

Designing a Model for Achieving Hyperautomation in the Country's Oil and Gas Industry with a Industry 4.0

Approach

Mohamadreza Moradi

Department of Industrial Management, Sa.C.,
Islamic Azad University, Sanandaj, Iran.

Kamyar Chalaki *

Department of Industrial Management, Sa.C.,
Islamic Azad University, Sanandaj, Iran.

Roya Shakeri

Department of Public Management, Sa.C.,
Islamic Azad University, Sanandaj, Iran.

Abstract

Hyperautomation is not merely a choice but a competitive necessity for the country's oil and gas industry in the era of Industry 4.0. By combining the power of data, automation, and artificial intelligence, these technologies enable the industry to make its operations safer, more efficient, and more profitable, thereby preparing it for future target markets built on data and automation. The objective of this study is to design a model for achieving hyperautomation in the country's oil and gas industry with an Industry 4.0 approach. The research methodology is mixed (qualitative-quantitative). The qualitative phase involved interviews with 21 experts and content analysis (thematic analysis), resulting in the identification and extraction of 19 indicators for achieving hyperautomation under the Industry 4.0 framework. Subsequently, the quantitative phase utilized a combined DEMATEL-ISM method to design the model. In the DEMATEL section, the interrelationships and influence of the extracted indicators were gathered with the help of experts. Using MATLAB software for ISM analysis, the collected data were analyzed in the form of an interrelationship matrix, yielding a four-level model. The data for this section were also collected using the interrelationship matrix. Analysis of the collected data with MATLAB resulted in the formation of four levels, where "Implementation, enhancement, and development of the Internet of Things (IoT) level in production and distribution lines" emerged as the most influential and key indicator in this model.

Keywords: Hyperautomation, Industry 4.0, Oil and Gas Industry

How to Cite: Moradi,M., Chalaki,K., and Shakeri,R. (2026). Designing a Model for Achieving Hyperautomation in the Country's Oil and Gas Industry with a Industry 4.0 Approach . Journal of Intelligent Strategic Management .5(2), 489-516.

doi: 10.87453/bumara.2026.373601.4803



Intelligent Strategic Management (JISM) in Development and Evolution is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

© Authors

* Corresponding Author: K.chalaki@iau.ir

طراحی مدل دستیابی به فراخودکارسازی در صنعت نفت و گاز کشور با رویکرد صنعت ۴

محمد رضا مرادی

گروه مدیریت صنعتی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران.

کامیار چالاکی *

گروه مدیریت صنعتی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران.

رویا شاکری

گروه مدیریت دولتی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران.

چکیده

فراخودکارسازی، نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت رقابتی برای صنعت نفت و گاز کشور در عصر صنعت ۴,۰ است. این تکنولوژی‌ها با ترکیب قدرت داده‌ها، اتوماسیون و هوش مصنوعی، به صنعت نفت و گاز کشور 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 دستیابی به فراخودکارسازی در صنعت نفت و گاز کشور با رویکرد صنعت ۴ 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 دستیابی به فراخودکارسازی با رویکرد 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 اشیا در خطوط تولید و توزیع اثرگذارترین و شاخص در این مدل بود.

کلیدواژه‌ها: فراخودکارسازی، صنعت ۴، صنعت نفت و گاز

استناد به این مقاله: مرادی، محمد رضا و چالاکی، کامیار و شاکری، رویا. (۱۴۰۵). طراحی مدل دستیابی به فراخودکارسازی در صنعت نفت و گاز کشور با رویکرد صنعت ۴. مدیریت استراتژیک هوشمند، ۲(۵)، ۴۸۹-۵۱۶.



مدیریت استراتژیک هوشمند (JISM) در توسعه و تکامل تحت مجوز بین‌المللی کربتیو کامنز با شرایط انتساب-غیرتجاری ۴,۰ منتشر می‌شود.
© نویسندگان

* نویسنده مسئول: K.chalaki@iau.ir

مقدمه

ادامه روندهای جهانی شدن تجارت بین المللی را تحریک می کند و شرکت ها به طور فزاینده ای برای مشارکت در بین المللی شدن از طریق افزایش توان رقابت در بازارهای بین المللی انگیزه پیدامی کنند (نچارپور و همکاران، ۱۴۰۴). بخش قابل توجهی از سامانه های ریزی منابع سازمان (ERP)، مدیریت زنجیره تأمین و برنامه ریزی منابع در صنایع نفت و گاز در ایران به روز نیستند یا به طور کامل با یکدیگر یکپارچه نشده اند. این امر، پیش نیاز اصلی اتوماسیون فرآیندهای رباتیک است و تنها با اجرای فراخودکارسازی بهبود می یابد. همچنین، داده های مورد نیاز برای تصمیم گیری های خودکار (مانند داده های لحظه ای قیمت جهانی، موجودی انبار، ظرفیت حمل و نقل و استانداردهای بازارهای هدف) در بخش های مختلف سازمان پخش شده و فرمت یکسانی ندارند. لذا، بدون حرکت به سوی صنعت ۴^۱ "بینایی ماشین" و "هوش مصنوعی" ارزیابی ها و تصمیم گیری ها در مورد صادرات دچار اختلال می شود (محمدی، ۱۴۰۳). حسگرها و پایشگرهای پیشرفته که اطلاعات حیاتی (مانند شرایط نگهداری محصول در مخازن یا مسیر حمل) را به صورت بلادرنگ ارسال کنند، هنوز به صورت کامل و یکپارچه در انبارها و پایانه های صادراتی در ایران مستقر نشده اند. این امر جزء با خودکارسازی در بستر صنعت ۴^۲ محقق نمی شود (ارباب و همکاران، ۱۴۰۴). مدل های فراخودکارسازی که برای صنعت نفت و گاز موفق بوده اند، به دلیل تفاوت در محصولات (همانند متانول تا پلیمرها) و مقیاس تولید، به راحتی قابل تعمیم به سایر شرکت ها نیستند. این امر تحقیق و توسعه بومی و اختصاصی را در این حوزه ضروری می کند (باگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۵). ضمن اینکه، "عدم بلوغ کافی" در هر سه بعد فناوری (زیرساخت)، زنجیره تأمین و تولید و صادرات از جمله اصلی ترین مشکلات در ایران هستند که مانع از جهش به سمت فراخودکارسازی کامل در فرآیندهای صادراتی می شود (عالم تبریز و همکاران، ۱۴۰۳).

از طرفی، با افزایش نقش داده ها و اطلاعات، استفاده از ابزارها و ماشین آلات قابل برنامه ریزی و توسعه کارخانه های هوشمند، زمینه را برای ایجاد صنعت چهارم^۳ فراهم آورد. از آنجایی که جهان با حجم عظیمی از داده ها روبه رو شد، به همین خاطر فراخودکارسازی^۳ شکل گرفت که قلب انقلاب صنعتی چهارم به شمار می رود. انقلاب صنعتی چهارم هم

¹ Bag

² Industry 4.0

³ Hyperautomation

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، 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 راه‌حل‌های فراخودکارسازی، 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 برنامه‌ریزی و استراتژی تمرکز کنند. خودکارسازی شرکت را قادر می‌سازد تا ارزش ادغام‌ها را بدون دردسر با فناوری‌های حجیم اولیه و پلت‌فرم‌های داده متنوع نشان دهد (رودریگز و ویندلر، ۲۰۲۴).

ابزارهای صنعت چهارم که یکی از مهم‌ترین آنها فراخودکارسازی است به تولیدکننده‌ها 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 امکان‌پذیر 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 بین‌المللی کمک می‌کند که بسیار ارزشمند است (بانیلا و همکاران، ۲۰۲۳). به همین خاطر پژوهش حاضر به دنبال طراحی مدل دستیابی به فراخودکارسازی در صنعت نفت و گاز کشور با رویکرد صنعت ۴ است.

¹ Alnahhal

² Rodriguez & Winkler

³ Bonilla

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 بنیان گزار آن بود، مطرح کرد. کاربرد فناوری اطلاعات و ارتباطات در صنعت، ویژگی این انقلاب است. همچنین به عنوان «صنعت ۴» نیز شناخته می شود چون بر اساس تحولات انقلاب صنعتی سوم بنا شده است. سیستم های تولیدی که قبلاً دارای فناوری کامپیوتری بودند. با اتصال به شبکه گسترش می یابند و به اصطلاح در اینترنت دارای یک دوقلو دیجیتالی هستند. این موارد امکان ارتباط با سایر مکان ها و خروجی اطلاعات مربوط به خود را فراهم می کنند و این مرحله بعدی در اتوماسیون تولید است. (دالیگوناری و همکاران، ۲۰۲۳).

انقلاب صنعتی چهارم دوازده دسته از فناوری مهم را وارد زندگی انسان ها می کند. صنعت ۴ پتانسیل با گرد هم آیی این توانمندی ها امکان ارائه پیشرفت های باورنکردنی در محیط های کارخانه ای را دارد (گودا و سرانگا، ۲۰۲۴). صنعت نسل ۴ می تواند افراد را به شبکه های هوشمندتر با پتانسیل کار با بهره وری بیشتر بکشاند. دیجیتالی شدن محیط تولید برای رساندن اطلاعات مناسب به فرد مناسب در زمان مناسب، با استفاده از روش های انعطاف پذیرتری کار را انجام می دهد (گارتی و همکاران، ۲۰۲۲). گرچه صنعت ۴ ریشه در حوزه تولید دارد اما موضوع آن از تولید فراتر می رود. فناوری های هوشمند صنعت ۴ نحوه طراحی، ساخت، استفاده و نگهداری از محصولات و قطعات را دگرگون می کنند. آنها می توانند خود سازمان ها 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، 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 فناوری های پیشرفته مانند هوش مصنوعی (AI)، یادگیری

¹ Dalegonare

² Gouda & Saranga

³ Garetti

⁴ Yong

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^۱، ۲۰۲۳).

توجه به این نکته مهم است که فراخودکارسازی قرار نیست به طور 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^۲، 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 به طور بهینه انجام می‌شوند. این باعث می‌شود تا خروجی‌ها به طور خودکار تولید شوند و بدون دخالت انسان به طور 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^۳، ۲۰۲۱).

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 پهپادها 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

¹ Kerchmer

² Raiberiou

³ Borent

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 پیش‌بینی 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 هاپیر اتوماسیون خوش آمد بگوییم. به بیان ساده، به ترکیبی از مجموعه‌های مکمل ابزار اتوماسیون اشاره دارد که می‌تواند رویکردهای فرآیندی و عملکردی را برای هاپیر اتوماسیون 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 محرک های الکترومکانیکی خطی را ارائه کرد.

دیوادم (۲۰۲۱) فراخودکارسازی در صنعت بانکداری را مورد مطالعه قرار داد. بررسی های 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 بانک ها سهم عادلانه خود را داشته اند. از انجام انتظارات ناگهانی مشتری گرفته تا پلتفرم های دیجیتال، تغییر نقش های کارکنان، بی ثباتی قابل توجه در بازار سرمایه جهانی و مرخصی کارکنان. تأثیر همه گیری در صنعت، پذیرش فناوری های نوظهور را تسریع کرده است و یکی از این فناوری ها که نوید نتایج را می دهد، فراخودکارسازی (هایپرا توماسیون) است.

جاوید (۲۰۲۱) فراخودکارسازی برای افزایش اتوماسیون در صنایع را مطالعه کرد. این پژوهش با مطالعه پژوهش های 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 فعالیت های دستی و اتوماسیون و بهینه سازی مراحل دشوار کار تأکید می کند. متخصصان در فرآیندهای تجاری می توانند فرصت های اتوماسیونی را که بسیاری از کارکنان مدیریت می کنند، بهتر تشخیص دهند.

اسریواتساوا و همکاران (۲۰۲۰) کاربرد فراخودکارسازی در تبدیل پذیره نویسی عملیات در صنعت بیمه عمر را مورد مطالعه قرار دادند. آنها در این پژوهش نشان دادند که با افزایش حجم داده ها در این پس زمینه ناکارآمد، کار بیمه گر سخت تر می شود، خطرات پیچیده ای پیرامون حفاظت سایبری، فجایع طبیعی و کلاهبرداری در حال ظهور است. در عین حال، کارگزاران توزیع کننده، خواستار این هستند که پذیره 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 فناوری های صنعت ۴ برای ارتقای پایداری و رقابت پذیری جهانی تولید دارویی را طراحی نمودند. این پژوهش به صورت کیفی و با رویکرد نظریه داده بنیاد انجام پذیرفت. داده های لازم از طریق مصاحبه های

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 محقق‌ساخته 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 محقق‌ساخته 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 چهارم پرداخته است. کیانی بختیاری و موحدی موسوی (۱۴۰۰) هم در مقاله‌ای 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 سامانه‌های فیزیکی سایبری و تحول دیجیتال ایجاد شده است، پیامدهای متحولان‌های 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، زیست فناوری، اینترنت اشیا و خودروهایی 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 تامین 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 طراحی مدل دستیابی به فراخودکارسازی در صنعت نفت و گاز کشور با رویکرد صنعت ۴ 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 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 صنایع نفت و گاز کشور، دارای مدرک دکتری و بیش از ۱۰ سال سابقه مدیریت) است. لذا، در بخش کیفی، ملاک اندازه نمونه، کفایت تئوریک است؛ به این معنا که در مصاحبه با خبرگان مشارکت‌کننده در پژوهش، شاخص یا متغیر جدیدی شناسایی نشود. بنابراین ملاک کفایت نمونه،

¹ Maxqda

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	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 به‌دست‌آمده 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.

تجزیه و تحلیل یافته‌ها

هدف تحقیق حاضر توصیف پدیده فراخودکارسازی با تأکید بر صنعت ۴ 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 نمونه‌ای 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

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

جدول ۴: شاخص های استخراج شده بخش کیفی پژوهش

کد	شاخص	کد	شاخص
C1	کنترل و کاهش نوسانات کیفیت مشتقات با هوش مصنوعی و حسگرها	C11	تصمیم گیری داده محور و سریع در بازهای هدف
C2	افزایش اعتماد خریداران خارجی	C12	حذف فعالیت های زمان بر با خودکارسازی
C3	ردگیری دقیق محموله های محصولات ساخته شده	C13	تحلیل دقیق تغییرات بازارهای با الگوریتم های تحلیلی
C4	حداکثرسازی میزان انطباق محصولات با استانداردهای جهانی	C14	استقرار، ارتقاء و توسعه سطح اینترنت اشیاء در خطوط تولید و توزیع
C5	حداکثرسازی بهره وری مبتنی بر فراخودکارسازی	C15	سیستم های خودکار مبتنی بر یادگیری ماشین
C6	حداقل شدن هزینه های عملیاتی با تنظیم پارامترهای پویا	C16	طراحی سریع محصولات جدید با هوش مصنوعی و متناسب با نیاز و ذائقه بازار
C7	هوشمند سازی خطوط تولید	C17	کاهش ریسک های عملیاتی و هزینه های سربار
C8	صفر شدن خطاهای انسانی در فرایندهای تولید	C18	داده های دقیق و قابل ردگیری در فرایندهای تولید
C9	بهینه سازی حمل و نقل و بارگیری محصولات	C19	افزایش کارایی، شفافیت و مدیریت تراکنش های خط تولید با بلاک چین
C10	سیستم های خودکار مبتنی بر بینایی ماشین		

سپس در بخش کمی برای بخش دیمتل ابتدا ماتریس ارتباط مستقیم شاخص ها که با نظر ۱۷ خبره که در بخش روش شناسی توضیح داده شده با هم تشکیل شده است. در این بخش میزان تاثیر گذاری 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.

در گام بعدی نرمال کردن ماتریس ارتباطات مستقیم انجام می شود. برای نرمالیزه کردن ماتریس به دست 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 نرمال سازی تمام درایه های ماتریس ارتباط مستقیم را بر عدد ۵۱ تقسیم می شود. در ادامه ماتریس روابط کل (T) محاسبه می شود. برای محاسبه ماتریس ارتباط کامل، ابتدا ماتریس همانی ($I_{19 \times 19}$) تشکیل می شود. سپس ماتریس همانی را منهای

ماتریس نرمال کرده و ماتریس حاصل معکوس می شود. در نهایت ماتریس نرمال را در ماتریس معکوس ضرب می کنیم. 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	۰.۲۹	۰.۵۹	۰	۰.۷۸	۰.۲۰	۰	۰	۰.۵۹	۰.۲۹	۰	۰	۰.۲۹	۰.۷۸	۰.۷۸	۰.۲۰
C2	۰.۵۹	۰	۰	۰	۰	۰.۲۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۲۹	۰	۰	۰	۰	۰.۲۹	۰.۲۰	۰
C3	۰.۵۹	۰.۵۹	۰	۰.۵۹	۰.۷۸	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۷۸	۰	۰	۰.۲۰	۰.۲۹	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	۰.۲۹	۰	۰.۵۹	۰	۰.۵۹	۰	۰.۲۹	۰	۰	۰	۰.۵۹	۰	۰	۰	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰
C6	۰.۵۹	۰.۲۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۲۹	۰.۲۰	۰	۰	۰	۰.۵۹	۰	۰
C7	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۲۹	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰	۰.۲۹	۰.۵۹	۰	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۲۹
C8	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۲۰	۰	۰	۰.۲۹	۰	۰	۰.۲۰	۰	۰	۰	۰.۲۰	۰.۵۹	۰.۲۹	۰
C9	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۵۹	۰	۰	۰	۰.۲۹	۰	۰	۰	۰.۲۰	۰.۵۹	۰.۲۹	۰
C10	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۲۹	۰	۰	۰.۲۹	۰.۵۹	۰	۰	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰
C11	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۲۹	۰	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۷۸	۰	۰	۰.۷۸	۰	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۲۹	۰	۰.۵۹
C12	۰.۵۹	۰	۰	۰	۰.۵۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
C13	۰.۵۹	۰.۲۹	۰	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰	۰	۰.۲۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹
C14	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۷۸	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۲۹	۰	۰.۷۸	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰
C15	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۷۸	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۷۸	۰.۷۸	۰.۲۹	۰.۷۸	۰	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹
C16	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۵۹	۰.۲۹	۰	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰	۰.۲۹	۰	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹
C17	۰.۵۹	۰	۰	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰	۰.۵۹	۰	۰	۰.۵۹	۰.۲۹	۰.۲۹	۰	۰.۲۰	۰	۰	۰.۷۸	۰.۷۸
C18	۰.۵۹	۰.۲۹	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	۰.۲۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۵۹	۰.۲۰	۰	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 می آید. سپس D+R و D-R محاسبه می شود. 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 می شود بر اساس مقادیر D+R و D-R جدول هشت می توان نمودار علی معیارها را تعیین کرد.

جدول ۸: اهمیت و تأثیرگذاری شاخص ها 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 محصولات	معلول
C3	ردگیری دقیق محموله های محصولات ساخته شده	علت
C4	حداکثرسازی میزان انطباق مشتقات با استانداردهای جهانی	معلول
C5	حداکثرسازی بهره وری مبتنی بر فراخودکاری	معلول
C6	حداقل شدن هزینه های عملیاتی با تنظیم پارامترهای پویا	معلول
C7	هوشمند سازی خطوط تولید	علت
C8	صفرشدن خطاهای انسانی در فرایندهای تولید	معلول
C9	بهینه سازی حمل و نقل و بارگیری محصولات	علت
C10	سیستم های خودکار مبتنی بر بینایی ماشین	علت
C11	تصمیم گیری داده محور و سریع در بازارهای هدف	علت
C12	حذف فعالیت های زمان بر با خودکاری	معلول
C13	تحلیل دقیق تغییرات بازارهای با الگوریتم های تحلیلی	علت
C14	استقرار، ارتقاء و توسعه سطح اینترنت اشیا در خطوط تولید و توزیع	علت
C15	سیستم های خودکار مبتنی بر یادگیری ماشین	علت
C16	طراحی سریع محصولات جدید با هوش مصنوعی و متناسب با نیاز و ذائقه بازار	علت
C17	کاهش ریسک های عملیاتی و هزینه های سربار	معلول
C18	داده های دقیق و قابل ردگیری در فرایندهای تولید	معلول
C19	افزایش کارایی، شفافیت و مدیریت تراکنش های خط تولید با بلاک چین	علت

با توجه به اینکه در بخش دیمتل روابط علی و معلولی شاخص های پژوهش با کمک جامعه آماری بخش کمی (۱۷ خبره) مشخص شد در ادامه بخش کمی و برای رسیدن به مدلی مناسب تاثیرگذاری شاخص ها نیز با در نظر گرفتن روابط علی و معلولی ۱۹ شاخص فرایند کارسازی در صنعت ۴ با روش مدلسازی ساختاری تفسیری انجام می گیرد. در واقع خروجی روش دیمتل به عنوان ورودی بخش مدلسازی ساختاری تفسیری مورد استفاده قرار می گیرد تا در ادامه علاوه بر روابط علی- معلولی میزان تاثیرگذاری و تاثیرپذیری مولفه های نیز اضافه شده تا مدلی دقیق تر 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. در حالیکه مدلسازی ساختاری-تفسیری با ماتریس ۰ و ۱ شروع می شود بنابراین انعطاف بسیار پایینی برای دریافت ورودی دارد. در این بخش با استفاده از روش ISM به بررسی سطوح تاثیرگذاری و تاثیرپذیری عوامل پرداخته می شود. استفاده از خروجی روش دیمتل به عنوان ورودی ISM ابزاری کارآمد جهت بررسی سطوح تاثیرگذاری با استفاده از روابط دیمتل می باشد (وانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). در واقع چون ماهیت دو روش دیمتل و ISM تقریباً مشابه یکدیگر می باشد بنابراین در مواقعی که از دو پرسشنامه برای تحلیل هر کدام استفاده شود چون ورودی های 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 می تواند نتایج دقیق تری را حاصل کند. در ادامه گام های این روش آورده شده است. در این گام ابتدا ماتریس دستیابی تشکیل می شود. در این گام باید از ماتریس ارتباطات کل دیمتل مقدار آستانه (میانگین حسابی) گرفت و سپس درایه هایی که بیشتر از مقدار آستانه هستند مقادیر ۱ و در غیر اینصورت صفر می گیرند مقدار آستانه معیارها ۰,۰۶ است. در سلول هایی 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 می باشد.

^۱ Wang

جدول ۹: روابط معنی دار بین شاخص ها

	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	.	
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
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	.
C19	۱	.	۱	۱	۱	۱	۱	۱	.	.	.	۱	۱	.	.	.	۱	۱	۱	

در ادامه می بایست 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 چنینی اصلاح و ایجاد شوند. این سازگاری با استفاده از روابط ثانویه که ممکن است وجود نداشته باشند به ماتریس دستیابی اولیه افزوده می شوند. در جدول ۱۰ سلول های 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 می بایست سطوح شاخص ها تعیین شود. در این گام مجموعه معیارهای ورودی (پیش نیاز) و خروجی (دستیابی) برای هر معیار محاسبه می شود و سپس شاخص های 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 آن ها از جدول حذف و عملیات دوباره بر روی دیگر معیارها تکرار می شود. خروجی ها و ورودی ها از ماتریس دستیابی اولیه سازگار شده استخراج می شود برای این کار، تعداد ۱ ها در هر سطر بیانگر خروجی، و تعداد ۱ ها در ستون برابر ورودی هستند که برای تعیین سطح اول، نتایج در جدول ۱۱ آورده شده است.

جدول ۱۱: شاخص های 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

C11	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	
C12	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-	1
C13	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	
C14	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C14-	C14-	
C15	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C3-C7-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C17-C19	C3-C7-C10-C11-C13-C15-C16-C17-C19	
C16	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C15-C16-C17-C18-C19	C3-C7-C8-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19	C3-C7-C8-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C17-C18-C19	
C17	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	1
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، شاخص های سطح یک استخراج شده است که شامل مولفه های C1، C2، C4، C5، C6، C8، C12، C17 و C18 می باشد. حال برای تعیین شاخص های 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: شاخص های سطح ۲

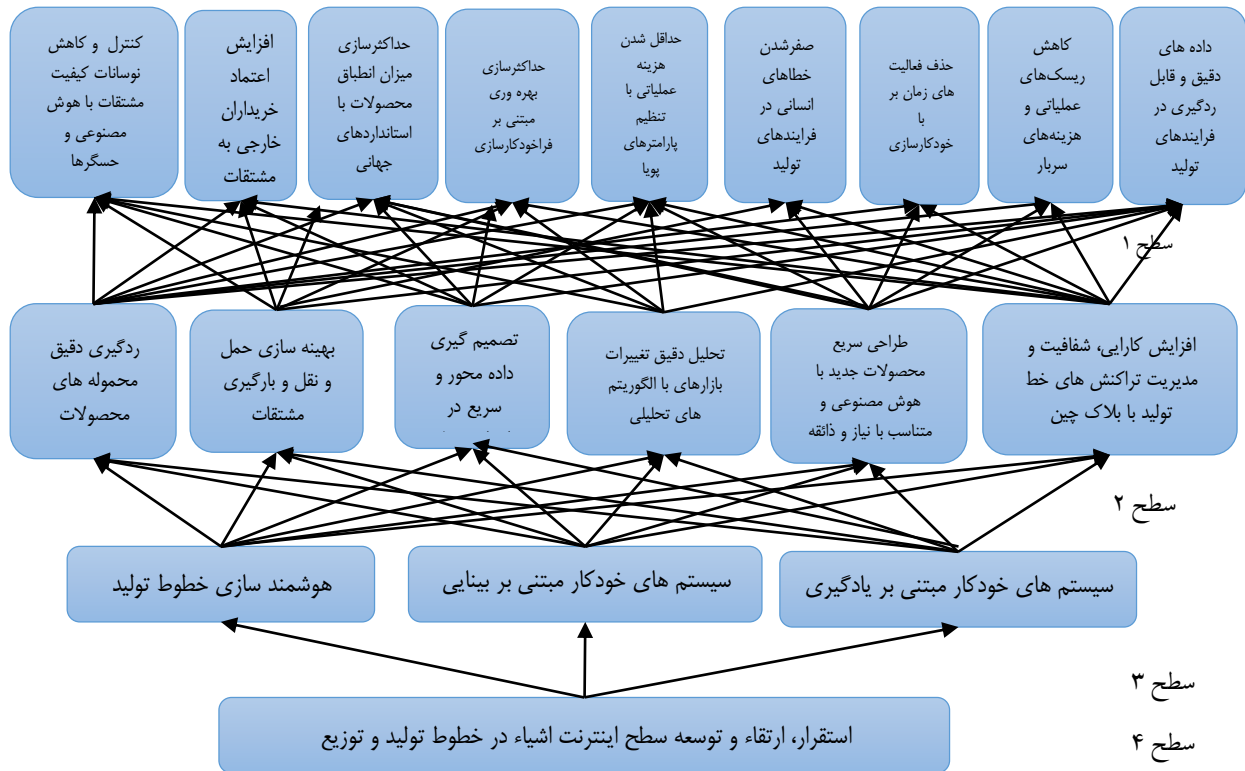
سطح	اشتراک	ورودی	خروجی	نام شاخص
2	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	C3
	C3-C7-C10-C11-C13-C15-C16-C19	C3-C7-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C15-C16-C19	C7
2	C3-C9-C11-C13-C16-C19	C3-C7-C9-C10-C11-C13-C14-C15-C16-C19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

در جدول ۱۱، شاخص های سطح دوم استخراج شده است که شامل مولفه های C3، C9، C11، C13، C16 و C19 می باشد. حال برای تعیین شاخص های 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: شاخص های سطح ۳ و ۴

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

در گام آخر با استفاده از سطوح بدست آمده از شاخص ها، شبکه تعاملات ISM رسم می شود. اگر بین دو متغیر 1 و 2 رابطه باشد آن رابطه به وسیله یک پیکان جهت دار نشان داده می شود. دیاگرام نهایی ایجاد شده که با حذف حالت های تعدی و نیز با استفاده از بخش بندی سطوح بدست آمده است در شکل یک نشان داده شده است.



شکل ۱: مدل مدل دستیابی به فراخودکارسازی در صنعت نفت و گاز کشور با رویکرد صنعت ۴

بحث و نتیجه گیری

این پژوهش باهدف طراحی مدل دستیابی به فراخودکارسازی در صنعت نفت و گاز کشور با رویکرد صنعت ۴ انجام شد. در تفسیر یافته های پژوهش می بایست بیان کرد که استقرار، ارتقاء و توسعه سطح اینترنت اشیا در خطوط تولید و توزیع است تاثیرگذارترین شاخص در رویکرد فراخودکارسازی در صنعت ۴ برای صنعت نفت و گاز کشور است. در سطح سوم مدل نیز نشان داده شده که سیستم های خودکار مبتنی بر یادگیری ماشین از هوشمند سازی خطوط تولید تاثیر می پذیرد. هرچند در کنار آن سیستم های خودکار مبتنی بر بینایی ماشین قرار دارند که می توانند خطا در خطوط تولید را حداقل کنند. هوشمند سازی خطوط تولید در سطح سوم نیز از ارتقاء و توسعه سطح اینترنت اشیا در خطوط تولید و توزیع تاثیر می پذیرد. واقعیتی که در سطح سوم مدل به خوبی آشکار است اینکه هوشمند سازی خطوط تولید در صنعت نفت و گاز، که اغلب تحت عنوان صنعت هوشمند یا صنعت ۴ شناخته می شود، یک تحول دیجیتالی گسترده است که هدف آن استفاده از فناوری های

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 داده‌محور و سریع در بازارهای هدف، بهینه‌سازی حمل و نقل و بارگیری مشتقات و ردگیری دقیق محموله‌های محصولات. همگی آنها در حقیقت عوامل اصلی افزایش رقابت‌پذیری و سهم بازار در سطح بین‌المللی هستند.

البته پژوهش حاضر با پژوهش‌های دیگر 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 سلسله‌مراتبی هویت علی و معلولی شاخص‌های مدل را نیز بررسی و مشخص نمود و با هدف دستیابی به فراخودکارسازی 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 زمینه‌تکنولوژیکی 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 دستیابی به فراخودکارسازی در بازارهای جهانی مدلی نیز ارائه نمود که این مدل از جنبه بومی نیز برخوردار است.

پیشنهاد‌های کاربردی این پژوهش در رابطه با استقرار، ارتقاء و توسعه سطح اینترنت اشیا در خطوط تولید و توزیع صنعت نفت و گاز 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 بین‌المللی 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 دستیابی به صنعت نفت و گاز 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 نفت و گاز می‌بایست سرلوحه مدیران صنعت نفت و گاز قرار گیرد. پیاده‌سازی اینترنت اشیا در صنعت نفت و گاز 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 نفت و گاز با مدل‌سازی‌های ریاضی گام برداند.

منابع:

- ابوالحسن، حبیب اله، نعیمی، عبدالله، هاشمی، سید محمود. (۱۴۰۲). ارائه الگوی توسعه بازارهای بین المللی (نمونه کاوی: محصولات پتروشیمی). نشریه مدیریت بازرگانی، ۲(۱۶)، ۱۵۱-۱۳۸.
- اریاب، حمیدرضا، مسعودی فر، نیما و حسن زاده، غلام. (۱۴۰۴). نقش سیستم های تولید در افزایش فروش محصولات پتروشیمی، مجله مدیریت صنعتی، شماره ۴۹، ۱۶۱-۱۴۸.
- اسعدی، مرضیه. (۱۳۹۸). انقلاب صنعتی چهارم و اقتصاد دیجیتال: پیشران های 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 سیاست های 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)، ۷۳-۹۵.
- رشیدی نیا، مریم، کریمی، فرزاد و قربانی دینانی، حسن، (۱۴۰۳)، شناسایی و اولویت بندی فرصت های صادراتی محصولات پتروشیمی ایران در کشورهای اقتصادی اتحادیه اوراسیا، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، شماره ۵۷، ۱۱۰-۸۵.
- شاهمرادی، بهروز، آدینه، عاطفه و سمندرعلی اشتهاوردی، مژگان، افشاری، زهرا، (۱۴۰۰)، بررسی پیچیدگی محصولات پتروشیمی ایران و فرصت های پیش رو، مجله پژوهش ها و سیاست های اقتصادی، شماره ۱۰۰، ۲۸۸-۲۵۵.
- حیدری، بابک، شهریاری، محمدرضا، جلالی فراهانی، کامبیز و فارسجانی، حسن. (۱۴۰۴). توسعه چارچوب استراتژیک تحول دیجیتال مبتنی بر فناوری های صنعت ۴ برای ارتقای پایداری و رقابت پذیری 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 پژوهش های اقتصادی ایران، شماره ۶۶، ۸۷-۷۱.
- موسایی، احمد و قضاقلو، احمد. (۱۴۰۴). ارزیابی چشم انداز محصولات صنعت پتروشیمی ایران با مدل غربالگری از منظر بازار، چشم انداز مدیریت بازرگانی، شماره ۷۴، ۱۲۳-۹۸.
- مزروعی نصرآبادی، اسماعیل. (۱۴۰۲). طراحی مدل موانع پیاده سازی صنعت نسل ۴ در بخش مراقبت های بهداشتی با رویکرد مدل سازی ساختاری تفسیری فراگیر فازی، فصلنامه مدیریت بهداشت و درمان، شماره ۲۵، ۱۴-۹.
- ورهرامی، ویدا، درگاهی، حسن و بیرانوند، فرانک، (۱۳۹۹)، تأثیر خصوصی سازی بر عملکرد صادراتی شرکت های پتروشیمی ایران، فصلنامه اقتصاد و الگوسازی، ۶۳، ۹۷-۷۸.
- 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, Salem, Alsharef, Mohammad, Hashem Alyami, Abdullah , Baarimah, Hamad R. Almujiabah & Madhusudhan, Bangalore Ramu.(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.
- 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..
- 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.
- Garetti, M., & Taisch, M., (2022). Sustainable manufacturing: trends and research challenges. *Production Planning & Control* 23 (2), 83–104.
- Tyagi, Shagun., RASTOGI, Neha., Kapil Joshi.(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),215-136.
- Li, 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.
- Gundar,M.,Berawi, M.A. (202023). 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. *Sustainability and Innovation in Manufacturing Enterprises*, 221–231.
- 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.
- 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.
- Raiberiou, J. & C. Collins-Dodd (2022); “I Industry 4.0 Technologies: Opportunities in the Sustainable Supply Chain Management. In *Industry 4.0 Technologies: Sustainable Manufacturing Supply Chains: Volume 1—Theory, Challenges, and Opportunity* no.21(4/5), 474-495.
- Borent, X., H. Yan and W. Yuan. (2023). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of intelligent manufacturing*, 31(1), 127-182.
- 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.