



هوش مصنوعی، ابزاری قدرتمند در توسعه و ارتقاء رقابت پذیری صنایع پتروشیمی

رضا فاطمی نیا

مسئول امور پژوهش و فناوری، مدیریت مهندسی - شرکت مدیریت توسعه صنایع پتروشیمی
fateminia@pidmco.ir

خلاصه

صنعت پتروشیمی یک حوزه به سرعت در حال توسعه است و تبعاً با پیشرفت فناوری و تغییر نیازهای صنعت، چالش‌ها و راه‌حل‌های جدیدی پدیدار خواهد شد. بنابراین مطالعات و تحقیقات روزآمد بسیار مهم است. بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ، اینترنت اشیا^۲، و سیستم‌های فیزیکی - سایبری^۳، فرصتی منحصر به فرد برای بهینه‌سازی و تغییر تولیدات و غلبه بر چالش‌های نو ظهور در صنعت پتروشیمی ارائه می‌کند. در این مقاله تلاش شده است این ضرورت و البته چالش‌ها و فرصت‌هایی که ممکن است در حوزه هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی با آن مواجه گردیم، تبیین و به آن پرداخته شود.

کلمات کلیدی: هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، صنایع پتروشیمی، توسعه محصولات، رقابت پذیری

1. مقدمه

وجود تعداد زیادی از بازیگران جدید در صنایع پتروشیمی سبب تغییر وضعیت عرضه و تقاضا محصولات گردیده و این امر باعث شده است که شرکت‌های پتروشیمی، استراتژی‌ها و رویکردهای جدیدی را مبتنی بر سودآوری بیشتر در نظر داشته باشند. فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی^۱، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ^۲، اینترنت اشیا^۳، و سیستم‌های فیزیکی - سایبری^۴ و مدل‌های هوش مصنوعی چون یادگیری ماشین، پردازش زبان طبیعی، بینایی کامپیوتر و رباتیک، قادرند مزیت رقابتی قابل توجهی با کارآمدتر، نوآورتر و پاسخگو بودن برای شرکت‌هایی که استفاده از هوش مصنوعی را دنبال می‌کنند، را فراهم آورند [1-2]. هوش مصنوعی به عنوان ابزاری متحول کننده و قدرتمند برای مقابله با چالش‌ها موجود و نو ظهور در صنعت پتروشیمی، قادر است با عبور از رویکرد های سنتی و پرهزینه به دستاورد هایی چون پایداری تولید، افزایش بهره‌وری، بهبود تصمیم‌گیری و بهره‌وری عملیاتی، و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری برسد [3]. در صنعت پتروشیمی ایران نیز تهیه سند هوش مصنوعی رقم خورده است که کاربردهای هوش مصنوعی در ۱۴ محور اصلی در این سند شناسایی شده‌اند و بیش از ۳۰ پروژه در نسخه اولیه این سند پیش‌بینی شده است. این سند براساس مجموعه مطالعات جامعی که در بکارگیری هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی دنیا دارد، تدوین شده است [4]. برای پیاده‌سازی موثر هوش مصنوعی برای تولیدات صنایع شیمیایی و پتروشیمیایی، شرکت‌ها باید استراتژی‌های زیر را در نظر بگیرند [5]:

¹ Artificial intelligence

² Big Data

³ Internet of Things (IoT)

⁴ Cyber-Physical Systems (CPS)



1. سرمایه گذاری در نرم افزار هوش مصنوعی: انتخاب نرم افزار هوش مصنوعی مناسب برای مهندسی فرآیندهای شیمیایی بسیار مهم است. راه حل هایی مانند تامین مورد اعتماد می توانند همکاری بین تامین کنندگان و تولید کنندگان را تسهیل کرده و کارایی زنجیره تامین را افزایش دهند.
2. آموزش و توسعه: آموزش مداوم مدل های هوش مصنوعی با دانش سازمانی که از ناحیه کارکنان و کارگران با تجربه بدست می آید، ضروری است. این عمل نه تنها دقت مدل را بهبود می بخشد، بلکه بینش های ارزشمندی را نیز به دست می آورد که می تواند منجر به نوآوری شود.
3. شیوه های هوش مصنوعی اخلاقی: با ادغام بیشتر هوش مصنوعی در تولید، ملاحظات اخلاقی باید در اولویت قرار گیرند. شرکت ها باید چارچوب های حاکمیتی را برای اطمینان از استفاده مسئولانه از هوش مصنوعی، رسیدگی به سوگیری های احتمالی و ترویج عدالت در برنامه های کاربردی هوش مصنوعی ایجاد کنند.

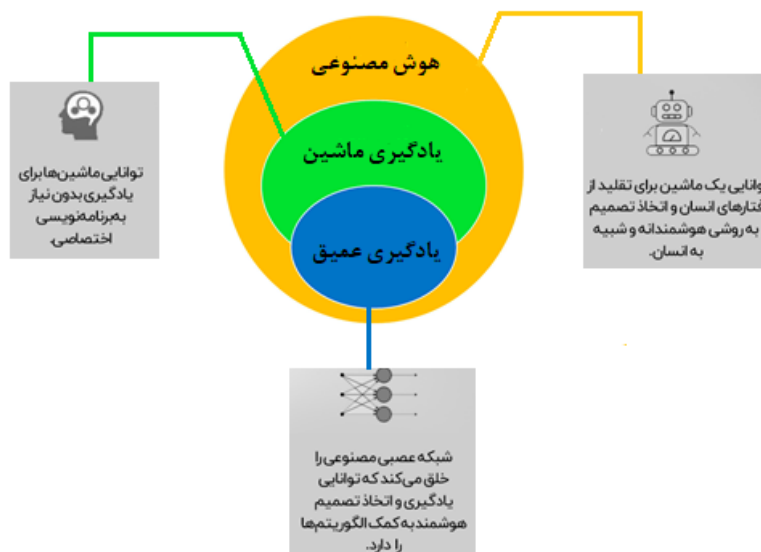
استقبال از هوش مصنوعی در تجزیه و تحلیل صنعت پتروشیمی، سبب تحول این صنعت و راندمان، پایداری و کاهش هزینه ها را به دنبال خواهد داشت. در این مقاله تلاش داریم ضمن اشاره به مواردی از قابلیت های هوش مصنوعی در صنایع پتروشیمی، چالش ها و فرصت های مترتب با آن را مورد بررسی قرار می دهیم. همچنین به هوش مصنوعی به عنوان یکی از مولفه های اثر بخش برای رقابت پذیری این صنایع در هم افزایی با دیگر مولفه ها پرداخته می شود.

2. مفهوم هوش مصنوعی

هوش مصنوعی را می توان به عنوان مجموعه ای از روش ها تعریف کرد که امکان باز تولید رفتار انسان را به منظور حل مسائل با پیچیدگی زیاد، مانند تشخیص گفتار، ترجمه زبانی و تحلیل تصویر، فراهم می کند [6]. در ساده ترین تعریف، هوش مصنوعی به توانایی رایانه یا سایر ابزارهای پردازشی گفته می شود که مانند یک موجود هوشمند (انسان) می تواند یاد بگیرد و مسئله حل کند و هدف از آن، توسعه ماشینی است که بتواند مانند انسان فکر کند و رفتارهای انسان از جمله درک، استدلال، یادگیری، برنامه ریزی، پیش بینی و غیره را تقلید کند [7]. یادگیری ماشین¹ و یادگیری عمیق² دو عنصر مهم و زیربنایی هوش مصنوعی هستند. یادگیری ماشینی فرایندی است که در آن، داده های یک الگوریتم با رایانه و روشهای آماری تغذیه میشوند. هدف از این اقدام، کمک به یادگیری و بهبود تدریجی عملکرد الگوریتم است. این الگوریتم لزوماً برای انجام یک کار خاص برنامه ریزی نشده است؛ اما به واسطه این سازوکار می تواند به تدریج روند انجام آن را فراگیرد. یادگیری ماشین یک زیر مجموعه ای از هوش مصنوعی است، به این معنی که تمام الگوریتم های یادگیری ماشین، هوش مصنوعی به حساب می آیند ولی تمام الگوریتم های هوش مصنوعی یادگیری ماشین به حساب نمی آیند [8-9]. اما منظور از یادگیری عمیق، نوعی الگوریتم یادگیری ماشینی زیر مجموعه ای از هوش مصنوعی است که در آن به جای انسان از ماشین استفاده می شود و مبتنی بر شبکه های عصبی عمیق مانند مغز انسان عمل کرده و در شباهت بیشتر با مغز انسان دارای لایه های میانی بیشتری است که پردازش اطاعات را انجام می دهد. عبارت عمیق به این خاطر استفاده می شود که به جای اینکه یک لایه پنهان در ساختار شبکه عصبی باشد، چندین لایه پنهان در ساختار لایه وجود دارد. لایه های پنهان به شبکه ها این قابلیت را می دهند که یاد بگیرند و ویژگی های داده خام را استخراج کنند. شکل 1 ارتباط بین هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق را نشان می دهد [10].

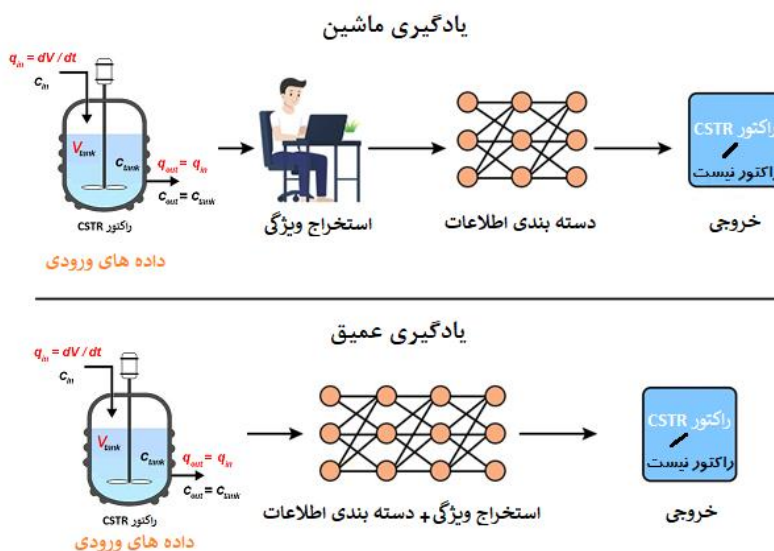
¹ Machine Learning

² Deep Learning



شکل 1- ارتباط بین هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق [11].

برخلاف یادگیری ماشین، الگوریتم‌های یادگیری عمیق نیاز به مداخله انسان یا دسته‌بندی اطلاعات به شاخه‌های مختلف ندارند؛ اما به خاطر شبکه چندلایه عصبی خود نیاز به آموزش بسیار زیادی دارند تا شناسایی الگو در فرایند یادگیری آن‌ها با دقت بیشتری انجام شود و به همین خاطر نیاز به پردازش اطلاعات با سرعت بالا دارند. به عبارتی، مهم‌ترین تفاوت یادگیری عمیق و یادگیری ماشین این است که در یادگیری عمیق، الگوریتم‌ها لایه‌های بیشتری داشته و پیچیده‌ترند که در شکل 2 این تفاوت نشان داده شده است [11-12].



شکل 2- تفاوت یادگیری ماشین و یادگیری عمیق [12].

مدل‌های یادگیری ماشین به چهار گروه طبقه‌بندی می‌شوند. شکل 3 این دسته‌ها را به عنوان گروه‌های تحت نظارت، بدون نظارت، نیمه نظارت شده و یادگیری تقویتی نشان می‌دهد که ذیلاً توضیحی مختصری در مورد آنها داده می‌شود [13-14]:

1. یادگیری ماشین با نظارت¹: با اعمال الگوریتمی که در گذشته از داده‌های با برچسب گذاری شده آموخته است، روی داده‌های جدید، وضعیت داده‌های آینده را پیش بینی کند. وجود داده‌های برچسب دار به این معنا است که برای هر نمونه‌ای از مجموعه داده، یک پاسخ یا راه حل داده شده است.
 2. یادگیری ماشین بدون نظارت²: اطلاعات و داده‌ها طبقه بندی نشده‌اند و برچسب ندارند. سیستم از مجموعه داده‌هایی که در اختیار دارد استنباط می‌کند که خروجی باید چه چیزی باشد. به عبارت دیگر، یادگیری غیرنظارتی، به یافتن الگوهای پنهان از داده‌های بدون برچسب و ایجاد گروه‌ها و خوشه‌ها می‌پردازد. یادگیری غیرنظارتی اغلب برای تجزیه و تحلیل اکتشافی و تشخیص ناهنجاری استفاده می‌شود.
 3. یادگیری ماشین نیمه نظارت شده³: ترکیبی از یادگیری نظارت شده و بدون نظارت است. در یادگیری نیمه نظارتی مجموعه داده شامل نمونه‌های برچسب دار و بدون برچسب است. به طور معمول، از لحاظ کمی نمونه‌های بدون برچسب بسیار بیشتر از نمونه‌های برچسب‌دار هستند هدف الگوریتم یادگیری نیمه نظارتی، مشابه هدف الگوریتم یادگیری نظارت شده است.
 4. یادگیری تقویت شده⁴: از طریق آزمون و خطا، یاد می‌گیرد که چگونه باید رفتار کند و تشخیص دهد. یادگیری تقویتی، بازخورد آموزشی را با استفاده از مکانیزم پاداش ارائه می‌کند. فرآیند یادگیری به عنوان یک عامل رخ می‌دهد که با یک محیط تعامل دارد و روش‌های مختلف را برای رسیدن به یک نتیجه امتحان می‌کند. عامل، هنگامی که به وضعیت مطلوب یا نامطلوب برسد، پاداش یا تنبیه دریافت می‌کند. از طریق این بازخورد یادگیری، عامل یاد می‌گیرد که کدام حالت‌ها منجر به نتایج خوب و کدام منجر به شکست می‌شود و باید از آنها اجتناب کرد.
- یکی دیگر از مفاهیمی که در صنایع و در حوزه هوش مصنوعی زیاد با آن مواجه می‌شویم، دوقلوی (همزاد) دیجیتالی⁵ است که نمایشی دیجیتال از یک شیء فیزیکی، فرآیند یا سرویس است. یک دوقلوی دیجیتال، در اصل یک برنامه کامپیوتری است که از داده‌های جهان واقعی استفاده کرده تا یک مدل شبیه‌سازی را ایجاد کند. این مدل پیش‌بینی می‌کند که چگونه یک محصول یا فرآیند عمل خواهد کرد. این برنامه‌ها می‌توانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و تحلیل‌های نرم‌افزاری را ادغام کرده تا خروجی را بهبود دهند. یک دوقلوی دیجیتال به کاربران اجازه می‌دهد تا راهکارهایی را برای اضافه کردن طول عمر محصول، تولید، بهبود فرآیند، توسعه محصول و آزمایش نسخه اولیه بررسی کنند. با ایجاد یک نسخه مجازی از یک فرآیند صنعتی، تولیدکنندگان می‌توانند داده‌ها را سریعتر ارزیابی کنند، روندهای عملکرد را تحلیل کرده و عملیات خود را بهینه‌سازی کنند [16]. مفهوم دیگری که در ادامه بحث نقش آفرینی هوش مصنوعی در صنایع پتروشیمی به آن اشاره می‌شود، اینترنت اشیا است. اینترنت اشیا را می‌توان ارتباط بین حسگرها و محرک‌ها با هدف به اشتراک گذاشتن اطلاعات در چارچوب متحد تعریف کرد، به طوری که عملکرد مشترکی را برای ایجاد کاربردهای خلاقانه فراهم کنند [17]. اینترنت اشیا می‌تواند دستگاه‌های تولیدی مختلف مجهز به قابلیت‌های سنجش، شناسایی، پردازش، ارتباطات، فعال‌سازی و شبکه را به هم متصل کند [18]. کنترل شبکه و مدیریت تجهیزات تولید، مدیریت دارایی و موقعیت، یا کنترل فرآیند تولید، امکان استفاده از اینترنت اشیا را برای کاربردهای صنعتی و تولید هوشمند فراهم می‌کند [19]. سیستم‌های هوشمند اینترنت اشیا، تولید سریع و بهینه‌سازی محصولات جدید و پاسخ سریع به تقاضاهای محصول را امکان‌پذیر می‌سازند [20]. در پایان این بخش از مقاله باید تاکید کرد که موفقیت هوش مصنوعی نیازمند سه الزام است [21]:

¹ Supervised Machine Learning² Unsupervised Machine Learning³ Semi-Supervised Machine Learning⁴ Reinforcement Learning⁵ Digital Twin

اول، به مقدار زیادی «داده‌های باکیفیت و بی‌طرفانه»، تا پژوهشگران و کارشناسان امر بتوانند از این مجموعه داده‌های بزرگ در ساخت شبکه‌های عصبی استفاده کنند. دومین الزام آنست که هوش مصنوعی برای آموزش موثر داده‌ها، به "زیرساخت محاسباتی" نیاز دارد. سومین الزام برای هوش مصنوعی، "مدل‌ها و الگوریتم‌های بهبود یافته" است. از آنجایی که دنیای اطراف ما دائماً در حال تغییر و تحول است، سیستم‌های هوش مصنوعی باید دائماً با استفاده از داده‌های جدید بازآموزی شوند. بنابراین، داده‌ها، محاسبات و الگوریتم‌ها، پایه و اساس آینده هوش مصنوعی را تشکیل می‌دهند.



شکل 3- مدل های یادگیری ماشین [15].

3. شرکت های بزرگ صنعتی و توجه به اهمیت نقش هوش مصنوعی

شرکت های بزرگ نفتی و فعال در صنعت پتروشیمی در حال ایجاد مشارکت های استراتژیک برای استفاده از هوش مصنوعی هستند. بر اساس مطالعات اخیر موسسه جهانی مکنزی¹ و گزارش های ارائه شده در نمایشگاه های بین المللی فناوری های هوش مصنوعی، این اطلاعات قابل توجه بوده است [22-25]:

- استفاده از هوش مصنوعی در صنایع نفت و گاز باعث افزایش ۲۰ درصدی بهره‌وری عملیاتی و کاهش ۱۵ درصدی هزینه‌های تولید شده است.

¹ Mckinsey Global Institute

- شرکت‌های بین‌المللی نظیر آرامکو عربستان^۱، اکسون موبیل^۲ و شل^۳ در سال 2024 بیش از 10 میلیارد دلار در توسعه فناوری‌های هوشمند سرمایه‌گذاری کرده‌اند.
- در نمایشگاه فناوری اطلاعات خلیج فارس در دب۴ در سال 2024، بیش از ۸۰ درصد استارت‌آپ‌های فعال در بخش انرژی، فناوری‌های مرتبط با هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء^۵ را به‌عنوان محور اصلی فعالیت خود معرفی کردند.
- شرکت شورون^۶ با استفاده از پلتفرم‌های AI در پالایشگاه‌های خود توانسته است سالانه 500 میلیون دلار در هزینه‌های انرژی صرفه‌جویی، همچنین زمان حفاری را 30 درصد و هزینه‌های حفاری را 50 درصد کاهش داد. شرکت اکسون موبیل با استفاده از این فناوری هزینه‌های نگهداری تجهیزات را تا ۳۰ درصد کاهش داده است. شرکت اکسون موبیل با مایکروسافت در جمع‌آوری داده‌های میدان نفتی در زمان واقعی کار می‌کند.
- کاهش آلاینده‌ها در شرکت ملی نفت امارات متحده عربی^۷، این شرکت از هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء برای پایش بلافاصله انتشار آلاینده‌ها در پالایشگاه‌های خود استفاده می‌کند. این سیستم‌ها توانایی اصلاح سریع فرآیندها و کاهش ۲۵ درصدی در انتشار آلاینده‌های زیست محیطی در عملیات پالایشگاهی را دارند.

شرکت پتروناس^۸ (از مالزی)، در حال آزمایش محصولی رباتیک به نام انی مال^۹ برای بازرسی رباتیک مستقل بر روی سکوه‌های نفت و گاز خود است. آنها اخیراً یک نصب موفق چند هفته‌ای با ربات ANYmal C در یکی از تأسیسات دریایی خود انجام دادند. (شکل 4 مشاهده شود). برای استفاده تجاری در سال 2022، شرکت انی بوتیکس^{۱۰} و شرکت پتروناس در حال توسعه نسخه تخصصی ANYmal برای محیط‌های بالقوه انفجاری هستند [26]. همچنین شرکت شیمیایی میتسوی^{۱۱} ژاپن فناوری پیش‌بینی کیفیت گازهای واکنش را پیاده‌سازی کرده است. با این فناوری، آنالیز سریع 51 عامل مختلف از جمله شرایط راکتور و پارامترهای فرآیند صورت می‌گیرد. این فناوری جدید، شرکت میتسوی را قادر می‌سازد تا دقت سیگنال‌های واکنش را بهبود بخشیده و در نتیجه عملکرد ایمن‌تر و پایدارتر واحد تولیدی را به همراه داشته باشد [27]. شرکت آلمانی باسف^{۱۲} در آگوست 2019، قرارداد همکاری با دانشگاه فنی برلین امضا کردند تا مدل‌ها و الگوریتم‌های ریاضی جدید مناسب برای مسائل اساسی مربوط به شیمی فرآیند و شیمی کوانتومی را توسعه دهند. شرکت کبوتیکس^{۱۳} آمریکایی فعال در حوزه فناوری هوش مصنوعی که یک پلت فرم فناوری آمریکایی با استفاده از هوش مصنوعی و رباتیک تولید مواد شیمیایی جدید را بهینه می‌کند، از همکاری استراتژیک با شرکت مدیریت زنجیره تامین هلندی^{۱۴} خبر داده است که در روش‌های دقیق برای پیش‌بینی خواص از طریق مدل‌سازی اتمی تخصص دارد [28]. یکی از قابل توجه‌ترین مزایای هوش مصنوعی این است که

¹ Saudi Aramco

² ExxonMobil

³ Shell

⁴ GITEX 2024

⁵ Internet of Things (IoT)

⁶ Chevron

⁷ Abu Dhabi National Oil Company (ADNOC)

⁸ PETRONAS

⁹ ANYmal

¹⁰ ANYbotics

¹¹ Mitsui Chemicals

¹² BASF

¹³ Kebotix

¹⁴ Dutch company SCM

فعالان صنعت را قادر می‌سازد تا کارخانه‌های آنها به طور مستقل کار کنند. نمونه‌ای از این کار، یک کارخانه شیمیایی در ژاپن برای اولین بار در جهان به مدت 35 روز به طور مستقیم کار کرد. این امر با پذیرش یک راه حل هوش مصنوعی که توسط شرکت برق یوکوگاوا^۱ و موسسه علم و فناوری نارا^۲ توسعه داده شد امکان پذیر شد. راه حل مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند عملیات‌هایی را که تا به امروز نیاز به مداخله دستی مانند روش‌های کنترل مرسوم (کنترل پی‌آی‌دی^۳ و ای پی سی^۴) دارند، کنترل کند. علاوه بر این، یک کارخانه استخراج بوتادین نیز به صورت مستقل در تاسیسات پتروپالایشگاه انئوس کاوازاکی^۵ در ژاپن به مدت دو روز متوالی با کمک یک سیستم هوش مصنوعی فعال شد. این سیستم 25 پارامتر حیاتی از جمله دمای داخلی، فشار، سرعت جریان و شرایط محصول را ارزیابی کرد و حتی 12 سوپاپ را به طور مستقل تنظیم کرد [29].



شکل 4 - روبات بازرس ANYmal استفاده شده در تاسیسات نفتی [26]

4. نقش آفرینی هوش مصنوعی در صنایع پتروشیمی

به طور کلی، هوش مصنوعی به عنوان یک فناوری نوآور و پیشرفته، می‌تواند در بهبود عملکرد و ایمنی صنایع پتروشیمی موثر باشد. از این رو، استفاده از هوش مصنوعی در پتروشیمی به عنوان یک گام مثبت و اصلاحی در جهت بهبود فرآیندهای تولید و افزایش بهره‌وری، قابل توجه خواهد بود. مطالعات انجام شده در خصوص قابلیت‌های پیش‌بینی پذیر هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی، حداقل 11 حوزه متمایز را نشان می‌دهد، همانطور که در شکل 5 سهم هر یک از این قابلیت‌ها را نشان می‌دهد [30]. بدیهی است که تمرکز قابل توجهی در تحقیقات در مورد تعمیر و نگهداری در صنعت پتروشیمی بوده است که می‌تواند شامل پیش‌بینی خرابی تجهیزات، بهینه‌سازی برنامه‌های تعمیر و نگهداری و غیره باشد. در ادامه به بررسی بیشتری از قابلیت‌های هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی پرداخته می‌شود.

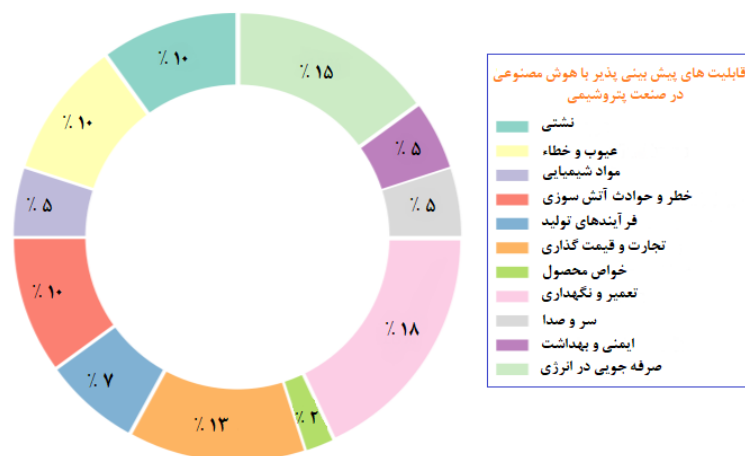
¹ Yokogawa Electric Corporation

² NARA Institute of Science and Technology

³ Proportional-Integral-Derivative (PID)

⁴ Advanced Process Control (APC)

⁵ Eneos Corporation Kawasaki Refinery



شکل 5 - قابلیت‌های پیش‌بینی پذیر هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی

1-4. نقش هوش مصنوعی در بهینه‌سازی فرآیندهای تولید

فرآیندهای شیمیایی اغلب پیچیده هستند و متغیرهای متعددی را شامل می‌شوند که برای حداکثر کارایی نیاز به تنظیم دائمی دارند. استفاده از هوش مصنوعی، نظارت و بهینه‌سازی عملیات پیچیده را در زمان واقعی امکان پذیر می‌کند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند حجم زیادی از داده‌های تولید شده در طول فرآیندهای مختلف تولید را بی‌درنگ از حسگرها دریافت و تجزیه و تحلیل کنند و تنظیمات مختلف را برای بهینه‌سازی پارامترهایی مانند دما، فشار و نرخ جریان انجام دهند. این امر نه تنها باعث افزایش راندمان تولید می‌شود، بلکه مصرف انرژی و تولید پسماند را نیز کاهش می‌دهد [31].

برای مثال گنگ و همکاران استفاده از ماشین یادگیری در مهندسی فرآیند به عنوان یک مدل پیش‌بینی‌کننده را ارائه کرده‌اند. آنها از یک رویکرد دو مرحله‌ای برای آموزش شبکه عصبی هوش مصنوعی برای پیش‌بینی فرآیند واکنش شیمیایی در یک مجموعه پیچیده شامل یک ستون، یک بویلر و یک مخزن رفلکس استفاده کردند. در فرآیند مورد بررسی، اسید ترفتالیک خالص در یک کارخانه متشکل از یک ستون آبگیری حلال، یک مخزن رفلکس و یک جوش‌آور تولید می‌گردید. در مجموع 17 پارامتر ورودی مانند آب جریان برگشتی، جریان و ترکیب خوراک، نرخ جریان بیشتر، دما در موقعیت‌های مختلف طرح و سطح مخزن رفلکس با محتوای اسیدی که از طرح خارج می‌شود به عنوان پارامتر خروجی استفاده شد. بر اساس ویژگی‌های شناسایی شده و داده‌های محتوای اسید، شبکه هوش مصنوعی، برای پیش‌بینی دقیق نتیجه فرآیند آموزش داده شد.

میانگین خطای نسبی حاصل برای ترکیبی از یک رمزگذار خودکار¹ اولیه و شبکه عصبی هوش مصنوعی (با عنوان ماشین یادگیری حداکثر² که یک شبکه عصبی پیشخور است) بین 0/3٪ و 0/6٪ برای تعداد مختلف لایه‌های پنهان و حدود 3٪ برای ماشین یادگیری حداکثر به تنهایی بود [32]. در مطالعه دیگری ژانگ و همکاران، بهینه‌سازی فرآیند با استفاده از قابلیت‌های ماشین یادگیری مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه یک شبکه عصبی هوش مصنوعی برای جایگزینی توابع تعادل فاز در یک ستون تقطیر آموزش داده شد. در اینجا، تابع مول محاسبه شد و شبکه عصبی هوش مصنوعی با کسر مولی فاز بخار به عنوان ورودی و دمای تعادل (T) و کسر مولی فاز مایع (y) به عنوان دو پارامتر خروجی آموزش داده شد. حدود 1500 مجموعه

¹ Auto Encoder

² Extreme Learning Machine

داده آموزشی T ، x و y با استفاده از کتابخانه نرم افزار اسپن^۱ تولید شد. شبکه های هوش مصنوعی آموزش دیده به میانگین مربعات خطای کمتر از 10^{-7} دست یافتند [33]. همچنین، هوش مصنوعی مولد^۲ می‌تواند با سایر اشکال هوش مصنوعی ترکیب شود تا به طور خودکار نقشه‌های لوله‌کشی و ابزار دقیق^۳ در مرحله مهندسی پایه^۴ یک طرح پتروشیمیایی را ایجاد کند که در حال حاضر فرآیندی زمان‌بر و پرهزینه است. این نقشه‌ها و مدارک فنی ابزارهای مهمی برای مهندسان شیمی بوده که بینشی در مورد لوله‌کشی، ابزار دقیق و سیستم‌های کنترل جریان فرآیند فیزیکی را در هر طرح پتروشیمیایی ارائه می‌دهند. از هوش مصنوعی مولد می‌توان برای سرعت بخشیدن به این فرآیند و در نتیجه صرفه جویی در زمان و هزینه های مربوطه استفاده کرد [31]. این موارد ثابت می‌کند که رفتار یک فرآیند فیزیکی معین را می‌توان با آموزش یک سیستم هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی با داده های تاریخی طرح به صورت پیش بینی، مدل کرد.

2-4. نقش هوش مصنوعی در توسعه محصول و نوآوری

تسریع پیشرفت هوش مصنوعی می‌تواند توسعه محصولات و فرآیندهای جدید پتروشیمی را با ایجاد نمونه‌سازی و شبیه‌سازی سریع سرعت بخشد. الگوریتم های یادگیری ماشینی می‌توانند مقادیر زیادی از داده های شیمیایی را برای شناسایی ترکیبات جدید بالقوه و پیش بینی خواص آنها تجزیه و تحلیل کنند. این امر می‌تواند زمان و هزینه مرتبط با روش های تحقیق و توسعه سنتی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. علاوه بر این، هوش مصنوعی می‌تواند به شرکت‌های پتروشیمی کمک کند تا فرصت‌های جدید بازار را شناسایی کرده و محصولات خود را با نیازهای خاص مشتری تنظیم کنند و فرهنگ نوآوری و چابکی را تقویت کنند [22]. هوش مصنوعی و یادگیری ماشین ظرفیت امیدوارکننده ای را در مقابله با مسائل پیچیده در زمینه های مختلف (مانند رباتیک، رایانه و پردازش زبان) و همچنین در مهندسی شیمی، فرایندهای پلیمری و مهندسی محصولات شیمیایی مانند کشف روشهای جدید برای طراحی مولکولهایی با ویژگیهای عملکردی هدفمند یا بهینه سازی شرایط فرایند برای به دست آوردن خواص ویژه نشان داده اند [34]. در زمینه علم مواد، هوش مصنوعی به کشف مواد جدید با خواص مطلوب سرعت می‌بخشد. مدل‌های یادگیری ماشین می‌توانند پایگاه‌های اطلاعاتی وسیعی از خواص مواد، ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های عملکرد را تجزیه و تحلیل کنند تا مواد جدیدی را پیشنهاد کنند که الزامات خاص را برآورده می‌کنند. به عنوان مثال، کاتالیزورها که به عنوان یک ماده شیمیایی نقش مهمی در تعدادی از فرآیندهای شیمیایی ایفا می‌کنند، اکنون برای طراحی کاتالیزورهای جدید و موثرتر می‌توان از هوش مصنوعی استفاده کرد. مجموعه داده های عظیم مربوط به کاتالیزورها را می‌توان با هوش مصنوعی تجزیه و تحلیل کرد تا کاتالیزورهای جدید بالقوه را شناسایی کند [31].

همچنین، با هوش مصنوعی می‌توان فرآیند و طراحی ترکیبات شیمیایی جدید را ساده کرده و خواص محصولات شیمیایی را پیش بینی کرد که در غیر این صورت باید تحت یک تجزیه و تحلیل دستی وقت گیر و پرهزینه عمل کرد. مدل‌های یادگیری ماشینی می‌توانند به انجام تحقیقات بسیار سریع با کمک جایگشت‌ها و ترکیب‌های کامپیوتری کمک کنند. این مدل‌ها، همچنین می‌توانند از شناسایی مولکول‌های مناسب، تولید فرمول‌ها، طراحی فرایندهای شیمیایی جدید و کمک به دانستن مقادیر دقیق مواد شیمیایی مختلف مورد نیاز پشتیبانی کنند [35].

¹ Aspen

² Generative artificial intelligence (Gen AI)

³ Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)

⁴ Basic Design



3-4. نقش هوش مصنوعی در فرآیند الکترولیز

یکی از فرآیندهای مهم در واحدهای تولید PVC، تامین گاز کلر از طریق فرایند الکترولیز در واحد استحصال نمک (از منابع آب شور دریا) برای شرکت‌های پتروشیمی مستقر در سواحل دریا است. شرکت‌های شیمیایی همیشه به دنبال راه کارهایی برای کاهش هزینه‌های برق مرتبط با یک کارخانه الکترولیز هستند، زیرا آنها دارای فرآیند و تجهیزاتی انرژی بر هستند. با این حال، بهره‌وری انرژی را می‌توان با فناوری هوش مصنوعی بدون مهار عملیات حاصل نمود. دوقلوی دیجیتال فرآیند الکترولیز، می‌تواند پیش‌بینی‌های دقیقی را در یک فرآیند و برای پارامترهای خروجی مانند فشار کلر و هیدروژن، غلظت و شدت جریان کاتدیک، اختلاف فشار در غشای تبادل یونی ارائه دهد. الگوریتم بهینه‌سازی عامل یادگیری تقویتی از مقادیر پیش‌بینی‌شده استفاده می‌کند و بهترین ترکیب از پارامترهای کنترلی مانند ولتاژ اعمال شده، سرعت جریان آب نمک، دمای آب نمک را برای کاهش توان برای مقادیر خروجی یکسان ارائه می‌دهد. نتایج بررسی‌ها حداقل 30٪ صرفه جویی در مصرف برق را نشان داده است [36].

3-4. نقش هوش مصنوعی در واحد فرایند کراکینگ کاتالیستی

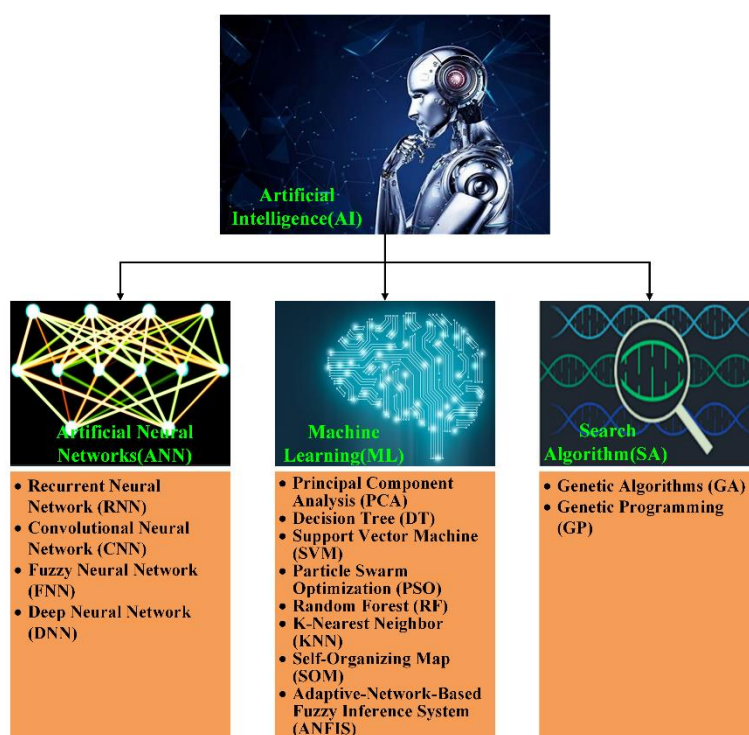
فرایند کراکینگ کاتالیستی بستر سیال¹، یک فرآیند شیمیایی پیچیده است که دارای میزان ویژگی‌های غیر خطی بالایی است. بنابراین، پردازش FCC به طور مستقیم با یک مدل خطی همیشه نتایج ضعیفی به دست می‌آورد، در حالی که مدل‌های غیرخطی تمایل به نتایج بهتر دارند. در مقایسه با مدل‌های یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی به دلیل قابلیت پردازش قوی و ساختار انعطاف‌پذیر، به طور گسترده‌تری در مدل‌سازی فرآیند FCC استفاده می‌شوند [37]. واحد FCC در شرایط سخت دمایی و فشاری بالا فعالیت می‌کند که ممکن است تعداد زیادی مواد شیمیایی سمی، مضر، قابل اشتعال و انفجاری در این فرآیند، تولید شود. اگر مشکلی در تولید وجود داشته باشد، ممکن است باعث بروز حوادث ایمنی و حفاظت از محیط زیست شود و باعث خسارات جانی و مالی عمده شود [38]. برای ایمنی تولید FCC، استفاده از شبکه‌های عصبی برای بهبود عملکرد هشدار اولیه غیرعادی و به حداقل رساندن سطح هشدارهای کاذب با این فرض که نرخ فراخوان پیش‌بینی‌شده شرایط غیرعادی با ایمنی تولید مطابقت دارد، اهمیت زیادی دارد [39].

3-4. نقش هوش مصنوعی در سیستم تصفیه پساب

سیستم تصفیه پساب شامل مجموعه‌ای از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و تجهیزات خاص می‌باشد که رفتار عملیاتی این فرآیندها غیرخطی و بعضاً متغیر با زمان می‌باشد و می‌تواند مستقیماً عملکرد سیستم تصفیه پساب را تحت تاثیر قرار دهند [40]. با توجه به ماهیت متغیر ویژگی‌های پساب، به منظور حفظ پایداری فرآیندهای تصفیه در شرایط مطلوب، بهره‌برداری صحیح و مناسب سیستم تصفیه پساب از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. بدین منظور، استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی به جهت شبیه‌سازی رفتار سیستم تصفیه پساب می‌تواند بعنوان یک ابزار مؤثر مورد استفاده واقع شود [40-41]. از آنجایی که اکثر فرایندهای عملیاتی تصفیه پساب، غیرخطی هستند و رفتاری از خود نشان می‌دهند که با مدل‌های

¹ Fluid Catalytic Cracking (FCC)

خطی ریاضی به راحتی قابل تفسیر نیستند، استفاده از نرم افزارهای پیشرفته مانند شبکه عصبی در مدل کردن فرایندهای تصفیه و پیش بینی عملکرد تصفیه خانه ها، می تواند نتایج دقیقتری را ارائه دهد [42-43]. مدل های هوش مصنوعی ابزاری ارزشمند و قدرتمند برای پیش بینی، مدل سازی و بهینه سازی فرآیندهای تصفیه پساب هستند. آنها به طور گسترده برای حذف رنگ ها، فلزات سنگین، مواد آلی، جامدات، میکروبی، آفت کش ها و آلاینده ها از آب طی فرایند تصفیه پساب مورد استفاده قرار گرفته اند [44]. مدل های هوش مصنوعی در زمینه های مرتبط با تصفیه پساب به ویژه در سال های اخیر محبوب تر شده اند و برای پیش بینی و بهینه سازی فرآیند تصفیه پساب استفاده شده اند. مدل های هوش مصنوعی می توانند در سراسر فرآیند تصفیه پساب برای ساده سازی وظایف مختلف و دستیابی به نتایج دقیق تر مورد استفاده قرار گیرند. متداول ترین مدل های هوش مصنوعی مورد استفاده برای تصفیه پساب در شکل 6 نشان داده شده است. این مدل های مورد استفاده برای پیش بینی و بهینه سازی را می توان به سه دسته اصلی طبقه بندی شبکه عصبی مصنوعی¹، یادگیری ماشین² و الگوریتم جستجو³ کرد. همچنین، مدل های منفرد مختلفی مانند ماشین های بردار پشتیبان⁴، الگوریتم های ژنتیک⁵، منطق فازی⁶ و درخت های تصمیم گیری⁶ برای فرآیندهای مدل سازی در فرآیند تصفیه پساب استفاده شده اند [45-46]. جدول 1، نمای کلی از مدل های مختلف هوش مصنوعی و یادگیری ماشین مورد استفاده در مدل سازی تصفیه پساب را ارائه می دهد. در این جدول، به اهداف استفاده از هوش مصنوعی، مزایا و محدودیت (چالش) های آنها با توجه به مدل ها پرداخته شده است که می تواند راهنمای مناسبی برای علاقمندان به موضوع باشد [47].



¹ Artificial Neural Network (ANN)

² Search Algorithm (SA)

³ Support Vector Machine (SVM)

⁴ Genetic algorithms (GA)

⁵ Fuzzy Logic (FL)

⁶ Decision Tree (DT)

شکل 6- مدل‌های مهم هوش مصنوعی مورد استفاده در تصفیه پساب [42].

جدول 1 - مدل‌های متداول هوش مصنوعی برای تصفیه پساب، اهداف، مزایا و چالش آنها [47]

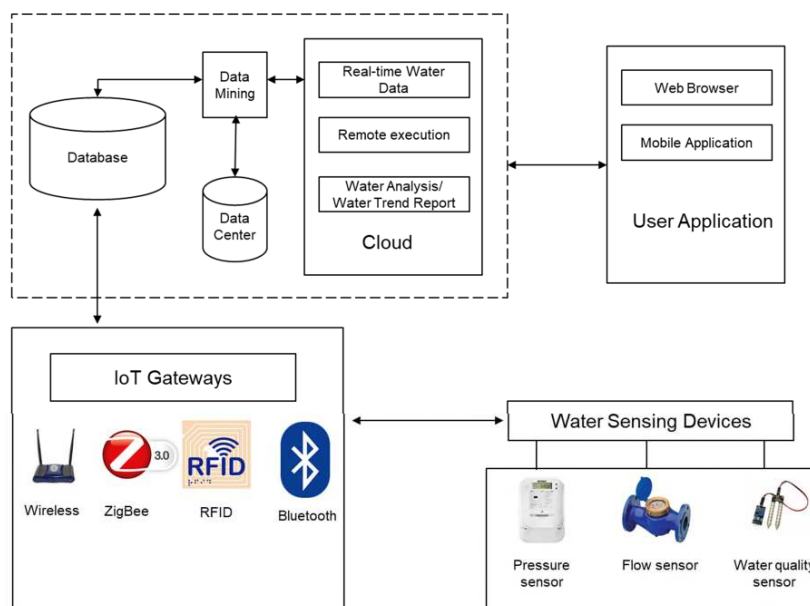
چالش‌ها	مزایا	هدف از استفاده	مدل هوش مصنوعی ML
معماری مدل پیچیده و هزینه بالای محاسبات.	مناسب برای مسائل غیرخطی دشوار؛ ساده برای پیاده‌سازی و درک	پیش‌بینی، رگرسیون و طبقه‌بندی	FNN
روشنی ناقص برای مسائل گسسته و حساس به شرایط ابتدایی.	جهانی بودن قوی، راندمان محاسباتی بالا، و سادگی و سهولت استفاده.	خوشه‌بندی، رگرسیون و طبقه‌بندی .	PSO
از نظر محاسباتی پرهزینه و یادگیری آن دشوار است.	مناسب برای مدل‌سازی عکس و استخراج ویژگی‌های کلیدی از تصاویر	رگرسیون، تقسیم‌بندی و طبقه‌بندی .	CNN
برای محاسبه هزینه بر است، برای اطمینان از صحت و استحکام، به درختان تصمیم ضخیم نیاز دارد.	آسان برای استفاده، ساده و مناسب برای مجموعه داده‌های با ابعاد بالا.	پیش‌بینی، رگرسیون و طبقه‌بندی	RF
آموزش از لحاظ محاسباتی پرهزینه و چالش برانگیز است.	مناسب برای مدل‌سازی سری‌های زمانی .	پیش‌بینی، رگرسیون و طبقه‌بندی	RNN
نامناسب برای مجموعه داده‌های ناجور و آموزش ناکارآمد.	هیچ نیازی برای پردازش داده از قبل وجود ندارد و درک، تفسیر و طبقه‌بندی آن ساده است.	رگرسیون، طبقه‌بندی و بهینه‌سازی	DT
از دست دادن برخی از اطلاعات حیاتی و حساسیت به نویز در داده‌ها.	ابعاد را کاهش می‌دهد، استفاده از آن ساده و سرراست است .	خوشه‌بندی	PCA
نیازی به پردازش قبلی نیست. درک، تفسیر و طبقه‌بندی آن ساده است.	پیش‌بینی سریع و دقیق مناسب برای سخت غیر خطی مسائل .	پیش‌بینی، رگرسیون و طبقه‌بندی	DNN
از نظر محاسباتی پرهزینه و نامناسب برای مجموعه داده‌های بزرگتر است.	قادر به حل موقعیت‌هایی با ابعاد عظیم و مناسب برای مجموعه داده‌های تفکیک پذیر پیچیده است	پیش‌بینی، رگرسیون و طبقه‌بندی	SVM

FeedForward Neural Network (FNN), Particle Swarm Optimization (PSO), Convolutional Neural Network (CNN), Random Forest (RF), Recurrent Neural Network (RNN), Decision Tree (DT), Principal Component Analysis (PCA), Deep Neural Network (DNN), Support Vector Machine (SVM)

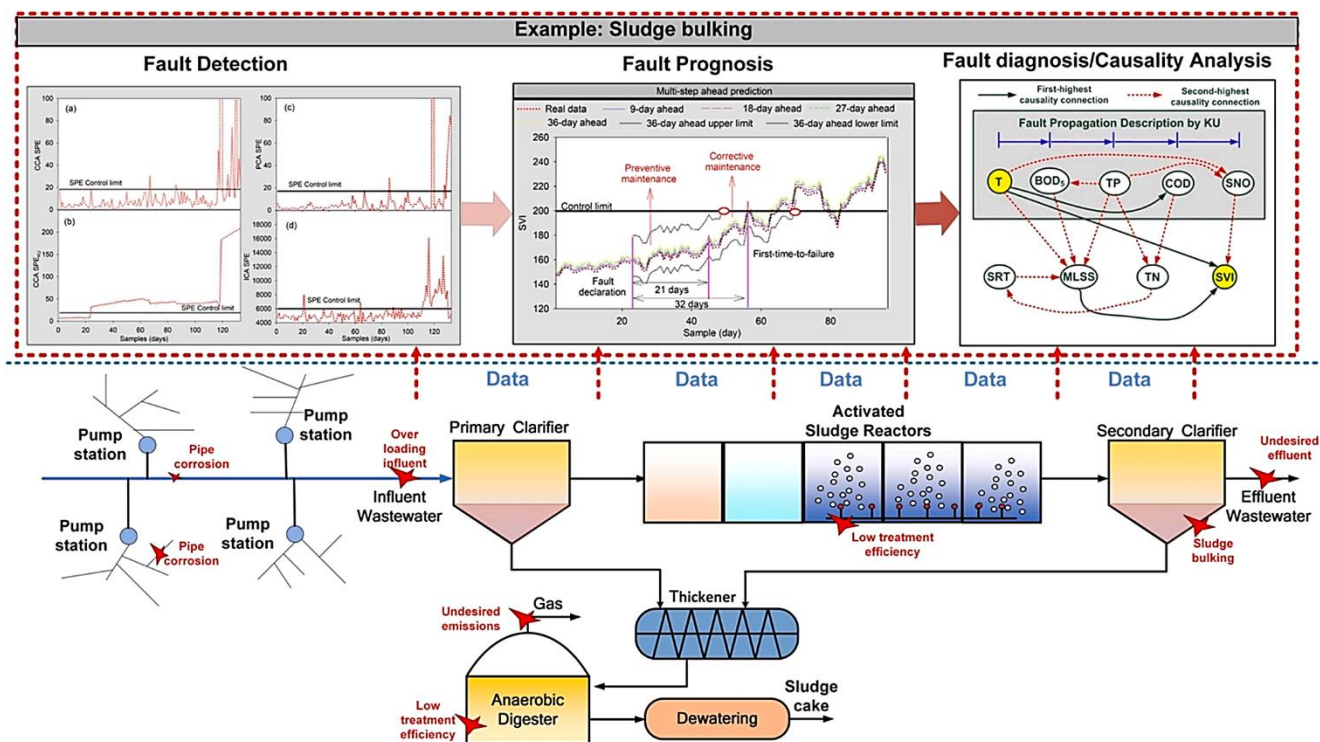
شکل 7 روند سیستم نظارت بر تصفیه آب مبتنی بر اینترنت اشیاء مستقر در یک شرکت را نشان می‌دهد. این سیستم شامل سنسورهای فشار، فلومترها و سنسورهای کیفیت آب برای سنجش پارامترهای مختلف آب است که می‌تواند برای یک واحد تولیدی بسیار مهم باشد. این سیستم داده‌هایی را برای دبی آب، فشار آب برای شناسایی نشت‌ها و پارامترهای کیفیت آب مانند pH، دما، کدر، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول و پتانسیل اکسیداسیون/کاهش برای آلودگی احتمالی ثبت می‌کند.

داده‌های جمع‌آوری شده در سرور ابری ایمن ذخیره می‌شوند و بدون توجه به موقعیت مکانی آن‌ها، در زمان واقعی در دسترس قرار می‌گیرند. از یک مجموعه نرم افزاری طراحی شده استفاده می‌شود که داده‌های مناسب آب را استخراج می‌کند و الگوهای مصرف آب را تشخیص می‌دهد. همچنین از الگوریتم‌های ریاضی و آماری برای ثبت تغییرات رفتاری و تغییرات فشار، جریان و کیفیت آب استفاده می‌شود. در این سیستم، بین رویدادهای غیرعادی تمایز قائل می‌شود که در مقایسه با روش‌های عملیاتی استاندارد و از نظر آماری، هشدارهای نادرست را فیلتر می‌کند [45].

در شکل 8 یک پلت فرم مدیریت خطا مبتنی بر داده معمولاً به سه بخش تقسیم می‌شود: تشخیص خطا (تشخیص می‌دهد که آیا خطا وجود دارد یا نه)، تشخیص مکان (جایی که محل خطا در سیستم است)، و پیش‌آگهی (پیش‌بینی پیشرفت یا نتیجه آینده ناشی از خطا). هنگامی که یک ناهنجاری شناسایی می‌شود، هوش مصنوعی می‌تواند داده‌های تاریخی، پردازش داده‌ها و قرائت‌های حسگر را برای شناسایی علل احتمالی قبل از وقوع آنها تجزیه و تحلیل کند. این رویکرد پیشگیرانه برای شناسایی و پیش‌بینی خطاها، مداخلات به موقع، نگهداری و راهبردهای کاهش را ممکن می‌سازد [46].



شکل 7 - جانمایی اینترنت اشیاء برای پایش آب [45]



شکل 8- نمایی از کاربرد هوش مصنوعی در تشخیص، تشخیص و پیش آگهی عیوب مختلف در فرآیندهایی مانند خوردگی لوله، حجیم شدن لجن و راندمان تصفیه پایین در تصفیه پساب [46]

6-4. نقش هوش مصنوعی در تعمیر و نگهداری تجهیزات

در صنعت پتروشیمی، خرابی تجهیزات می تواند منجر به خسارات مالی قابل توجهی شود. مدل های تعمیر و نگهداری پیش بینی کننده مبتنی بر هوش مصنوعی از داده های حسگر، داده های عملکرد تاریخی و سوابق تعمیر و نگهداری برای پیش بینی خرابی احتمالی تجهیزات استفاده می کنند.

راه حل های تعمیر و نگهداری سنتی معمولاً به دو دسته تقسیم می شوند، اصلاحی و پیشگیرانه. تعمیر و نگهداری اصلاحی برای تعمیر سیستم ها و تجهیزات پیچیده تنها پس از شکست آنها استفاده می شود که منجر به افزایش هزینه های مستقیم فرآیندها می شود. در مقابل، تعمیر و نگهداری پیشگیرانه به طور منظم برای جلوگیری از خرابی تجهیزات انجام می شود. بنابراین، تعمیرات پیشگیرانه ماشین آلات یا قطعات زمانی انجام می شود که عمر مفید باقیمانده آنها ناشناخته باشد، که منجر به توقف برنامه ریزی نشده و افزایش هزینه های عملیاتی می شود [48].

در بررسی خرابی تجهیزات و نقص عملکردی آنها لازم است نه تنها علائم خرابی تجهیزات شناسایی شود، بلکه باید علل عملکرد در آینده را نیز بررسی و از بین برد. کاهش عملکرد به دلیل آلودگی در کمپرسورها، نشتی ناشی از خوردگی لوله ها و مخازن، گرفتگی تجهیزات به دلیل زنگ زدگی و رسوب مواد پلیمری و سایر مشکلات باید زود تشخیص داده شود. همچنین شناسایی علت اصلی ضروری است. این امر، معمولاً با بررسی تفاوت های بین عملیات عادی و غیرعادی و نیز بین زمان خراب شدن تجهیزات و زمانی که در شرایط عادی فعالیت دارد، انجام می شود. برای شناسایی علت اصلی، یک فرضیه ساخته می شود، سپس با استفاده از داده ها، فرآیند بررسی می گردد. هنگامی که داده های کافی در مورد شرایط غیر طبیعی در دسترس است، یک طبقه بندی توسط یادگیری ماشینی ایجاد می شود تا مشخص کند که وضعیت فعلی عادی است یا غیرعادی [49].

هوش مصنوعی می‌تواند از داده‌های جمع‌آوری شده توسط حسگرهای اینترنت اشیاء برای پیش‌بینی خرابی دستگاه‌ها استفاده کند. یک تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند هزینه‌های نگهداری سالانه را تا 10 درصد، زمان خرابی برنامه‌ریزی نشده را تا 25 درصد و هزینه‌های بازرسی را تا 25 درصد کاهش دهد [31]. یک مطالعه توسط شرکت مک کنزی تخمین می‌زند که تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده توسط هوش مصنوعی می‌تواند هزینه‌های تعمیر و نگهداری را 40-10٪ کاهش دهد و زمان کارکرد دارایی را 20-10٪ افزایش دهد [22].

7-4- نقش هوش مصنوعی در مدیریت محیط زیست، بهره‌وری انرژی و پایداری

انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی هوا و آب، و اختلال در اکوسیستم تنها برخی از محصولات جانبی نگران‌کننده مرتبط با فرآیندهای صنایع پتروشیمی هستند و این چالش با افزایش بی‌امان تقاضای جهانی برای محصولات پتروشیمی تشدید می‌شود. لذا صنعت پتروشیمی با فشار فزاینده‌ای برای کاهش اثرات زیست محیطی خود با توجه به الزامات زیست محیطی دولت‌ها مواجه است. با استفاده از شبیه‌سازی‌ها و ابزارهای مدل‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی، مهندسان می‌توانند فرآیندهای کارآمدتر و سازگار با محیط زیست را طراحی کنند. با بهره‌گیری از قدرت هوش مصنوعی، شرکت‌های پتروشیمی نه تنها به برتری عملیاتی دست می‌یابند، بلکه به آینده‌ای مسئولانه‌تر و کارآمدتر کمک می‌کنند. استقبال از هوش مصنوعی فقط یک انتخاب تکنولوژیکی نیست بلکه یک ابتکار استراتژیک است که صنعت پتروشیمی را برای سال‌های آینده شکل خواهد داد. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند فرصت‌های صرفه‌جویی در انرژی را با تجزیه و تحلیل داده‌های تاریخی و مدل‌سازی سناریوهای عملیاتی مختلف شناسایی کنند. این امر مهندسان را قادر می‌سازد تا تصمیمات مبتنی بر داده اتخاذ کنند که منجر به فرآیندهای پایدارتر و سازگار با محیط زیست شود [50]. گزارش توسط شرکت اکسنچر¹ نشان می‌دهد که بهینه‌سازی فرآیند مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند منجر به بهبود 20-10 درصد در بازده تولید و کاهش 30-20 درصدی در مصرف انرژی شود. با استفاده از حسگرهای پیشرفته و تصاویر ماهواره‌ای، استفاده از هوش مصنوعی در نرم‌افزار صنعت نفت و گاز و پتروشیمی، تشخیص و واکنش به نشت نفت و نشت هیدروکربن را افزایش می‌دهد. هوش مصنوعی همچنین نظارت در زمان واقعی و تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده را تسهیل می‌کند و به شرکت‌ها کمک می‌کند تا به طور فعالانه نشت‌ها را مدیریت کرده و از آن جلوگیری کنند. این امر ضمن محافظت از محیط زیست، هزینه‌های پاکسازی و مسئولیت‌های قانونی احتمالی را کاهش می‌دهد [22]. بررسی‌های به عمل آمده در خصوص استفاده از هوش مصنوعی در نیروگاه‌های مولد برق نشان از بهبودهای زیست‌محیطی دارد، از جمله کاهش 14 درصدی انتشار مونوکسید کربن، کاهش 10 تا 14 درصدی انتشار اکسید نیتروژن، و کاهش قابل‌توجه در مصرف سوخت و انتشار CO₂، در محدوده بین 0/5-1٪ [51]. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که اگر هوش مصنوعی برای همه آلاینده‌ها منتشر شده اعمال شود، با استفاده از آن می‌توان 5 تا 10 درصد از حجم کلی 2/6 تا 5/3 گیگا تن از CO₂ منتشر شده را کاهش داد [52]. در خصوص به‌کارگیری آب شیرین‌کن‌های هوشمند بر اساس کاربرد هوش مصنوعی، هی² و همکاران، بهبود 10 درصدی در بهره‌وری آب شیرین را با استفاده از بهینه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی سیستم‌های نمک زدایی مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر گزارش کردند [53].

8-4. نقش هوش مصنوعی در مدیریت زنجیره تامین

توقف و نقص تولید به دلیل تامین مواد اولیه مورد نیاز، مشکل همیشگی صنایع مختلف است. ضایعات و کاهش سود نیز از نتایج معمول انباشت بیش از حد محصولات تولیدی است. هوش مصنوعی می‌تواند با پیش‌بینی تقاضا، بهینه‌سازی سطح موجودی و شناسایی مسیرهای حمل و نقل مقرون به صرفه به ساده‌سازی عملیات زنجیره تامین کمک کند. شرکت‌های

¹ Accenture

² He



پتروشیمی ها با انواع مواد اولیه و محصولات نهایی و با مدیریت زنجیره های تامین پیچیده با تامین کنندگان و توزیع کنندگان متعدد سروکار دارند. با تجزیه و تحلیل روندهای بازار، داده های تاریخی و عوامل خارجی، هوش مصنوعی سطوح موجودی را بهینه می کند و تامین مداوم مواد ضروری را تضمین می کند. این امر نه تنها فرآیند تامین کالا و تدارکات را ساده، هزینه های ذخیره سازی را کاهش و پاسخگویی به تقاضاهای بازار و رضایت بهتر مشتری را بهبود می بخشد که انعطاف پذیری زنجیره تامین را نیز افزایش می دهد [31].

9-4. نقش هوش مصنوعی در افزایش ایمنی و بهبود ریسک ایمنی

ایمنی در صنعت پتروشیمی به دلیل ماهیت خطرناک عملیات آن از اهمیت بالایی برخوردار است. کارخانه و تجهیزات پتروشیمی ها و پالایشگاه ها عموماً مدرن و فرآیندها عمدتاً خودکار و محصور هستند. عملیات روتین، فرآیندهایی هستند که معمولاً با رعایت استانداردهای تعمیر و نگهداری مناسب از نظر طراحی، ساخت و عملیات، کم خطر بودن در معرض حوادث را نشان می دهند. با این حال، تهدید قرار گرفتن در معرض خطر همیشه وجود دارد. عمدتاً مواجهه اصلی با مواد خطرناک در طول زمان خاموشی یا تعمیر و نگهداری کارخانه اتفاق می افتد زیرا شرایط با فعالیت در شرایط معمول متفاوت است. فناوری مبتنی بر هوش مصنوعی و اینترنت اشیا به طور خودکار داده ها را تغذیه و پردازش می کند و به طور منظم تغییرات لازم و اقدامات احتیاطی ایمنی را ارائه خواهد کرد [54].

هوش مصنوعی به نظارت در زمان واقعی عملیات و تشخیص انحراف از شرایط عادی که ممکن است خطرات ایمنی را نشان دهد، کمک می کند. به عنوان مثال، دوربین های مبتنی بر هوش مصنوعی می توانند پرسنل غیرمجاز را در مناطق محدود شناسایی کنند، در حالی که مدل های پیش بینی می توانند تصادفات احتمالی را بر اساس داده های تاریخی پیش بینی کنند. ارزیابی ایمنی و ریسک ایمنی در مهندسی شیمی بسیار مهم است و هوش مصنوعی نقش مهمی در ارزیابی و مدیریت ریسک دارد. مدل های یادگیری ماشینی می توانند داده های حوادث تاریخی را تجزیه و تحلیل کنند، خطرات احتمالی را شناسایی کنند و اقدامات ایمنی را توصیه کنند. علاوه بر این، شبیه سازی های مبتنی بر هوش مصنوعی می توانند به مهندسان کمک کنند تا پیامدهای سناریوهای مختلف را ارزیابی کرده و طرح های واکنش اضطراری را توسعه دهند [55].

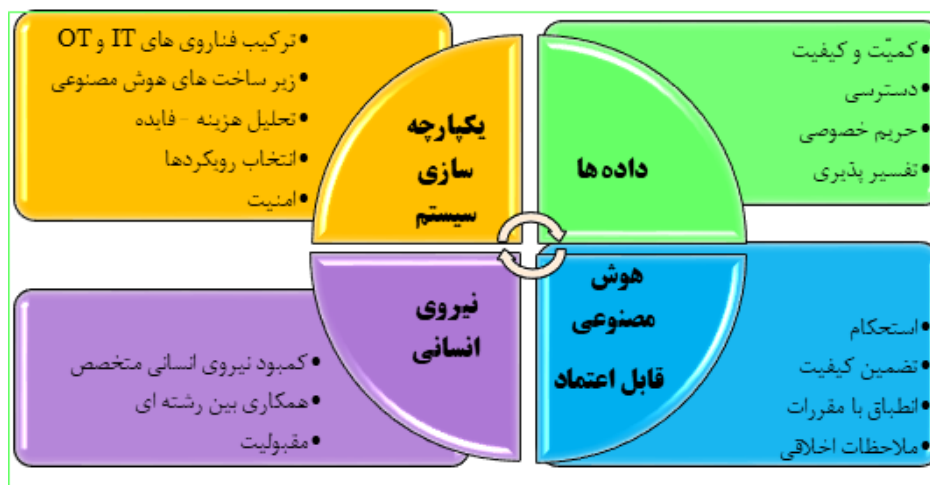
5. چالش ها و فرصت ها

علیرغم توجه به قابلیت ها و کاربردهای هوش مصنوعی (AI) در صنایع نفت و گاز و حتی صنایع پتروشیمی که می تواند سبب بهبود کارایی، کاهش هزینه ها و رفع چالش های مختلف گردد، با این حال، پیاده سازی و استفاده از هوش مصنوعی در این صنایع می تواند با چالش ها و فرصت های مختلفی همراه باشد.

1-5. چالش ها

براساس تحقیقات به عمل آمده در خصوص شناسایی چالش های رایج مرتبط با ادغام هوش مصنوعی در سیستم های صنعتی، در مجموع 16 چالش شناسایی شده است که به چهار موضوع کلی دسته بندی می شوند که در ادامه این بخش به آنها اشاره می شود (شکل 9 مشاهده شود) [56]:

1. یکپارچه سازی سیستم،
2. داده ها،
3. نیروی کار
4. هوش مصنوعی قابل اعتماد



شکل 9- شناسایی چالش‌های رایج مرتبط با ادغام هوش مصنوعی در سیستم‌های صنعتی [56]

5-1-1. یکپارچه سازی سیستم

5-1-1-1. ترکیب فناوری عملیاتی¹ و فناوری اطلاعات²

ادغام هوش مصنوعی در سیستم‌های فنی به دلیل تفاوت‌های اساسی بین OT و IT یک چالش است [57]. OT به جبرگرایی، پیش‌بینی‌پذیری و قابلیت اطمینان اولویت می‌دهد، در حالی که IT بر انعطاف‌پذیری، اغلب از طریق انتزاع منابع³، بزرگنمایی ضروریات و حذف کردن نامرتب‌ها در مورد داده‌ها (یا کانتینری کردن⁴) مکانیزم نرم‌افزارمحوری است که به شکل مجازی برنامه‌های کاربردی را برای استقرار، بسته‌بندی و ایزوله می‌کند (تمرکز می‌کند). علاوه بر این، هوش مصنوعی قابلیت غیرقابل پیش‌بینی را اضافه می‌کند، که باعث می‌شود سیستم قطعی‌تر شود [58]. این ویژگی‌های متضاد، همراه با وجود نرم‌افزار قدیمی، ادغام یکپارچه هوش مصنوعی را در سیستم‌های موجود پیچیده می‌کند [59].

5-1-1-2. زیرساخت سیستم هوش مصنوعی

سیستم‌های هوش مصنوعی اغلب به منابع محاسباتی گسترده‌ای برای پردازش حجم زیادی از داده‌ها نیاز دارند [60]، که چالش‌های اساسی را برای ادغام آن‌ها در تنظیمات صنعت نسل 4⁵ ایجاد می‌کند. علاوه بر این، استقرار سیستم‌های هوش مصنوعی مستلزم استفاده از فناوری‌ها و پلتفرم‌های هوش مصنوعی مختلف است که به طور بالقوه منجر به چالش‌های قابلیت همکاری می‌شود [61]. به علاوه، جمع‌آوری داده‌ها برای آموزش مدل‌های هوش مصنوعی در محیط‌های سیستم‌های فیزیکی-سایبری⁶ معمولاً شامل به‌روزرسانی‌های سخت و نرم‌افزار موجود است [58].

¹ Operational Technology (OT)

² Information Technology (IT)

³ Abstraction

⁴ Containerization

⁵ Industry 4.0

⁶ Cyber-Physical Systems (CPS)

3-1-1-5. امنیت

ادغام داده‌ها از منابع متعدد با فناوری‌های نوظهور مانند هوش مصنوعی، که محور تمرکز در صنعت نسل 4 است، خطرات امنیت سایبری را افزایش می‌دهد [62]. علاوه بر این، عملکرد مدل‌های بزرگ هوش مصنوعی در محیط‌های ابری¹، جریان داده‌ها را در معرض حملات بالقوه قرار می‌دهد [63]. در نهایت، سیستم‌های هوش مصنوعی با تهدیدات منحصر به فردی مانند حملات خصمانه و دستکاری داده‌ها مواجه هستند. حفاظت از سیستم‌های هوش مصنوعی و داده‌ها در برابر حملات سایبری یک امر ضروری است که غفلت از آن در برابر اقدامات خرابکارانه یا تروریستی می‌تواند آسیب‌های جبران‌ناپذیری به دارایی‌های مادی و معنوی هر شرکت یا سازمان بزند.

4-1-1-5. انتخاب رویکردهای هوش مصنوعی

در صنایع پتروشیمی، پیچیدگی عملیات در واحدهای فرآیندی و غیر فرآیندی و ارتباط آنها با هم است که معمولاً شامل چندین مرحله بوده و به مجموعه مهارت‌ها و ابزارهای متنوعی نیاز دارد که ادغام هوش مصنوعی در فعالیت‌های فعلی کاری، بدون سرمایه‌گذاری قابل توجه در زیرساخت‌ها و آموزش می‌تواند چالش برانگیز باشد. بنابراین، ایجاد الگوریتم‌ها و انتخاب مدل‌های هوش مصنوعی مناسبی که بتوانند به درستی این فرایندها را پیش‌بینی و کنترل کنند، یک چالش رایج برای صنعت پتروشیمی است.

تنوع مجموعه داده‌ها و کمیاب بودن داده‌های خاص CPS ایجاب می‌کند که متخصصان هوش مصنوعی مدل‌ها را از ابتدا طراحی کنند، زیرا هیچ مدل بنیادی واحدی در سطح جهانی برتری ندارد [63]. تکمیل کننده این چالش‌ها، فرآیند تنظیم مدل است که شامل تنظیم فرآیندهای متعدد برای بهینه‌سازی عملکرد برای یک مجموعه داده خاص، انتخاب و اجرای رویکردهای هوش مصنوعی در CPS را به یک وظیفه پیچیده و پویا تبدیل می‌کند [64].

5-1-1-5. تجزیه و تحلیل هزینه و فایده

راه‌اندازی سیستم‌های هوش مصنوعی هزینه‌های قابل توجهی را به همراه دارد، از جمله سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های تخصصی و آموزش نیروی کار، که می‌تواند برای شرکت‌های کوچک و متوسط مشکل‌ساز باشد. [61]. پروژه‌های هوش مصنوعی همچنین مستلزم نظارت مستمر و بازآموزی دوره‌ای مدل‌ها است که منجر به هزینه‌های اضافی می‌شود. در بخش‌های حیاتی ایمنی، جایی که خرابی‌ها هزینه‌های قابل توجهی دارند، استخراج ارزش تجاری از مدل‌های هوش مصنوعی می‌تواند چالش برانگیز باشد [58]. علاوه بر این، تعریف شاخص‌های عملکرد کلیدی مناسب² در صنعت نسل 4 می‌تواند دشوار بوده و برنامه ریزی مالی را پیچیده کند [65].

2-1-5. داده‌ها

1-2-5. کمیت و کیفیت داده

در حالی که صنعت حجم وسیعی از داده‌ها را تولید می‌کند، اغلب بدون ساختار و در منابع مختلف پراکنده است و استخراج بینش‌های مفید را دشوار می‌کند. علاوه بر این، کیفیت داده‌ها می‌تواند چالش برانگیز باشد، زیرا داده‌های نادرست یا ناقص می‌تواند منجر به نتایج مغرضانه یا غیر قابل اعتماد شود.

در عمل، مجموعه داده‌های CPS اغلب حاوی نویز، مقادیر از دست رفته، یا ثبت زمانی نادرست داده‌ها به دلیل عواملی مانند تأخیر داده‌ها و نقص عملکرد حسگر هستند [66]. علاوه بر این، کمبود داده در مورد رویدادهای مرتبط مانند خرابی‌ها منجر به مجموعه داده‌های جانبدارانه و ناصحیح می‌شود [58]. چنین کیفیت ضعیف داده می‌تواند مستقیماً منجر به عملکرد

¹ Cloud Environments² Suitable Key Performance Indicators



مدل غیربهمینه شود، زیرا سیستم‌های هوش مصنوعی برای یادگیری مؤثر و اتخاذ پیش‌بینی‌ها یا تصمیم‌گیری‌های دقیق به داده‌های دقیق و جامع وابسته هستند [67]. بنابراین، شرکت‌ها باید روی ابزارها و فرآیندهای مدیریت داده سرمایه‌گذاری کنند تا اطمینان حاصل شود که داده‌هایی که جمع‌آوری می‌کنند از کیفیت کافی برای حمایت از ابتکارات هوش مصنوعی برخوردار است.

2-1-5. دسترسی به داده‌ها

بسیاری از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، به ویژه مدل‌های یادگیری عمیق، برای آموزش موثر به حجم وسیعی از داده‌ها بستگی دارند، که می‌تواند در سیستم‌های صنعتی دشوار باشد [67]. با CPS، این داده‌ها اغلب از سیستم‌های قدیمی نشأت می‌گیرند که ممکن است با جمع‌آوری داده‌ها یا ادغام هوش مصنوعی در ذهن طراحی نشده باشند [61]. مجموعه داده‌های در دسترس عموم معمولاً به عنوان منابع داده تکمیلی قابل دوام عمل نمی‌کنند. علاوه بر این، فقدان مکرر برچسب‌ها برای یادگیری تحت نظارت¹، استفاده از داده‌ها را پیچیده‌تر می‌کند [58].

3-1-5. حفظ حریم خصوصی

بسیاری از مدل‌های هوش مصنوعی به جای شبکه‌های محلی، در فضای ابری کار می‌کنند و نیاز به انتقال داده‌های حساس به سرورهای خارجی است. این وضعیت نگرانی‌هایی را در مورد استفاده غیرمجاز از داده‌ها بدون رضایت شرکت ایجاد می‌کند [68]. علاوه بر این، تعهدات قانونی اعمال شده توسط مراجع ذیصلاح، مدیریت و انطباق داده‌ها را پیچیده‌تر می‌کند.

3-1-5. نیروی انسانی

1-3-5. کمبود نیروی انسانی متخصص

پیاده‌سازی هوش مصنوعی در فرآیندهای صنعتی به طیف وسیعی از تخصص‌ها نیاز دارد. یافتن کارشناسانی که قادر به ساخت، آموزش و استقرار مدل‌های هوش مصنوعی باشند، چالش برانگیز است [62]. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل موثر داده‌ها نیز نیازمند دامنه دانش خاصی از سیستم فنی است [57] که تعداد کارشناسان واجد شرایط را بیشتر محدود می‌کند. تامین تخصص مناسب به ویژه برای شرکت‌های کوچک و متوسط‌ها چالش برانگیز است.

2-3-5. همکاری بین رشته‌ای

ایجاد یک برنامه کاربردی هوش مصنوعی برای یک سیستم فنی نیاز به همکاری متخصصان مختلف دارد، زیرا نه تنها متخصصان هوش مصنوعی، بلکه مهندسان اتوماسیون، مهندسان فرآیند و مهندسان نرم افزار را نیز درگیر می‌کند [68].

3-3-5. مقبولیت و پذیرش هوش مصنوعی

مقبولیت و پذیرش سیستم‌های هوش مصنوعی ممکن است با بی‌میلی کارکنان و کارگران نسبت به فناوری‌های جدید، که ممکن است ناشی از ترس از اتوماسیون شغلی [61] و تلاش‌های ناموفق قبلی برای راه‌اندازی سیستم‌های هوش مصنوعی باشد [69]، مواجه شود. این شک و تردید با غیرقابل پیش‌بینی بودن هوش مصنوعی و خطاهای گاه به گاه تشدید می‌شود، که اعتماد به قابلیت اطمینان آن را تضعیف می‌کند. در نتیجه، بسیاری از شرکت‌ها در مورد مزایای بازار کوتاه‌مدت پیاده‌سازی

¹ Supervised Learning

هوش مصنوعی تردید دارند [70]. صاحبان صنعت باید متوجه این تأثیرات بالقوه بوده و با برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری هدفمند در آموزش و توسعه کارکنان به دنبال کاهش این نگرانی‌ها و تبعات آن باشند.

5-1-4-4. هوش مصنوعی قابل اعتماد

5-1-4-4-1. قابلیت تفسیر

مدل‌های هوش مصنوعی، که با ساختارهای پیچیده و ماهیت احتمالی‌شان مشخص می‌شوند، اغلب به‌عنوان "جعبه‌های سیاه" عمل می‌کنند و درک فرآیندهای تصمیم‌گیری آن‌ها را دشوار می‌کنند [71]. در بخش‌هایی که قابلیت اطمینان و استانداردهای ایمنی دقیق را در اولویت قرار می‌دهند، عدم شفافیت کامل در فرآیندهای تصمیم‌گیری هوش مصنوعی می‌تواند مانع پذیرش و ادغام گسترده‌تر آن شود [61، 67].

5-1-4-4-2. استحکام

استحکام (استواری) فنی برای هوش مصنوعی قابل اعتماد، بسیار مهم است [72]. در سیستم‌های صنعتی، کاهش ناگهانی عملکرد می‌تواند به ماشین‌آلات آسیب برساند و ایمنی نیروی انسانی را به خطر بیندازد [61]، بویژه در سیستم‌های حیاتی ایمنی، که در آن عدم استحکام در هوش مصنوعی یک نگرانی عمده است، بسیار مهم است. عملکرد مدل غیر استوار می‌تواند ناشی از تغییرات در توزیع داده‌های اساسی برای مثال به دلیل فرسودگی سیستم یا تغییرات عملیاتی باشد، [63]. این مسئله با آسیب پذیری مدل‌ها در برابر حملات خرابکاران ترکیب شده و آسیب پذیری را افزایش می‌دهد [58].

5-1-4-4-3. تضمین کیفیت

اطمینان از ایمنی مدل‌های هوش مصنوعی و سیستم‌هایی که بخشی از آنها هستند، بسیار مهم است و نیاز به آزمایش جامع دارد [36]. در حوزه مهندسی مکانیک یا نرم افزار، سیستم در برابر الزامات از پیش تعریف شده آزمایش می‌شود که تحقق آن برای سیستم‌های هوش مصنوعی دشوار است [73]. علاوه بر این، مدل‌های هوش مصنوعی پیچیدگی‌هایی مانند فقدان تفسیرپذیری و عدم قطعیت ذاتی در پیش‌بینی‌ها را معرفی می‌کنند که فرآیند آزمایش را پیچیده می‌کند [70]، ضمن آن که با تکامل توزیع داده‌ها، مدل‌های هوش مصنوعی به بازآموزی منظم [25] و نظارت بر زمان اجرا برای حفظ یکپارچگی و عملکرد سیستم نیاز دارند [58].

5-1-4-4-4. انطباق با مقررات و قوانین

در صنایع پتروشیمی و صنایع مشابه، رعایت مقررات، استانداردها و الزامات ایمنی و کیفیت محصول بسیار مهم است. چشم انداز قانونی فناوری هوش مصنوعی هنوز در حال تحول است و نیاز به سازگاری با تغییر الزامات قانونی دارد. علاوه بر این، سیستم‌های هوش مصنوعی صنعتی توسط چارچوب‌های نظارتی گسترده‌تری در زمینه‌هایی مانند ایمنی محصول و اثرات زیست محیطی اداره می‌شوند که می‌تواند با اتوماسیون از طریق هوش مصنوعی در تضاد باشد [58]. آنچه وجود ندارد استانداردهای قابل اعتمادی است که باید به آنها مراجعه کرد [61].

5-1-4-4-5. ملاحظات اخلاقی

نگرانی‌های اخلاقی در هوش مصنوعی در حال رشد است، همانطور که توسط تحقیقات اخیر و بحث‌های سیاستی برجسته شده است [70]. پایبندی به دستورالعمل‌های اخلاقی برای ایجاد اعتماد در بین مشتریان در فناوری‌های هوش مصنوعی

¹ Black Boxes



ضروری است. علاوه بر این، در سناریوهای حیاتی برای ایمنی نیروی انسانی، ممکن است لازم باشد که سیستم‌های هوش مصنوعی به طور صریح برای اولویت‌بندی نتایج خاص پیکربندی شوند [74].

5-2. فرصت‌ها

با وجود چالش‌های مورد اشاره، همانطور که در بخش نقش هوش مصنوعی در واحدهای فرایندی و غیر فرایندی به موارد کاربردی مختلفی اشاره شد، فرصت‌ها (مزایای بالقوه) هوش مصنوعی نیز قابل توجه است که می‌توان به موارد زیر اشاره داشت [31، 75]:

1. بهینه‌سازی فرایندها: استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند بهینه‌سازی فرایندهای تولید و فرآوری مواد شیمیایی را تسهیل کرده و تاثیر بسزایی در افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها داشته باشد.
2. پیش‌بینی و کنترل خطاها و خرابی تجهیزات: هوش مصنوعی می‌تواند به شناسایی و پیش‌بینی خطاها، نقص‌ها و مشکلات در فرایندهای تولید و فرآوری مواد شیمیایی و از جمله پیش‌بینی خرابی‌های تجهیزات حیاتی مانند راکتورها و خطوط لوله اقدام کرده و از توقف پرهزینه جلوگیری و ایمنی عملیاتی را با اقدامات مناسب کنترلی تضمین کند.
3. کنترل کیفیت محصول با سیستم‌های بینایی مبتنی بر هوش مصنوعی: سیستم‌های بینایی مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند محصولات پتروشیمی را از نظر عیوب با دقت و سرعت بالا بازرسی کنند و از کیفیت ثابت در طول تولید اطمینان حاصل کنند.
4. پیش‌بینی تقاضا مبتنی بر هوش مصنوعی: هوش مصنوعی می‌تواند روندهای بازار و داده‌های مشتری را برای پیش‌بینی تقاضا برای محصولات پتروشیمی خاص تجزیه و تحلیل کند و به شرکت‌ها اجازه دهد برنامه‌های تولید و سطح موجودی را بهینه کنند.
5. طراحی کاتالیزور به کمک هوش مصنوعی: هوش مصنوعی می‌تواند توسعه کاتالیزورهای جدید و بهبود یافته را که برای واکنش‌های شیمیایی کارآمد در فرایندهای پتروشیمی ضروری هستند، سرعت بخشد.
6. بهبود ایمنی و محیط زیست: استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند سبب بهبود ایمنی، کاهش تعداد تصادفات و حوادث شغلی و بیماری‌های ناشی از کار در صنعت شده و باعث کاهش آثار زیان بار بر محیط زیست با کاهش تولید آلاینده‌های زیست محیطی از جمله گازهای گلخانه‌ای، پساب‌ها و پسماندهای صنعتی گردد.
7. تشخیص تهدید امنیت سایبری با هوش مصنوعی: هوش مصنوعی می‌تواند داده‌های کارخانه را برای شناسایی تهدیدات سایبری و جلوگیری از نقض امنیت، محافظت از زیرساخت‌های حیاتی و مالکیت معنوی تجزیه و تحلیل کند.

6. نتیجه‌گیری

شرکت‌هایی که رویکردی استراتژیک و متفکرانه برای پذیرش هوش مصنوعی در پیش می‌گیرند، در موقعیت خوبی قرار خواهند گرفت تا مزایای آن را درک کنند و از رقبا جلوتر بمانند. با سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های لازم، مدیریت داده‌ها و آموزش کارکنان، شرکت‌ها می‌توانند اطمینان حاصل کنند که برای تحولات آینده صنعت به خوبی آماده هستند. در کنار مزیت‌های نسبی چون خوراک ارزان، نیروی کار ریالی، زیرساخت‌ها و تاسیسات مناسب، بازار داخلی سهل الوصول و دسترسی مناسب به سواحل دریایی برای صادرات محصول، توجه به فناوری هوش مصنوعی و قابلیت‌های آن در حل چالش‌های نوظهور صنعت پتروشیمی در ایران، یک ضرورت است. ضرورت نقش آفرینی هوش مصنوعی و تحول دیجیتال در قالب نقشه راه مصوب با برنامه‌های چشم‌انداز 10 و 20 ساله در صنایع پتروشیمی و پایین دستی، کمک خواهد کرد تا این صنایع امکان بقاء و رقابت‌پذیری در بازارهای هدف را در کنار اهدافی چون کاهش تأثیرات نامطلوب زیست محیطی و ارتقای



بهره‌وری تضمین کنند. برای سیاست‌گذاری، برنامه ریزی و اقدام موثر در این حوزه، لازم است وزارت نفت و شرکت های اصلی تابعه و نیز هلدینگ های پتروشیمی در یک رویکرد واحد و هم افزا و غیر موازی کاری، دفاتر (واحدهای) تخصصی هوش مصنوعی تأسیس کنند. شرکت هایی که سرمایه گذاری در هوش مصنوعی را اتخاذ می کنند، با کارآمدی بیشتر و نوآورتر بودن، مزیت رقابتی قابل توجهی به دست می آورند.

منابع:

1. DOZIE, E. A., JOHNSON, N., ANDREW, N. H., & JUSTINE, A. C. (2023). Revolutionizing Petrochemical Production: Unleashing the Full Potential of Industry 4.0 to Drive Efficiency, Harness Reserve and Propel Innovation.
2. Min, Q., Lu, Y., Liu, Z., Su, C., & Wang, B. (2019). Machine learning based digital twin framework for production optimization in petrochemical industry. *International Journal of Information Management*, 49, 502-519.
3. Raj Shah, A. M. P. "AI-Powered Analysis in the Petrochemical Industry: Balancing Demand with Sustainability". <https://www.linkedin.com/pulse/ai-powered-analysis-petrochemical-industry-balancing-amirtharaj-hcy4c>
4. <https://www.nipna.ir/fa/newsagency/26831/%D9%87%D8%AC%D8%AF%D9%87%D9%85%DB%8C%D9%86-%D9%86%D9%85%D8%A7%DB%8C%D8%B4%DA%AF%D8%A7%D9%87-%D8%A8%DB%8C%D9%86-%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%84%D9%84%DB%8C-%D8%A7%DB%8C%D8%B1%D8%A7%D9%86-%D9%BE%D9%84%D8%A7%D8%B3%D8%AA-%D8%B3%D9%86%D8%AF-%D9%87%D9%88%D8%B4-%D9%85%D8%B5%D9%86%D9%88%D8%B9%DB%8C>
5. <https://www.restack.io/p/ai-in-chemical-engineering-answer-ai-applications-chemical-process-optimizations-cat-ai#cm1u0aibm36kzik5lt139bnah>
6. Butler, K. T., Davies, D. W., Cartwright, H., Isayev, O., & Walsh, A. (2018). Machine learning for molecular and materials science. *Nature*, 559(7715), 547-555.
7. Xu, Y., Liu, X., Cao, X., Huang, C., Liu, E., Qian, S., ... & Zhang, J. (2021). Artificial intelligence: A powerful paradigm for scientific research. *The Innovation*, 2(4)..
8. Samuel, A. L. (2000). Some studies in machine learning using the game of checkers. *IBM Journal of research and development*, 44(1.2), 206-226.
9. Dey, A. (2016). ML algorithms: a review. *Int J Comput Sci Inform Technol*, 7(3), 1174-1179.
10. Taye, M. M. (2023). Understanding of machine learning with deep learning: architectures, workflow, applications and future directions. *Computers*, 12(5), 91.
11. Keles, E., & Bagci, U. (2023). The past, current, and future of neonatal intensive care units with artificial intelligence: a systematic review. *NPJ Digital Medicine*, 6(1), 220.
12. <https://pythongeeks.org/deep-learning-vs-machine-learning>
13. Géron, A. Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems; O'Reilly Media, Inc.: Sebastopol, CA, USA, 2019.
14. Burkov, A. (2019). *The hundred-page machine learning book* (Vol. 1, p. 32). Quebec City, QC, Canada: Andriy Burkov.
15. Aliyu, R., Mokhtar, A. A., & Hussin, H. (2022). Prognostic health management of pumps using artificial intelligence in the oil and gas sector: a review. *Applied Sciences*, 12(22), 11691.
16. <https://dideban-ict.com/wp-content/uploads/2024/12/%D8%AF%D9%88%D9%82%D9%84%D9%88-%D8%B5%D9%86%D8%A7%DB%8C%D8%B9.pdf>
17. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), 1645-1660.
18. Yang, C., Shen, W., & Wang, X. (2018). The internet of things in manufacturing: Key issues and potential applications. *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine*, 4(1), 6-15.



19. Severi, S., Sottile, F., Abreu, G., Pastrone, C., Spirito, M., & Berens, F. (2014). M2M technologies: Enablers for a pervasive Internet of Things. In *2014 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)* (pp. 1-5). IEEE.
20. Ersue, M., Romascanu, D., Schoenwaelder, J., & Sehgal, A. (2015). *Management of networks with constrained devices: use cases* (No. rfc7548).
21. <https://theconversation.com/not-everything-we-call-ai-is-actually-artificial-intelligence-heres-what-you-need-to-know-196732>
22. <https://www.bicmagazine.com/industry/refining-petrochem/5-transformative-applications-ai-petrochemicals/>
23. <https://www.mckinsey.com>
24. <https://www.rokna.net/%D8%A8%D8%AE%D8%B4-%D8%A7%D8%AE%D8%A8%D8%A7%D8%B1-%D8%A7%D9%82%D8%AA%D8%B5%D8%A7%D8%AF%DB%8C-65/1074489-%D9%87%D9%88%D8%B4-%D9%85%D8%B5%D9%86%D9%88%D8%B9%DB%8C-%DA%AF%D8%A7%D9%85%DB%8C-%D8%A8%D9%87-%D8%B3%D9%88%DB%8C-%D8%A2%DB%8C%D9%86%D8%AF%D9%87-%D8%A7%DB%8C-%D9%BE%D8%A7%DB%8C%D8%AF%D8%A7%D8%B1-%D9%87%D9%88%D8%B4%D9%85%D9%86%D8%AF-%D8%AF%D8%B1-%D8%B5%D9%86%D8%B9%D8%AA-%D9%86%D9%81%D8%AA-%DA%AF%D8%A7%D8%B2-%D9%BE%D8%AA%D8%B1%D9%88%D8%B4%DB%8C%D9%85%DB%8C>
25. <https://energynow.com/2024/03/energy-industry-upgrade-using-artificial-intelligence>
26. <https://www.anybotics.com/news/anymal-robots-inspecting-petronas-offshore-platform>
27. Mitsui Chemicals Teams up With NEC and dotData to Trial AI-Based Price Change Forecasting for Market-Sensitive Products. Retrieved from: https://eu.mitsuichemicals.com/release/2021/2021_0924.htm, 19.01.2023.
28. Laska, M., & Karwala, I. (2023). Artificial intelligence in the chemical industry—risks and opportunities. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*.
29. The Power of Artificial Intelligence in Chemical Engineering, <https://www.process-worldwide.com/the-power-of-artificial-intelligence-in-chemical-engineering-a-b0d90622124e6a2eab9275a73577d9c4/>
30. Mohammadi, S., Sulaimany, S., & Mafakheri, A. (2023). Artificial Intelligence for Predictive Analytics in the Petrochemical Industry: A Scoping Review. *Modeling and Simulation in Electrical and Electronics Engineering*, 3(1), 7-12.
31. Noah M. (2023). Applications of artificial intelligence in chemical engineering. *J Chem Tech App.*;6(3):153
32. Z. Geng, Q. Meng, Y. Han, Q. Wei, Z. Ouyang, in Proc. of 2019 IEEE 8th Data Driven Control and Learning Systems Conf. (DDCLS'19), IEEE, Piscataway, NJ 2019, pp. 708–712.
33. Zhang, Z., Wu, Z., Rincon, D., & Christofides, P. D. (2019). Real-time optimization and control of nonlinear processes using machine learning. *Mathematics*, 7(10), 890.
34. Trinh, C., Meimaroglou, D., & Hoppe, S. (2021). Machine learning in chemical product engineering: The state of the art and a guide for newcomers. *Processes*, 9(8), 1456.
35. <https://nexocode.com/blog/posts/artificial-intelligence-in-the-chemicals-how-ai-benefits-the-chemical-industry/>
36. <https://blog.agchemigroup.eu/how-ai-really-benefits-industrial-chemical-production-and-supply/>
37. Naik, D. V., Karthik, V., Kumar, V., Prasad, B., & Garg, M. O. (2017). Kinetic modeling for catalytic cracking of pyrolysis oils with VGO in a FCC unit. *Chemical Engineering Science*, 170, 790-798.
38. Gharahbagheri, H., Imtiaz, S. A., & Khan, F. (2017). Root cause diagnosis of process fault using KPCA and Bayesian network. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 56(8), 2054-2070.
39. Yang, F., Xu, M., Lei, W., & Lv, J. (2023). Artificial intelligence methods applied to catalytic cracking processes. *Big Data Mining and Analytics*, 6(3), 361-380.
40. Zare Abiane H, Bayat Varkeshi M, Bayat Varkeshi J. (2013). Evaluation of ekbatan wastewater treatment plant using artificial neural network. *J of Envirology*. 38(3):85-98. (In Persian)
41. Water pollution Control. New york: Mc Graw–Hill. 1989; 2:189-193
42. Hamed, M. Khalafallah, M.G. Hassanein, E.A. (2004). Prediction of wastewater treatment plant performance using artificial neural network. *Environmental Modeling and Software*. Vol 19, pp: 919–928.



43. Hong, Y.T. Rosen, M.R. Bhamidimarri, R. (2003). Analysis of a municipal wastewater treatment plant using a neural network-based pattern analysis. *Water Research*, Vol 37, pp: 1608–1618.
44. Mazloom, M. S., Rezaei, F., Hemmati-Sarapardeh, A., Husein, M. M., Zendejboudi, S., & Bemani, A. (2020). Artificial intelligence based methods for asphaltene adsorption by nanocomposites: Application of group method of data handling, least squares support vector machine, and artificial neural networks. *Nanomaterials*, 10(5), 890.
45. Jagtap, S., Skouteris, G., Choudhari, V., & Rahimifard, S. (2022). Improving water efficiency in the beverage industry with the internet of things. In *Implementing Data Analytics and Architectures for Next Generation Wireless Communications* (pp. 18-26). IGI Global.
46. Nagpal, M., Siddique, M. A., Sharma, K., Sharma, N., & Mittal, A. (2024). Optimizing wastewater treatment through artificial intelligence: recent advances and future prospects. *Water Science & Technology*, 90(3), 731-757.
47. Alprol, A. E., Mansour, A. T., Ibrahim, M. E. E. D., & Ashour, M. (2024). Artificial Intelligence Technologies Revolutionizing Wastewater Treatment: Current Trends and Future Prospective. *Water*, 16(2), 314.
48. Aliyu, R., Mokhtar, A. A., & Hussin, H. (2022). Prognostic Health Management of Pumps Using Artificial Intelligence in the Oil and Gas Sector: A Review. *Applied Sciences*, 12(22), 11691.
49. Li, J., Zhou, Y., Yao, J., & Liu, X. (2021). An empirical investigation of trust in AI in a Chinese petrochemical enterprise based on institutional theory. *Scientific Reports*, 11(1), 13564.
50. Schwaller P, Vaucher AC, Laino T. Prediction of chemical reaction yields using deep learning. *Mach Learn SciTechnol*. 2021;2(1):015016
51. <https://www.gevernova.com/software/blog/how-ai-accelerating-energy-transition-and-carbon-negative>
52. Degot, C., Duranton, S., Frédeau, M., & Hutchinson, R. (2021). Reduce Carbon and Costs with the Power of AI. *Boston Consulting Group*.
53. Q. He, H. Zheng, X. Ma, L. Wang, H. Kong, Z. Zhu, Artificial intelligence application in a renewable energy-driven desalination system: a critical review, *Energy AI* 7 (2022) 100123, <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2021.100123>.
54. Shah, M., Kshirsagar, A., & Panchal, J. (2022). *Applications of Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) in the Petroleum Industry*. CRC Press.
55. Gómez-Bombarelli, R., Wei, J. N., Duvenaud, D., Hernández-Lobato, J. M., Sánchez-Lengeling, B., Sheberla, D., ... & Aspuru-Guzik, A. (2018). Automatic chemical design using a data-driven continuous representation of molecules. *ACS central science*, 4(2), 268-276.
56. Windmann, A., Wittenberg, P., Schieseck, M., & Niggemann, O. (2024). Artificial Intelligence in Industry 4.0: A Review of Integration Challenges for Industrial Systems. *arXiv preprint arXiv:2405.18580*.
57. Faubel, L., Schmid, K., & Eichelberger, H. (2023). MLOps Challenges in Industry 4.0. *SN Computer Science*, 4(6), 828.
58. A. Bécue, A., Praça, I., & Gama, J. (2021). Artificial intelligence, cyber-threats and Industry 4.0: Challenges and opportunities. *Artificial Intelligence Review*, 54(5), 3849-3886.
59. Alenizi, F. A., Abbasi, S., Mohammed, A. H., & Rahmani, A. M. (2023). The artificial intelligence technologies in Industry 4.0: A taxonomy, approaches, and future directions. *Computers & Industrial Engineering*, 109662.,
60. Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015, August). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In *2015 12th International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD)* (pp. 2147-2152). IEEE.
61. Gabsi, A. E. H. (2024). Integrating artificial intelligence in industry 4.0: insights, challenges, and future prospects—a literature review. *Annals of Operations Research*, 1-28.
62. Peres, R. S., Jia, X., Lee, J., Sun, K., Colombo, A. W., & Barata, J. (2020). Industrial artificial intelligence in industry 4.0-systematic review, challenges and outlook. *IEEE access*, 8, 220121-220139.
63. Bajic, B., Cosic, I., Lazarevic, M., Sremcevic, N., & Rikalovic, A. (2018). Machine learning techniques for smart manufacturing: Applications and challenges in industry 4.0. *Department of Industrial Engineering and Management Novi Sad, Serbia*, 29, 18.
64. He, X., Zhao, K., & Chu, X. (2021). AutoML: A survey of the state-of-the-art. *Knowledge-based systems*, 212, 106622.



65. Machado, C. G., Winroth, M., Carlsson, D., Almström, P., Centerholt, V., & Hallin, M. (2019). Industry 4.0 readiness in manufacturing companies: Challenges and enablers towards increased digitalization. *Procedia Cirp*, 81, 1113-1118.
66. Chen, T., Sampath, V., May, M. C., Shan, S., Jorg, O. J., Aguilar Martín, J. J., ... & Calaon, M. (2023). Machine learning in manufacturing towards industry 4.0: From 'for now' to 'four-know'. *Applied Sciences*, 13(3), 1903.
67. Jagatheesaperumal, S. K., Rahouti, M., Ahmad, K., Al-Fuqaha, A., & Guizani, M. (2021). The duo of artificial intelligence and big data for industry 4.0: Applications, techniques, challenges, and future research directions. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(15), 12861-12885.
68. Xu, J., Kovatsch, M., Mattern, D., Mazza, F., Harasic, M., Paschke, A., & Lucia, S. (2022). A review on AI for smart manufacturing: Deep learning challenges and solutions. *Applied Sciences*, 12(16), 8239.
69. WEF and BCG, "Using AI in Industrial Operations Guidebook," World Economic Forum (WEF) and Boston Consulting Group (BCG), Tech. Rep., 2023. [Online]. Available: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Harnessing_the_AI_Revolution_in_Industrial_Operations_2023.pdf
70. Jan, Z., Ahamed, F., Mayer, W., Patel, N., Grossmann, G., Stumptner, M., & Kuusk, A. (2023). Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities. *Expert Systems with Applications*, 216, 119456.
71. Ishikawa, F., & Yoshioka, N. (2019, May). How do engineers perceive difficulties in engineering of machine-learning systems?-questionnaire survey. In *2019 IEEE/ACM Joint 7th International Workshop on Conducting Empirical Studies in Industry (CESI) and 6th International Workshop on Software Engineering Research and Industrial Practice (SER&IP)* (pp. 2-9). IEEE.
72. EASA, "EASA Concept Paper: First usable guidance for level 1 & 2 machine learning applications," European Union Aviation Safety Agency (EASA), Tech. Rep., 2023.
73. Kuwajima, H., Yasuoka, H., & Nakae, T. (2020). Engineering problems in machine learning systems. *Machine Learning*, 109(5), 1103-1126.
74. Perez-Cerrolaza, J., Abella, J., Borg, M., Donzella, C., Cerquides, J., Cazorla, F. J., ... & Flores, J. L. (2024). Artificial intelligence for safety-critical systems in industrial and transportation domains: A survey. *ACM Computing Surveys*, 56(7), 1-40.
75. <https://anchinv.com/how-can-ai-integration-help-the-petrochemical-industry>