

Artificial Intelligence in Iran's Petrochemical Industry: Challenges and Solutions

Siavash Ahmadi¹, Babak Hossein Khalaj², Shaghayegh Najari³

1- Electronics Research Institute, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

(Corresponding Author: s.ahmadi@sharif.edu)

2- Electrical Engineering Department, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

3- Sharif ISDS Center, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

Abstract

The Iranian petrochemical industry, as a cornerstone of the national economy, plays a critical role in revenue generation and energy security. However, it faces significant challenges, including global oil and gas price fluctuations, international sanctions, rising production costs, aging infrastructure, and an urgent need to enhance productivity and operational efficiency. Artificial intelligence (AI), as a transformative technology, offers immense potential to address these challenges. Through big data analysis, precise forecasting, process optimization, and automation of operations, AI can significantly improve decision-making, reduce costs, and increase efficiency in the petrochemical sector. Despite its potential, the implementation of AI in Iran's petrochemical industry encounters multiple barriers, such as technical limitations, a shortage of skilled professionals, inadequate infrastructure, and resistance to organizational change. This paper investigates Iran's position within the AI maturity hierarchy in the petrochemical sector, categorizing development into four levels: real-time monitoring, event prediction, outcome simulation, and full process automation. The findings reveal that Iran primarily operates at the early stages of AI maturity. Advancing to higher levels requires substantial investments in domestic technologies, infrastructure development, workforce training, and the establishment of comprehensive legal and ethical frameworks. This study concludes by offering actionable recommendations for policymakers and industry leaders to facilitate AI adoption and fully harness its opportunities, enabling the Iranian petrochemical industry to remain competitive in an increasingly dynamic global market.

Keywords: Artificial Intelligence, Petrochemical Industry, Oil and Gas, Infrastructure, Technology.

How to Cite this Paper:

Ahmadi, S., Hossein Khalaj, B. & Najari, S (2024). **Artificial Intelligence in Iran's Petrochemical Industry: Challenges and Solutions.** *Journal of Science & Technology Policy*, 17(4), 31-39. {In Persian}.

doi: 10.22034/jstp.2025.11792.1825

هوش مصنوعی در صنایع پتروشیمی ایران: چالش‌ها و راهکارها

سیاوش احمدی^۱، بابک حسین‌خلج^۲، شقایق نجاری^۳

۱- پژوهشکده الکترونیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران. (نویسنده عهده‌دار مکاتبات: s.ahmadi@sharif.edu)

۲- دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

۳- مرکز علوم داده، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

چکیده

صنعت پتروشیمی ایران به‌عنوان یکی از ارکان اصلی اقتصاد کشور، با چالش‌هایی همچون نوسانات قیمت جهانی نفت و گاز، تحریم‌های بین‌المللی، افزایش هزینه‌های تولید و نیاز به ارتقای بهره‌وری مواجه است. هوش مصنوعی به‌عنوان یک فناوری تحول‌آفرین، قابلیت بالایی برای بهبود عملکرد این صنعت از طریق تحلیل داده‌های بزرگ، پیش‌بینی دقیق، بهینه‌سازی فرآیندها و خودکارسازی عملیات دارد. با این حال، به‌کارگیری هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی ایران با موانعی همچون محدودیت‌های فنی، کمبود نیروی انسانی متخصص، نبود زیرساخت‌های مناسب و مقاومت در برابر تغییرات سازمانی روبرو است. این مقاله با بررسی جایگاه ایران در سطوح تکامل هوش مصنوعی در صنایع پتروشیمی، چالش‌ها و فرصت‌های پیش‌رو را شناسایی و راهکارهایی برای توسعه این فناوری ارائه می‌دهد. چهار سطح تکامل هوش مصنوعی شامل نظارت لحظه‌ای، پیش‌بینی رویدادها، شبیه‌سازی نتایج و خودکارسازی کامل فرآیندها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهند که ایران عمدتاً در سطوح اولیه تکامل هوش مصنوعی قرار دارد و برای دستیابی به سطوح بالاتر، نیازمند سرمایه‌گذاری در فناوری‌های داخلی، توسعه زیرساخت‌ها، آموزش نیروی متخصص و تدوین چارچوب‌های قانونی و اخلاقی است. در نهایت، پیشنهاداتی برای سیاست‌گذاران و مدیران صنعتی جهت تسهیل به‌کارگیری هوش مصنوعی و استفاده از فرصت‌های آن در صنعت پتروشیمی ایران ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: هوش مصنوعی، صنعت پتروشیمی، نفت و گاز، زیرساخت، فناوری.

برای استنادات بعدی به این مقاله، قالب زیر به نویسندگان محترم مقالات پیشنهاد می‌شود:

احمدی، سیاوش، حسین‌خلج، بابک، نجاری، شقایق. (۱۴۰۳). هوش مصنوعی در صنایع پتروشیمی ایران: چالش‌ها و راهکارها. *سیاست علم و فناوری*، ۱۷(۳)، ۳۱-۳۹.

doi: 10.22034/jstp.2025.11792.1825

۱- مقدمه

سپس، سطوح تکامل هوش مصنوعی ارائه خواهد شد و در بخش یافته‌ها نیز جایگاه کشور در سطوح تکامل هوش مصنوعی تحلیل شده و چالش‌های اصلی شناسایی می‌شوند و تلاش می‌شود راهکارهایی برای تسهیل به‌کارگیری این فناوری ارائه گردد. در نهایت، مقاله با جمع‌بندی یافته‌ها و ارائه پیشنهاداتی برای سیاست‌گذاران و مدیران صنعتی به پایان می‌رسد. امید است این مقاله بتواند به‌عنوان مرجعی برای سیاست‌گذاران، مدیران صنعتی و پژوهشگران در جهت توسعه و اجرای موفقیت‌آمیز پروژه‌های هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی ایران مورد استفاده قرار گیرد.

۲- پیشینه تحقیق

صنعت پتروشیمی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی جهان، از دهه‌های گذشته تاکنون دستخوش تحولات گسترده‌ای شده است. این صنعت که در ابتدا به‌عنوان بخشی از صنعت نفت و گاز شکل گرفت، به‌تدریج به‌عنوان یک حوزه مستقل با ارزش افزوده بالا مطرح شد. تاریخچه مراجع مرتبط با صنعت پتروشیمی و کاربرد فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی در آن، به چند دوره اصلی تقسیم می‌شود:

در دوره‌ای که صنعت پتروشیمی به‌عنوان بخشی از صنعت نفت و گاز شروع به رشد کرده بود تحقیقات اولیه بیشتر بر روی فرآیندهای شیمیایی پایه مانند کراکینگ، پلیمریزاسیون و تولید مواد اولیه پتروشیمیایی متمرکز بود. در این زمان، منابع علمی عمدتاً بر روی بهینه‌سازی فرآیندهای شیمیایی و افزایش بازده تولید متمرکز بودند. مقالات و تحقیقات این دوره بیشتر به جنبه‌های فنی و مهندسی فرآیندها پرداختند و کمتر به مسائل مدیریتی یا فناوری‌های نوین توجه شد [۱].

سپس صنعت پتروشیمی به‌طور گسترده‌ای جهانی شد و شرکت‌های بزرگ پتروشیمی در سراسر جهان شروع به توسعه بازارهای بین‌المللی کردند. تحقیقات این دوره بیشتر بر روی مسائل اقتصادی، تجاری و مدیریت زنجیره تأمین متمرکز بود. همچنین، با ظهور فناوری‌های اطلاعاتی، تحقیقاتی در زمینه استفاده از سیستم‌های اطلاعاتی برای مدیریت فرآیندهای پتروشیمی انجام شد. در این دوره،

صنعت پتروشیمی، به‌عنوان یکی از ارکان استوار اقتصاد ایران، نقشی بی‌بدیل در تولید محصولات با ارزش افزوده بالا، ایجاد اشتغال پایدار و توسعه صادرات غیرنفتی ایفا می‌کند [۱]. با این حال، این صنعت بزرگ در مواجهه با چالش‌های متعددی از جمله نوسانات قیمت جهانی نفت و گاز، تحریم‌های بین‌المللی، افزایش هزینه‌های تولید و ضرورت ارتقای بهره‌وری قرار دارد [۲]. در این میان، فناوری‌های نوین، به‌ویژه هوش مصنوعی، به‌عنوان راه‌حلی تحول‌آفرین و کارآمد مطرح شده‌اند که می‌توانند صنعت پتروشیمی ایران را در عبور از این چالش‌ها یاری کرده و آن را به سمت توسعه پایدار و رقابت‌پذیری جهانی سوق دهند [۳ و ۴].

هوش مصنوعی با قابلیت‌های بی‌نظیر خود در تحلیل داده‌های بزرگ، پیش‌بینی دقیق، بهینه‌سازی فرآیندها و خودکارسازی عملیات، قابلیت بالایی برای بهبود عملکرد صنعت پتروشیمی دارد. با این حال، به‌رغم مزایای چشمگیر این فناوری، به‌کارگیری آن در صنعت پتروشیمی ایران با چالش‌های متعددی همراه است. این چالش‌ها شامل محدودیت‌های فنی، کمبود نیروی انسانی متخصص، نبود زیرساخت‌های مناسب و مقاومت در برابر تغییرات سازمانی هستند [۳]. بررسی این چالش‌ها و ارائه راهکارهای عملی برای غلبه بر آن‌ها، موضوعی است که نیازمند توجه جدی است.

هدف این مقاله، بررسی جایگاه ایران در سطوح تکامل هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی و ارائه راهکارهای عملی برای غلبه بر چالش‌های موجود است. در این راستا، با بازدید از دو پالایشگاه بزرگ در ایران، وضعیت فعلی به‌کارگیری هوش مصنوعی در این صنعت بررسی شده است. سپس، جایگاه ایران در سطوح تکامل هوش مصنوعی تحلیل شده و چالش‌های اصلی شناسایی می‌شوند. در ادامه، راهکارهایی برای تسهیل به‌کارگیری این فناوری ارائه می‌شود. در نهایت، مقاله با جمع‌بندی یافته‌ها و ارائه پیشنهاداتی برای سیاست‌گذاران و مدیران صنعتی به پایان می‌رسد.

این مقاله با بیان اهمیت موضوع و هدف تحقیق آغاز می‌شود. در ادامه، مروری بر پیشینه موضوع انجام شده تا تحقیقات در حوزه هوش مصنوعی و صنعت پتروشیمی بررسی شود.

مفاهیمی مانند مدیریت یکپارچه زنجیره تأمین و برنامه‌ریزی منابع سازمانی وارد مباحث صنعت پتروشیمی شدند [۲]. با پیشرفت فناوری‌های دیجیتال، صنعت پتروشیمی نیز وارد دوره تحول دیجیتال شد. در این دوره، ادبیات علمی به‌طور فزاینده‌ای بر روی کاربرد فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، کلان‌داده و هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی متمرکز شده و نشان داد که این فناوری‌ها می‌توانند به‌طور چشمگیری بهره‌وری، کیفیت محصولات و ایمنی فرآیندها را بهبود بخشند. مقالات متعددی در این دوره به بررسی کاربردهای هوش مصنوعی در پیش‌بینی خرابی تجهیزات، بهینه‌سازی فرآیندهای شیمیایی و مدیریت انرژی پرداختند [۵].

۲-۱ فرصت‌های کاربرد هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی

در سال‌های اخیر، هوش مصنوعی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین فناوری‌های تحول‌آفرین در صنعت پتروشیمی مطرح شده و تحقیقات به‌طور گسترده‌ای بر روی کاربردهای هوش مصنوعی در بخش‌های مختلف صنعت پتروشیمی، از جمله اکتشاف و استخراج (بالادست)، انتقال و ذخیره‌سازی (میان‌دست) و پالایش و تولید محصولات نهایی (پایین‌دست) متمرکز شده‌اند تا نشان دهند که هوش مصنوعی می‌تواند دقت پیش‌بینی‌ها را افزایش دهد، فرآیندهای تولید را بهینه‌سازی کند و هزینه‌های عملیاتی را کاهش دهد [۶].

در سال‌های اخیر، مقالات متعددی در حوزه استفاده از هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی منتشر شده‌اند که به موضوعات مختلفی پرداخته‌اند. این موضوعات را می‌توان در سه زیرشاخه اصلی بالادست، میان‌دست و پایین‌دست دسته‌بندی کرد:

در بخش بالادست هوش مصنوعی به‌طور گسترده‌ای در اکتشاف و استخراج نفت و گاز به کار گرفته شده است. تحقیقات نشان می‌دهد که الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند با تحلیل داده‌های لرزه‌ای، دقت شناسایی مخازن نفت و گاز را افزایش دهند. همچنین، هوش مصنوعی در بهینه‌سازی عملیات حفاری و پیش‌بینی شرایط حفاری نقش مهمی ایفا کرده است. علاوه بر این، مدل‌های پیش‌بینی مبتنی

بر هوش مصنوعی برای مدیریت تولید و افزایش بازدهی چاه‌های نفت و گاز نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۶]. در بخش میان‌دست هوش مصنوعی به‌طور عمده در مدیریت انتقال و ذخیره‌سازی نفت و گاز استفاده شده است. این فناوری با تحلیل داده‌های بلادرنگ، امکان بهینه‌سازی مدیریت خطوط لوله و کاهش تلفات انرژی را فراهم می‌کند. همچنین، هوش مصنوعی در پیش‌بینی تقاضا و بهینه‌سازی جریان انتقال نفت و گاز نقش کلیدی دارد. علاوه بر این، استفاده از هوش مصنوعی برای شناسایی نقاط خطرناک و پیش‌بینی حوادث احتمالی در خطوط لوله، ایمنی عملیات انتقال را به‌طور چشمگیری افزایش داده است [۷].

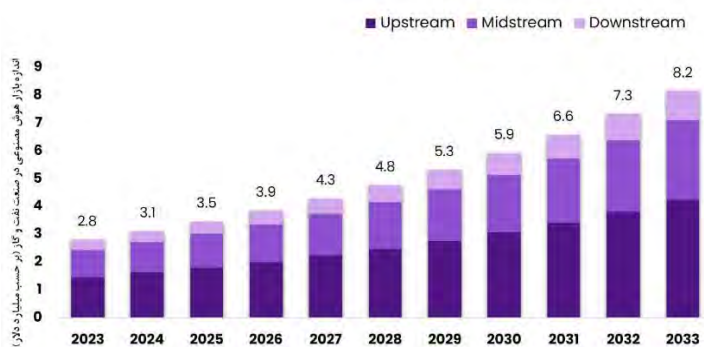
در بخش پایین‌دست، هوش مصنوعی به‌طور گسترده‌ای در پالایش و تولید محصولات پتروشیمیایی به کار گرفته شده است. این فناوری با بهینه‌سازی فرآیندهای پالایش، مصرف انرژی را کاهش داده و بازدهی تولید را افزایش می‌دهد. همچنین، هوش مصنوعی در کنترل کیفیت محصولات و کاهش ضایعات نقش مهمی ایفا می‌کند. علاوه بر این، استفاده از هوش مصنوعی برای پیش‌بینی خرابی تجهیزات و انجام نگهداری پیش‌گیرانه، زمان توقف خطوط تولید را کاهش داده و بهره‌وری را افزایش می‌دهد. همچنین، مدیریت انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از دیگر کاربردهای مهم هوش مصنوعی در این بخش است [۸].

۲-۲ جایگاه سیاستی هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی جهان

باتوجه به اهمیت صنعت نفت و گاز در بازارهای جهانی، کشورهای مختلف با توجه به نیازها، ظرفیت‌ها و اهداف راهبردی خود، سیاست‌های متنوعی را برای به‌کارگیری هوش مصنوعی در این صنعت اتخاذ کرده‌اند. این سیاست‌ها عمدتاً حول محور سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، ایجاد زیرساخت‌های دیجیتال، آموزش نیروی انسانی متخصص و همکاری‌های بین‌المللی شکل گرفته‌اند.

ایالات متحده آمریکا، به‌عنوان یکی از پیشروترین کشورها در این حوزه، با سرمایه‌گذاری‌های کلان در فناوری‌های پیشرفته و همکاری بین صنعت و دانشگاه، به توسعه الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای بهبود فرآیندهای اکتشاف، تولید و

قانونی و اخلاقی باشد. با اجرای این راهکارها، صنعت نفت و گاز می‌تواند از مزایای بی‌نظیر هوش مصنوعی برای دستیابی به توسعه پایدار و رقابت‌پذیری جهانی بهره‌مند شود.



شکل ۱) اندازه بازار هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز [۱۰]

۳- چارچوب تحلیلی

به طور معمول استفاده از مدل‌های استاندارد مانند CMMI^۲ [۱۱] یا مدل‌های بلوغ اینترنت اشیا^۳ [۱۲] برای ارزیابی وضعیت فعلی فناوری و شناسایی شکاف‌های موجود ارائه می‌گردد. این تحلیل می‌تواند نشان دهد که کدام فرایندها نیازمند ارتقا و کدام فناوری‌ها برای پر کردن این شکاف‌ها مناسب هستند. براین اساس، سطوح مختلف بلوغ فناوری صنایع را می‌توان در ۴ سطح به صورت شکل ۲ توضیح داد:



شکل ۲) سیر تکامل فناوری هوش مصنوعی در صنایع

سطح ۱- نظارت لحظه‌ای و جمع‌آوری داده‌ها: نظارت لحظه‌ای به عنوان اولین سطح بلوغ فناوری صنعت، بر جمع‌آوری و تحلیل داده‌های آنی از تجهیزات و فرایندها

بهینه‌سازی مصرف انرژی پرداخته است [۳]. از سوی دیگر، چین با تمرکز بر توسعه فناوری‌های داخلی و استفاده از کلان‌داده‌ها، توانسته است به پیشرفت‌های قابل توجهی در حوزه‌هایی مانند مدیریت خطوط لوله و بهینه‌سازی مصرف انرژی دست یابد [۶].

کشورهای اروپایی مانند نروژ، با تمرکز بر پایداری و کاهش انتشار کربن، از هوش مصنوعی برای بهبود فرایندهای تولید و کاهش اثرات زیست‌محیطی استفاده کرده‌اند. شرکت‌هایی با به‌کارگیری هوش مصنوعی، به کاهش ضایعات و بهبود ایمنی فرایندها دست یافته‌اند [۷]. در خاورمیانه، عربستان سعودی با سرمایه‌گذاری در پروژه‌های بزرگ مانند شهر هوشمند نئوم، به توسعه فناوری‌های پیشرفته هوش مصنوعی برای مدیریت منابع انرژی و کاهش هزینه‌های عملیاتی پرداخته است [۸].

کشورهای در حال توسعه مانند هند و برزیل نیز با توجه به نیازهای رو به رشد خود در حوزه انرژی، سیاست‌هایی را برای استفاده از هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز اجرا کرده‌اند. هند با توسعه فناوری‌های مقرون‌به‌صرفه و آموزش نیروی انسانی، به بهینه‌سازی فرایندهای تولید و کاهش هزینه‌های عملیاتی دست یافته است [۹]. برزیل نیز با استفاده از هوش مصنوعی در اکتشاف منابع دریایی، توانسته است دقت اکتشاف و کاهش ریسک‌های مالی را بهبود بخشد [۵].

بنابراین، تجربیات کشورهای مختلف نشان می‌دهد که بازار جهانی هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز آماده گسترش قابل توجهی است و همانطور که در شکل ۱ پیش‌بینی می‌شود رشد آن از ۲۸ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۳ به حدود ۸۲ میلیارد دلار تا سال ۲۰۳۳ خواهد رسید. این رشد که نرخ رشد سالانه مرکب^۱ معادل ۱۱.۳٪ را در طول دوره پیش‌بینی شده از سال ۲۰۲۴ تا ۲۰۳۳ نشان می‌دهد، ناشی از افزایش کاربرد فناوری‌های هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز است. این آمار نشان می‌دهد، موفقیت در به‌کارگیری هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز، مستلزم یک رویکرد جامع و مشارکتی است که شامل برنامه‌ریزی راهبردی، تخصیص منابع مناسب، توسعه زیرساخت‌های دیجیتال، آموزش نیروی انسانی متخصص و ایجاد چارچوب‌های

^۲ Capability Maturity Model Integration

^۳ Internet of Things Maturity Models

^۱ Compound Annual Growth Rate (CAGR)

خودکار به خودکارسازی کامل فرایندها با استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین می‌پردازد. در این مرحله، سیستم‌ها به طور خودکار عملیات مختلف را انجام می‌دهند و تصمیمات را بدون نیاز به دخالت انسانی اتخاذ می‌کنند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند از داده‌های سری زمانی و لحظه‌ای یاد بگیرند و به بهینه‌سازی فرایندهای تولید و مدیریت منابع بپردازند. برای مثال، یک سیستم هوشمند می‌تواند به طور خودکار بر اساس داده‌های پیشین، میزان تولید را تنظیم کند تا به حداکثر بهره‌وری برسد و از هدررفت منابع جلوگیری کند. این نوع خودکارسازی به صنایع کمک می‌کند تا هزینه‌ها را کاهش دهند، کیفیت محصولات را افزایش دهند و به سرعت به تغییرات بازار پاسخ دهند [۱۶].

۴- تحلیل وضع موجود

استفاده از هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی به عنوان یکی از محورهای اصلی تحول دیجیتال، در چهار سطح تکامل قابل بررسی است که این سطوح نشان‌دهنده میزان بلوغ فناوری و یکپارچه‌سازی آن در فرایندهای صنعتی است.

با بررسی تحقیقات پیشین و دو بازدید از صنایع پتروشیمی ایران، در ادامه به بررسی جایگاه ایران در هر یک از سطوح پرداخته و موانعی که با آن مواجه است خواهیم پرداخت و در نهایت راهکارها و توصیه‌هایی جهت غلبه بر موانع بیان خواهد شد:

سطح ۱- در سطح اول، هوش مصنوعی عمدتاً برای جمع‌آوری داده‌ها و نظارت بر فرایندها به کار می‌رود. کشورهای پیشرو مانند آمریکا، آلمان و ژاپن با بهره‌گیری از سیستم‌های پیشرفته نظارتی مانند SCADA^۱، موفق به کاهش ۱۰-۱۵٪ در هزینه‌های عملیاتی و افزایش ۵-۱۰٪ در بازدهی تولید شده‌اند [۱۷]. در ایران نیز، علی‌رغم محدودیت‌های موجود برخی شرکت‌ها از این فناوری استفاده کرده‌اند و توانسته کاهش ۵-۱۰٪ در هزینه‌های نگهداری و بهبود نسبی در نظارت بر فرایندها را به همراه داشته باشد.

در این سطح، هدف اصلی استفاده از هوش مصنوعی برای جمع‌آوری داده‌ها و نظارت بر فرایندهای صنعتی است. با این

تمرکز دارد. در این مرحله، حسگرهای پیشرفته و فناوری‌های اینترنت اشیا به کار می‌روند تا اطلاعاتی مانند دما، فشار، و سرعت تولید را به صورت پیوسته ثبت کنند [۱۳]. این داده‌ها در زمان واقعی به سیستم‌های مرکزی منتقل می‌شوند، جایی که نرم‌افزارهای تحلیلی آن‌ها را پردازش کرده و به مدیران و کارکنان اجازه می‌دهند تا وضعیت عملیات را به صورت زنده زیر نظر داشته باشند. این نوع نظارت نه تنها شفافیت را افزایش می‌دهد، بلکه امکان شناسایی سریع مشکلات و انحرافات از معیارهای عملکرد را نیز فراهم می‌آورد که به افزایش ایمنی و کارایی کمک می‌کند.

سطح ۲- قابلیت تحلیل روند و پیش‌بینی: در سطح دوم، قابلیت تحلیل روند به شناسایی الگوها و روندهای تاریخی در داده‌ها می‌پردازد. در این مرحله، با استفاده از الگوریتم‌های تحلیلی و مدل‌های آماری، داده‌های جمع‌آوری شده مورد بررسی قرار می‌گیرند تا الگوها و روندهای مشخصی شناسایی شوند. به عنوان مثال، تحلیلگران می‌توانند با تجزیه و تحلیل داده‌های فروش در ماه‌های گذشته، تغییرات فصلی و چرخه‌های اقتصادی را شناسایی کنند. این تحلیل‌ها به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا پیش‌بینی‌های دقیقی از تقاضا و نیازهای بازار داشته باشند و بر اساس آن‌ها تصمیمات راهبردی‌تری اتخاذ کنند، مانند بهینه‌سازی موجودی یا برنامه‌ریزی تولید [۱۴].

سطح ۳- شبیه‌سازی نتایج و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده: قابلیت شبیه‌سازی نتیجه تصمیم‌ها در سطح سوم هوشمند سازی، به صنایع اجازه می‌دهد تا اثرات مختلف تصمیمات را قبل از اجرای آن‌ها ارزیابی کنند. با استفاده از مدل‌سازی ریاضی و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، مدیران می‌توانند سناریوهای مختلفی را طراحی کنند و نتایج آن‌ها را بررسی کنند. به عنوان مثال، یک کارخانه می‌تواند تأثیر افزایش ظرفیت تولید بر روی هزینه‌ها، زمان تحویل و رضایت مشتریان را شبیه‌سازی کند. این رویکرد به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد تا با آگاهی کامل از پیامدهای احتمالی هر تصمیم، انتخاب‌های بهتری داشته باشند و ریسک‌های مربوط به تغییرات ناگهانی را کاهش دهند [۱۵].

سطح ۴- خودکارسازی فرایندها: در سطح چهارم، صنعت

^۱ Supervisory Control and Data Acquisition

شرکت‌های بزرگ پتروشیمی.

این راهکارها زمانی استفاده می‌شوند که صنعت در مرحله ابتدایی استفاده از هوش مصنوعی قرار دارد و نیازمند ایجاد زیرساخت‌های اولیه، آموزش نیروی انسانی و اجرای پروژه‌های آزمایشی است.

سطح ۲- در سطح دوم، هوش مصنوعی برای پیش‌بینی رویدادها و بهینه‌سازی جزئی فرایندها مورد استفاده قرار می‌گیرد. کشورهایی مانند آمریکا و آلمان با به‌کارگیری فناوری‌های پیش‌بینانه، موفق به کاهش ۲۰-۳۰٪ در هزینه‌های نگهداری و افزایش ۱۰-۱۵٪ در بهره‌وری شده‌اند [۱۸]. در ایران، شرکت‌های معدودی در حال استفاده از این فناوری‌ها هستند، اما کمبود داده‌های با کیفیت و زیرساخت‌های لازم، دقت پیش‌بینی‌ها را محدود کرده است. با این وجود، کاهش ۱۵-۱۰٪ در هزینه‌های نگهداری و بهبود نسبی در پیش‌بینی خرابی تجهیزات از جمله دستاوردهای این سطح در ایران محسوب می‌شود [۹ و ۱۹].

در این سطح، هوش مصنوعی برای پیش‌بینی رویدادها و بهینه‌سازی جزئی فرایندها به کار می‌رود. یکی از چالش‌های اصلی این سطح، کمبود داده‌های با کیفیت برای آموزش مدل‌های پیش‌بینانه است. بسیاری از شرکت‌های پتروشیمی داده‌های فرآیندی خود را به صورت متمرکز و سیستماتیک جمع‌آوری نمی‌کنند، که باعث می‌شود داده‌های موجود ناقص، پراکنده و غیرقابل اعتماد باشند. این موضوع دقت پیش‌بینی‌ها را کاهش می‌دهد و باعث می‌شود مدل‌های هوش مصنوعی نتوانند به درستی عمل کنند.

محدودیت در استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته به دلیل تحریم‌ها نیز یکی دیگر از چالش‌های این سطح است. تحریم‌ها دسترسی به نرم‌افزارها و پلتفرم‌های پیشرفته یادگیری ماشین را محدود کرده‌اند. این موضوع باعث شده است که شرکت‌های ایرانی نتوانند از آخرین فناوری‌های پیش‌بینانه استفاده کنند و مجبور به استفاده از ابزارهای قدیمی یا ناکارآمد شوند.

مقاومت مدیران و کارکنان در برابر تغییر نیز یکی از موانع اصلی است. بسیاری از مدیران و کارکنان به دلیل عدم آگاهی از مزایای فناوری‌های جدید، تمایلی به پذیرش آن‌ها ندارند.

حال، دسترسی محدود به فناوری‌های پیشرفته به دلیل تحریم‌های بین‌المللی، یکی از چالش‌های اصلی است. تحریم‌ها باعث شده شرکت‌های ایرانی به آخرین فناوری‌های نظارتی مانند سیستم‌های SCADA دسترسی نداشته باشند و از فناوری‌های قدیمی و کم‌بازده استفاده کنند. این محدودیت‌ها نه تنها باعث کاهش کارایی سیستم‌ها می‌شود، بلکه هزینه‌های نگهداری و تعمیرات را نیز افزایش می‌دهد.

کمبود نیروی متخصص برای نصب، راه‌اندازی و نگهداری سیستم‌های نظارتی نیز یکی دیگر از چالش‌های این سطح است. سیستم‌های آموزشی کشور به اندازه کافی با نیازهای صنعت هماهنگ نیستند و بسیاری از فارغ‌التحصیلان فاقد مهارت‌های عملی لازم هستند. این موضوع باعث شده که شرکت‌ها نتوانند نیروی متخصص مورد نیاز خود را تأمین کنند و در نتیجه، اجرای پروژه‌های نظارتی با مشکل مواجه شود.

هزینه‌های بالای اجرا برای شرکت‌های کوچک و متوسط نیز یکی از موانع اصلی است. اجرای سیستم‌های نظارتی پیشرفته نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه قابل توجهی است که بسیاری از شرکت‌های کوچک و متوسط توان مالی آن را ندارند. این موضوع باعث می‌شود که تنها شرکت‌های بزرگ بتوانند از این فناوری‌ها بهره‌مند شوند و شرکت‌های کوچک و متوسط از قافله پیشرفت عقب بمانند. برای رفع موانع این سطح، راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- **توسعه فناوری‌های داخلی:** ایجاد مراکز تحقیق و توسعه (RD) در شرکت‌های بزرگ پتروشیمی با همکاری دانشگاه‌ها و شرکت‌های فناوری داخلی برای طراحی سیستم‌های نظارتی بومی.
- **همکاری با شرکت‌های دانش‌بنیان:** حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در حوزه اتوماسیون صنعتی از طریق اعطای وام‌های کم‌بهره و تسهیلات مالی.
- **استفاده از فناوری‌های جایگزین:** بررسی و استفاده از فناوری‌های موجود در بازارهای غیرتحریمی مانند چین و هند که با استانداردهای جهانی سازگار هستند.
- **اجرای پروژه‌های پایلوت:** اجرای پروژه‌های پایلوت در شرکت‌های کوچک و متوسط با حمایت مالی دولت یا

می‌شود یکپارچه‌سازی سیستم‌ها با مشکل مواجه شود. این موضوع نه تنها سرعت انتقال داده‌ها را کاهش می‌دهد، بلکه خطرات امنیتی را نیز افزایش می‌دهد.

هزینه‌های بالای اجرا برای یکپارچه‌سازی سیستم‌ها نیز یکی دیگر از موانع اصلی است. یکپارچه‌سازی سیستم‌ها نیازمند سرمایه‌گذاری کلان در نصب و راه‌اندازی سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای پیشرفته است. این هزینه‌ها برای بسیاری از شرکت‌ها سنگین است و باعث می‌شود که تنها شرکت‌های بزرگ بتوانند از این فناوری‌ها بهره‌مند شوند.

چالش‌های امنیتی ناشی از یکپارچه‌سازی نیز نیازمند توجه ویژه است. یکپارچه‌سازی سیستم‌ها باعث افزایش خطرات امنیتی مانند نفوذ هکرها و از دست رفتن داده‌ها می‌شود. این موضوع می‌تواند امنیت شرکت‌ها را به خطر بیندازد و باعث بروز خسارات مالی و اعتباری شود.

بنابراین، برخی توصیه‌های رفع موانع در این سطح در ادامه ارائه شده است که در واقع زمانی قابل استفاده‌اند که صنعت به مرحله‌ای رسیده باشد که نیازمند یکپارچه‌سازی سیستم‌ها، بهبود امنیت سایبری و استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای کنترل خودکار فرآیندها است.

- **ارتقاء زیرساخت‌های فناوری اطلاعات:** سرمایه‌گذاری در توسعه شبکه‌های پرسرعت و امن در مناطق صنعتی.
- **استفاده از فناوری‌های ابری:** بهره‌گیری از پلتفرم‌های ابری داخلی یا بین‌المللی (در صورت امکان) برای ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها.
- **تدوین استانداردهای امنیتی:** ایجاد چارچوب‌های امنیتی برای محافظت از سیستم‌های یکپارچه.

سطح ۴- در سطح چهارم، سیستم‌های هوش مصنوعی به طور کامل خودمختار عمل می‌کنند و قادر به یادگیری مداوم و تصمیم‌گیری‌های پیچیده هستند. کشورهای پیشرو مانند آمریکا، چین و ژاپن با بهره‌گیری از این فناوری‌ها توانسته‌اند کاهش ۳۰-۴۰٪ در هزینه‌های عملیاتی و افزایش ۳۰-۵۰٪ در بهره‌وری را تجربه کنند [۲۰]. این موفقیت حاصل سرمایه‌گذاری کلان در تحقیق و توسعه، ایجاد زیرساخت‌های پیشرفته و همکاری‌های بین‌المللی بوده است. در مقابل، ایران به دلیل تحریم‌ها، کمبود سرمایه‌گذاری و محدودیت‌های

این مقاومت می‌تواند باعث کندی روند اجرای پروژه‌ها شود و حتی منجر به شکست پروژه‌های پیش‌بینانه شود.

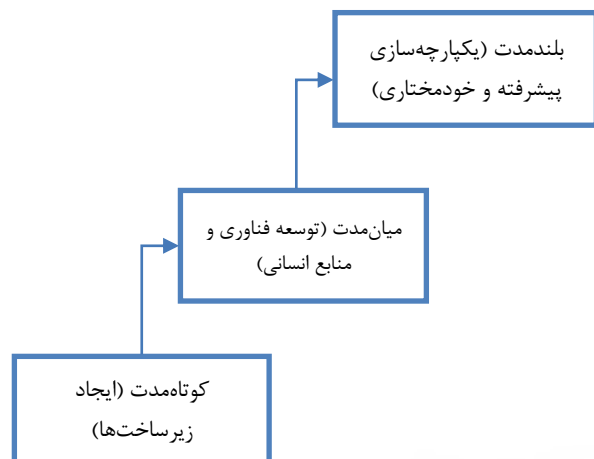
بنابراین، توصیه‌هایی که برای رفع موانع در این سطح می‌توان نام برد، زمانی اجرا می‌شوند که صنعت به سطحی از بلوغ رسیده باشد و نیازمند بهبود کیفیت داده‌ها، افزایش دقت پیش‌بینی‌ها و تغییر فرهنگ سازمانی برای پذیرش فناوری‌های جدید است. این توصیه‌ها عبارت خواهند بود از:

- **ایجاد پایگاه‌های داده ملی:** طراحی و راه‌اندازی یک سیستم متمرکز برای جمع‌آوری و ذخیره‌سازی داده‌های فرآیندی در سطح ملی.
- **استفاده از حسگرهای پیشرفته:** نصب حسگرهای پیشرفته در خطوط تولید برای جمع‌آوری داده‌های دقیق و به‌روز.
- **فرهنگ‌سازی و آموزش:** برگزاری کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی برای مدیران و کارکنان درباره مزایای فناوری‌های پیش‌بینانه.
- **ایجاد تیم‌های تغییر:** تشکیل تیم‌های تغییر متشکل از مدیران و کارکنان برای تسهیل پذیرش فناوری‌های جدید.

سطح ۳- در سطح سوم، هوش مصنوعی به طور کامل در فرآیندهای صنعتی ادغام می‌شود و امکان کنترل خودکار و بهینه‌سازی پیشرفته را فراهم می‌کند. کشورهای پیشرو مانند آمریکا، چین و کره جنوبی با استفاده از این فناوری‌ها، موفق به کاهش ۱۵-۲۰٪ در مصرف انرژی و افزایش ۲۰-۲۵٪ در بازدهی تولید شده‌اند [۲۰]. در ایران، اگرچه پروژه‌های آزمایشی در مراکزی در حال اجراست، اما محدودیت‌های فناوری و کمبود سرمایه‌گذاری، پیشرفت در این سطح را کند کرده است. با این حال، کاهش ۵-۱۰٪ در مصرف انرژی و بهبود نسبی در کنترل فرآیندها از جمله دستاوردهای اولیه در این سطح می‌باشد [۲۱].

در این سطح، هوش مصنوعی به طور کامل در فرآیندهای صنعتی ادغام می‌شود. ضعف زیرساخت‌های فناوری اطلاعات مانند نبود شبکه‌های ارتباطی پرسرعت و امن، یکی از چالش‌های اصلی این سطح است. بسیاری از شرکت‌های پتروشیمی از شبکه‌های کند و ناامن استفاده می‌کنند، که باعث

شرکت‌های دانش‌بنیان و فرهنگ‌سازی می‌توانند این موانع را برطرف کنند و مسیر پیشرفت را هموارتر سازند. پیشنهادت سیاستی ارائه شده در بخش قبل را می‌توان در سه محور اصلی اولویت‌بندی نمود (شکل ۳):



شکل ۳) اولویت‌بندی راهکارهای پیشنهادی

- در مرحله اول که کوتاه‌مدت خواهد بود، تمرکز باید بر ایجاد زیرساخت‌های پایه مانند شبکه‌های پرسرعت و امن و ایجاد پایگاه داده‌های ملی باشد. در این بخش ایجاد زیرساخت‌ها، سرمایه‌گذاری در ارتقای شبکه‌های ارتباطی، طراحی پایگاه داده‌های متمرکز ملی و استفاده از فناوری‌های ابری اهمیت ویژه‌ای دارد. این اقدامات می‌توانند با ایجاد یک پلتفرم ملی جامع برای ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها ادغام شوند.
- مرحله دوم که میان‌مدت به شمار می‌آید، شامل توسعه فناوری‌های داخلی و آموزش نیروی انسانی متخصص است. برای توسعه منابع انسانی، آموزش نیروی کار و تشکیل تیم‌های تغییر از جمله اولویت‌های کلیدی هستند. این اقدامات می‌توانند با راه‌اندازی مراکز آموزشی و تحقیقاتی مشترک به طور هماهنگ اجرا شوند و نیازهای صنعت و فناوری را به یکدیگر پیوند دهند.
- در نهایت، مرحله سوم که بلندمدت است، بر ادغام فناوری‌های پیشرفته و تحقق سیستم‌های خودمختار متمرکز خواهد بود. در حوزه سیاست‌ها و قوانین، حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان از طریق تسهیلات

فناوری، هنوز در مراحل اولیه توسعه این سطح قرار دارد. چالش اصلی ایران در این حوزه، محدودیت دسترسی به فناوری‌های پیشرفته است. تحریم‌ها دسترسی به سیستم‌های خودمختار پیشرفته را دشوار ساخته و شرکت‌های داخلی را به استفاده از ابزارهای قدیمی و ناکارآمد مجبور کرده است. علاوه بر این، کمبود نیروی متخصص برای طراحی و مدیریت این سیستم‌ها یکی دیگر از موانع اصلی به شمار می‌رود. سیستم آموزشی کشور هنوز با نیازهای صنعت هم‌خوانی کافی ندارد و فارغ‌التحصیلان آن، اغلب فاقد مهارت‌های عملی لازم هستند. نبود چارچوب‌های قانونی و اخلاقی نیز از دیگر موانع کلیدی است که می‌تواند منجر به مشکلات امنیتی، حریم خصوصی و بحران‌های اجتماعی شود.

برای غلبه بر این چالش‌ها، اجرای راهکارهای زیر ضروری است:

- **توسعه فناوری‌های داخلی:** سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه برای طراحی سیستم‌های خودمختار بومی توسط مراکز R&D و شرکت‌های دانش‌بنیان.
- **تدوین قوانین و مقررات:** ایجاد چارچوب‌های قانونی و اخلاقی برای استفاده از سیستم‌های خودمختار.
- **همکاری با نهادهای بین‌المللی:** استفاده از تجربیات و استانداردهای بین‌المللی برای تدوین قوانین و مقررات. در واقع، این راهکارها زمانی اجرا می‌شوند که صنعت به سطحی از بلوغ رسیده باشد که نیازمند سیستم‌های خودمختار، قوانین و چارچوب‌های اخلاقی برای استفاده از فناوری‌های پیشرفته هوش مصنوعی است.

۵- نتیجه‌گیری

ایران با توجه به چالش‌های موجود در حوزه فناوری‌های پیشرفته، نیازمند تدوین و اجرای راهبردهای جامع و مرحله‌ای برای بهره‌گیری از هوش مصنوعی در صنعت است. محدودیت‌هایی مانند دسترسی محدود به فناوری‌های پیشرفته، کمبود نیروی متخصص، ضعف زیرساخت‌ها و نبود قوانین مشخص، از موانع اصلی در این مسیر هستند. با این حال، راهکارهایی نظیر توسعه فناوری‌های داخلی، حمایت از

Upstream Oil and Gas Industry. *International Journal of Computer Research*, 18(3/4), 231.

[6] Saran, A., et al. (2023). **Aging Midstream Supply Chain in the Oil and Gas Industry.** *The Journal of Energy and Development*, 49(1/2), 211–226. doi: <https://doi.org/10.56476/jed.v49i2.25>

[7] Toniato, A., Schilter, O., & Laino, T. (2023). **The Role of AI in Driving the Sustainability of the Chemical Industry.** *Chimia*, 77(3), 144–149. doi: <https://doi.org/10.2533/chimia.2023.144>

[8] Wari, E., Zhu, W., & Lim, G. (2023). **Maintenance in the Downstream Petroleum Industry: A Review on Methodology and Implementation.** *Computers & Chemical Engineering*, 172, 108177. doi: 10.1016/j.compchemeng.2023.108177

[9] Ebrahimi, M., et al. (2013). **New Technology Assessment: A Case study of Iran's Petrochemical Industry.** *The International Journal of Humanities*, 20(3), 27–51. {In Persian} doi: <https://dorl.net/dor/20.1001.1.25382640.2013.20.3.3.4>

[10] Talks, M. U. N. (2024). **AI in Oil and Gas Market to Reach Around USD 8.2 Bn by 2033.** Link: <https://www.linkedin.com/pulse/ai-oil-gas-market-reach-around-usd-82-bn-2033-markets-us-vgfrc>

[11] Paulk, M. C., et al. (1991). **Capability Maturity Model for Software.** *Citeseer*. doi: 10.1109/52.219617

[12] Solis Pino, A. F., et al. (2024). **Analysis of Enterprise Internet of Things Maturity Models: A Review.** *Applied Sciences*, 14(21), 9859. doi: 10.3390/app14219859

[13] Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). **Internet of Things (IoT): A Literature Review.** *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164–173. doi: 10.4236/jcc.2015.35021

[14] Hyndman, R. (2018). **Forecasting: Principles and Practice.** *OTexts*.

[15] Montgomery, D. C. (2017). **Design and Analysis of Experiments.** *John Wiley & Sons*.

[16] Alpaydin, E. (2020). **Introduction to Machine Learning.** *MIT Press*.

[17] Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). **A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems.** *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>

[18] **Predictive Maintenance in the Oil and Gas Industry** link: <https://llumin.com/predictive-maintenance-oil-and-gas/>

[19] Venkatasubramanian, V. (2019). **The Promise of Artificial Intelligence in Chemical Engineering: Is It Here, Finally?** *AIChE Journal*, 65(1). DOI: <https://doi.org/10.1002/aic.16489>

[20] Biegler, L. T., & Grossmann, I. E. (2004). **Retrospective on Optimization.** *Computers & Chemical Engineering*, 28(8), 1169–1192. doi: 10.1016/j.compchemeng.2003.11.003

مالی و تدوین چارچوب‌های قانونی برای مسائل امنیتی، حریم خصوصی و مسئولیت‌پذیری، از اقدامات ضروری است. همچنین، بهره‌گیری از تجربیات و فناوری‌های غیرتحریمی کشورهایی مانند چین و هند می‌تواند در تقویت زیرساخت‌های فناورانه مفید باشد. برای انسجام این اقدامات، تدوین یک سند راهبردی جامع که شامل سیاست‌های حمایتی، قوانین لازم و برنامه‌های همکاری بین‌المللی باشد، پیشنهاد می‌شود.

بنابراین، اجرای این راهکارها مستلزم هماهنگی میان دولت، صنعت و دانشگاه‌هاست. رویکرد مرحله‌ای و تدریجی در این مسیر می‌تواند به تدریج زیرساخت‌های لازم را فراهم کند، توانمندی‌های نیروی انسانی را ارتقا دهد و زمینه را برای بهره‌گیری از هوش مصنوعی در سطوح پیشرفته‌تر فراهم آورد. این اقدامات، علاوه بر بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها در صنعت، جایگاه ایران را در بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته ارتقا خواهد داد.

تعارض منافع

نویسندگان تعهد می‌کنند که هیچ تعارض منافی در این مقاله وجود نداشته‌است.

References

- [1] Ministry of Petroleum of Iran. (2022). **Annual Report of Iran's Petrochemical Industry.** *Ministry of Petroleum of Iran*. {In Persian}
- [2] Ghorbani, E. (2020). **Exploration, Development and Production of Iran's Fields and Reservoirs through the Iran Petroleum Contract (IPC).** *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 38(4), 437–454. doi: <https://doi.org/10.1080/02646811.2019.1701806>
- [3] Hussain, M., et al. (2024). **Application of Artificial Intelligence in the Oil and Gas Industry.** *In Engineering Applications of Artificial Intelligence* (pp. 341–373). *Springer*. doi: 10.1007/978-3-030-12345-6_12
- [4] Rad, S., et al. (2023). **Effective Factors on Improving the Technological Capabilities of Pump Manufacturers in Iran's Oil And Gas Industry.** *Science and Technology Policy Journal*, 16(4), 61–81. doi: 10.22034/jstp.2024.11525.1707 {In Persian}
- [5] Mohaghegh, S. D., & Khazaeni, Y. (2011). **Application of Artificial Intelligence in the**