

Model for Increasing Exports of Petrochemical Derivatives with a Hyper-Automation Approach in Industry 4 For Iranian Petrochemical Holdings

Mohammad Reza Moradi¹  | Kamyar Chalaki^{2✉}  | Roya Shakeri³ 

1. Department of Industrial Management, Sa.C, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran. Email: mohamadreza.moradi@iau.ac.ir
 2. Corresponding Author, Department of Industrial Engineering, Sa.C, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran. Email: K.chalaki@iau.ir
 3. Department of Management, Sa.C, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran. Email: shakeri.roya@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received in revised from 08

January 2026

Accepted 27 February 2026

Keywords:

Export, Hyper-Automation, Industry 4, Petrochemical Derivatives.

ABSTRACT

Hyperautomation is not a choice but a competitive necessity for the petrochemical industry in the era of Industry 4.0. By combining the power of data, automation, and artificial intelligence, these technologies help petrochemical companies make their operations safer, more efficient, and more profitable, and as a result, be ready for future target markets that are built with data and automation. The purpose of the present study was to design a model for the model of increasing the export of petrochemical derivatives with the hyperautomation approach in Industry 4 for Iranian petrochemical holdings. The method of this research is mixed (qualitative-quantitative). The qualitative part of the research was conducted using interviews with 21 experts and analyzing the resulting data using the content analysis method (theme), and 19 indicators of increasing the export of petrochemical derivatives with the hyperautomation approach in Industry 4 were identified and extracted. Then, in the quantitative part, the combined method of DEMETL-ISM was used to design the model. In the DEMATL section, the relationship and effectiveness of the extracted indicators were collected with the help of experts. The collected data were analyzed in the form of a self-interaction matrix using ISM Matlab software, and a four-level model was obtained. The data required for this section was also collected using a self-interaction matrix. Analysis of the collected data using Matlab software led to the formation of four levels, of which the establishment, promotion, and development of the Internet of Things level in production and distribution lines were the most effective indicators in this model.

Cite this article: Morad, M. R. Chalaki, K. & Shakeri, R (2026). Model for Increasing Exports of Petrochemical Derivatives with a Hyper-Automation Approach in Industry 4 For Iranian Petrochemical Holdings. *Journal of International Business Administration*, 08 (04), 31-58. <https://doi.org/10.22034/jiba.2026.71150.2411>



© The Author (s). Publisher: University of Tabriz.

Extended Abstract

Introduction

Exports are a vital tool for countries to achieve their economic prosperity and growth goals. Since exports help improve a country's balance of payments, employment rates, and living standards, governments seek to increase their countries' exports by managing export development (Rasoulehvandi et al., 2024). The increasing role of data and information, the use of programmable tools and machines, and the development of smart factories paved the way for the creation of the Fourth Industry. As the world faced a huge volume of data, hyper-automation emerged, which is considered the heart of the Fourth Industrial Revolution (Alnahhal, 2024). Hyper-automation is primarily about bringing more intelligence and a more effective systems-based approach to growing automation initiatives. This approach emphasizes the importance of trying to strike the right balance between replacing manual effort with automation and optimizing difficult steps. Business process professionals can better identify automation opportunities that many employees manage. Users can also automate many processes in their functions and achieve greater speed with the resources they have by leveraging the capabilities of meta-automation solutions. (Rodriguez & Winkler, 2024). This research seeks to design a model for increasing the export of petrochemical derivatives with a hyper-automation approach in the fourth industry for Iranian petrochemical holdings.

Methods

This research seeks to design a model for increasing the export of petrochemical derivatives with a hyper-automation approach in Industry 4 for Iranian petrochemical holdings using a mixed research method (qualitative-quantitative). The mixed research method is a research approach in which a combination of qualitative and quantitative methods is used simultaneously. In the qualitative part, in order to understand, recognize and extract variables from semi-structured interviews and content analysis (theme) to reach the variable, data were collected systematically from the interview texts to perform content analysis. Usually, content analysis is used with the help of Maxquda software to identify the underlying categories of expert interviews. In the quantitative part, a combined method of DEMATEL and interpretive structural modeling (ISM) was used to design the research model, and the data required to complete the matrix was derived from the opinions of experts who are fully familiar with this method. Interpretive structural modeling is able to determine the relationship between indicators that are individually or in groups dependent on each other. The statistical population of this qualitative study includes a set of academic experts (professors in industrial management, production orientation, with the scientific rank of associate professor and above) and organizational experts (senior managers of Iranian petrochemical holdings, with a PhD and more than 10 years of management experience) in the field of exporting petrochemical derivatives. Using purposive sampling, 12 people were initially identified as the initial research experts and then the necessary data were collected. During the interview, new people were identified, and a total of 21 people were interviewed, achieving theoretical saturation. In the quantitative section, experts from the qualitative section were used

with purposive sampling method, who were familiar with the combined Dematel method and interpretive structural modeling, and their number was 17. For data analysis in the modeling section with the Dematel-ISM method, ISM Matlab software was used.

Findings and Argument

Given that the goal of the present study is to describe the phenomenon of increasing exports of petrochemical derivatives in the most detailed way possible within the framework of a local model, a criterion called data saturation or theoretical saturation is used to determine the qualitative endpoint. In other words, in this situation, new data that is entered into the study does not change the existing information about the research topic., 19 main variables were extracted, which are shown in table number one of these variables.

Table 1: The Extracted indicators of the qualitative part of the research

code	Index	Code	Index
C1	Controlling and reducing fluctuations in the quality of derivatives with artificial intelligence and sensors	C11	Data-driven and rapid decision-making in target markets
C2	Increasing the trust of foreign buyers in petrochemical derivatives	C12	Eliminate time-consuming activities with automation
C3	Accurate tracking of export shipments	C13	Detailed analysis of market changes with analytical algorithms
C4	Maximizing the degree of compliance of derivatives with global standards	C14	Deploy, upgrade and develop the level of Internet of Things in production and distribution lines
C5	Maximizing productivity based on hyper-automation	C15	Automated systems based on machine learning
C6	Minimizing operating costs by adjusting dynamic parameters	C16	Rapid design of new products with artificial intelligence and tailored to market needs and tastes
C7	Intelligentizing production lines	C17	Reduce operational risks and overhead costs
C8	Zeroing human errors in production processes	C18	Accurate and traceable data in production processes
C9	Optimizing the transportation and loading of derivatives	C19	Increase efficiency, transparency and management of production line transactions with blockchain
C10	Automatic systems based on machine vision		

Source (research findings)

Then, using interpretive structural modeling (ISM) method, levels and the impact and effectiveness of specific factors and research model were obtained. This model was seven-level.

Conclusions

The implementation of Industry 4 technologies not only leads to increased production efficiency, but also plays a key role in expanding the international market share of Iranian petrochemical derivatives by increasing quality, transparency, and export flexibility. Petrochemical derivatives

producers with smart dashboards in Industry 4 can directly access end customers (without many intermediaries). With the help of Industry 4, the country's petrochemical companies can align the mix of exported products (for example, light versus heavy polyethylene) with the global demand pattern. The research model showed that the establishment, upgrade, and development of the Internet of Things level in production and distribution lines is the most effective indicator in increasing the export of petrochemical derivatives with a hyper-automation approach in Industry 4 for Iranian petrochemical holdings.

مدل افزایش صادرات مشتقات پتروشیمی با رویکرد فراخودکارسازی در صنعت ۴ برای هلدینگ‌های پتروشیمی ایران

محمدرضا مرادی^۱ | کامیار چالاکي^۲ | رویا شاکری^۳

۱. گروه مدیریت صنعتی، واحد سنجند، دانشگاه آزاد اسلامی، سنجند، ایران. ایمیل: mohamadreza.moradi@iaui.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی صنایع، واحد سنجند، دانشگاه آزاد اسلامی، سنجند، ایران. ایمیل: K.chalaki@iaui.ir
۳. گروه مدیریت، واحد سنجند، دانشگاه آزاد اسلامی، سنجند، ایران. ایمیل: shakeri.roya@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۸ کلیدواژه‌ها: صادرات، فراخودکارسازی، صنعت ۴، مشتقات پتروشیمی.	فراخودکارسازی، نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت رقابتی برای صنعت پتروشیمی در عصر صنعت ۴.۰ است. این تکنولوژی‌ها با ترکیب قدرت داده‌ها، اتوماسیون و هوش مصنوعی، به شرکت‌های پتروشیمی کمک می‌کنند تا عملیات خود را ایمن‌تر، کارآمدتر و سودآورتر کنند و در نتیجه، برای بازارهای هدف در آینده که با داده و اتوماسیون ساخته می‌شود، آماده باشند. هدف از انجام مطالعه حاضر طراحی مدلی برای مدل افزایش صادرات مشتقات پتروشیمی با رویکرد فراخودکارسازی در صنعت ۴ برای هلدینگ‌های پتروشیمی ایران بوده است. روش انجام این پژوهش آمیخته (کیفی-کمی) است. بخش کیفی پژوهش با استفاده از مصاحبه با ۲۱ خبره و تحلیل داده‌های حاصل از آن به کمک روش تحلیل محتوا (تم) به انجام رسید و ۱۹ شاخص افزایش صادرات مشتقات پتروشیمی با رویکرد فراخودکارسازی در صنعت ۴ شناسایی و استخراج شد. سپس، در بخش کمی برای طراحی مدل از روش ترکیبی دیمتل - ISM استفاده شد. در قسمت دیمتل نحوه ارتباط و اثرگذاری شاخص‌های استخراج شده با کمک خبرگان گردآوری شد. با نرم افزار ISM متلب داده‌های گردآوری شده در قالب ماتریس خودتعاملی تجزیه و تحلیل شدند و مدلی چهار سطحی حاصل شد. داده‌های موردنیاز این بخش نیز با استفاده از ماتریس خودتعاملی گردآوری شد. تحلیل داده‌های گردآوری شده با نرم افزار متلب منجر به تشکیل چهار سطح گردید که استقرار، ارتقاء و توسعه سطح اینترنت اشیاء در خطوط تولید و توزیع اثرگذارترین و شاخص در این مدل بود.

استناد: مرادی، محمدرضا؛ چالاکي، کامیار و شاکری، رویا. (۱۴۰۴). مدل افزایش صادرات مشتقات پتروشیمی با رویکرد فراخودکارسازی در صنعت ۴ برای هلدینگ‌های پتروشیمی ایران، مدیریت و کسب و کارهای بین‌المللی، ۰۸ (۰۴)، ۵۸-۳۱. <https://doi.org/10.22034/jiba.2026.71150.2411>



ناشر: دانشگاه تبریز. © نویسندگان.

مقدمه

صادرات ابزار حیاتی برای کشورهاست تا به اهداف رونق و رشد اقتصادی خود برسند. از آنجاکه صادرات به بهبود تراز پرداخت‌های کشور، نرخ اشتغال و استاندارد زندگی کمک می‌کند، دولت‌ها با مدیریت توسعه صادرات به دنبال افزایش صادرات کشورهای خود هستند (رسوله‌وندی و همکاران، ۱۴۰۳). ادامه روندهای جهانی شدن تجارت بین‌المللی را تحریک می‌کند و شرکت‌ها به طور فزاینده‌ای برای مشارکت در بین‌المللی شدن از طریق فعالیتهای صادراتی انگیزه پیدامی‌کنند (نجارپور و همکاران، ۱۴۰۴). صادرات به عنوان نوعی استراتژی بین‌المللی‌سازی در بازارهای بین‌المللی اهمیت بسیاری یافته است و دولت‌ها آن را وسیله‌ای برای تعادل ذخایر ارزی خارجی، ایجاد مشاغل، بهبود تراز پرداخت‌ها و تقویت اقتصاد تلقی می‌کنند و به همین دلیل سعی در تشویق صادرات دارند (سهرابی و همکاران، ۱۴۰۳). صادرات محصولات پتروشیمی برای ایران به عنوان یک منبع درآمد غیرنفتی، نقشی اساسی در اقتصاد کشور ایفا می‌کند. این صادرات باعث کاهش وابستگی به درآمدهای نفتی می‌شود و می‌تواند به ایجاد اشتغال، تقویت صنایع داخلی و افزایش درآمدهای ارزی کمک کند. محصولات پتروشیمی مانند گاز طبیعی، پلیمرها و مواد شیمیایی صنعتی از جمله مهم‌ترین اقلام صادراتی ایران هستند (بصیری و همکاران، ۱۴۰۱). صادرات محصولات پتروشیمی ایران موجب تقویت روابط تجاری با کشورهای دیگر و گسترش بازارهای جهانی می‌شود. به ویژه با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران در خاورمیانه و نزدیکی به بازارهای بزرگ آسیایی، ایران می‌تواند از این مزیت برای توسعه تجارت خود استفاده کند (ورهرامی و همکاران، ۱۳۹۹). صادرات محصولات پتروشیمی به ایران این امکان را می‌دهد تا در کنار صادرات نفت و گاز، طیف گسترده تری از محصولات را به بازارهای جهانی عرضه کند. این امر به کشور کمک می‌کند تا در برابر نوسانات قیمت نفت مقاومت بیشتری داشته باشد و ریسک اقتصادی ناشی از وابستگی به یک منبع درآمد واحد را کاهش دهد (شاهمرادی و همکاران، ۱۴۰۰).

بخش قابل توجهی از سامانه‌های برنامه ریزی منابع سازمان (ERP)، مدیریت زنجیره تأمین و برنامه‌ریزی منابع در شرکت‌های بزرگ پتروشیمی در ایران به‌روز نیستند یا به‌طور کامل با یکدیگر یکپارچه نشده‌اند. این امر، پیش‌نیاز اصلی اتوماسیون فرآیندهای رباتیک است و تنها با اجرای فراخودکارسازی بهبود می‌یابد. همچنین، داده‌های مورد نیاز برای تصمیم‌گیری‌های خودکار (مانند داده‌های لحظه‌ای قیمت جهانی، موجودی انبار، ظرفیت حمل‌ونقل و استانداردهای بازارهای هدف) در بخش‌های مختلف سازمان پخش شده و فرمت یکسانی ندارند. لذا، بدون حرکت به سوی صنعت ۴ «بینایی ماشین» و «هوش مصنوعی» ارزیابی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها در مورد صادرات دچار اختلال می‌شود (محمدی، ۱۴۰۳). حسگرها و پایشگرهای پیشرفته که اطلاعات حیاتی (مانند شرایط نگهداری محصول در مخازن یا مسیر حمل) را به‌صورت بلادرنگ ارسال کنند، هنوز به‌صورت کامل و یکپارچه در انبارها و پایانه‌های صادراتی در ایران مستقر نشده‌اند. این امر جزء با خودکارسازی در بستر صنعت ۴ محقق نمی‌شود (ارباب و همکاران، ۱۴۰۴). مدل‌های فراخودکارسازی که برای یک شرکت پتروشیمی موفق بوده‌اند، به دلیل تفاوت در محصولات (همانند متانول تا پلیمرها) و مقیاس تولید، به راحتی قابل تعمیم به سایر شرکت‌ها نیستند. این امر تحقیق و توسعه بومی و اختصاصی را در این حوزه ضروری می‌کند (باگ و همکاران^۱، ۲۰۲۵). ضمن اینکه، «عدم بلوغ کافی» در هر سه بعد فناوری (زیرساخت)، زنجیره تأمین و تولید و صادرات از جمله اصلی‌ترین مشکلات در ایران هستند که مانع از جهش به سمت فراخودکارسازی کامل در فرآیندهای صادراتی می‌شود (عالم تبریز و همکاران، ۱۴۰۳).

¹ Bag

از طرفی، با افزایش نقش داده‌ها و اطلاعات، استفاده از ابزارها و ماشین آلات قابل برنامه ریزی و توسعه کارخانه‌های هوشمند، زمینه را برای ایجاد صنعت چهارم^۱ فراهم آورد. از آنجایی که جهان با حجم عظیمی از داده‌ها روبه‌رو شد، به همین خاطر فراخودکارسازی^۲ شکل گرفت که قلب انقلاب صنعتی چهارم به شمار می‌رود. انقلاب صنعتی چهارم هم اکنون بر اساس پیشرفت‌های انقلاب صنعتی سوم در حال اجراست. عملکرد سیستم‌های تولیدی و خدماتی با پیوند رایانه و شبکه بهبود می‌یابد. تولید و نگهداری داده درون این سیستم‌ها امکان پذیر می‌شود و این سیستم‌های با سایر سیستم‌های دیگر در ارتباط هستند (النهال و همکاران^۳، ۲۰۲۴). فراخودکارسازی در درجه اول در مورد هوش بیشتر و اتخاذ یک رویکرد مبتنی بر سیستم موثرتر برای ابتکارات رو به رشد اتوماسیون است. این رویکرد بر اهمیت تلاش برای ایجاد تعادل صحیح بین جایگزینی تلاش دستی و اتوماسیون و بهینه‌سازی بر مراحل دشوار تأکید می‌کند. متخصصان فرآیندهای تجاری می‌توانند فرصت‌های خودکارسازی را که بسیاری از کارکنان مدیریت می‌کنند، بهتر تشخیص دهند. همچنین کاربران می‌توانند بسیاری از فرآیندها را در عملکردهای خود به طور خودکار انجام دهند و با استفاده از قابلیت‌های راه حل‌های فرا خودکارسازی، با منابعی که در اختیار دارند، به سرعت بیشتری دست پیدا کنند. با توجه به مشکلات مربوط به ناپایداری محیط تجاری فراخودکارسازی این اجازه می‌دهد تا مدیران روی وظایف قدرتمندتر مانند برنامه ریزی و استراتژی تمرکز کنند. خودکارسازی شرکت را قادر می‌سازد تا ارزش ادغام‌ها را بدون دردسر با فناوری‌های حجیم اولیه و پلت فرم‌های داده متنوع نشان دهد (رودریگز و ویندلر^۴، ۲۰۲۴).

ابزارهای صنعت چهارم که یکی از مهم ترین آنها فراخودکارسازی است به تولید کننده‌ها کمک می‌کند تا نحوه طراحی، تولید و توزیع محصولات خود را بهبود بخشند. به عبارتی ابزارهای صنعت چهارم می‌توانند بهره‌وری را تا دو برابر افزایش دهند. با توجه به اهمیت پایداری زیست محیطی، صنعت چهارم مزیت شفافیت در تقاضا و فرآیند، انجام یک کار هوشمندانه و برنامه‌ریزی فرآیند را امکان پذیر می‌کند و در نتیجه مصرف انرژی کمتری به همراه دارد. علاوه بر این، پیوند مستقیم داده از مصرف محصول به طراحی می‌تواند طراحی تولید را بهبود بخشد و در نتیجه مدیریت چرخه عمر محصول از جمله بازیافت را بهینه کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که صنعت چهارم آمیخته با فراخودکارسازی به رقابت بهتر و بیشتر در بازارهای بین المللی کمک می‌کند که بسیار ارزشمند است (بانایلا و همکاران^۵، ۲۰۲۳). نکته قابل توجه اینکه، در پژوهش‌های انجام گرفته پیشین تنها تک بعدی به مساله صادرات در حوزه محصولات و مشتقات پتروشیمی‌ها نگریسته شده است. در حالیکه این پژوهش بر آن است تا با تالاقی سه حوزه تولید و زنجیره تأمین محصولات پتروشیمی، فناوری‌های صنعت ۴ (مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، دیجیتال‌توین، بلاک‌چین و تحلیل داده‌های کلان) و استراتژی‌های صادرات و رقابت‌پذیری جهانی به افزایش صادرات این محصولات کمک کند. در بیشتر پژوهش‌های پیشین تنها به فراخودکارسازی تنها به عنوان یک فناوری جدید پرداخته شده است در حالیکه این پژوهش تلاش کرده آن را در افزایش صادرات مشتقات پتروشیمی منظور کند. حتی در برخی از پژوهش‌های پیشین به صنعت ۴ تنها برای ابزاری در جهت بهبود رقابت‌پذیری اشاره شده است اما، این پژوهش آن را به عنوان یک الزام برای کاهش شکاف در همگرایی فناوری‌های صنعت ۴ با فرآیندهای

¹ Industry 4.0

² Hyperautomation

³ Alnahhal

⁴ Rodriguez & Winkler

⁵ Bonilla

صادرات در صنعت پتروشیمی در نظر گرفته است. در واقع شکاف اصلی تحقیقات در این حوزه، نبود مدل‌های ترکیبی است که بتوانند فراخودکارسازی را از سطح تولید تا مدیریت زنجیره صادرات مشتقات پتروشیمی گسترش دهند و آن را با افزایش صادرات همراه کنند.

نوآوری پژوهش حاضر از چند جنبه است. نخست آنکه، دستیابی به طراحی یک معماری مرجع برای یکپارچه‌سازی کامل فرآیندهای نرم‌افزاری (از ERP تا سیستم‌های صادراتی) با لایه فیزیکی (IoT) و لایه تصمیم‌گیری در این حوزه هم مرتبط باشد. علاوه بر این، با کمک مدل این پژوهش می‌توان سیستم‌های فناوری اطلاعات و عملیات (IT/OT) را در کل زنجیره صادرات (تولید، انبارش، لجستیک، اسناد و مالی) ادغام کرد تا یک جریان داده و تصمیم‌گیری «فراخودکار» در صادرات مشتقات پتروشیمی ایجاد شود. همچنین، جایگزینی تصمیم‌گیری متمرکز با یک شبکه تصمیم‌گیری غیرمتمرکز و انعطاف‌پذیر که بتواند به سرعت به نوسانات بازار مشتقات پتروشیمی واکنش نشان دهد و یک ابزار استاندارد برای مدیریت استراتژیک تحول دیجیتال در حوزه صادرات مشتقات پتروشیمی فراهم کند. نهایتاً، به حداکثر رساندن حاشیه سود صادرات مشتقات پتروشیمی با استفاده از قابلیت‌های سیستمی صنعت ۴ برای ارائه خدمات متمایز (مانند تحویل سریع و شفافیت ردیابی). به همین خاطر پژوهش حاضر به دنبال طراحی مدل افزایش صادرات مشتقات پتروشیمی با رویکرد فراخودکارسازی در صنعت چهار برای هلدینگ‌های پتروشیمی ایران است.

مبانی نظری

صنعت ۴

در حال حاضر جهان در حال اجرای انقلاب صنعتی چهارم است. این اصطلاح را برای اولین بار آقای کلاس شواب در مجمع جهانی اقتصاد که خود بنیان‌گذار آن بود، مطرح کرد. کاربرد فناوری اطلاعات و ارتباطات در صنعت، ویژگی این انقلاب است. همچنین به عنوان «صنعت ۴» نیز شناخته می‌شود چون بر اساس تحولات انقلاب صنعتی سوم بنا شده است. سیستم‌های تولیدی که قبلاً دارای فناوری کامپیوتری بودند. با اتصال به شبکه گسترش می‌یابند و به اصطلاح در اینترنت دارای یک دوقلو دیجیتالی هستند. این موارد امکان ارتباط با سایر مکان‌ها و خروجی اطلاعات مربوط به خود را فراهم می‌کنند و این مرحله بعدی در اتوماسیون تولید است. (دالیگوناری و همکاران^۱، ۲۰۲۳).

انقلاب صنعتی چهارم دوازده دسته از فناوری مهم را وارد زندگی انسان‌ها می‌کند. صنعت ۴ پتانسیل با گرد هم آیی این توانمندی‌ها امکان ارائه پیشرفت‌های باورنکردنی در محیط‌های کارخانه‌ای را دارد (گودا و سرانگا^۲، ۲۰۲۴). صنعت نسل ۴ می‌تواند افراد را به شبکه‌های هوشمندتر با پتانسیل کار با بهره‌وری بیشتر بکشد. دیجیتالی شدن محیط تولید برای رساندن اطلاعات مناسب به فرد مناسب در زمان مناسب، با استفاده از روش‌های انعطاف‌پذیرتری کار را انجام می‌دهد (گارتی و همکاران^۳، ۲۰۲۲). گرچه صنعت ۴ ریشه در حوزه تولید دارد اما موضوع آن از تولید فراتر می‌رود. فناوری‌های هوشمند صنعت ۴ نحوه طراحی، ساخت، استفاده و نگهداری

¹ Dalegonare

² Gouda & Saranga

³ Garetti

از محصولات و قطعات را دگرگون می‌کنند. آنها می‌توانند خود سازمان‌ها را نیز دگرگون کنند. به اختصار، دنیای دیجیتالی صنعت ۴ احتمالاً قواعد تولید، عملیات، نیروی کار و حتی جامعه را تغییر خواهد داد (یانگ و همکاران^۱، ۲۰۲۴).

فراخودکارسازی

اصطلاح «فراخودکارسازی» در سال ۲۰۱۹ ایجاد شد و در فهرست ۱۰ روند برتر فناوری استراتژیک گارتنر برای سال ۲۰۲۰ رتبه اول را به خود اختصاص داد. با این حال، مفهوم فراخودکارسازی در سایر اصطلاحات صنعتی نیز گنجانده شده است. در حقیقت، فراخودکارسازی به استفاده از فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی (AI)، یادگیری ماشینی (ML) و اتوماسیون فرآیند رباتیک (RPA) برای خودکارسازی وظایفی که زمانی توسط انسان انجام می‌شد اشاره دارد. فراخودکارسازی بر وظایف و فرآیندهای قابل خودکارسازی تمرکز دارد و اغلب از آن به عنوان مرحله اصلی بعدی تحول دیجیتال یاد می‌شود (کرچمر و همکاران^۲، ۲۰۲۳).

توجه به این نکته مهم است که فراخودکارسازی قرار نیست به‌طور کامل جایگزین انسان شود. در عوض، از طریق اتوماسیون، انسان‌ها از وظایف تکراری و کم‌ارزش رها می‌شوند. افراد می‌توانند بر کارهایی متمرکز شوند که برای سازمان دارای ارزش بالاتری هستند (رایبریو و همکاران^۳، ۲۰۲۲). این رویکرد بر اهمیت ایجاد تعادل مناسب بین جایگزینی تلاش‌های دستی با اتوماسیون و بهینه‌سازی فرآیندهای پیچیده برای حذف مراحل تأکید می‌کند. این بدان معناست که کارهای کم‌ارزش با ابزارهای اتوماسیون اداری، یادگیری ماشینی و هوش مصنوعی پیشرفته به‌طور بهینه انجام می‌شوند. این باعث می‌شود تا خروجی‌ها به‌طور خودکار تولید شوند و بدون دخالت انسان به‌طور موثر اجرا شوند. سپس، همراه با انسان‌ها، فراخودکارسازی می‌تواند محیط کاری را ایجاد کند که همیشه آگاه، چابک و قادر به استفاده از داده‌ها و بینش‌ها برای تصمیم‌گیری سریع و دقیق باشد (بورنت و همکاران^۴، ۲۰۲۱).

مشتقات پتروشیمی

ایران یکی از بزرگترین تولیدکنندگان نفت و گاز در جهان است و صنعت نفت این کشور به ویژه در بخش صادرات، نقشی حیاتی در اقتصاد ایفا می‌کند. در سال‌های اخیر، با توجه به تحریم‌ها و تغییرات جهانی در بازار انرژی، ایران به طور فزاینده‌ای به صادرات مشتقات نفتی و فرآورده‌های پتروشیمی پرداخته است (رشیدی نیا و همکاران، ۱۴۰۳). ایران با داشتن منابع عظیم گاز طبیعی و نفت، توانسته است به یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان و صادرکنندگان محصولات پتروشیمی در جهان تبدیل شود. این محصولات شامل انواع پلاستیک‌ها، کودهای شیمیایی، مواد اولیه صنایع رنگ و رزین و مواد شیمیایی صنعتی می‌باشند. صادرات محصولات پتروشیمی ایران از طریق شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران (NPC) و سایر شرکت‌های تابعه آن انجام می‌شود. این محصولات پس از تولید در واحدهای پتروشیمی به بازارهای مختلف جهانی صادر می‌شوند. مهم‌ترین مقاصد صادراتی محصولات پتروشیمی ایران شامل کشورهای چین، هند، کشورهای آسیای میانه و برخی از کشورهای اروپایی هستند (ابوالحسن و همکاران، ۱۴۰۲). انواع مشتقات پتروشیمی صادراتی ایران برخی از مهم‌ترین مواد پتروشیمی که برای صادرات انتخاب مناسبی به شمار می‌آیند، عبارتند از:

¹ Yong

² Kerchmer

³ Raiberiou

⁴ Borent

گلیسیرین

گلیسیرین یکی از محصولات پتروشیمی با کاربردهای وسیع در صنایع دارویی، آرایشی، بهداشتی و صنایع غذایی است. ایران توانسته است با کیفیت بالا، گلیسیرین را به بازارهای جهانی صادر کند.

پلی اتیلن و پلی پروپیلن

پلی اتیلن و پلی پروپیلن از مهم ترین پلاستیک‌های تولیدی در صنعت پتروشیمی هستند که در صنایع بسته بندی، خودروسازی و تولید لوازم خانگی کاربرد فراوان دارند.

بنزوات سدیم

بنزوات سدیم یکی از مواد شیمیایی است که به طور گسترده در صنایع غذایی به عنوان ماده نگهدارنده و در صنایع دارویی به عنوان یک ضدعفونی کننده استفاده می‌شود.

اسیدسولفوریک

اسیدسولفوریک یکی از مواد شیمیایی پرکاربرد است که در تولید کودهای شیمیایی، فرایندهای پالایش نفت، تولید رنگ‌ها و مواد شیمیایی دیگر کاربرد دارد.

استیک اسید

استیک اسید یکی از مواد اولیه در تولید پلاستیک‌ها، چسب‌ها، رنگ‌ها و مواد شیمیایی دیگر است. (موسایی و قضاقلو، ۱۴۰۴).

پیشینه پژوهش

تیاگی و همکاران (۲۰۲۶) جهش قابل توجه در انقلاب صنعتی به صنعت ۴ را با مطالعه نیازها، مشکلات و نیروهای محرک بررسی کردند. این پژوهش با کمک روش کتابخانه انجام شد که در آن ۷۳ مقاله مورد بررسی قرار گرفتند و نشان داد که صنعت کنونی بر همزیستی هماهنگ ماشین‌های هوشمند و عامل انسانی تمرکز دارد، در حالی که صنعت ۴ بر پایداری، همگنی، ایمنی و اقتصاد زیست‌محیطی برای سازگاری در چالش‌های جهانی تأکید دارد. پیش‌بینی می‌شود که متاورس (جهان مجازی) تجربیات واقعیت مجازی فراگیری را با پیامدهایی برای بازی و سلامتی ارائه دهد. لجستیک صنعتی در آستانه انقلابی در نتیجه پهنپایها است که بر محدودیت‌های فعلی غلبه کرده و بهره‌وری را افزایش می‌دهد.

باریما و همکاران (۲۰۲۵) تحلیل عملکردی فراخودکارسازی در صنعت ۴ برای ارتقای بهره‌وری و پایداری از طریق بهینه‌سازی فرآیند و ادغام فناوری را مطالعه نمودند. داده‌های مورد نیاز این پژوهش با یک پرسشنامه ساختاریافته از ادبیات پیشین و بینش‌های متخصصان، با استفاده از مقیاس لیکرت ۵ امتیازی برای ثبت برداشتها در شش عامل حیاتی تهیه شد. داده‌ها از ۲۱۱ متخصص ساخت و ساز، به نمایندگی از مهندسان، مدیران، مسئولان ایمنی و معماران جمع‌آوری شد. پاسخ‌ها با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری، با پشتیبانی از آزمون‌های پایایی (آلفای کرونباخ)، بررسی‌های اعتبار تفکیکی (فورنل لارکر، بارهای متقاطع) و تشخیص همخطی چندگانه تجزیه و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که فرآیندهای ساده‌سازی شده و افزایش بهره‌وری، بیشترین تأثیر را بر پذیرش فراخودکارسازی در صنعت ۴ دارند و پس از آن، مدیریت بهینه منابع و اهداف پایداری قرار دارند، در حالی که دقت، مقیاس‌پذیری و ایمنی کارگران نیز اثرات قابل توجه اما کمتری را نشان می‌دهند.

لی (۲۰۲۴) فناوری بازار فراخودکارسازی، تقاضا، رشد آینده، کاربردها، انواع تجزیه و تحلیل، بینش و پیش بینی در سال ۲۰۲۷ را بررسی کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که براساس تحقیقات انجام گرفته، انتظار می‌رود حجم تولید ناشی از فراخودکارسازی تا سال ۲۰۲۷ به ۲۲.۸۴ میلیارد دلار برسد. بازار فراخودکارسازی رشد سریعی را تجربه می‌کند که ناشی از استفاده از فناوری‌هایی است شامل: اتوماسیون فرآیند رباتیک (RPA)، یادگیری مصنوعی (AI)، یادگیری ماشینی (ML)، بیومتریک، و چت‌بات‌ها، در بخش‌های مختلف صنعت از جمله: BFSI، خرده‌فروشی، تولید، خودرو، و مراقبت‌های بهداشتی و غیره.

گاندار (۲۰۲۳) فراخودکارسازی را به عنوان انقلابی جدید در تحول دیجیتال معرفی کردند. در این مقاله علمی ترویجی با تشریح توانمندی‌های فراخودکارسازی در صنایع مختلف به این نکته اشاره شد که صنعت چهار، یک پدیده جهانی که توسط فناوری‌های عصر جدید آغاز شده است، صنعت چهار به رویکردی واحد و فراتر از اتوماسیون‌های ساده نیاز دارد. برای احیای صنعت چهار، بیاید به عصر هایپر اتوماسیون خوش آمد بگوییم. به بیان ساده، به ترکیبی از مجموعه‌های مکمل ابزار اتوماسیون اشاره دارد که می‌تواند رویکردهای فرآیندی و عملکردی را برای هایپراتوماسیون و بهبود فرآیندهای تجاری یکپارچه کند.

فدوفسکی و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش فراخودکارسازی پایدار در فناوری پیشرفته صنایع تولیدی را در محرک‌های الکترومکانیکی خطی مورد بررسی قرار دادند. این پژوهش یک چارچوب تجاری مفهومی و زمینه تکنولوژیکی جدید برای دستیابی به فراخودکارسازی پایدار در تولید محرک‌های الکترومکانیکی خطی را ارائه کرد.

دیوادم (۲۰۲۱) فراخودکارسازی در صنعت بانکداری را مورد مطالعه قرار داد. بررسی‌های او نشان داد، زمانی که بحران ناشی از بیماری همه گیر، جهان را تکان داد، بانکداری یکی از صنایعی بود که شاهد اختلالات گسترده بود و بانک‌ها سهم عادلانه خود را داشته اند. از انجام انتظارات ناگهانی مشتری گرفته تا پلتفرم‌های دیجیتال، تغییر نقش‌های کارکنان، بی ثباتی قابل توجه در بازار سرمایه جهانی و مرخصی کارکنان. تأثیر همه‌گیری در صنعت، پذیرش فناوری‌های نوظهور را تسریع کرده است و یکی از این فناوری‌ها که نوید نتایج را می‌دهد، فراخودکارسازی (هایپراتوماسیون) است.

جاوید (۲۰۲۱) فراخودکارسازی برای افزایش اتوماسیون در صنایع را مطالعه کرد. این پژوهش با مطالعه پژوهش‌های دیگر در رابطه با فراخودکارسازی نشان داد که فراخودکارسازی در درجه اول در مورد هوش اضافی و اتخاذ یک رویکرد مبتنی بر سیستم موثرتر برای ابتکارات رو به رشد اتوماسیون است. این رویکرد بر اهمیت تلاش برای ایجاد تعادل صحیح بین جایگزینی فعالیت‌های دستی و اتوماسیون و بهینه‌سازی مراحل دشوار کار تأکید می‌کند. متخصصان در فرآیندهای تجاری می‌توانند فرصت‌های اتوماسیونی را که بسیاری از کارکنان مدیریت می‌کنند، بهتر تشخیص دهند.

اسریواتساوا و همکاران (۲۰۲۰) کاربرد فراخودکارسازی در تبدیل پذیرنده نویسی عملیات در صنعت بیمه عمر را مورد مطالعه قرار دادند. آنها در این پژوهش نشان دادند که با افزایش حجم داده‌ها در این پس زمینه ناکارآمد، کار بیمه‌گر سخت‌تر می‌شود، خطرات پیچیده‌ای پیرامون حفاظت سایبری، فجایع طبیعی و کلاهبرداری در حال ظهور است. در عین حال، کارگزاران توزیع کننده، خواستار این هستند که پذیرنده نویسان سریع تر و بیشتر مظنه قیمت گذاری بکنند.

در رابطه با فراخودکارسازی و صنعت چهار، به دلیل نوپا بودن آن در ایران، اکثر قریب به اتفاق مطالعات انجام گرفته تاکنون، در حوزه انقلاب چهارم صنعتی است و در رابطه با فراخودکارسازی هیچ پژوهشی تاکنون به انجام نرسیده است. حیدری و همکاران (۱۴۰۴) توسعه چارچوب استراتژیک تحول دیجیتال مبتنی بر فناوری‌های صنعت ۴ برای ارتقای پایداری و رقابت‌پذیری جهانی تولید

دارویی را طراحی نمودند. این پژوهش به صورت کیفی و با رویکرد نظریه داده‌بنیاد انجام پذیرفت. داده‌های لازم از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۲۵ صاحب‌نظر کلیدی شامل مدیران زنجیره تأمین و تولید در شرکت‌های دارویی، کارشناسان تحول دیجیتال و اساتید دانشگاه گردآوری شد. یافته‌ها نشان داد که رویکرد تحول دیجیتال پایدار، فراتر از پیاده‌سازی فناوری است و نیازمند تغییر پارادایم مدیریتی در کل اکوسیستم دارویی است.

عامری ده آبادی و فتحی هفشجانی (۱۴۰۳) به بررسی مدل توسعه چابکی فرایندهای تولید با رویکرد هوشمندی صنعت ۴ و آثار آن در اقتصاد پرداختند. مقاله حاضر کاربردی و جزء پژوهش‌های آمیخته (کیفی-کمی) و ابزار گردآوری داده‌ها، مصاحبه و پرسشنامه محقق ساخته بود. روایی و پایایی پرسشنامه به تأیید رسید. یافته‌های این پژوهش منجر به شناسایی ۳۰ مولفه و ۱۱۹ شاخص انجامید و نتیجه نشان داد که چابکی صنعت مواد غذایی، منجر به رونق تولید و رشد اقتصادی کشور خواهد گردید.

مزروعی نصرآبادی (۱۴۰۲) به طراحی مدل موانع پیاده‌سازی صنعت نسل ۴ در بخش مراقبت‌های بهداشتی با رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری فراگیر فازی پرداخت. این پژوهش در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول با استفاده از مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته با خبرگان و استفاده از تحلیل تماتیک به موانع شناسایی گردید و در فاز دوم با استفاده از پرسشنامه محقق ساخته و روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری فراگیر فازی، مدل علی روابط فی‌مابین موانع به منظور شناسایی بنیادی‌ترین موانع طراحی شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد «موانع ناشی از تحریم»، «موانع رقابتی» و «موانع نیروی انسانی» به ترتیب مهم‌ترین موانع هستند.

عبده ابطحی (۱۴۰۱) کتابی با عنوان انقلاب چهارم صنعتی و اقتصاد دیجیتال تدوین نمود. در این کتاب نویسنده ضمن معرفی و تشریح انقلاب‌های صنعتی قبلی به تشریح توسعه اقتصاد دیجیتال در صنعت چهار پرداخته است. کیانی بختیاری و موحدی موسوی (۱۴۰۰) هم در مقاله ای مروری به انقلاب صنعتی چهارم و تغییرات بنیادین پیش رو اشاره کرده است. این پژوهش نشان داد که این رویکرد صنعتی جدید که از طریق درهم آمیزی فناوری‌ها بر پایه سامانه های فیزیکی سایبری و تحول دیجیتال ایجاد شده است، پیامدهای متحولان های را برای صنعت و اقتصاد به همراه دارد.

خدائی (۱۴۰۰) آشنایی با مفاهیم انقلاب صنعتی چهارم را ارائه کرد. این پژوهش بیان کرد که انقلاب صنعتی چهارم چهارمین دوره اصلی از بدو انقلاب صنعتی است. این دوره با اشاعه فناوری‌هایی فاصله میان‌سپهرهای فیزیکی، رایانشی و زیستی را کمرنگ یا حذف می‌کنند، مشخص می‌شود. این دوره با ظهور فناوری‌های نوین در چند حوزه رباتیک، هوش مصنوعی، زنجیره بلوکی، نانو تکنولوژی، پردازش کوانتومی، زیست‌فناوری، اینترنت اشیا و خودروهای خودران همراه است.

اسعدی (۱۳۹۸) انقلاب صنعتی چهارم و اقتصاد دیجیتال را از منظر پیشران‌های رشد اقتصادی پایدار بررسی کرد. این مطالعه استدلال کرد که نظام اقتصادی نوین ایجاد شده با کاهش هزینه‌های تولید و مبادله، رفاه اقتصادی جامعه را افزایش می‌دهد. همچنین اثر فناوری و یادگیری مرکب بر اصل محدودیت منابع در اقتصاد غلبه نموده و با تغییر ساختاری در فضای کسب و کارها، رشد اقتصادی درون‌زا و پایدار را تسریع می‌نماید. در نهایت نیز نقش دولت‌ها در سیاست‌گذاری و تأمین زیرساخت‌های ضروری برای استقرار و تکامل فرآیند گذار به انقلاب صنعتی چهارم و اقتصاد دیجیتال بررسی و تبیین شده است.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش به دنبال طراحی مدل افزایش صادرات مشتقات پتروشیمی با رویکرد فراخودکارسازی در صنعت چهار برای هلدینگ‌های پتروشیمی ایران با استفاده از یک روش پژوهش آمیخته (کیفی-کمی) است. این پژوهش از جنبه هدف کاربردی محسوب می‌شود.

در بخش کیفی به منظور درک، شناخت و استخراج متغیرها از مصاحبه نیمه ساختاریافته و تحلیل مضمون (تم) تا رسیدن به متغیر استفاده شده است. برای انجام تجزیه و تحلیل محتوا، داده‌ها به‌طور منظم از مجموعه متون مصاحبه‌ها جمع‌آوری شده‌اند. معمولاً برای شناخت مقوله‌های زیربنایی مصاحبه‌های تخصصی از تحلیل محتوایی با کمک نرم‌افزار مکس کیودا^۱ استفاده می‌شود. در بخش کمی برای طراحی مدل پژوهش روش ترکیبی دیمتل و مدلسازی ساختاری تفسیری (ISM) بکار گرفته شده که داده‌های مورد نیاز برای تکمیل ماتریس برگرفته از نظرات خبرگانی است که با این روش آشنایی کامل دارند. جامعه آماری این پژوهش در بخش کیفی شامل مجموعه‌ای از خبرگان دانشگاهی (اساتید رشته مدیریت صنعتی گرایش تولید با رتبه علمی دانشیار و بالاتر) و سازمانی (مدیران ارشد هلدینگ‌های پتروشیمی ایران، دارای مدرک دکتری و بیش از ۱۰ سال سابقه مدیریت) در حوزه صادرات مشتقات پتروشیمی است. لذا، در بخش کیفی، ملاک اندازه نمونه، کفایت تئوریک است؛ به این معنا که در مصاحبه با خبرگان مشارکت کننده در پژوهش، شاخص یا متغیر جدیدی شناسایی نشود. بنابراین ملاک کفایت نمونه، اشباع نظری است. با استفاده از روش نمونه‌گیری انتخابی هدفمند در ابتدای امر تعداد ۱۲ نفر به‌عنوان نمونه خبرگان اولیه پژوهش مشخص و سپس داده‌های لازم جمع‌آوری شد. در طول مصاحبه افراد جدیدی شناسایی شدند که در مجموع با ۲۱ نفر مصاحبه صورت پذیرفت و اشباع نظری حاصل شد. وضعیت توصیفی نمونه خبرگان در جدول یک در زیر نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات توصیفی خبرگان پژوهش

تعداد خبرگان (۲۱ نفر)		سابقه کار (سال)			مدرک تحصیلی		جنسیت	
دانشگاهی	سازمانی	پژوهشی	مدیریت	مشاوره	کارشناسی ارشد	دکتری	مرد	زن
۱۲	۹	۱۲	۴	۵	۹	۱۲	۱۶	۵

به‌منظور افزایش روایی و پایایی در بخش کیفی، با ارائه بازخورد به مصاحبه‌شوندگان برای بالا بردن روایی و با قرار دادن آن‌ها در جریان مسیر تحقیق به‌طوری که بر نحوه پاسخگویی آن‌ها تأثیر نگذارد، زمینه افزایش روایی داخلی فراهم گردید. به این منظور پس از انجام هر مصاحبه الگوی به‌دست آمده تا آن مرحله، به مصاحبه‌شوندگان ارائه شد و مصاحبه‌شوندگان نکاتی را که نسبت به الگو داشتند، طرح موضوع نمودند. این کار پس از انجام هر مصاحبه انجام شد تا مصاحبه خالی از هرگونه پیش‌فرض و جهت‌گیری انجام شود. علاوه بر این به‌منظور افزایش پایایی این بخش ضمن استفاده از روش دو کدگذار، فرایندهای ساختاریافته‌ای از مصاحبه‌های همگرا، تلاش شد تا سازمان‌دهی فرایندهای ساخت یافته برای ثبت، نوشتن و تفسیر داده‌های احصاء شده نیز فراهم گردد. پایایی بین دو کدگذار برای مصاحبه‌های انجام گرفته در پژوهش برابر ۸۶٪ است و می‌توان ادعا کرد که میزان پایایی تحلیل مصاحبه کنونی مناسب است. جامعه آماری بخش کمی، از خبرگان بخش کیفی با روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند که با روش ترکیبی دیمتل و مدلسازی ساختاری تفسیری آشنایی داشتند و تعداد آنها نیز ۱۷ نفر بود. برای تحلیل داده‌ها در بخش مدلسازی با روش Dematel-ISM، از نرم افزار ISM متلب استفاده شد.

^۱ Maxqda

تجزیه و تحلیل یافته‌ها

هدف تحقیق حاضر توصیف پدیده افزایش صادرات مشتقات پتروشیمی در قالب یک مدل بومی است، بنابراین از معیاری به نام اشباع داده یا اشباع نظری برای تعیین نقطه پایان بخش کیفی استفاده می‌شود، به عبارت بهتر در این وضعیت داده جدیدی که به پژوهش وارد می‌شود اطلاعات موجود در مورد موضوع پژوهش را تغییر نمی‌دهد. در گام اول تحلیل محتوا، پس از کدگذاری داده‌های حاصل از مصاحبه ۱۲۴ کدگذاری انجام و سپس متغیرها استخراج شد، که تعدادی از کدگذاری اولیه برگرفته از مصاحبه‌های میدانی ارائه شده که تعدادی از کدگذاری اولیه برگرفته از مصاحبه‌های میدانی به عنوان نمونه در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. کدگذاری اولیه برگرفته از مصاحبه‌های میدانی

ردیف	کدگذاری اولیه
۱	استفاده از سنسورها و تجهیزات اندازه‌گیری دقیق در خطوط تولید مشتقات پتروشیمی
۲	استفاده از لایه حسگرها و جمع‌آوری داده‌ها در تولید و توزیع
۳	اتوماسیون کامل در نقاط بحرانی فرایند تولید
۴	نصب کنترلرها و واحدهای پردازش محلی در خطوط تولید
۵	طراحی و بکارگیری لایه مدیریت داده و زیرساخت در تولید و توزیع
۶	سیستم‌های پشتیبانی تصمیم و راهنمایی اپراتورهای تولید
۷	بکارگیری ربات‌ها و سامانه‌های خودکار در خطوط تولید
۸	بازرسی و کنترل کیفیت خودکار در فرایندهای تولید مشتقات پتروشیمی
۹	اتصال دستگاه‌های CNC، پرس‌ها، تسمه نقاله‌ها، کوره‌ها و ... به اینترنت
۱۰	استفاده از لایه نرم‌افزاری یکپارچه در فرایندهای تولید

در ادامه تم‌های فرعی از کدهای اولیه استخراج شدند که نمونه ای از آنها مطابق با جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. مفاهیم و تم‌های فرعی به دست آمده از داده‌های کیفی

تم فرعی	کدگذاری اولیه
حداقل سازی خطاهای انسانی در فرایند تولید	اتوماسیون کامل در نقاط بحرانی فرایند تولید
	سیستم‌های پشتیبانی تصمیم و راهنمایی اپراتورهای تولید
	بازرسی و کنترل کیفیت خودکار
	استفاده از لایه نرم‌افزاری یکپارچه
هوشمندسازی خطوط تولید	استفاده از سنسورها و تجهیزات اندازه‌گیری دقیق
	نصب کنترلرها و واحدهای پردازش محلی
	بکارگیری ربات‌ها و سامانه‌های خودکار
هوشمندسازی خطوط تولید	استفاده از لایه حسگرها و جمع‌آوری داده‌ها
	طراحی و بکارگیری لایه مدیریت داده و زیرساخت
	اتصال دستگاه‌های CNC، پرس‌ها، تسمه نقاله‌ها، کوره‌ها و ... به اینترنت

تم‌های فرعی در واقع با کمک گرفتن از نظرات خبرگان دانشگاهی در قالب تم‌های اصلی (شاخص) قرار گرفتند. در واقع شاخص‌های اصلی از یک سری زیرشاخص که در جدول دو هستند تشکیل شده اند. در واقع در گام آخر تم‌های اصلی از تم‌های فرعی استخراج می‌شوند. لذا، ۱۹ تم اصلی از بخش کیفی به شرح جدول ۴ در زیر استخراج شد که مبنای بخش کمی برای مدلسازی قرار می‌گیرد.

جدول ۴. شاخص‌های استخراج شده بخش کیفی پژوهش

کد	شاخص	کد	شاخص
C1	کنترل و کاهش نوسانات کیفیت مشتقات با هوش مصنوعی و حسگرها	C11	تصمیم‌گیری داده‌محور و سریع در بازهای هدف
C2	افزایش اعتماد خریداران خارجی به مشتقات پتروشیمی	C12	حذف فعالیت‌های زمان‌بر با خودکارسازی
C3	ردگیری دقیق محموله‌های صادراتی	C13	تحلیل دقیق تغییرات بازارهای با الگوریتم‌های تحلیلی
C4	حداکثرسازی میزان انطباق مشتقات با استانداردهای جهانی	C14	استقرار، ارتقاء و توسعه سطح اینترنت اشیاء در خطوط تولید و توزیع
C5	حداکثرسازی بهره‌وری مبتنی بر فراخودکارسازی	C15	سیستم‌های خودکار مبتنی بر یادگیری ماشین
C6	حداقل شدن هزینه‌های عملیاتی با تنظیم پارامترهای پویا	C16	طراحی سریع محصولات جدید با هوش مصنوعی و متناسب با نیاز و ذائقه بازار
C7	هوشمندسازی خطوط تولید	C17	کاهش ریسک‌های عملیاتی و هزینه‌های سربار
C8	صفرشدن خطاهای انسانی در فرایندهای تولید	C18	داده‌های دقیق و قابل ردگیری در فرایندهای تولید
C9	بهینه‌سازی حمل و نقل و بارگیری مشتقات	C19	افزایش کارایی، شفافیت و مدیریت ترانکشن‌های خط تولید با بلاک چین
C10	سیستم‌های خودکار مبتنی بر بینایی ماشین		

سپس در بخش کمی برای بخش دیمتل ابتدا ماتریس ارتباط مستقیم شاخص‌ها که با نظر ۱۷ خبره که در بخش روش شناسی توضیح داده شده با هم تشکیل شده است. در این بخش میزان تاثیرگذاری هر کدام از ۱۹ مولفه تایید شده پژوهش بر روی یکدیگر بر اساس طیف ۰ تا ۴ مشخص و در جدول پنج آورده شده است.

جدول ۵. ماتریس ارتباط مستقیم معیارها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
C1	۰	۴	۰	۴	۲	۳	۰	۴	۱	۰	۰	۳	۲	۰	۰	۲	۴	۴	۱
C2	۳	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۲	۱	۰
C3	۳	۳	۰	۳	۴	۳	۲	۳	۴	۰	۰	۱	۲	۰	۰	۳	۳	۳	۱
C4	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۳	۰
C5	۳	۲	۰	۳	۰	۳	۰	۲	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۳	۳	۰
C6	۳	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۱	۰	۰	۰	۳	۰	۰
C7	۳	۳	۲	۲	۳	۲	۰	۳	۳	۳	۰	۲	۳	۰	۰	۳	۳	۲	۲
C8	۳	۲	۲	۳	۲	۱	۰	۰	۲	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۳	۲	۳
C9	۳	۲	۳	۳	۳	۱	۱	۳	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۱	۳	۲	۰
C10	۲	۲	۲	۳	۰	۳	۳	۲	۲	۰	۰	۲	۳	۰	۰	۳	۲	۳	۰
C11	۲	۲	۲	۰	۲	۳	۳	۲	۳	۴	۰	۰	۴	۰	۳	۳	۲	۰	۳
C12	۳	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
C13	۳	۲	۰	۲	۳	۳	۳	۳	۲	۳	۲	۳	۰	۰	۱	۳	۳	۳	۳
C14	۳	۳	۲	۳	۴	۲	۲	۳	۳	۲	۳	۲	۳	۰	۴	۳	۳	۳	۰
C15	۳	۲	۲	۳	۴	۳	۳	۲	۳	۴	۴	۲	۴	۰	۰	۳	۳	۳	۳

C1 6	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۲	۰	۰	۳	۳	۳	۰	۳	۰	۳	۳	۳
C1 7	۳	۰	۰	۲	۳	۳	۰	۳	۰	۰	۳	۲	۲	۰	۱	۰	۰	۴	۴
C1 8	۳	۲	۰	۳	۰	۰	۰	۳	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۳	۰	۳
C1 9	۳	۰	۴	۲	۳	۳	۳	۳	۱	۰	۰	۱	۳	۰	۰	۴	۳	۳	۰

در گام بعدی نرمال کردن ماتریس ارتباطات مستقیم انجام می‌شود. برای نرمالیزه کردن ماتریس به‌دست آمده ابتدا باید مجموع سطر و ستون ماتریس ارتباطات مستقیم را بدست آورد سپس از بین اعداد مجموع، بیشترین مقدار را محاسبه کرد که در جدول شش آورده شده است.

جدول ۶. مجموع سطر و ستون ماتریس ارتباطات مستقیم

	جمع سطر	جمع ستون
C1	۳۴	۴۹
C2	۱۰	۳۱
C3	۳۸	۱۹
C4	۹	۳۶
C5	۲۲	۳۳
C6	۱۱	۳۸
C7	۳۹	۲۳
C8	۲۵	۳۸
C9	۲۷	۲۷
C10	۳۲	۱۶
C11	۳۸	۱۵
C12	۶	۳۱
C13	۴۲	۳۰
C14	۴۸	۰
C15	۵۱	۱۲
C16	۲۶	۳۰
C17	۳۰	۴۹
C18	۲۱	۴۲
C19	۳۶	۲۶
بیشترین مقدار = ۵۱		

سپس جهت نرمال‌سازی تمام درایه‌های ماتریس ارتباط مستقیم را بر عدد ۵۱ تقسیم می‌شود. در ادامه ماتریس روابط کل (T) محاسبه می‌شود. برای محاسبه ماتریس ارتباط کامل، ابتدا ماتریس همانی ($I_{19 \times 19}$) تشکیل می‌شود. سپس ماتریس همانی را منهای ماتریس نرمال کرده و ماتریس حاصل معکوس می‌شود. در نهایت ماتریس نرمال را در ماتریس معکوس ضرب می‌کنیم. ماتریس روابط کل در جدول هفت آورده شده است.

جدول ۷. ماتریس نرمالیزه شده روش دیمتل

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
C1	۰	۰.۷۸	۰	۰.۷۸	۰.۳۹	۰.۵۹	۰	۰.۷۸	۰.۲۰	۰	۰	۰.۵۹	۰.۳۹	۰	۰	۰.۳۹	۰.۷۸	۰.۷۸	۰.۲۰
C2	۰.۵۹	۰	۰	۰	۰	۰.۳۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۳۹	۰	۰	۰	۰	۰.۳۹	۰.۲۰	۰
C3	۰.۵۹	۰.۵۹	۰	۰.۵۹	۰.۷۸	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۷۸	۰	۰	۰.۲۰	۰.۳۹	۰	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۲۰
C4	۰.۵۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰
C5	۰.۵۹	۰.۳۹	۰	۰.۵۹	۰	۰.۵۹	۰	۰.۳۹	۰	۰	۰	۰.۵۹	۰	۰	۰	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰
C6	۰.۵۹	۰.۳۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۳۹	۰.۲۰	۰	۰	۰	۰.۵۹	۰	۰
C7	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۳۹	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰	۰.۳۹	۰.۵۹	۰	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۳۹
C8	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۲۰	۰	۰	۰.۳۹	۰	۰	۰.۲۰	۰	۰	۰	۰.۲۰	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۵۹
C9	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۵۹	۰	۰	۰	۰.۳۹	۰	۰	۰	۰.۲۰	۰.۵۹	۰.۳۹	۰
C10	۰.۳۹	۰.۳۹	۰.۳۹	۰.۵۹	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۳۹	۰	۰	۰.۳۹	۰.۵۹	۰	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۳۹	۰
C11	۰.۳۹	۰.۳۹	۰.۳۹	۰	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۷۸	۰	۰	۰.۷۸	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۳۹	۰	۰.۵۹
C12	۰.۵۹	۰	۰	۰	۰	۰.۵۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
C13	۰.۵۹	۰.۳۹	۰	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۵۹	۰	۰	۰.۲۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹
C14	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۷۸	۰.۳۹	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۵۹	۰	۰.۷۸	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰
C15	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۷۸	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۷۸	۰.۷۸	۰.۳۹	۰.۷۸	۰	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹
C16	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۵۹	۰.۳۹	۰	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰	۰.۵۹	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹
C17	۰.۵۹	۰	۰	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰	۰.۵۹	۰	۰	۰.۵۹	۰.۳۹	۰.۳۹	۰	۰.۲۰	۰	۰	۰.۷۸	۰.۷۸
C18	۰.۵۹	۰.۳۹	۰	۰.۵۹	۰	۰	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۲۰	۰.۵۹	۰	۰.۵۹
C19	۰.۵۹	۰	۰.۷۸	۰.۳۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۲۰	۰	۰	۰.۲۰	۰.۵۹	۰	۰	۰.۷۸	۰.۵۹	۰.۵۹	۰

سپس بایستی نمودار علی تشکیل شود. برای تشکیل نمودار علی، مجموع سطرها (D) و مجموع ستون‌ها (R) ماتریس روابط کل بدست می‌آید. سپس D+R و D-R محاسبه می‌شود. با توجه به جدول قبل، معیارهایی که D-R مثبت دارند دارای ماهیت علت و تاثیرگذار دارند که شاخص استقرار، ارتقاء و توسعه سطح اینترنت اشیاء در خطوط تولید و توزیع تاثیرگذارترین معیار می‌شود بر اساس مقادیر D+R و D-R جدول هشت می‌توان نمودار علی معیارها را تعیین کرد.

جدول ۸. اهمیت و تأثیرگذاری شاخص‌ها از نظر علی و معلولی

کد	نام شاخص	نوع شاخص
C1	کنترل و کاهش نوسانات کیفیت مشتقات با هوش مصنوعی و حسگرها	معلول
C2	افزایش اعتماد خریداران خارجی به مشتقات پتروشیمی	معلول
C3	ردگیری دقیق محموله‌های صادراتی	علت
C4	حداکثرسازی میزان انطباق مشتقات با استانداردهای جهانی	معلول
C5	حداکثرسازی بهره‌وری مبتنی بر فراخودکارسازی	معلول
C6	حداقل شدن هزینه‌های عملیاتی با تنظیم پارامترهای پویا	معلول
C7	هوشمندسازی خطوط تولید	علت
C8	صفرشدن خطاهای انسانی در فرایندهای تولید	معلول
C9	بهینه‌سازی حمل و نقل و بارگیری مشتقات	علت
C10	سیستم‌های خودکار مبتنی بر بینایی ماشین	علت
C11	تصمیم‌گیری داده‌محور و سریع در بازهای هدف	علت
C12	حذف فعالیت‌های زمان‌بر با خودکارسازی	معلول
C13	تحلیل دقیق تغییرات بازارهای با الگوریتم‌های تحلیلی	علت
C14	استقرار، ارتقاء و توسعه سطح اینترنت اشیاء در خطوط تولید و توزیع	علت
C15	سیستم‌های خودکار مبتنی بر یادگیری ماشین	علت
C16	طراحی سریع محصولات جدید با هوش مصنوعی و متناسب با نیاز و ذائقه بازار	علت
C17	کاهش ریسک‌های عملیاتی و هزینه‌های سربار	معلول
C18	داده‌های دقیق و قابل ردگیری در فرایندهای تولید	معلول
C19	افزایش کارایی، شفافیت و مدیریت تراکنش‌های خط تولید با بلاک چین	علت

با توجه به اینکه در بخش دیمتل روابط علی و معلولی شاخص‌های پژوهش با کمک جامعه آماری بخش کمی (۱۷ خبره) مشخص شد در ادامه بخش کمی و برای رسیدن به مدلی مناسب تأثیرگذاری شاخص‌ها نیز با در نظر گرفتن روابط علی و معلولی ۱۹ شاخص افزایش صادرات مشتقات پتروشیمی با رویکرد فراخودکارسازی در صنعت ۴ با روش مدلسازی ساختاری تفسیری انجام می‌گیرد. در واقع خروجی روش دیمتل به عنوان ورودی بخش مدلسازی ساختاری تفسیری مورد استفاده قرار می‌گیرد تا در ادامه علاوه بر روابط علی- معلولی میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری مولفه‌های نیز اضافه شده تا مدلی دقیق‌تر با اعتباری مطلوب و مناسب تدوین شود. به بیانی دیگر در این قسمت هدف این است که پژوهش حاضر به طور همزمان از مزایای روش دیمتل و مدلسازی ساختاری-تفسیری استفاده کند. برای نمونه دیمتل از طیفی پنج درجه برای گردآوری دیدگاه خبرگان در پژوهش استفاده کرده است بنابراین، انعطاف بیشتری برای ورودی دارد. درحالیکه مدلسازی ساختاری-تفسیری با ماتریس ۰ و ۱ شروع می‌شود بنابراین انعطاف بسیار پایینی برای دریافت ورودی دارد. در این بخش با استفاده از روش ISM به بررسی سطوح تأثیرگذاری و تأثیرپذیری عوامل پرداخته می‌شود. استفاده از خروجی روش دیمتل به عنوان ورودی ISM ابزاری کارآمد جهت بررسی سطوح تأثیرگذاری با استفاده از روابط

دیمتل می‌باشد (وانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). در واقع چون ماهیت دو روش دیمتل و ISM تقریباً مشابه یکدیگر می‌باشد بنابراین در مواقعی که از دو پرسشنامه برای تحلیل هر کدام استفاده شود چون ورودی‌های دو روش یکسان نیستند بنابراین ممکن است نتایجی حاصل شود که به نحوی بر خلاف دو نتایج دو روش باشند بنابراین استفاده از روش ترکیبی دیمتل و ISM می‌تواند نتایج دقیق‌تری را حاصل کند. در ادامه گام‌های این روش آورده شده است. در این گام ابتدا ماتریس دستیابی تشکیل می‌شود. در این گام باید از ماتریس ارتباطات کل دیمتل مقدار آستانه (میانگین حسابی) گرفت و سپس درایه‌هایی که بیشتر از مقدار آستانه هستند مقادیر ۱ و در غیر اینصورت صفر می‌گیرند مقدار آستانه معیارها ۰.۰۶ است. در سلول‌هایی که عدد یک وجود دارد نشان از رابطه معنی دار بین معیار سطر با ستون است این فرایند در جدول نه انجام شده است که در واقع همان ماتریس دستیابی اولیه می‌باشد.

جدول ۹. روابط معنی‌دار بین شاخص‌ها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
C1	.	۱	.	۱	۱	۱	.	۱	.	.	.	۱	.	.	.	.	۱	۱	.
C2	۱	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
C3	۱	۱	.	۱	۱	۱	.	۱	۱	.	.	۱	۱	.	.	۱	۱	۱	.
C4	۱	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۱	۱	.
C5	۱	.	.	۱	.	۱	.	.	.	.	.	۱	.	.	.	.	۱	۱	.
C6	۱	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۱	.	.
C7	۱	۱	.	۱	۱	۱	.	۱	۱	۱	.	۱	۱	.	.	۱	۱	۱	۱
C8	۱	۱	.	۱	۱	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۱	۱	۱
C9	۱	۱	۱	۱	۱	.	.	۱	.	.	.	۱	.	.	.	.	۱	۱	.
C10	۱	۱	.	۱	.	۱	۱	۱	۱	.	.	۱	۱	.	.	۱	۱	۱	.
C11	۱	۱	۱	.	۱	۱	۱	۱	۱	۱	.	.	۱	.	۱	۱	۱	۱	۱
C12	۱	.	.	.	.	۱	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
C13	۱	۱	.	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	.	۱	.	.	.	۱	۱	۱	۱
C14	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	.	۱	۱	۱	۱	.
C15	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	.	.	۱	۱	۱	۱
C16	.	.	.	.	.	.	۱	۱	.	.	۱	۱	۱	.	۱	.	۱	۱	۱
C17	۱	.	.	۱	۱	۱	.	۱	.	.	۱	۱	۱	.	.	.	.	۱	۱
C18	۱	.	.	۱	.	.	.	۱	۱	.	.	.	.	.	.	.	۱	.	۱
C19	۱	.	۱	۱	۱	۱	۱	۱	.	.	.	۱	۱	.	.	۱	۱	۱	.

در ادامه می‌بایست ماتریس دستیابی اولیه سازگار تشکیل شود. در واقع، پس از اینکه ماتریس اولیه دستیابی بدست آمد، باید سازگاری درونی آن برقرار شود. به عنوان نمونه اگر متغیر ۱ منجر به متغیر ۲ شود و متغیر ۲ منجر به متغیر ۳ شود، باید متغیر ۱ نیز منجر به متغیر ۳ شود و اگر در ماتریس دسترسی این حالت برقرار نبود، باید ماتریس اصلاح شود و روابط این چینی اصلاح و ایجاد شوند. این

¹ Wang

سازگاری با استفاده از روابط ثانویه که ممکن است وجود نداشته باشند به ماتریس دستیابی اولیه افزوده می‌شوند. در جدول ۱۰ سلول‌های که با 1* نشان داده شد روابطی هستند که در ماتریس سازگار شده ایجاد شده اند.

جدول ۱۰. ماتریس دستیابی اولیه سازگار شده

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	قدرت نفوذ
C1	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱*	۰	۱*	۱	۱*	۰	۰	۰	۱	۱	۱*	۱۳
C2	۱	۱	۰	۱*	۱*	۱*	۰	۱*	۰	۰	۰	۱*	۰	۰	۰	۰	۱*	۱*	۰	۹
C3	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱*	۱	۱	۱*	۱*	۱	۱	۰	۱*	۱	۱	۱	۱*	۱۸
C4	۱	۱*	۰	۱	۱*	۱*	۰	۱*	۱*	۰	۱*	۱*	۱*	۰	۰	۰	۱	۱	۱*	۱۳
C5	۱	۱*	۰	۱	۱	۱	۰	۱*	۱*	۰	۱*	۱	۱*	۰	۰	۰	۱	۱	۱*	۱۳
C6	۱	۱*	۰	۱*	۱*	۱	۰	۱*	۰	۰	۱*	۱*	۱*	۰	۰	۰	۱	۱*	۱*	۱۲
C7	۱	۱	۱*	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱*	۱	۱	۰	۱*	۱	۱	۱	۱	۱۸
C8	۱	۱	۱*	۱	۱	۱*	۱*	۱	۱*	۰	۱*	۱*	۱*	۰	۰	۱*	۱	۱	۱	۱۶
C9	۱	۱	۱	۱	۱	۱*	۰	۱	۱	۰	۱*	۱	۱*	۰	۰	۱*	۱	۱	۱*	۱۵
C10	۱	۱	۱*	۱	۱*	۱	۱	۱	۱	۱	۱*	۱	۱	۰	۱*	۱	۱	۱	۱*	۱۸
C11	۱	۱	۱	۱*	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱*	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱۸
C12	۱	۱*	۰	۱*	۱*	۱	۰	۱*	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱*	۱*	۰	۹
C13	۱	۱	۱*	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱*	۱	۱	۰	۱*	۱	۱	۱	۱	۱۸
C14	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱*	۱۹
C15	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱۸
C16	۱*	۱*	۱*	۱*	۱*	۱*	۱	۱	۱*	۱*	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱۸
C17	۱	۱*	۱*	۱	۱	۱	۱*	۱	۱*	۱*	۱	۱	۱	۰	۱*	۱*	۱	۱	۱	۱۸
C18	۱	۱*	۱*	۱	۱*	۱*	۱*	۱	۱	۰	۱*	۱*	۱*	۰	۰	۱*	۱	۱	۱	۱۶
C19	۱	۱*	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱*	۱*	۱*	۱	۱	۰	۱*	۱	۱	۱	۱	۱۸
میزان وابستگی	۱۹	۱۹	۱۳	۱۹	۱۹	۱۹	۱۲	۱۹	۱۶	۱۰	۱۷	۱۹	۱۷	۱	۱۰	۱۳	۱۹	۱۹	۱۷	

در گام کنونی می‌بایست سطوح شاخص‌ها تعیین شود. در این گام مجموعه معیارهای ورودی (پیش نیاز) و خروجی (دستیابی) برای هر معیار محاسبه می‌شود و سپس شاخص‌های مشترک نیز مشخص در این گام معیاری دارای بالاترین سطح است که مجموعه خروجی (دستیابی) با مجموعه مشترک برابر باشد. پس از شناسایی این متغیر یا متغیرها، سطر و ستون آن‌ها از جدول حذف و عملیات دوباره بر روی دیگر معیارها تکرار می‌شود. خروجی‌ها و ورودی‌ها از ماتریس دستیابی اولیه سازگار شده استخراج می‌شود برای این کار، تعداد ۱ها در هر سطر بیانگر خروجی، و تعداد ۱ها در ستون برابر ورودی هستند که برای تعیین سطح اول، نتایج در جدول ۱۱ آورده شده است.

جدول ۱۱. شاخص‌های سطح ۱

سطح	اشتراک	ورودی	خروجی	نام شاخص
1	C1-C2-C4-C5-C6-C8-C9-C11-C12-C13-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C4-C5-C6-C8-C9-C11-C12-C13-C17-C18-C19	C1
1	C1-C2-C4-C5-C6-C8-C12-C17-C18-	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C4-C5-C6-C8-C12-C17-C18-	C2
	C3-C7-C8-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C3-C7-C8-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C3
1	C1-C2-C4-C5-C6-C8-C9-C11-C12-C13-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C4-C5-C6-C8-C9-C11-C12-C13-C17-C18-C19	C4
1	C1-C2-C4-C5-C6-C8-C9-C11-C12-C13-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C4-C5-C6-C8-C9-C11-C12-C13-C17-C18-C19	C5
1	C1-C2-C4-C5-C6-C8-C11-C12-C13-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C4-C5-C6-C8-C11-C12-C13-C17-C18-C19	C6
	C3-C7-C8-C10-C11-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C3-C7-C8-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C7
1	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C11-C12-C13-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C11-C12-C13-C16-C17-C18-C19	C8
	C1-C3-C4-C5-C8-C9-C11-C13-C16-C17-C18-C19	C1-C3-C4-C5-C7-C8-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C8-C9-C11-C12-C13-C16-C17-C18-C19	C9
	C3-C7-C10-C11-C13-C15-C16-C17-C19	C3-C7-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C17-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C10
	C1-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C11
1	C1-C2-C4-C5-C6-C8-C12-C17-C18-	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C4-C5-C6-C8-C12-C17-C18-	C12
	C1-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C13
	C14-	C14-	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C14
	C3-C7-C10-C11-C13-C15-C16-C17-C19	C3-C7-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C17-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C15
	C3-C7-C8-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C3-C7-C8-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C16
1	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C17

C18	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C11-C12-C13-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C11-C12-C13-C16-C17-C18-C19	1
C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C1-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C17-C18-C19	

در جدول فوق، شاخص‌های سطح یک استخراج شده است که شامل مولفه‌های C1, C2, C4, C5, C6, C8, C12, C17 و C18 می‌باشد. حال برای تعیین شاخص‌های سطح دوم، کفایت سطر و ستون این ۹ مولفه را از ماتریس دستیابی اولیه سازگار شده (جدول ۱۰) حذف نمود و دوباره محاسبات تعیین خروجی و ورودی را انجام داد. نتایج در جدول ۱۲ آورده شده است.

جدول ۱۲. شاخص‌های سطح ۲

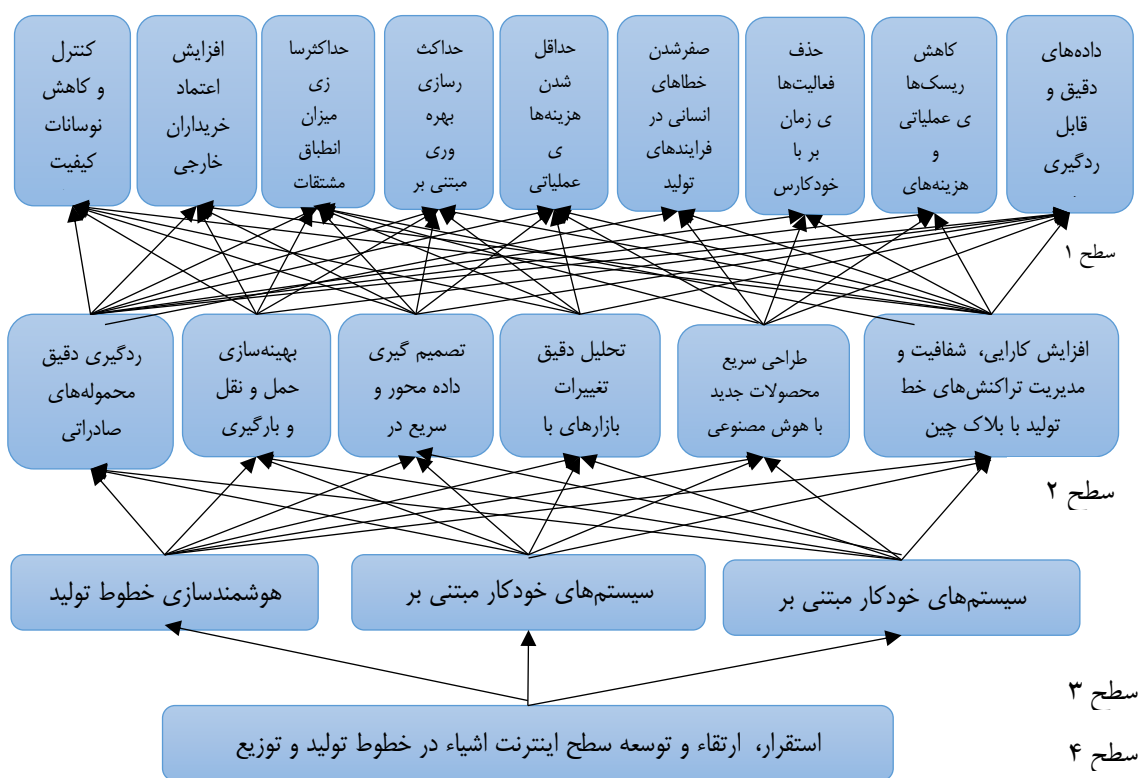
نام شاخص	خروجی	ورودی	اشتراک	سطح
C3	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	2
C7	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	C3-C7-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C19	C3-C7-C10-C11-C13-C15-C16-C19	
C9	C3-C9-C11-C13-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C19	C3-C9-C11-C13-C16-C19	2
C10	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	C3-C7-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C19	C3-C7-C10-C11-C13-C15-C16-C19	
C11	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	2
C13	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	2
C14	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C19	C14	C14	
C15	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	C3-C7-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C19	C3-C7-C10-C11-C13-C15-C16-C19	
C16	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	2
C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	2

در جدول ۱۱، شاخص‌های سطح دوم استخراج شده است که شامل مولفه‌های C3, C9, C11, C13, C16 و C19 می‌باشد. حال برای تعیین شاخص‌های سطح دوم، کفایت سطر و ستون این ۶ مولفه را از ماتریس دستیابی اولیه سازگار شده حذف نمود و دوباره محاسبات تعیین خروجی و ورودی را انجام داد. نتایج در جدول ۱۳ آورده شده است.

جدول ۱۳. شاخص‌های سطح ۳ و ۴

نام شاخص	خروجی	ورودی	اشتراک	سطح
C7	C7-C10-C15	C7-C10-C14-C15	C7-C10-C15	3
C10	C7-C10-C15	C7-C10-C14-C15	C7-C10-C15	3
C14	C7-C10-C14-C15	C14	C14	4
C15	C7-C10-C15	C7-C10-C14-C15	C7-C10-C15	3

در گام آخر با استفاده از سطوح بدست آمده از شاخص‌ها، شبکه تعاملات ISM رسم می‌شود. اگر بین دو متغیر i و j رابطه باشد آن رابطه به وسیله یک پیکان جهت دار نشان داده می‌شود. دیاگرام نهایی ایجاد شده که با حذف حالت‌های تعدی و نیز با استفاده از بخش‌بندی سطوح بدست آمده است در شکل یک نشان داده شده است.



شکل ۱) مدل افزایش صادرات مشتقات پتروشیمی با رویکرد فراخودکارسازی در صنعت ۴ برای هلدینگ‌های پتروشیمی ایران

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش باهدف طراحی مدلی برای افزایش صادرات مشتقات پتروشیمی با رویکرد فراخودکارسازی در صنعت ۴ برای هلدینگ‌های پتروشیمی ایران انجام شد. در تفسیر یافته‌های پژوهش می‌بایست بیان کرد که استقرار، ارتقاء و توسعه سطح اینترنت اشیا در خطوط تولید و توزیع است تاثیرگذارترین شاخص در افزایش صادرات مشتقات پتروشیمی با رویکرد فراخودکارسازی در صنعت ۴ برای هلدینگ‌های پتروشیمی ایران است. در سطح سوم مدل نیز نشان داده شده که سیستم‌های خودکار مبتنی بر یادگیری ماشین از هوشمندسازی خطوط تولید تاثیر می‌پذیرد. هرچند در کنار آن سیستم‌های خودکار مبتنی بر بینایی ماشین قرار دارند که می‌توانند خطا در خطوط تولید را حداقل کنند. هوشمندسازی خطوط تولید در سطح سوم نیز از ارتقاء و توسعه سطح اینترنت اشیا در خطوط تولید و توزیع تاثیر می‌پذیرد. واقعیتی که در سطح سوم مدل به خوبی اشاره است اینکه هوشمندسازی خطوط تولید در پتروشیمی، که اغلب تحت عنوان پتروشیمی هوشمند یا صنعت ۴ در پتروشیمی شناخته می‌شود، یک تحول دیجیتال گسترده است که هدف آن استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای افزایش کارایی، انعطاف‌پذیری، ایمنی و قابلیت اطمینان فرآیندهای تولید است. عملکرد سطح سوم منجر به نتایج خوبی در سطح دوم می‌شود که عبارتند از: افزایش کارایی، شفافیت و مدیریت تراکنش‌های خط تولید با بلاک چین، طراحی سریع محصولات جدید با هوش مصنوعی و متناسب با نیاز و ذائقه بازار، تحلیل دقیق تغییرات بازارهای با الگوریتم‌های تحلیلی، تصمیم‌گیری داده محور و سریع در بازهای هدف، بهینه‌سازی حمل و نقل و بارگیری مشتقات و ردگیری دقیق محموله‌های صادراتی.

همگی آنها در حقیقت عاملان اصلی افزایش رقابت‌پذیری و سهم بازار در سطح بین‌المللی هستند. به واسطه شاخص‌های مهم در سطح سوم هلدینگ‌های پتروشیمی ایران می‌توانند مجموعه‌ای از اقدامات تکنولوژیک را به انجام برسانند که به طور مستقیم هزینه‌های عملیاتی و مالی را کاهش داده و همزمان کیفیت، سرعت و انعطاف‌پذیری پاسخ به بازار جهانی را افزایش می‌دهند. در نتیجه، محصولات و مشتقات پتروشیمی ایران می‌تواند با قیمتی رقابتی‌تر، با اطمینان بالاتر و با سرعت بیشتری به بازارهای جهانی برسد، که این امر به طور قطع حجم و ارزش صادرات را افزایش می‌دهد. در سطح اول مدل تاثیرپذیرترین شاخص‌ها قرار دادند که عبارتند از: داده‌های دقیق و قابل ردگیری در فرایندهای تولید، کاهش ریسک‌های عملیاتی و هزینه‌های سربار، حذف فعالیت‌های زمان بر با خودکارسازی، صف‌شدن خطاهای انسانی در فرایندهای تولید، حداقل شدن هزینه‌های عملیاتی با تنظیم پارامترهای پویا، حداکثرسازی بهره‌وری مبتنی بر فراخودکارسازی، حداکثرسازی میزان انطباق مشتقات با استانداردهای جهانی، افزایش اعتماد خریداران خارجی به مشتقات پتروشیمی و کاهش نوسانات کیفیت مشتقات با هوش مصنوعی و حسگرها. تمرکز همزمان بر این شاخص‌ها تمرکز چرخه معیوب «تولید پرهزینه با کیفیت متغیر» را در صنعت پتروشیمی ایران می‌شکند و آن را با یک چرخه «تولید بهینه، با کیفیت ثابت و قابل ردیابی» جایگزین می‌کند که ستون اصلی موفقیت در بازارهای رقابتی صادراتی است.

البته پژوهش حاضر با پژوهش سایر پژوهش‌های انجام شده دارای تفاوت‌های بسیاری است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. پژوهش حیدری و همکاران (۱۴۰۴) یک پژوهش کیفی بود و تنها مدل کیفی را برای استراتژیک تحول دیجیتال مبتنی بر فناوری‌های صنعت ۴ برای ارتقای پایداری و رقابت‌پذیری جهانی تولید دارویی کرد. این پژوهش به صورت کیفی و با رویکرد نظریه داده‌بنیاد انجام پذیرفت. در حالیکه پژوهش حاضر با روش آمیخته (کیفی-کمی) به انجام رسیده و بدون شک نتایج پژوهش‌های آمیخته از اعتبار بیشتری برخوردار است. پژوهش مزروعی نصرآبادی (۱۴۰۲) مدل موانع پیاده‌سازی صنعت نسل ۴ در بخش مراقبت‌های بهداشتی با رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری فراگیر فازی را طراحی کرد. پژوهش حاضر علاوه بر ارائه مدل سلسله مراتبی هویت علی و معلولی شاخص‌های مدل را نیز بررسی و مشخص نمود و با هدف افزایش صادرات به انجام رسیده است. گاندار (۲۰۲۳) فراخودکارسازی را به عنوان انقلابی جدید در تحول دیجیتال را با کمک یک مطالعه علمی ترویجی معرفی کردند. در حالیکه پژوهش حاضر، پژوهشی آمیخته و کاربردی است و علاوه بر توصیف و اهمیت صنعت ۴ از منظر فراخودکارسازی نیز به صنعت ۴ نگریسته شده است. پژوهش فدوفسکی و همکاران (۲۰۲۲) فراخودکارسازی پایدار در فناوری پیشرفته صنایع تولیدی را در محرک‌های الکترومکانیکی خطی مورد بررسی قرار دادند. این پژوهش یک چارچوب تجاری مفهومی و زمینه تکنولوژیکی جدید برای دستیابی به فراخودکارسازی پایدار در تولید محرک‌های الکترومکانیکی خطی را ارائه داد. اما، پژوهش حاضر با لحاظ کردن فراخودکارسازی در صنعت ۴ برای افزایش صادرات مشتقات پتروشیمی ایران در بازارهای جهانی مدلی نیز ارائه نمود که این مدل از جنبه بومی نیز برخوردار است.

نتیجه گیری کلی آنکه تلاقی دادن فرخودکارسازی در صنعت ۴ برای صنعت پتروشیمی ایران مستقیماً هزینه نهایی تولید هر واحد محصول پتروشیمی را در کشور پایین می‌آورد. این امر باعث می‌شود محصولات ایرانی حتی در بازارهای اشباع‌شده، با قیمت‌های رقابتی‌تری نسبت به رقبای جهانی عرضه شوند. اگرچه، خودکارسازی فرآیندهای لجستیک، انبارداری هوشمند و صدور اسناد صادراتی (مانند گواهی مبدأ و فاکتورها) زمان کل فرآیند را کاهش می‌دهد. خریداران خارجی که به تحویل سریع عادت دارند، به سرعت جذب تأمین‌کننده‌ای می‌شوند که می‌تواند در کوتاه‌ترین زمان ممکن محصول را به بندر که مقصد صادرات است برساند.

پیشنهادهای کاربردی این پژوهش در رابطه با استقرار، ارتقاء و توسعه سطح اینترنت اشیاء در خطوط تولید و توزیع صنعت پتروشیمی ایران به دلیل ویژگی‌های خاص این صنعت، از جمله پیچیدگی فرآیندها، نیاز به دقت بالا و تطابق با استانداردهای جهانی، اهمیت ویژه‌ای دارد. پیشنهاد می‌شود شناسایی الزامات صنعتی و اهداف هر یک از شرکت‌ها در بازارهای صادرات به طور جدی و واضح مشخص شود. شناسایی نقاط ضعف و قوت در خطوط تولید و توزیع، شامل شناسایی تجهیزات قدیمی، نقاط گلوگاهی در تولید و فرآیندهای عملیاتی ناکارآمد یکی از پیشنهادهای مهم برای افزایش صادرات مشتقات پتروشیمی است. پیشنهاد می‌شود یکپارچه‌سازی با سیستم‌های موجود انجام گیرد. اطمینان از ارتباط و هماهنگی سیستم با سیستم‌های موجود و سنتی جهت به حداقل رساندن اختلالات و هزینه‌های اضافی در شرکت‌های پتروشیمی می‌بایست سرلوحه مدیران پتروشیمی‌ها قرار گیرد. بسترسازی ایجاد یک سیستم ردیابی دقیق برای محصولات پتروشیمی که امکان پیگیری تاریخچه تولید و انطباق با استانداردهای بین‌المللی را فراهم کند می‌بایست اجرا شود. پیاده‌سازی اینترنت اشیاء در صنعت پتروشیمی ایران می‌تواند گام بزرگی به سوی بهینه‌سازی، افزایش کیفیت و تطبیق با استانداردهای جهانی باشد. اجرای این راهکارها به افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و بهبود قابلیت رقابت این صنعت در بازارهای جهانی کمک خواهد کرد. با توجه به ساختار پیچیده و نیازهای خاص این صنعت، اجرای این برنامه‌ها به دقت و بالندگی نیاز دارد و هم‌ترازی با فناوری‌های روز دنیا باید در اولویت قرار گیرد. به پژوهشگران آتی، هم پیشنهاد می‌شود که در راستای بهینه‌سازی سطح صادرات محصولات و مشتقات پتروشیمی با مدلسازی‌های ریاضی گام بردانند.

ضمن اینکه در راستای افزایش صادرات محصولات و مشتقات پتروشیمی کشورمان بکارگیری آینده پژوهش نیز بسیار اثربخش خواهد بود. این پژوهش با یک محدودیت مهم مواجه است و آن اینکه نتایج این پژوهش قابلیت تعمیم به صنایع دیگر را ندارد.

منابع

- ابوالحسن، حبیب اله، نعمی، عبدالله، هاشمی، سیدمحمود. (۱۴۰۲). ارائه الگوی توسعه بازارهای بین‌المللی (نمونه کاوی: محصولات پتروشیمی). *نشریه مدیریت بازرگانی*، ۲ (۱۶)، ۱۵۱-۱۳۸.
- ارباب، حمیدرضا، مسعودی فر، نیما و حسن زاده، غلام. (۱۴۰۴). نقش سیستم‌های تولید در افزایش فروش محصولات پتروشیمی، *مجله مدیریت صنعتی*، شماره ۴۹، ۱۶۱-۱۴۸.
- اسعدی، مرضیه. (۱۳۹۸). انقلاب صنعتی چهارم و اقتصاد دیجیتال: پیشران‌های رشد اقتصادی پایدار، *مطالعات کاربردی در علوم مدیریت و توسعه*، شماره ۱۷، ۶۹-۵۲.
- بصیری، علیرضا، سلیمانی، یاسر، پیغامی، عادل، (۱۴۰۱)، بررسی و نقد صادرات محصولات پتروشیمی در چهارچوب بند سیزدهم سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی، *پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی*، شماره ۹، ۱۸۴-۱۵۷.
- بهرامی، یوسف، و خوش منش، مهتاب. (۱۳۹۵). سنجش رابطه بین توسعه اشتغال و ارتقای امنیت در مناطق آزاد تجاری-صنعتی (مورد مطالعه: منطقه آزاد تجاری صنعتی بندر انزلی). *پژوهشنامه نظم و امنیت انتظامی*، ۹ (۲ (پیاپی ۳۴))، ۹۵-۷۳.
- رسوله وندی، محمدباقر، عالم تبریز، اکبر و سلطان پناه، هیرش. (۱۴۰۳). ارائه الگوی عوامل عملکردی تاب‌آوری پایدار زنجیره تامین صنعت قطعه‌سازی خودروی ایران با رویکرد توسعه صادرات، *مجله مدیریت کسب و کارهای بین‌المللی*، سال هفتم، شماره یک، ۶۶-۴۵.
- سهرابی، روح اله، چناری، وحید، همتی، محمد و همراهی، مهرداد. (۱۴۰۳). مدل توسعه صادرات شرکت‌های دانش‌بنیان حوزه الکترونیک و برق ایران با محوریت ارتقاء پایداری سازمانی کارکنان. *مجله مدیریت کسب و کارهای بین‌المللی*، سال هفتم، شماره ۲، ۶۶-۴۱.
- رشیدی نیا، مریم، کریمی، فرزاد و قربانی دینانی، حسن، (۱۴۰۳)، شناسایی و اولویت‌بندی فرصت‌های صادراتی محصولات پتروشیمی ایران در کشورهای اقتصادی اتحادیه اوراسیا، *فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی*، شماره ۵۷، ۱۱۰-۸۵.
- شاهمرادی، بهروز، آدینه، عاطفه و سمندرعلی اشتهاردی، مژگان، افشاری، زهرا، (۱۴۰۰)، بررسی پیچیدگی محصولات پتروشیمی ایران و فرصت‌های پیش رو، *مجله پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، شماره ۱۰۰، ۲۸۸-۲۵۵.
- حیدری، بابک، شهریاری، محمدرضا، جلالی فراهانی، کامبیز و فارسیجانی، حسن. (۱۴۰۴). توسعه چارچوب استراتژیک تحول دیجیتال مبتنی بر فناوری‌های صنعت ۴ برای ارتقای پایداری و رقابت‌پذیری جهانی تولید دارویی، *مدیریت/استراتژیک هوشمند*، شماره ۴، ۸۹-۷۱.
- محمدی، احمد. (۱۴۰۳). تحلیل واکنش بازار محصولات پتروشیمی به سیاست سقف قیمت و حذف آن در بازار، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، شماره ۶۶، ۸۷-۷۱.
- موسایی، احمد و قضاقلو، احمد. (۱۴۰۴). ارزیابی چشم‌انداز محصولات صنعت پتروشیمی ایران با مدل غربالگری از منظر بازار، *چشم‌انداز مدیریت بازرگانی*، شمار ۷۴، ۱۲۳-۹۸.
- مزروعی نصرآبادی، اسماعیل. (۱۴۰۲). طراحی مدل موانع پیاده‌سازی صنعت نسل ۴ در بخش مراقبت‌های بهداشتی با رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری فراگیر فازی، *فصلنامه مدیریت بهداشت و درمان*، شماره ۱۴، ۲۵-۹.
- ورهرامی، ویدا، درگاهی، حسن و بیرانوند، فرانک، (۱۳۹۹)، تأثیر خصوصی سازی بر عملکرد صادراتی شرکت‌های پتروشیمی ایران، *فصلنامه اقتصاد و الگوسازی*، ۶۳، ۹۷-۷۸.
- نجاپور، حسینعلی، جلال نیا، راحله و ملک اخلاق، اسماعیل. (۱۴۰۴). طراحی مدل مدیریت استراتژیک عملکرد صادراتی هلدینگ سرمایه گذاری دارویی تامین بر اساس روش فراترکیب، *مجله مدیریت کسب و کارهای بین‌المللی*، دوره ۸، شماره ۳، ۵۲-۲۳.

References

- Alnahhal ,M. ,Saleem ,W. ,& Salah ,B. (2024). The impact of emerging technologies of industry 4.0 on sustainability dimensions. *Journal of Engineering Research* ,12 (15) ,159-172.
- Baarimah ,S. ,Alsharef ,M. ,Alyami ,A. H. ,Baarimah ,H. R. ,Almujibah ,H. R. ,& Madhusudhan ,B. R. (2025). Functional analysis of hyperautomation in construction for advancing efficiency and sustainability through process optimization and technological integration. *Journal of Operational Management* ,14 (2) ,174-199. (In Persian)
- Baarimah ,S. ,Alsharef ,M. ,Alyami ,A. H. ,Baarimah ,H. R. ,Almujibah ,H. R. ,& Madhusudhan ,B. R. (2025). Functional analysis of hyperautomation in construction for advancing efficiency and sustainability through process optimization and technological integration. *Journal of Operational Management* ,14 (2) ,174-199.
- Bag ,S. ,Yadav ,G. ,Dhamija ,P. ,& Kataria ,K. K. (2025). Key resources for industry 4.0 adoption and its effect on sustainable production and circular economy: An empirical study. *Journal of Cleaner Production* ,18 (3) ,125-139. (In Persian)
- Bag ,S. ,Yadav ,G. ,Dhamija ,P. ,& Kataria ,K. K. (2025). Key resources for industry 4.0 adoption and its effect on sustainable production and circular economy: An empirical study. *Journal of Cleaner Production* ,18 (3) ,125-139.
- Borent ,X. ,Yan ,H. ,& Yuan ,W. (2023). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing* ,31 (1) ,127-182. (In Persian)
- Borent ,X. ,Yan ,H. ,& Yuan ,W. (2023). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing* ,31 (1) ,127-182.
- Dalenogare ,L. S. ,Benitez ,G. B. ,Ayala ,N. F. ,& Frank ,A. G. (2023). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economy* , 204,383–394. (In Persian)
- Dalenogare ,L. S. ,Benitez ,G. B. ,Ayala ,N. F. ,& Frank ,A. G. (2023). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economy* , 204,383–394.
- Garetti ,M. ,& Taisch ,M. (2022). Sustainable manufacturing: Trends and research challenges. *Production Planning & Control* ,23 (2) ,83–104. (In Persian)
- Garetti ,M. ,& Taisch ,M. (2022). Sustainable manufacturing: trends and research challenges. *Production Planning & Control* ,23 (2) ,83–104.
- Gouda ,S. K. ,& Saranga ,H. (2024). Pressure or premium: What works best where? Antecedents and outcomes of sustainable manufacturing practices. *International Journal of Production Research* ,58 (23) ,11–127. (In Persian)
- Gouda ,S. K. ,& Saranga ,H. (2024). Pressure or premium: what works best where? Antecedents and outcomes of sustainable manufacturing practices. *International Journal of Production Research* ,58 (23) ,11–127.
- Gundar ,M. ,& Berawi ,M. A. (2023). Managing nature 5.0 in industrial revolution 4.0 and society 5.0 era. *International Journal of Technology* ,10 (2) ,222–225. (In Persian)
- Gundar ,M. ,& Berawi ,M. A. (2023). Managing nature 5.0 in industrial revolution 4.0 and society 5.0 era. *International Journal of Technology* ,10 (2) ,222–225.

- Javid ,K. M. ,Alexa ,L. ,Pîslaru ,M. ,& Avasilcăi ,S. (2021). From Industry 4.0 to Industry 5.0 – An overview of European Union enterprises. In *Sustainability and Innovation in Manufacturing Enterprises* (pp. 221–231). (In Persian)
- Javid ,K. M. ,Alexa ,L. ,Pîslaru ,M. ,& Avasilcăi ,S. (2021). From Industry 4.0 to Industry 5.0 – An overview of European Union enterprises. In *Sustainability and Innovation in Manufacturing Enterprises* (pp. 221–231).
- Kerchmer ,B. ,Sarra ,G. ,Price ,R. ,O'Brien ,G. ,& Priddle ,C. (2023). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management* ,30 (3) ,607–627. (In Persian)
- Kerchmer ,B. ,Sarra ,G. ,Price ,R. ,O'Brien ,G. ,& Priddle ,C. (2023). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management* ,30 (3) ,607–627.
- Li ,K. ,Kovaleski ,J. L. ,& Pagani ,R. N. (2024). Technology transfer in the supply chain oriented to industry 4.0: A literature review. *Technology Analysis & Strategic Management* ,31 (5) ,546–562. (In Persian)
- Li ,K. ,Kovaleski ,J. L. ,& Pagani ,R. N. (2024). Technology transfer in the supply chain oriented to industry 4.0: A literature review. *Technology Analysis & Strategic Management* ,31 (5) ,546–562.
- Raiberiou ,J. ,& Collins-Dodd ,C. (2022). Industry 4.0 technologies: Opportunities in sustainable supply chain management. In *Industry 4.0 Technologies: Sustainable Manufacturing Supply Chains: Volume 1—Theory ,Challenges ,and Opportunities* (No. 21 ,4/5 ,pp. 474-495). (In Persian)
- Raiberiou ,J. ,& Collins-Dodd ,C. (2022). Industry 4.0 technologies: Opportunities in sustainable supply chain management. In *Industry 4.0 Technologies: Sustainable Manufacturing Supply Chains: Volume 1—Theory ,Challenges ,and Opportunities* (No. 21 ,4/5 ,pp. 474-495).
- Saleem ,W. ,& Salah ,B. (2024). The impact of emerging technologies of industry 4.0 on sustainability dimensions. *Journal of Engineering Research* ,12 (15) ,159-172. (In Persian)
- Stratesiva ,Groshev ,M. ,Guimarães ,C. ,Martín-Pérez ,J. ,& de la Oliva ,A. (2020). Toward intelligent cyber-physical systems: Digital twin meets artificial intelligence. *IEEE Communications Magazine* , 59 (8) ,14–20. (In Persian)
- Stratesiva ,Groshev ,M. ,Guimarães ,C. ,Martín-Pérez ,J. ,& de la Oliva ,A. (2020). Toward intelligent cyber-physical systems: Digital twin meets artificial intelligence. *IEEE Communications Magazine* , 59 (8) ,14–20.
- Tyagi ,S. ,Rastogi ,N. ,& Joshi ,K. (2026). Significant leap in the industrial revolution from industry 4.0 to industry 5.0: Needs ,problems ,and driving forces. *Management and Production Engineering Review* ,15 (3) ,215-236. (In Persian)
- Tyagi ,S. ,Rastogi ,N. ,& Joshi ,K. (2026). Significant leap in the industrial revolution from industry 4.0 to industry 5.0: Needs ,problems ,and driving forces. *Management and Production Engineering Review* ,15 (3) ,215-236.
- Yang ,Z. ,& Lin ,Y. (2024). The effects of supply chain collaboration on green innovation performance: An interpretive structural modeling analysis. *Sustainable Production and Consumption* ,23 (1) ,1-10. (In Persian)
- Yang ,Z. ,& Lin ,Y. (2024). The effects of supply chain collaboration on green innovation performance: An interpretive structural modeling analysis. *Sustainable Production and Consumption* ,23 (1) ,1-10.