کند:

شکل ۳. ارزیابی معیارها بر اساس درجه تحقق آن‌ها.



در سطح کلان، یافته‌های پژوهش (مطابق نمودار ۳)، نشان می‌دهد که معیارهای سیستم مکانیزه انبارداری، اتوماسیون مدیریت موجودی و قابلیت ردیابی توسط بلاک چین به ترتیب با مقادیر فرصت ازدست‌رفته ۰/۰۲۳۱، ۰/۰۲۴۲ و ۰/۰۲۵۳ به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌ها، بیشترین میزان تأثیر را در بهبود طول عمر قطعات در صنایع قطعه‌سازی خودرو دارند. علاوه‌براین، زیرمعیاری که هنوز در صنایع قطعه‌سازی ایران نتوانسته است به‌خوبی استقرار یابد و بیشترین فاصله را از نظر استقرار فناوری‌های صنعت ۴،۰ از سایر زیرمعیارهای شناسایی شده دارد، مربوط به شاخص ایجاد یکپارچگی فیزیکی - اطلاعاتی در زنجیره تأمین توسط رایانش ابری می‌باشد. این مشکل، یک محدودیت زیرساختی است که حل آن از عهده یک شرکت به‌تنهایی خارج است. در این راستا، پیشنهادهایی به سیاست‌گذاران و نهادهای حاکمیتی ارائه می‌گردد:

توسعه زیرساخت‌های اشتراکی: پیشنهاد می‌شود نهادهای توسعه‌ای (مانند وزارت صنعت) با سرمایه‌گذاری بر روی پلتفرم‌های ابری ملی و امن برای یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین، بستری فراسازمانی برای تمامی بازیگران صنعت فراهم آورند. اعطای تسهیلات هدفمند: ارائه وام‌ها و مشوق‌های مالیاتی برای شرکت‌هایی که در راستای استانداردهای تعریف‌شده در این پلتفرم‌های ملی حرکت می‌کنند، می‌تواند شتاب‌بخش باشد.

تدوین استانداردهای اجباری: اتحادیه‌های صنفی می‌توانند با تدوین استانداردهای داده‌محور برای تبادل اطلاعات، زمینه را برای استقرار واقعی فناوری‌هایی مانند بلاک چین و اینترنت اشیاء فراهم کنند.

همچنین، پیشنهادهای زیر جهت پیشبرد پژوهش‌های آتی ارائه می‌گردد:

- شناسایی و افزودن سایر معیارهای نوظهور و مفاهیم پیشرفته‌تر مانند همکاری انسان-ربات و اقتصاد چرخشی هوشمند به مدل پیشنهادی برای افزایش جامعیت آن.
- تکرار این مطالعه در سایر صنایع کشور (مانند صنعت لوازم خانگی، صنعت فولاد و پتروشیمی)، جهت سنجش میزان قابلیت تعمیم یافته‌ها؛

ارزیابی و سنجش میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر ...؛ رمضانیان و همکاران | ۳۵

– به کارگیری روش های مبتنی بر منطق فازی (مانند تحلیل با رویکرد اعداد خاکستری، اعداد فازی (شهودی – تردیدی – بازه ای و ...) در تحلیل داده های کیفی.

– انجام پژوهش های آتی با روش های علی (مانند ISM یا DEMATLE) برای کشف و تحلیل روابط علی و معلولی بین معیارهای شناسایی شده.

تعارض منافع

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

ORCID

Mohammad Rahim
Ramazanian
Marjan khodaparast
Nodehei
Reza Sheikh

 <http://orcid.org/0000-0003-1026-8636>

 <http://orcid.org/0009-0002-8128-3390>

 <http://orcid.org/0000-0002-2507-7712>

منابع

۱. ارجمندی، روح اله، فتحی، محمدرضا، منطقی، منوچهر و شهبازی، میثم. (۱۴۰۱). ارائه الگوی گذار فناورانه به نسل چهارم انقلاب صنعتی در صنعت خودرو. فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، ۲۱(۵۲)، ۸۰-۹۶. <https://doi.org/10.22034/jtd.2022.1972025.1808>
۲. اسکینی، علی و آهنگری، فرشته. (۱۴۰۱). بررسی صنعت قطعه‌سازی. ماهنامه بورس/وراق بهادر، ۱۲(۲)، ۴۵-۵۸. <https://tsemag.ir/6402-2/>
۳. امینی، سالار، رضایی، مجتبی، بیک زاد، جعفر و سنگی نور پور، عباسقلی. (۱۴۰۱). طراحی مدل توسعه پایدار در صنعت خودرو ایران با رویکرد انقلاب صنعتی چهارم. فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم‌های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)، ۱۷(۶۱)، ۱۴۰-۱۵۶. <https://doi.org/10.30495/imj.2022.1949105.1732>
۴. جعفری، طه، زارعی، عظیم، آذر، عادل و مقدم، علیرضا. (۱۴۰۱). طراحی مدل تأثیر هو شمندی کسب و کار بر عملکرد زنجیره تأمین با تأکید بر یکپارچگی و چابکی. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۲(۴۷)، ۲۷۹-۳۱۵. <https://doi.org/10.52547/jimp.12.3.279>
۵. خوش سپهر، زهرا، علی محمدلو، مسلم، محمدی، علی و الله رعنائی کرد شولی، حبیب. (۱۴۰۰). علم‌سنجی و تجزیه و تحلیل روند پژوهش‌ها در حوزه انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت ۴/۰ علوم و فنون مدیریت اطلاعات، ۹(۲)، ۱۳۳-۱۶۶. <https://doi.org/10.22091/stim.2022.7738.1707>
۶. رحمانی خلیلی، علی؛ فلاح، میرفیض؛ غلامی جمکرانی، رضا؛ جهانگیرنیا، حسین. (۱۴۰۱). طراحی و اعتبار سنجی الگوی به کارگیری فناوری بلاک چین و ارزشهای رمزنگاری شده در شرایط تحریم جمهوری اسلامی ایران. جامعه‌شناسی سیاسی ایران، ۵(۱۰)، ۱۵۴۰-۱۵۶۸. <https://doi.org/10.30510/psi.2022.306490.2366>
۷. فرح‌بخش، محمد، مدیری، محمود، خاتمی فیروزآبادی، سید محمدعلی و پورابراهیمی، علیرضا. (۱۴۰۱). شبیه سازی چرخه عمر صنعت برق با استفاده از شبیه سازی عامل بنیان، فصلنامه چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۲(۴)، ۳۵-۹. <https://doi.org/10.52547/jimp.12.4.9>
۸. کوهی اقدام، علیرضا، جوان امانی، ودود، کوهی اقدام، الهام و مشهدی محمدی، امیر. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر مدیریت تکنولوژی بر کیفیت خدمات با تأکید بر نقش میانجی چابکی سازمانی در صنعت خودرو (مطالعه موردی: شرکت ایتویا). توسعه تکنولوژی صنعتی،

ارزیابی و سنجش میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر ...؛ رمضانیان و همکاران | ۳۷

https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26765403.1398.17.38 ۶۵-۵۵، (۳۸)۱۷

5.2.

۹. محقر، علی، اصغری زاده، عزت اله، قدسی پور، سیدحسین و ثمرخی، امیر. (۱۴۰۰). ارائه مدل

مفهومی تأثیر استراتژی‌های مدیریت تولید و عملیات بر مزیت رقابتی پایدار در صنعت خودرو ایران (مورد مطالعه: شرکت‌های خودروسازی تهران). مدیریت بهره‌وری (فرا سوی

مدیریت)، ۱۱(۱) (پیاپی ۵۶)، ۱۸۷-۱۶۳. https://www.doi.org/10.30495/۱۶۳-۱۸۷

qjopm.2021.1882539.2680

۱۰. محمدی، اکبر و بابائی، سحر. (۱۴۰۰). مدل شناسایی و جذب فناوری‌های کلیدی در

شرکت‌های کوچک تا متوسط. رویکردهای پژوهشی نوین در مدیریت و حسابداری،

۱۰۲-۸۴، (۶۶)۵. https://civilica.com/doc/1351625

۱۱. مروتی شریف آبادی، علی، ضیائیان، مهران، میرفخرالدینی، سید حیدر و زنجیرچی، سید

محمود. (۱۴۰۱). بررسی چگونگی نقش صنعت ۴,۰ در کیفیت محصولات و خدمات

(مورد مطالعه: صنعت لوازم خانگی). نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت، ۱۲(۳)، ۳۱۹-۳۴۲.

https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23221305.1401.12.3.5.9

۱۲. مولائی، منیژه و بنی‌هاشمی، سارا سادات. (۱۴۰۰). شناسایی نقش تولید مجازی و تکنولوژی

جدید بر چابکی و سودآوری سازمانی در بازارهای رقابتی. مطالعات مدیریت و توسعه

پایدار، ۱(۲)، ۱۵۵-۱۹۰. https://doi.org/10.30495/msds.2022.1949614.1031

References

13. Ammar, M., Haleem, A., Javaid, M., Wail, R., & Bah, S. (2021). Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies. *Materials Today: Proceedings*, vol. 45, pp. 5089-5096. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.585
14. Aparisi, T.A., & Van Ewijk, S. (2015). Analysing impacts of product life extension through material flow analysis: the case of EEE and paper. *In Plate Product Lifetimes and the Environment Conference, Vol. 2015*, pp. 1-12.
15. Bakker, C., Wang, F., Huisman, J., & Den Hollander, M. (2014a). Products that go round: exploring product life extension through design. *Journal of Cleaner Production*, vol. 69, pp. 10-16. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.028

16. Bakker, C., Den Hollander, M.C., Van Hinte, E., & Zijlstra, Y. (2014b). Products that last: Product Design for Circular Business Models. *Delft, The Netherlands: Delft Library/Marcel den Hollander IDRC*, 112p.
17. Carvalho, A.V., Enrique, D.V., Chouchene, A., & Charrua-Santos, F. (2021). Quality 4.0: an overview. *Procedia Computer Science*, vol.181, 341-346. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.176>
18. Cox, J., Griffith, S., Giorgi, S., & King, G. (2013). Consumer understanding of product lifetimes. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 79, pp. 21-29. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.05.003>
19. Dalenogare, L.S., Benitez, G.B., Ayala, N.F. & Frank, A.G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, vol.204, 383-394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
20. Den Hollander, M.C., Bakker, C.A., & Hultink, E.J. (2017). Product design in a circular economy: Development of a typology of key concepts and terms. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 517-525. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jiec.12610>
21. Deryabina, G., & Trubnikova, N. (2021). The Impact of Digital Transformation in Automotive Industry on Changing Industry Business Model. *International Scientific and Ptactical Conference*, No. 45, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1145/3487757.3490886>
22. Du, G., Zhang, P., Mai, J., & Li, Z. (2012). Markerless kinect-based hand tracking for robot teleoperation. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 9(2), 1-36. <http://dx.doi.org/10.5772/50093>
23. Ertz, M & Gasteau, F. (2023). Role of smart technologies for implementing Industry 4.0 environment in product lifetime extension towards circular economy. *A qualitative research, Heliyon*, 9(6), e16762. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16762>
24. Ertz, M., & Patrick, K. (2019). The future of sustainable healthcare: extending product lifecycles. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 153, 104589. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104589>
25. Esmailian, B., Sarkis, J., Lewis, K., & Behdad, S. (2020). Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0. *Resources Conservation and Recycling*, vol. 163, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105064>
26. Formentini, M., & Taticchi, P. (2016). Corporate sustainability approaches and governance mechanisms in sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 112 (3), 1920-1933. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.072>
27. Frank, A.G., Dalenogare, L.S., & Ayala, N.F. (2019). Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies.

- International Journal of Production Economics*, vol. 210, pp, 15-26.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
28. Graneheim, U., & Lundman, B. (2004). Qualitative content analysis in nursing research: concepts, procedures and measures to achieve trustworthiness. *Nurse Education Today*, 24(2), 105-112.
<https://doi.org/10.1016/j.nedt.2003.10.001>
 29. Gray, J., & Depcik, C. (2020). Review of Additive Manufacturing for Internal Combustion Engine Components. *SAE International Journal of Engines*, 13(5), 617-632. <http://dx.doi.org/10.4271/03-13-05-0039>
 30. Griffiths, M., Howarth, C.A., De Almeida-Rowbotham, J., Rees, A., & Kerton, R. (2016). A design of experiments approach for the optimization of energy and waste during the production of parts manufactured by 3D printing. *Journal of cleaner production*, vol. 139, pp. 74-85. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.182>
 31. Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., Werner, F., & Ivanova, M. (2016). A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 54(2), 386-402.
<http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2014.999958>
 32. Jabbour, C.J.C., Jabbour, A.B.L.D.S., Sarkis, J., & Filho, M.G. (2018). Unlocking the circular economy through new business models based on large-scale data: an integrative framework and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, vol.144, 546–552.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.09.010>
 33. Javid, M., Haleem, A., Singh, R., & Suman, R. (2022a). Artificial intelligence applications for industry 4.0: a literature-based study. *Journal of Industrial Integration and Management*, 1–29.
<https://doi.org/10.1142/S2424862221300040>
 34. Javid, M., Haleem, A., Pratap Singh, R., & Suman, R. (2022b). Enabling flexible manufacturing system (FMS) through the applications of industry 4.0 Technologies. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, vol. 2, pp. 49-62. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2022.05.005>
 35. Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Securing the future of German manufacturing industry. *Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Acatech, Forschungsunion, 112p.
 36. Kandade, K., Samara, G., Parada, M.J., & Dawson, A. (2021). From family successors to successful business leaders: A qualitative study of how high quality relationships develop in family businesses. *Journal of Family Business Strategy*, 12(2), 100334.
<https://doi.org/10.1016/j.jfbs.2019.100334>

37. Karabegović, I., Karabegović, E., Mahmić, M., Husak, E. & Mahmic, M. (2022). How the Core Technologies of Industry 4.0 are Changing the Automotive Industry in the World, with a Focus on China, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol.1271, 012017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1271/1/012017>
38. Lee, C.K.M., Lv, Y., Ng, K.K.H., Ho, W., & Choy, K.L. (2017). Design and application of internet of things-based warehouse management system for smart logistics. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2753–2768. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2017.1394592>
39. Liboni, L.B., Cezarino, L.O., Jabbour, C.J.C., Oliveira, B.G., & Stefanelli, N.O. (2019). Smart industry and the pathways to HRM 4.0: implications for SCM. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(1), 124-146. <http://dx.doi.org/10.1108/SCM-03-2018-0150>
40. Lienig, J., & Bruemmer, H. (2017). Recycling Requirements and Design for Environmental Compliance In Fundamentals of Electronic Systems Design. *Springer International Publishibe*, pp. 193-218. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-55840-0_7
41. Mamad, M. (2018). Challenges and Benefits of Industry 4.0. *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(3), 256-265. <http://dx.doi.org/10.22034/2018.3.7>
42. Murakami, S., Oguchi, M., Tasaki, T., Daigo, I., & Hashimoto, S. (2010). Lifespan of commodities, part 1. The creation of a database and its review. *Journal of Industrial Ecology*. 14(4), 598–612. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00250>
43. Nuryakin & Priyo, J.S. (2018). Service quality, trust and customer loyalty: The role of customer satisfaction at the hotel services industry in Indonesia. *Scholarly Journal*, 19(166), 50-55.
44. Olsen, T.L., & Tomlin, B. (2020). Industry 4.0: Opportunities and Challenges for Operations Management. *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(1), pp. 1-122. <https://doi.org/10.1287/msom.2019.0796>
45. Özcan Avşar, N., Sevinc, A., Gur, S., Özcan, E., & Eren, T. (2020). Evaluation of the Transition Process of Industry 4.0 in Automotive Spplier Industry. *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(2), pp. 1-18. <http://dergipark.gov.tr/jcsci>
46. Peter, O., Pradhan, A., & Mbohwa, C. (2023). Industry 4.0 concepts within the sub Saharan African SME manufacturing sector. *Procedia Computer Science*, vol. 217, pp. 846-855. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.281>
47. Piron, M., Wu, J., Fedele, A., & Manzardo, A. (2024). Industry 4.0 and life cycle assessment: Evaluation of the technology applications as an

- asset for the life cycle inventory. *Science of the Total Environment*, vol. 916, 170263. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170263>
48. Radziwill, N.M. (2018). Quality 4.0: Let's Get Digital-The many ways the fourth industrial revolution is reshaping the way we think about quality. *ArXiv, Quality Progress*, pp. 24-29. <http://dx.doi.org/10.48550/arXiv.1810.07829>
49. Renda, A., Schwaag Serger, S., Tataj, D. (2022). Industry 5.0, a Transformative Vision for Europe: Governing Systemic Transformations towards a Sustainable Industry. *Directorate- General for Research and Innovation (European Commiddion)*, No, 3. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/17322>
50. Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International. Journal of Interactive Mobile Technologies(iJIM)*, 11(5), pp. 77-90. <http://dx.doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>
51. Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), pp. 2117–2135. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>
52. Sauerwein, M., Doubrovski, E., Balkenende, R., & Bakker, C. (2019). Exploring the potential of additive manufacturing for product design in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, vol. 226, pp. 1138-1149. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.108>
53. Saw, H.S., Bin Azmi, A.A., Chew, K.W., & Show, P.L. (2021). *Sustainability and development of industry 5.0*, in: *The Prospect of Industry 5.0 in Biomanufacturing*. CRC Press, pp. 287–304. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003080671-13-13>
54. Sheikh, R., & Senfi, S. (2023). Rapid Assessment of Customers and their Classification with the OPportunity LOsses-Based POlar COordinate Distance Sort (OPLO-POCOD SORT) and Net Promoter Score (NPS). *Journal of Business Management Perspective*, 22(55), 82-112. <https://doi.org/10.48308/2024/234864.1581>
55. Sheikh, R., & Senfi, S. (2024). A Novel Opportunity Losses-Based Polar Coordinate Distance (OPLO-POCOD) Approach to Multiple Criteria Decision-Making. *Journal of Mathematics*, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/8845886>
56. Show, P.L., Chew, K.W., & Ling, T.C. (2021). *The Prospect of Industry 5.0 in Biomanufacturing*. CRC Press, 2021, 326p. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003080671>
57. Tajabadi, A., Ahmadi, F., Sadooghi Asl, A., & Vaismoradi, M. (2020). Unsafe nursing documentation: A qualitative content analysis. *Nursing Ethics*, 27(5), 1213-1224. <https://doi.org/10.1177/0969733019871682>

58. Talaie, H., Ziaeiian, M., & Malekinejad, P. (2022). Designing the establishment and implementation model of quality 4.0 with the integrated approach of interpretive structural modeling and structural equation modeling. *Journal of Quality Engineering and Management*, 12(1), 51-68. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23221305.1401.12.1.4.4>
59. Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018a). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(4), pp. 3563-3576. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00170-017-0233-1>
60. Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018b). Data-driven smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 48, pp. 157-169. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>
61. Theorin, A., Bengtsson, K., Provost, J., Lieder, M., Johnsson, Ch., Lundholm, Th., & Lennartson, B. (2015). An event-driven manufacturing information system architecture. *IFAC-Papers Online*, 48(3), pp. 547-554. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.138>
62. Van Nes, N., & Cramer, J. (2003). Design strategies for the lifetime optimisation of products. *The Journal of Sustainable Product Design*, 3(3-4), pp. 101-107. <http://dx.doi.org/10.1007/s10970-005-2144-8>
63. Van Nes, N., & Cramer, J. (2006). Product lifetime optimization: a challenging strategy towards more sustainable consumption patterns. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16), pp. 1307-1318. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.04.006>
64. Walker, j., Childe, s., Wang, y. (2019). Analysing manufacturing enterprises to identify opportunities for automation and guide implementation – a review. *IFAC Papers Online*, 52(13), pp. 2273-2278. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.544>
65. Wang, L., Törngren, M., & Onori, M. (2015). Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 37(2), 517-527. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.04.008>
66. Xu, L.D., Xu, E.L. & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
67. Zonnenshain, A. & Kenett, R.S. (2020). Quality 4.0—the challenging future of quality engineering. *Quality Engineering*, 32(4), pp. 614-626. <https://doi.org/10.1080/08982112.2019.1706744>

References (In Persian)

1. Amini, S., Ramzani, M., Beykzad, J., & Sangi Noorpour, A. (2022). Designing a Sustainable Development Model in the Iranian Automotive

- Industry Using the Fourth Industrial Revolution Approach. *Quarterly Journal of Strategic Management in Industrial Systems*, 17 (61), 140-156. [In Persian].
2. Arjmandi, R., Fathi, M., Manteghi, M., & Shahbazi, M. (2023). Providing a model of technological transition to the fourth generation of the industrial revolution in the automobile industry. *Quarterly Journal of Industrial Technology Development*, 21(52), 80-96. [In Persian].
 3. Eskini, A., & Ahangari, F. (2022). Review of the parts Manufacturing Industry. *Monthly Journal of the Stock Exchange*, 12(2), 45-58. [In Persian].
 4. Farahbakhsh, M., Modiri, M., Khatami Firouzabadi, M., & Puorebrahimi, A. (2022). Power industru's life cycle simulation using agent based modeling. *Industrial Management Perspective*, 12(4), 9-35. [In Persian].
 5. Jafari, T., Zarei, A., Azar, A., & Moghadam, A. (2022). Designing a Model for the impact of Business intelligence on supply chain performance with an emphasis on integration and agility. *Industrial Management Perspective*, 12(47), 279-315. [In Persian].
 6. Khoshsepehr, Z., Alimohammadlou, M., Mohammadi, A., & Allah Ranaei Kordshouli, H. (2022). Scientometrics and Analysis of the Research trends in the fourth Industrial revolution field and Quality 4.0. *Sciences and Techniques of Information Management*, 9(2), 133-166. [In Persian].
 7. Koohi Aghdam, A., Koohi Aghdam, E., Javan Amani, V., & Mashhadi Mohammadi, A. (2020). The impact of technology management on service quality with emphasis on the mediator role of organizational agility (Case Study: Irtoya Compani). *Quarterly Journal of Industrial Technology Development*, 17(38), 55-65. [In Persian].
 8. Mohaghar, A., Asgharizadeh, E., Ghodsypour, H., & Samarrokhi, A. (2021). Presenting a conseptual model delineating the effect of production and operations strategies on sustainable competitive advantage in Iranian Automotive Industry: The case of Tehran automobile manufacturing companies. *Journal of Productivity Management*, 15(56), 163-187. [In Persian].
 9. Mohammadi, A., & Babaei, S. (2021). Model for identifying and absorbing key technologies in small to medium enterprises (SME). *Journal of New Research Approaches in Management and Accounting*, 5(66), 84-102. [In Persian].
 10. Mollaei, M., & Banihashemi, S. (2021). Identify the role of virtual production and new technology on organizational agility and profitability in competitive markets. *Science Journal- Management & Sustainable Development Studies*, 1(2), 155-190. [In Persian].

11. Morovati Sharif-Abadi, A., Ziaei, M., Mirfakhradini, H., & Zanjirchi, M. (2022). Investigating the role of Industry 4.0 in the quality of products and services (Case Study: Home appliance industry). *Journal of Quality Engineering and Management*, 12(3), 319-342. [In Persian].
12. Rahmanikhalili, A., Fallah, M., Gholami Jamkarani, R., & Jahangirnia, H. (2022). Design and validation of a model for the use of Blockchain technology and cryptocurrencies under sanctions of Islamic of republic of Iran. *Iranian Journal of Political Sociology*, 5(10), 1540-1568. [In Persian].

استناد به این مقاله: رمضانیان، محمد رحیم، خداپرست نوده‌ئی، مرجان، شیخ، رضا. (۱۴۰۴). ارزیابی و سنجش میزان تحقق استقرار صنعت ۴،۰ در راستای افزایش طول عمر محصول مبتنی بر روش OPLO-POCOD، مدیریت صنعتی، ۲۳(۷۷)، ۴۴-۱. DOI: 10.22054/jims.2025.84733.2960



Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.