Industrial Management Studies
Vol(issue), PP.
.atu.ac.ir
DOI:

ATU PRESS

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.

eISSN: 2476-5988 ISSN: 2251-8037 Accepted: Review Received: Original Research

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 0.0253, respectively. On the

* 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, Volume* (Issue), PP.

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 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.

آماده انتشار

مقاله پژوهشی

مطالعات مدیریت صنعتی
دوره ؟، شماره ؟، نام فصل، سال، ص ص
.atu.ac.ir
DOI:

تاریخ دریافت: ۰۰/۰۰/۰۰؛ تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۰/۰۰

eISSN: 2476-5988 ISSN:2251-8037

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

محمدرحیم رمضانیان * — دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

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

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

چکیده

تحوّل دیجیتال و صنعت ۴,۰ به‌عنوان محرکی کلیدی برای افزایش رقابت‌پذیری و بهبود کیفیت محصولات در صنایع مختلف، به‌ویژه در حوزه قطعه‌سازی خودرو، اهمیت یافته است. این پژوهش با تمرکز بر استان گیلان، میزان استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰ را در راستای افزایش طول عمر محصولات مورد بررسی قرار داده‌است. ابتدا با تحلیل محتوای کیفی ۳۵ مقاله بین سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۴، ۱۶ معیار فرعی در چهار گروه اصلی شناسایی شد. سپس، با به‌کارگیری روش نوین OPLO-POCOD (ارزیابی فرصت‌های از دست رفته بر پایه فاصله در فضای مختصات قطبی) و نظرسنجی 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 از دست رفته (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 نخستین‌بار با ترکیب تحلیل‌های کیفی 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

* نویسنده مسئول: ramazanian@guilan.ac.ir

رقابت‌پذیرتر برجسته می‌سازد و به مدیران و سیاست‌گذاران در جهت اولویت‌بندی راهبردهای صنعت ۴,۰ یاری می‌رساند. درمجموع، اگرچه صنایع قطعه‌سازی خودرو در گیلان در حوزه‌هایی مانند انبارداری مکانیزه پیشرفت داشته‌اند، اما برای تکمیل فرآیند تحوّل 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.

آماده انتشار

مقدمه

درحال حاضر، رقابت برای بهبود کیفیت تولید به عنوان یک موضوع مهم و راهبردی شناخته شده‌است به‌طوری که بسیاری از شرکت‌ها به علت تعهّد به توسعه پایدار، درحال بازنگری در نحوه انجام تجارت و طراحی استراتژی‌هایی برای مدیریت پایدار زنجیره‌تأمین 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 داشته‌باشند (فرح‌بخش و همکاران، ۱۴۰۱). یکی از مفاهیم کلیدی که در این زمینه به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته، طول عمر محصول [1]است که به مدت زمانی اشاره دارد که یک محصول می‌تواند به‌طور مؤثر و کارآمد عمل کند (Murakami et al., 2010). طول عمر محصول نه‌تنها 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 به‌سرعت در حال کاهش هستند، اهمیت طول عمر محصول به‌وضوح احساس می‌شود. از طرف دیگر، افزایش طول عمر محصول [2] به اقداماتی اشاره دارد که به‌منظور افزایش مدت زمان استفاده از محصولات در مراحل پس از تولید (Bakker et al., 2014 a,b)، و کاهش جریان مواد، انرژی و ضایعات (Cox et al., 2013) انجام می‌شود.

حال اگر این حوزه با فناوری‌های هوشمند صنعت ۴٫۰ [3] ترکیب شود مزایای بیشتری نیز حاصل می‌گردد؛ زیرا تحوّلات فناوری در سطح کلان سازمان بسیار حائز اهمیت بوده و موجب تعیین روش و کسب موقعیت برتر رقابتی و بقاء آن می‌گردد. بنابراین، تدوین استراتژی‌های فناوری امری حیاتی و استراتژیک به شمار می‌رود (محمدی و بابائی، ۱۴۰۰)؛ بطوری که برخی از محققان و صاحب‌نظران، استراتژی فناوری را در سطحی بالاتر از سایر استراتژی‌های عملیاتی یک بنگاه، طبقه‌بندی نموده‌اند. اگرچه صنعت ۵٫۰ و مفهوم شتابدهی دیجیتال به‌عنوان 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

---

[1] Product Life
[2] Product Lifetime Extension (PLE)
[3] Industry 4.0

محیط‌های صنعتی فعلی، محدود به بررسی صنعت ۴٫۰ شده‌است. مفهوم صنعت ۴٫۰، که به‌عنوان انقلاب صنعتی چهارم نیز شناخته می‌شود، عمدتاً به لطف حجم عظیم داده‌های تولیدشده، اثرات چند بُعدی بر محصول، فرآیند تولید، نظارت و کنترل و در نتیجه نگهداری و بازیابی اعمال می‌کند (Ertz & Gasteau, 2023). این مفهوم، تولید هوشمند را به‌عنوان 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 به‌عنوان یکی از صنایع مهم و استراتژیک کشور، باید با تحوّلات سریع فناوری همگام شود. در این صنعت، استفاده از فناوری بطور فزاینده‌ای افزایش یافته و روش‌های تولید به‌طور مداوم درحال تغییر هستند (Özcan et al., 2020). نظام تولید در صنایع خودرو، باید توجه ویژه‌ای به کیفیت تولید داشته‌باشد 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 کمک‌گرفتن از صنعت ۴٫۰ بر این مسئله غلبه کرد؛ چرا که این صنعت یکی از صنایعی 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 به‌همراه 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 بطور اختصاصی قطعاتی را برای چندین تولیدکننده خودرو تأمین می‌نمایند. بنابراین، تقویت صنعت قطعه‌سازی برای خدمات‌رسانی به صنعت‌خودرو در داخل کشور، ضروری است (کوهی‌اقدم و همکاران، ۱۳۹۸). صنعت قطعه‌سازی خودرو به عنوان یکی از صنایع مادر و تأمین‌کننده نیازهای خودروسازان، کاملا به صنعت خودروسازی وابسته است؛ چرا که تولید قطعات با کیفیت مناسب، منجر به تولید خودروهای با کیفیت بالاتر، ارتقاء عمرمفید خودروها و درنتیجه، 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 باکیفیت 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 درحال شکل‌گیری درجهت بهینه‌سازی فرآیندهای توسعه صنعتی استفاده بهینه نمود. درنتیجه، مدیران صنعت خودرو و قطعه‌سازی باید بر استفاده از تکنولوژی‌های جدید در تولید و برنامه‌ریزی تولید تأکید بیشتری داشته باشند و از فرصت‌های انقلاب‌صنعتی 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 به اندازه‌ی کافی در ادبیات موجود پوشش داده نشده و این زمینه حداقل در منابع داخلی فاقد تحقیقی است که بطور کلی خلاصه کند که چگونه فناوری‌های هوشمند، که بخشی از پدیده‌ی صنعت ۴,۰ در نظرگرفته 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 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 با هدف ارزیابی و سنجش میزان استقرار صنعت ۴,۰ در راستای افزایش طول عمر محصول در شرکت‌های قطعه‌ساز خودرو انجام شده‌است. 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 نام برده پرداخته‌است. 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 شده‌است؛ در بخش دوم، روش‌شناسی پژوهش بیان شده‌است؛ در ادامه نیز به تجزیه‌وتحلیل نتایج و سپس، بحث و نتیجه‌گیری پیرامون یافته‌های پژوهش پرداخته شده‌است.

پیشینه پژوهش

امروزه، کیفیت به دلیل تضمین قابلیت‌اطمینان محصولات و خدمات ارائه‌شده به مشتری‌ها مطابق با نیازها و انتظارات آن‌ها (Carvalho et al., 2021)، به عنوان یک عامل حیاتی در موفقیت کسب‌وکار درنظر 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 می‌آید (Nuryakin & Priyo, 2018). به‌طوری که بسیاری از شرکت‌ها روند تولید خود را به گونه‌ای تنظیم کرده‌اند که در یک زمان مناسب روی محصولات سفارشی‌سازی انبوه متمرکز شوند (Zonnenshain & Kenett, 2020). ازسویی دیگر، تولید و سفارشی‌سازی‌انبوه، پیچیدگی‌های جدیدی را در فرآیندهای تولید به ارمغان آورده که سازمان‌ها و شرکت‌های مختلف را نیازمند به‌کارگیری رویکردهایی نوین در بهبود کیفیت محصولات و خدمات کرده‌است (Rojko, 2017).

یکی از مفاهیم مهم و کلیدی در این زمینه، مفهوم طول عمر محصول است. طول عمر محصول به‌عنوان یک مفهوم اساسی در اقتصاد دایره‌ای، به دوره زمانی اشاره دارد که در طی آن یک محصول کاربردی بوده و به‌طور مؤثر و کارآمد عمل می‌نماید (Murakami et al., 2010). طبق گفته دن هولندر[1] و همکاران (۲۰۱۷)، این مدت زمان از لحظه عرضه محصول برای استفاده آغاز می‌شود و تا زمان منسوخ‌شدن آن، پس از بازیابی در سطح محصول، ادامه

[1] Den Hollander

می‌یابد (Den Hollander et al., 2017). افزایش این طول عمر می‌تواند علاوه‌بر تأثیر بر کیفیت محصول و عملکرد آن، در کاهش اثرات زیست‌محیطی نیز ایفای نقش کند (Aparisi et al., 2015)؛ چرا که امروزه با افزایش روند مصرف کالاهای مصرفی، جامعه ما با چالش‌های زیست‌محیطی جدی ازجمله افزایش تولید زباله‌های شهری، انتشار مواد خطرناک و گازهای گلخانه‌ای مواجه است که زندگی افراد و سلامت نسل‌های آینده را تهدید می‌کند (Lienig & Bruemmer, 2017)؛ به همین دلیل، افزایش طول عمر محصول می‌تواند به کاهش آثار منفی زیست‌محیطی و افزایش ارزش اقتصادی محصول، با تأثیر بر ورودی و خروجی ضایعات تولید، منجر شود (Aparisi et al., 2015). در مجموع، طبق نظر ون نس و کرامر[1] (۲۰۰۶)، گسترش طول عمر محصول به‌عنوان یکی از زمینه‌های ارتقای پایداری، به ابزار و استراتژی‌هایی اشاره دارد که برای افزایش مدت زمان عمر محصولات به کار می‌روند. این ابزارها در جهت بهبود طراحی محصول (Bakker et al., 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 (Talaei et al., 2022). ظهور انقلاب صنعتی چهارم که به عنوان صنعت ۴,۰ نیز شناخته می‌شود، اولین بار در سال ۲۰۱۱ توسط نمایندگان دولت آلمان با هدف افزایش قدرت رقابت صنایع تولیدی این کشور مطرح شد (Walker et al., 2019). این صنعت به نوعی 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.

براساس مرور ادبیات انجام‌شده، چارچوب نظری این پژوهش بر چهار محور اصلی استوار است:

[1] Ven Nes & Cramer

فناوری‌های هوشمند

این محور به هسته فناورانه صنعت ۴,۰ می‌پردازد. رشد بهره‌وری صنعتی همیشه تحت تأثیر رشد روز افزون تکنولوژی بوده‌است و پیشرفت تکنولوژی در سال‌های اخیر در جایگاهی خاص قرارگرفته‌است. فناوری‌های صنعت ۴,۰ به عنوان 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، تحوّل صنعت ۴,۰ از طریق فناوری‌های هوشمند مختلف (مانند: اینترنت‌اشیاء، هوش‌مصنوعی، 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 تحت‌تأثیر قراردهد (مروتی‌شریف‌آبادی 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، علاوه‌بر کاهش هزینه‌های تولید، موجب افزایش انعطاف‌پذیری خطوط تولید، افزایش کیفیت و بهره‌وری (Dalenogare et al., 2018; Jabbur et al., 2018) و در نتیجه افزایش طول عمر محصولات نهایی می‌گردد. علاوه‌براین، فناوری‌های صنعت ۴,۰، امکان طراحی محصولات با دوام و با کارایی بالا را نیز فراهم می‌کنند. به عنوان مثال، فناوری پرینت سه‌بُعدی و تولید افزودنی[1] 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).

[1] Additive Manufacturing (AM)

پایش و نگهداری پیش‌بینانه [1]

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.

زنجیره‌تأمین هوشمند [2]

این محور به هماهنگی و بهینه‌سازی کل زنجیره‌ارزش می‌پردازد چراکه صنعت ۴,۰ امکان ردیابی محصولات در تمام مراحل چرخه عمر آن‌ها را فراهم می‌کند. همچنین، تبادل اطلاعات و ادغام زنجیره‌تأمین، هم‌گام‌سازی تولید با تأمین‌کنندگان برای کاهش زمان تحویل و تحریف اطلاعاتی را نیز در نظر می‌گیرد (Ivanov et al., 2016). این امر به شرکت‌ها کمک می‌کند تا استراتژی‌های بهینه برای افزایش عمر محصولات را تدوین نمایند.

در عین حال، بررسی‌ها نشان می‌دهند که این چهار محور به‌صورت سیستماتیک با هم در ارتباط بوده و فناوری‌های صنعت ۴,۰ به لطف حجم عظیمی از داده‌های بزرگ تولیدشده، اثرات چندبُعدی بر عملکرد محصول، فرآیند تولید، نظارت و کنترل و همچنین، نگهداری و بازیابی اعمال می‌کنند (Ertz & Gasteau, 2023). بطور کلی، در این پژوهش منظور از استقرار صنعت ۴,۰، نهادینه کردن تمام و کمال فناوری‌های مطرح‌شده در این صنعت نبوده و به نوعی به عنوان یک نگرش و فلسفه در نظر گرفته شده‌است که تلاش می‌شود تا با استناد به کارهای علمی، جامعه را به این سمت سوق داد.

ازسوی دیگر، صنعت ۴,۰ با ارائه این راه‌حل‌های نوآورانه، فرصت‌های زیادی برای افزایش طول عمر محصولات ایجاد کرده‌است که به صنایع مختلف در تولید محصولات بادوام و کارایی بالا سود می‌رساند. یکی از این صنایع، صنعت خودرو و قطعه‌سازی است که به‌عنوان یکی از صنایع مهم و تأثیرگذار کشور، نیازمند تطابق با این تحوّلات سریع فناوری است. این صنعت، که در دهه ۴۰ شمسی با تولید متوسط ۵۰ هزار دستگاه خودرو در سال

---

[1] Predictive Maintenance
[2] Smart Supply Chain

آغاز به کار کرد، به‌عنوان دومین صنعت مهم اقتصاد کشور شناخته می‌شود. بر اساس آمارها، به جز ایران‌خودرو و سایپا که بیش از ۹۰٪ تولیدات را به خود اختصاص داده‌اند، ۱۳ شرکت خصوصی دیگر نیز با تولید کم فعالیت دارند. صنعت قطعه‌سازی نیز به عنوان بخش اصلی تأمین‌کننده قطعات خودرو، نقش حیاتی در تولید خودروهای با کیفیت و متنوع ایفا می‌کند. این دو صنعت به عنوان دو بخش کلیدی در توسعه اقتصادی و صنعتی کشور، کاملا به یک‌دیگر وابسته بوده و از یک خانواده هستند. چرا که تولید قطعات با کیفیت، به تولید خودروهای باکیفیت بالا و افزایش امنیت سرنشینان منجر می‌شود (اسکینی و آهنگری، ۱۴۰۱). بنابراین، توجه به فناوری‌های هوشمند ارائه شده 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 با دوام 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، ارزش افزوده 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)، تحوّلات 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 تحوّلات انقلاب‌صنعتی چهارم، فناوری‌ها به‌طور کلی دستخوش تغییر شده‌اند و فناوری‌هایی مانند سیستم‌های سایبر – فیزیکال، چاپ سه‌بُعدی، بلاک‌چین، کلان‌داده‌ها و... تمامی بخش‌های جهان را متحوّل ساخته‌اند و باعث شده‌اند تا تمام فعالیت‌های سازمانی، شهری و ... با کمک این فناوری متحوّل 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 اهیمت عوامل سازمانی، سیاستی و محیطی در این گذار تأکید نموده‌اند.

همچنین، مطالعه مروتی‌شریف‌آبادی 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 ارائه شده 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 کسب‌وکارها بررسی نموده و ابزارها و بینش‌های مفیدی برای کاهش ضایعات در بخش پزشکی و بهبود بخش مراقبت‌های بهداشتی ارائه داده‌اند.

ازسوی 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، امّا اجرای تجزیه‌وتحلیل 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 زودهنگام عیوب در مواد تأکید داشتند، در تضاد نسبی قرارمی‌گیرد.

یافته‌های مطالعه Deryabina & Trubnikova.(2021) نیز نشان داد که تحوّل دیجیتال در صنعت خودرو، تحوّلات مثبتی را هم برای مصرف‌کنندگان و هم برای جامعه به‌همراه داشته و در عین‌حال بر محیط زیست 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 - ازجمله ساخت‌افزودنی، تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ، اینترنت‌اشیاء و هوش‌مصنوعی- سه استراتژی اصلی(طراحی بهبودیافته، نگهداری و بازیابی) را برای افزایش عمر محصول

شناسایی کرده و نشان دادند که این فناوری‌ها نه‌تنها 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، اینترنت‌اشیا 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 فناورانه صنعت ۴,۰ متمرکز بوده‌اند و به اندازه کافی به تأثیر یکپارچه این فناوری‌ها بر افزایش طول عمر محصولات، به ویژه 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 انجام‌شده و بنابراین یافته‌های آن‌ها با شرایط بومی و ساختار صنعتی ایران هم‌خوانی کامل ندارد. علاوه‌براین، رویکردهای موجود غالباً بخشی و شکسته هستند و نتوانسته‌اند دیدگاه یکپارچه‌ای ارائه دهند. از بُعد نظری، این پژوهش درصدد است با توسعه یک چارچوب مفهومی جامع، شکاف موجود در ادبیات را پُر کرده و با تلفیق ابعاد فناورانه 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 تحوّل دیجیتال صنایع ایران فراهم 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 ارائه شده می‌تواند زمینه‌ساز کاهش ضایعات، بهبود کیفیت محصولات و افزایش رقابت‌پذیری صنعت شود. در نهایت، این پژوهش با پُر 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 به‌عنوان راهنمای عملی برای صنعت‌گران و سیاست‌گذاران مورد استفاده قرارگیرد.

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 مبانی‌نظری و مطالعات پیشین ازطریق 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 مورد نیاز، از منابع و اطلاعات کتابخانه‌ای نظیر: مقالات، اسناد و مدارک‌علمی و مراجعه به نشریات و پایگاه‌های داده معتبر، بهره گرفته شده‌است. سپس، با هدف سنجش یافته‌ها و افزایش اطمینان از نتایج، از تکنیک نوین فرصت از دست رفته برمبنای فاصله در فضای مختصات قطبی[1] ، روش میدانی و ابزار پرسشنامه‌ای محقق‌ساخته مبتنی‌بر 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 در راستای افزایش عمر محصول، به تفکیک معیارهای اصلی، به چه ترتیبی است؟ ۳)وضعیت شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو از نظر میزان استقرار صنعت۴,۰ 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 جمعیت‌شناختی خبرگان این حوزه بود که در آن اطلاعاتی نظیر جنسیت، رده‌سنی، میزان تحصیلات، تجربه‌کاری و حوزه فعالیت موردسوال قرار گرفتند. بخش سوم نیز شامل سوالات اختصاصی بود.

به‌منظور اطمینان از اعتبار محتوای پرسشنامه، از نظرات متخصصان و اساتید دانشگاه بهره‌گرفته‌شد و در این خصوص اصلاحات لازم صورت گرفت. همچنین، برای ارزیابی

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

پایایی، از ضریب کاپای کوهن[1] استفاده شد که مقدار ۰/۷۴۳ نشانگر برخورداری ابزار پژوهش از پایایی مطلوب است.

در پژوهش حاضر، جامعه آماری به دوبخش تقسیم می‌شود. بخش اول، جامعه‌آماری جهت انجام تحلیل‌محتوای کیفی است و شامل پژوهش‌های منتشرشده در پایگاه‌های علمی معتبر داخلی و خارجی مرتبط با موضوع پژوهش است که برای جست‌وجوی کلیدواژها، محدوده زمانی ۲۰۲۴-۲۰۱۶ در نظر گرفته‌شد. بخش دوم، جامعه آماری جهت اجرای تکنیک فرصت از دست رفته بر مبنای فاصله در فضای مختصات قطبی، با هدف سنجش یافته‌ها است. در این بخش، جامعه‌آماری را ده شرکت فعال در صنعت قطعه‌سازی استان گیلان تشکیل می‌دادند که به‌صورت هدفمند انتخاب‌شده‌اند. در انتخاب شرکت‌های مورد بررسی معیارهایی همچون فعال‌بودن در حوزه تولید قطعات خودرو، داشتن بیش‌از ۵۰ پرسنل و تمایل مدیریت شرکت برای مشارکت در پژوهش دخیل بوده‌است. به دلیل ماهیت کیفی- توصیفی پژوهش و محدودبودن جامعه متخصصان، از روش نمونه‌گیری هدفمند[2] و گلوله‌برفی[3] استفاده‌شد؛ 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 واجدشرایط را معرفی کنند. در هر شرکت، پرسشنامه توسط مدیر تولید، مدیر فناوری‌اطلاعات 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 شده‌است. همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، از مجموع ۱۴ خبره شرکت‌کننده، ۲۹ درصد (۴ نفر) زن و ۷۱ درصد (۱۰ نفر) مرد بودند. در خصوص رده‌سنی نیز، بیشتر شرکت‌کنندگان در گروه سنی بالاتر از ۵۰ سال قرار داشتند. بیشترین شرکت‌کنندگان دارای تحصیلات کارشناسی بودند که سهم ۶۴ درصدی (۹ نفر) از خبرگان را تشکیل داده‌اند. در زمینه سوابق کاری نیز تمامی خبرگان بیش از ۱۰ سال تجربه‌کاری

---

[1] Cohen’s Kappa
[2] Purposive Sampling
[3] Snowball Sampling

داشتند. حوزه تخصص اکثر شرکت‌کنندگان در صنعت قطعه‌سازی خودرو بود که ۴۳ درصد (۶ نفر) از خبرگان را تشکیل داده‌اند.

جدول ۱. مشخصات خبرگان.

ردیف	گویه	ویژگی‌های مشارکت‌کنندگان	فراوانی	درصد فراوانی
۱	جنسیت	زن	۴	۲۹٪
		مرد	۱۰	۷۱٪
۲	رده‌سنی	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	تجربه‌کاری	کمتر از ۵ سال	–	۰
		۵–۱۰ سال	–	۰
		بالاتر از ۱۰ سال	۱۴	۱۰۰٪
۵	حوزه تخصص	شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو	۶	۴۳٪
		مدیریت عمر محصول	۲	۱۵٪
		صنعت ۴/۰	۳	۲۱٪
		نگهداری و تعمیرات	–	۰
		مدیریت زنجیره‌تأمین	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 داده‌شد. در گام بعد، پرسشنامه به‌صورت حضوری یا آنلاین در اختیار پاسخ‌دهندگان قرار گرفت و نحوه تکمیل پرسشنامه و مفاهیم مرتبط برای آن‌ها شرح داده‌شد. همچنین برای اطمینان از دقت داده‌ها، پژوهشگر در حین تکمیل داده‌ها حضور داشت تا به سوالات 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 تجزیه‌وتحلیل مطالعات کیفی است که توسط گرانهیم و لاندمن[1] در سال ۲۰۰۴ مطرح شده‌است (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 گام۱: تنظیم سوالات پژوهش؛ گام۲: بررسی جامع متون؛ گام۳: جست‌وجو و انتخاب مقاله‌های مناسب؛ گام۴: استخراج یافته‌ها؛ گام۵: تجزیه‌وتحلیل و تلفیق یافته‌های کیفی؛ گام۶: کنترل کیفیت و گام۷: جمع‌بندی نتایج و ارائه یافته‌ها اجرا گردید.

تکنیک فرصت از دست رفته بر مبنای فاصله در فضای مختصات قطبی (*OPLO-POCOD*)

روش فرصت از دست رفته بر اساس فاصله در فضای مختصات قطبی که نخستین‌بار توسط شیخ و صنفی، با هدف رتبه‌بندی، انتخاب و مرتب‌سازی گزینه‌ها، در سال ۲۰۲۴ معرفی شد (Sheikh & Senfi, 2024)، یکی از تکنیک‌های نوین کمی در حوزه تصمیم‌گیری چندمعیاره [2] می‌باشد. این روش، با ترکیب و تبدیل ایده فرصت از دست رفته به فاصله در فضای مختصات قطبی، نوآوری جدیدی در تصمیم‌گیری چندمعیاره ایجاد کرده‌است. از مزایای این روش که باعث تمایز آن نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌گردد این است که این تکنیک با درنظر گرفتن فرصت‌های از دست رفته احتمالیِ 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

---

[1] Graneheim & Lundman

[2] Multi-Criteria Decision Making (MCDM)

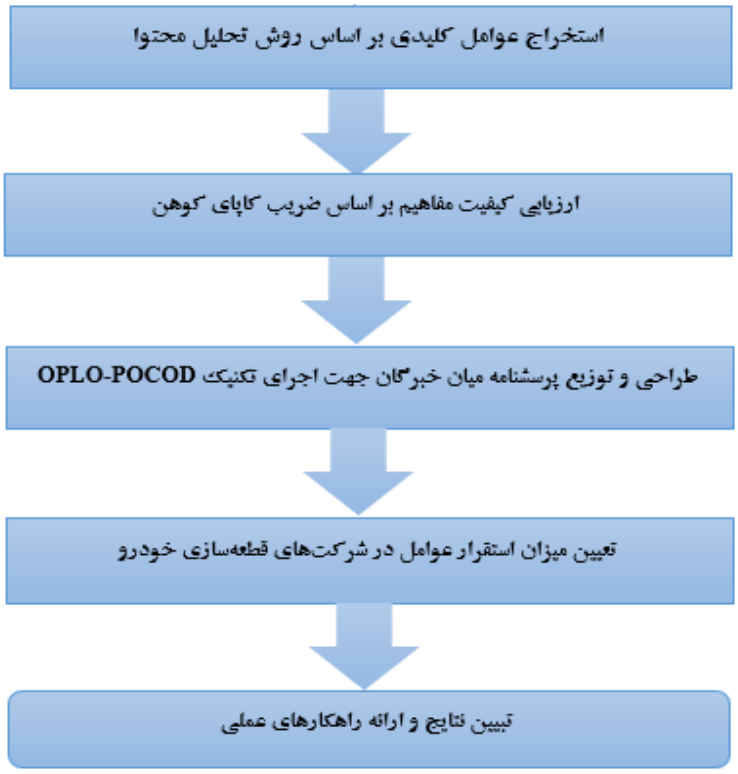
قابلیت‌اطمینان بالایی برخوردار است به‌طوری که ضریب همبستگی اسپیرمن [1] محاسبه‌شده برای آن بیش از ۰/۹ می‌باشد. همچنین، اثبات کارایی این مدل نسبت به مدل‌های دیگر ازجمله VIKOR، TOPSIS ، SAW ، ARAS ، MCRAT ، MOORA و WASPAS نشان‌دهنده استحکام و اثربخشی آن است (Sheikh & Senfi, 2024).

بطور کلی، الگوریتم اجرایی این روش به این صورت است که ابتدا ماتریس تصمیم اولیه براساس اطلاعات دریافتی از تصمیم گیرندگان تشکیل شده و در صورت ناهمگونی واحد معیارها، با نرمال‌سازی خطی استاندارد می‌شود. سپس، ماتریس فرصت از دست رفته (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 از ترکیب ماتریس اولیه و OPL ایجاد شده 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 از دست رفته (DOL) (بین ۰ تا ۱) و درصد فرصت به دست آمده (POA) تعیین می‌شوند. بدیهی است که هرچه DOL به صفر نزدیک‌تر و POA به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، گزینه عملکرد بهتری دارد. در نهایت، گزینه‌ها بر اساس کمترین میزان فرصت از دست رفته و بیشترین فرصت کسب‌شده رتبه‌بندی می‌شوند. این روش، با ترکیب فاصله‌سنجی 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.

[1] Spearman

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 فرصت از دست رفته بر اساس فاصله در فضای مختصات قطبی (OPLO-POCOD) تعیین گردد.

در گام نخست پژوهش، با هدف 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 Science Direct، Springer، 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، براساس محتوا، نوع سند و زبان، برخی مقالات حذف شدند و فقط مقاله‌های مرتبط با موضوع در مجلات معتبر علمی انتخاب شدند. علاوه‌براین، مقاله‌هایی که به زبان‌های دیگری غیر از فارسی و انگلیسی نوشته شده بودند نیز حذف شدند. در مرحله دوم، عنوان و چکیده مقالات مورد بررسی 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 شده‌است.

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	(۲۳، ۴۴)
	اتوماسیون مدیریت داده‌ها	(۱۱، ۳۹، ۴۱)
	بهینه‌سازی فرآیندها با استفاده از دریافت اطلاعات به‌روز	(۴، ۶۱)
	تشخیص زودهنگام خرابی	(۲۳)
رباتیک	خودکارسازی فرآیندها	(۱۱، ۱۲)
	بهبود عملکرد اپراتور	(۲۲، ۲۳، ۴۴، ۶۵)
	سیستم مکانیزه انبارداری	(۱۳)
مدیریت هوشمند زنجیره‌تأمین	جمع‌آوری و ارائه اطلاعات مرتبط توسط اینترنت‌اشیاء	(۴، ۱۱، ۲۳، ۳۹، ۶۱)
	مسیریابی بهینه موجودی توسط هوش‌مصنوعی	(۲۳، ۳۸، ۵۹، ۶۰)
	ایجاد یکپارچگی فیزیکی- اطلاعاتی در زنجیره‌تأمین توسط رایانش‌ابری	(۳۱، ۴۷)
	ایجاد قابلیت ردیابی توسط بلاک‌چین	(۶، ۲۵، ۲۷، ۵۱)
	بهبود عملیات انبارداری توسط ربات‌ها	(۱۳)
	برنامه‌ریزی خودکار از طریق هوش‌مصنوعی	(۳۳، ۳۴)

برای اطمینان از پایایی کدگذاری، از ضریب کاپای کوهن استفاده شد که مقدار ۰٫۷۴۳ نشان‌دهنده توافق قابل قبول بین کدگذاران بود. درنهایت 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 مبتنی‌بر 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 به‌طور جداگانه به میزان استقرار عوامل شناسایی‌شده امتیاز دهند. پس از استخراج نظرات تمامی خبرگان، از داده‌های جمع‌آوری‌شده میانگین گرفته‌شد و با در نظر گرفتن وزن‌های تعیین‌شده از طریق روش

بهترین_بدترین [1]، میزان استقرار هر یک از عوامل بر اساس گام‌های روش OPLO-POCOD و استفاده از نرم‌افزار اکسل [2]، محاسبه و برای ارزیابی آماده شد.

جدول (۳) نتایج به‌دست‌آمده از محاسبه فاصله کل، درجه فرصت از دست رفته (DOL) و درصد فرصت کسب‌شده (POA) را نشان می‌دهد.

جدول ۳. فاصله کل، درجه فرصت از دست رفته و درصد فرصت کسب‌شده.

	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
A_9	۴/۱۳۸	۰/۱۱۱	۰/۸۸۹
A_{10}	۲/۹۱۳	۰/۰۷۸	۰/۹۲۲

در نهایت، با توجه به مقادیر به دست آمده DOL و POA گزینه‌ها طی گام قبل، رتبه‌بندی شرکت‌ها براساس کمترین میزان فرصت از دست رفته و بیشترین فرصت کسب‌شده انجام شد که نتایج نهایی آن به‌صورت جامع در جدول (۴) ارائه شده‌است.

جدول ۴. رتبه‌بندی شرکت‌ها.

گزینه	رتبه	گزینه	رتبه
A_1	۶	A_6	۵
A_2	۹	A_7	۱۰
A_3	۲	A_8	۸
A_4	۱	A_9	۷
A_5	۳	A_{10}	۴

[1] Best-Worst Method (BWM)
[2] Excel

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 از دست رفته (DOL به ترتیب ۰/۰۵۶، ۰/۰۵۷ و ۰/۰۶۱) و بالاترین درصد فرصت کسب‌شده (POA)، دررتبه‌های 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 با هدف سنجش و ارزیابی میزان تحقق استقرار صنعت ۴,۰ جهت افزایش طول عمر محصولات در شرکت‌های قطعه‌سازی خودرو استان گیلان انجام‌شد. ابتدا، با بررسی و مرور ادبیات انجام‌شده، شکاف تحقیقاتی استخراج گردید. درادامه، با مرور مبانی‌نظری 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 پرداخته‌شد. تحلیل نتایج حاصل از به‌کارگیری چارچوب OPLO-POCOD در شرکت‌های قطعه‌سازیِ موردمطالعه، 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 حاکی‌از آن است که در بافت صنعتی ایران، پایه‌ای‌ترین لایه‌های دیجیتال‌سازی (داده‌محور) پیش‌نیاز اساسی برای تحقق اهداف والاتری مانند اقتصادچرخشی هستند و به کارگیری مؤلفه‌های شناسایی‌شده می‌تواند در تقویت سیستم‌های تولیدی، افزایش راندمان، کاهش ضایعات و در نهایت، 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 اینترنت‌اشیاء، چالش‌های جدی در مدیریت زنجیره‌تأمین هوشمند جهت یکپارچه‌سازی سیستم‌ها وجود دارد که به نظر می‌رسد این شکاف ریشه در محدودیت‌های زیرساختی و احتمالا ضعف در هماهنگی راهبردی بین بازیگران زنجیره‌تأمین دارد.

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، اینترنت‌اشیاء و رباتیک بر افزایش عمر محصول، یافته‌ای است که مطالعات متعددی ازجمله گریفیتس و همکاران (۲۰۱۶)، لیبونی و همکاران (۲۰۱۹)، اولسن و تاملین (۲۰۲۰)، مولائی و بنی‌هاشمی (۱۴۰۰)، مروتی‌شریف‌آبادی و همکاران (۱۴۰۱) و ارتز و گاستیو (۲۰۲۳) بر آن صحّه گذاشته‌اند؛ این همگرایی بین‌المللی حاکی از آن است که این فناوری‌ها به‌عنوان ارکان اساسی صنعت ۴,۰، بدون درنظرگرفتن موقعیت جغرافیایی، تأثیر خود را بر پایداری محصول نشان می‌دهد. با این‌حال، نکته تمایز و مشارکت اصلی این پژوهش در شناسایی مکانیسم‌های خاصِ مؤثر در هر معیار است. برای نمونه، در حالی که 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 شناخته‌می‌شوند. این یافته، عملیاتی‌تر بودن پژوهش حاضر را نمایان می‌سازد.

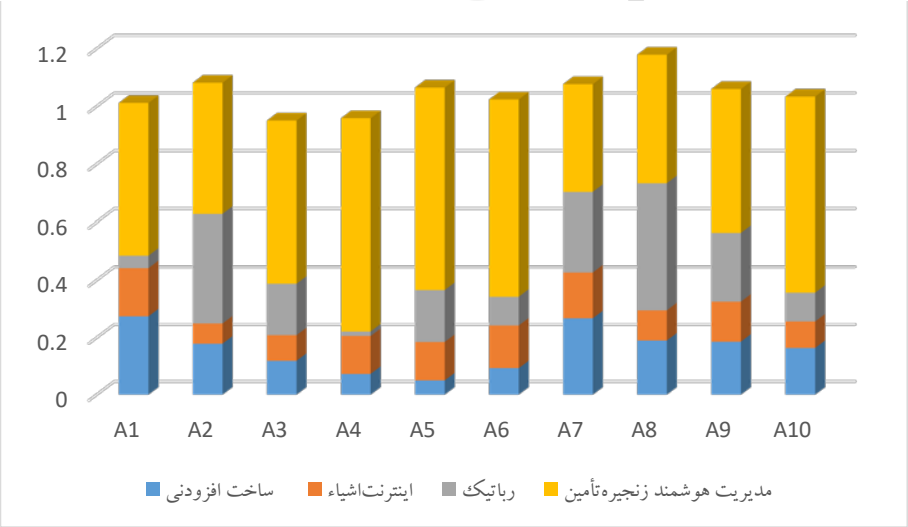
در نهایت، اگرچه معیار مدیریت هوشمند زنجیره‌تأمین به عنوان یک هدف نهایی در مطالعاتی مانند ایوانو و همکاران (۲۰۱۶)، لی و همکاران (۲۰۱۷)، اسماعیلیان و همکاران(۲۰۲۰) و پیرون و همکاران (۲۰۲۴) مورد تأکید قرار گرفته، امّا یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که در عمل، شرکت‌های قطعه‌سازی ایرانی برای دستیابی به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

درمجموع، 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، مستقیما ضایعات و هزینه‌های تعمیرات را کاهش داده و طول عمر محصولات را افزایش می‌دهد. این موضوع در بازار خودروی ایران که با چالش‌های تحریم و کمبود قطعات مواجه است، اهمیتی دوچندان دارد. بنابراین، پژوهش حاضر می‌تواند با پیوند ادبیات نظری و مقتضیات عملی صنعت قطعه‌سازی خودرو، به عنوان نقشه راهی ارزشمند برای مدیران و سیاست‌گذاران صنعت سودمند باشد.

مطابق نمودار (۲)، یافته‌های این پژوهش تصویر گویایی از وضعیت استقرار صنعت ۴,۰ در شرکت‌های قطعه‌سازی- به تفکیک معیارهای اصلی- ارائه می‌دهد و مبنای محکمی برای ارائه پیشنهادات کاربردی در سطوح مختلف فراهم می‌کند.

شکل ۲. ارزیابی عملکرد شرکت‌ها به تفکیک معیارهای اصلی.

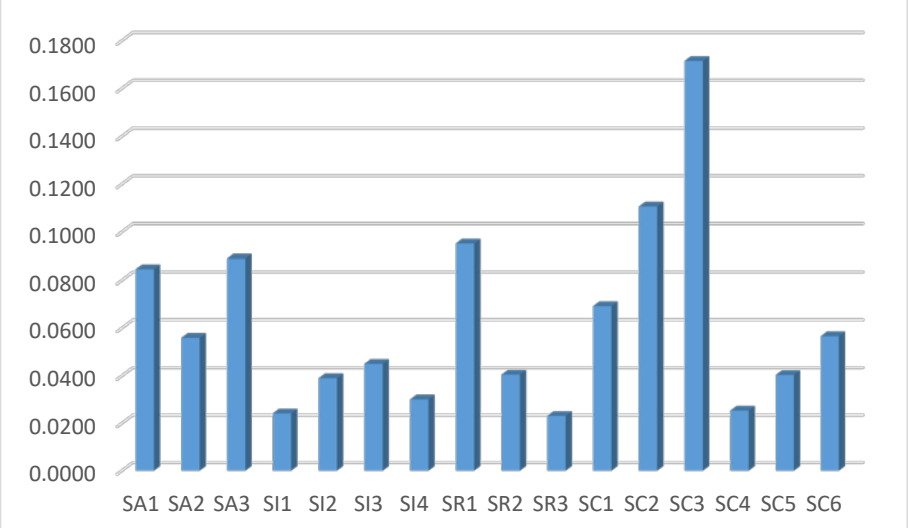


نتایج حاصل از ارزیابی شرکت‌ها (نمودار۲) نشان می‌دهد که شرکت‌های ۴، ۳ و ۵ با کمترین میزان فرصت از دست رفته، نسبت به سایر شرکت‌های مورد بررسی از بالاترین پتانسیل جهت استقرار موفق صنعت ۴,۰ برخوردارند. با این حال، تحلیل جزئی‌تر حاکی از آن است که هر شرکت تنها در یک معیار خاص - به ترتیب: شرکت قطعه‌سازی چهارم در معیار رباتیک، شرکت سوم در معیار اینترنت‌اشیاء و شرکت پنجم در معیار ساخت‌افزودنی-

بهترین عملکرد را نشان می‌دهند. نکته حائز اهمیت، ضعف مشترک و معنادار تمامی شرکت‌های مورد بررسی در معیار مدیریت هوشمند زنجیره‌تأمین 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 مدیریت‌زنجیره‌تأمین 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 زنجیره‌تأمین، می‌تواند تحوّل‌آفرین باشد زیرا استقرا صنعت ۴٫۰ نیازمند همکاری هر دو بخش دولتی و خصوصی است. از سویی دیگر، به علت وجود مقاوت کارکنان در برابر پذیرش فناوری‌های جدید، برگزاری دوره‌های آموزشی برای کاهش این شکاف نیز ضروری می‌باشد.

در نهایت، 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 بلاک‌چین به ترتیب

با مقادیر فرصت از دست رفته ۰/۰۲۳۱، ۰/۰۲۴۲ و ۰/۰۲۵۳ به عنوان 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 به خوبی استقراریابد و بیشترین فاصله را از نظر استقرار فناوری‌های صنعت ۴,۰ از سایر زیرمعیارهای شناسایی‌شده دارد، مربوط به شاخص ایجاد یکپارچگی فیزیکی- اطلاعاتی در زنجیره‌تأمین توسط رایانش‌ابری می‌باشد. این مشکل، یک محدودیت زیرساختی است که حل آن از عهدهٔ یک شرکت به تنهایی خارج است. در این راستا، پیشنهاداتی 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 زنجیره‌تأمین، بستری فراسازمانی برای تمامی بازیگران صنعت فراهم آورند.
- **اعطای تسهیلات هدفمند:** ارائه وام‌ها و مشوّق‌های مالیاتی برای شرکت‌هایی که درراستای 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 بلاک‌چین و اینترنت‌اشیاء 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؛

_ به‌کارگیری روش‌های مبتنی بر منطق فازی (مانند تحلیل با رویکرد اعداد خاکستری، اعداد فازی (شهودی _ تردیدی _ بازه‌ای و ...)) در تحلیل داده‌های کیفی.

_ انجام پژوهش‌های آتی با روش‌های علّی (مانند ISM یا DEMATLE) برای کشف و تحلیل روابط علّی و معلولی بین معیارهای شناسایی‌شده.

تعارض منافع

برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه 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 به‌عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

ORCID

Mohammad Rahim Ramazanian		http://orcid.org/0000-0003-1026-8636
Marjan khodaparast Nodehei		http://orcid.org/0009-0002-8128-3390
Reza Sheikh		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)، ۹۶-۸۰. https://doi.org/10.22034/jtd.2022.1972025.1808

۲. اسکینی، علی و آهنگری، فرشته. (۱۴۰۱). بررسی صنعت قطعه‌سازی. *ماهنامه بورس اوراق بهادار*، ۱۲(۲)، ۵۸-۴۵. https://tsemag.ir/6402-2/

۳. امینی، سالار، رمضانی، 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)، ۱۵۶-۱۴۰. https://doi.org/10.30495/imj.2022.1949105.1732

۴. جعفری، طه، زارعی، عظیم، آذر، عادل و مقدم، علیرضا. (۱۴۰۱). طراحی مدل تأثیر هوشمندی کسب‌وکار بر عملکرد زنجیره‌تأمین با تأکید بر یکپارچگی و چابکی. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی*، ۱۲(۴۷)، ۳۱۵-۲۷۹. https://doi.org/10.52547/jimp.12.3.279

۵. خوش‌سپهر، زهرا، علی‌محمدلو، مسلم، محمدی، علی، و الله رعنایی کردشولی، حبیب. (۱۴۰۰). علم‌سنجی و تجزیه‌وتحلیل روند پژوهش‌ها در حوزه انقلاب‌صنعتی چهارم و کیفیت ۴/۰. *علوم و فنون مدیریت اطلاعات*، ۹(۲)، ۱۳۳- ۱۶۶. https://doi.org/10.22091/stim.2022.7738.1707

۶. رحمانی‌خلیلی، علی؛ فلاح، میرفیض؛ غلامی‌جمکرانی، رضا؛ جهانگیرنیا، حسین. (۱۴۰۱). طراحی و اعتبارسنجی الگوی به‌کارگیری فناوری بلاک‌چین و ارزهای رمزنگاری‌شده در شرایط تحریم جمهوری اسلامی ایران. *جامعه‌شناسی سیاسی ایران*، ۵(۱۰)، ۱۵۴۰-۱۵۶۸. https://doi.org/10.30510/psi.2022.306490.2366

۷. فرح بخش، محمد، مدیری، محمود، خاتمی فیروزآبادی، سیدمحمدعلی، و پورابراهیمی، علیرضا. (۱۴۰۱). شبیه‌سازی چرخه عمر صنعت برق با استفاده از شبیه سازی عامل بنیان، *فصلنامه چشم انداز مدیریت صنعتی*، ۱۲(۴)، ۳۵-۹. https://doi.org/10.52547/jimp.12.4.9

۸. کوهی اقدم، علیرضا، جوان امانی، ودود، کوهی اقدم، الهام، و مشهدی محمدی، امیر. (۱۳۹۸). بررسی تاثیر مدیریت تکنولوژی بر کیفیت خدمات با تاکید برنقش میانجی چابکی سازمانی در صنعت خودرو (مطالعه موردی: شرکت ایرتویا). *توسعه تکنولوژی صنعتی*، ۱۷(۳۸)، ۵۵-۶۵. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26765403.1398.17.38.5.2

۹. محقر، علی، اصغری زاده، عزت اله، قدسی پور، سیدحسن، و ثمررخی، امیر. (۱۴۰۰). ارائه مدل مفهومی تاثیر استراتژی های مدیریت تولید و عملیات بر مزیت رقابتی پایدار در صنعت

خودرو ایران (مورد مطالعه: شرکت های خودروسازی تهران). *مدیریت بهره وری (فراسوی مدیریت)*، ۱۵(۱ (پیاپی ۵۶)، ۱۸۷-۱۶۳. https://www.doi.org/10.30495/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*، ۵(۶۶)، ۸۴-۱۰۲. https://civilica.com/doc/1351625

۱۱. مروتی‌شریف‌آبادی، 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، ساراسادات. (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. Esmaeilian, 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 Cleaer. Productoin, 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. *Scholary 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., Ziaeian, 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., Ziaeian, 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 Socioligy, 5*(10), 1540-1568.[In Persian].

استناد به این مقاله: رمضانیان، محمدرحیم.، 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. *مطالعات مدیریت صنعتی*، سال(شماره)، ص آغاز-ص پایان.

Name of Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.