Archive of SID.ir

Journal of Farayandno – Vol. 17 – No. 79 (2022): 57-73

Review Article

Investigating the artificial intelligence application in oil and gas supply chain

Ali Asghar Rouhani [1*], Rezvan Mohammadabadi [2]

[1] Member of scientific Board, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

[2] Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

Received: 3 Aug 2022 **Accepted:** 9 Nov 2022

Abstract

The purpose of this research is to gain a better understanding of the application of artificial intelligence in the oil industry and the background of research in the management and development of the oil and gas supply chain. The use of artificial intelligence in important topics was investigated in three upstream, Midstream and downstream sections. The results of the analysis showed essential artificial intelligence implementation in the oil and gas industry. In addition, various recommendations were provided for technology managers, policy makers, professionals and leaders in the oil and gas industry to ensure the successful implementation of AI. Finally, based on the analysis and review, recommendations and potential directions for the application of artificial Intelligence in the oil field development were presented.

Keyword: Digital Transformation; Artificial Intelligence; Machine Vision; Big Data; Oil Industry

* rohaniaa@ripi.ir

Please Cite This Article Using:

Rouhani, A.A., Mohammadabadi, R., "Investigating the artificial intelligence application in oil and gas supply chain", Journal of Farayandno – Vol. 17 – No. 79, pp. 57-73, In Persian, (2022).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

نشریه فرآیندنو، سال هفدهم، شماره ۷۹، صص ۷۳-۵۷ (پاییز ۱۴۰۱)

مقاله ترویجی

بررسی کاربرد هوش مصنوعی در زنجیره تامین نفت و گاز

علی اصغر روحانی [۱*]، رضوان محمدآبادی [۲]

[۱] عضو هیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده توسعه فناوری های پالایش، تهران، ایران

[۲] پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده توسعه فناوری های پالایش، تهران، ایران

دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۲ **پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۸/۱۸

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت نفت و همچنین پیشینه تحقیق در مدیریت و توسعه زنجیره تامین نفت و گاز می باشد. کاربرد هوش مصنوعی در سه بخش بالادستی، میان دستی و پایین دستی بررسی شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل انجام شده، ضرورت پیاده سازی هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز را نشان داد. علاوه بر این، توصیه‌های مختلفی برای مدیران فناوری، سیاست‌گذاران، متخصصان و رهبران در صنعت نفت و گاز برای اطمینان از اجرای موفقیت‌آمیز هوش مصنوعی ارائه شد. در نهایت، بر اساس تجزیه و تحلیل و بررسی، توصیه‌ها و جهت‌گیری‌های بالقوه کاربرد هوش مصنوعی در توسعه فرایندهای نفتی ارائه شد.

کلمات کلیدی: تحول دیجیتال، هوش مصنوعی، بینایی ماشین، کلان داده، صنعت نفت

* Rohaniaa@ripi.ir

استناد به مقاله:

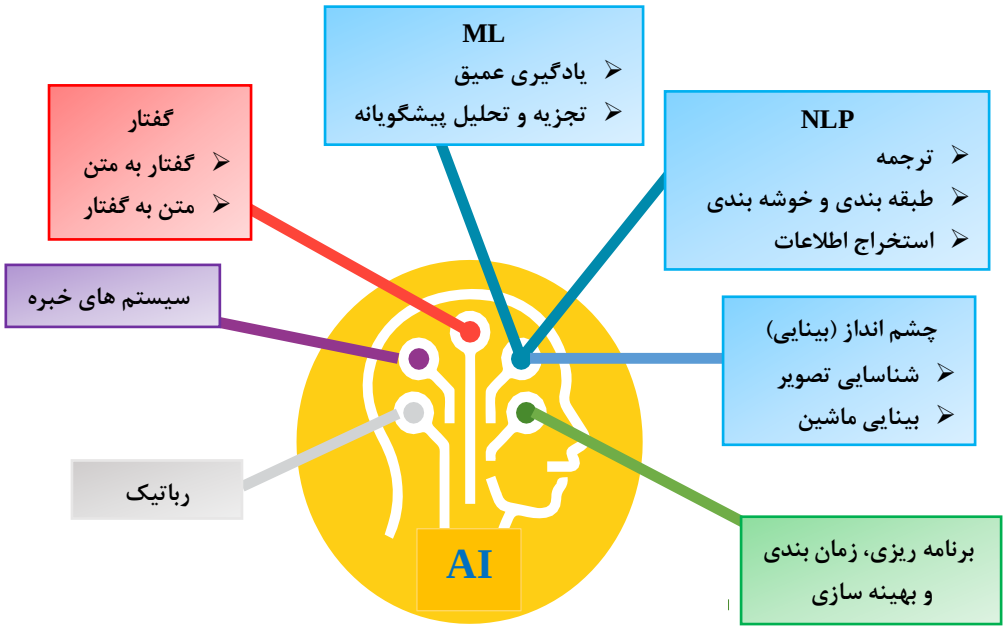
روحانی، ع.ا.، محمدآبادی، ر.، "بررسی کاربرد هوش مصنوعی در زنجیره تامین نفت و گاز"، نشریه فرآیندنو، سال هفدهم، شماره ۷۹، صص. ۷۳-۵۷، (پاییز ۱۴۰۱).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۱- مقدمه

هوش مصنوعی مجموعه‌ای از فناوری‌هایی است که شامل ML[1]، پردازش زبان طبیعی (NLP[2]) و روباتیک است که به ماشین‌ها اجازه می‌دهد تا داده‌ها را حس کنند، تفسیر کنند، عمل کنند و یاد بگیرند تا به تصمیم‌گیری کمک کنند. هوش مصنوعی رابطه بین افراد و ماشین‌ها را مختل و متحول و دگرگون می‌کند و باعث بهره وری بیشتر در کسب وکارها می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- کاربردهای هوش مصنوعی

هوش مصنوعی از سال ۱۹۵۰ آغاز شد، زمانی که آلن تورینگ، ریاضیدان بریتانیایی، این سوال معروف را مطرح کرد: «آیا ماشین ها می توانند فکر کنند؟». هوش مصنوعی (AI[3]) به طور رسمی به عنوان یک زمینه تحقیقاتی جدید در کنفرانس آکادمیک دارتموث در سال ۱۹۵۶ پیشنهاد و تعریف شد. سپس اولین بهار هوش مصنوعی فرا رسید، زمانی که هوش مصنوعی به سرعت در زمینه های مختلف به کار رفت [۱, ۲].

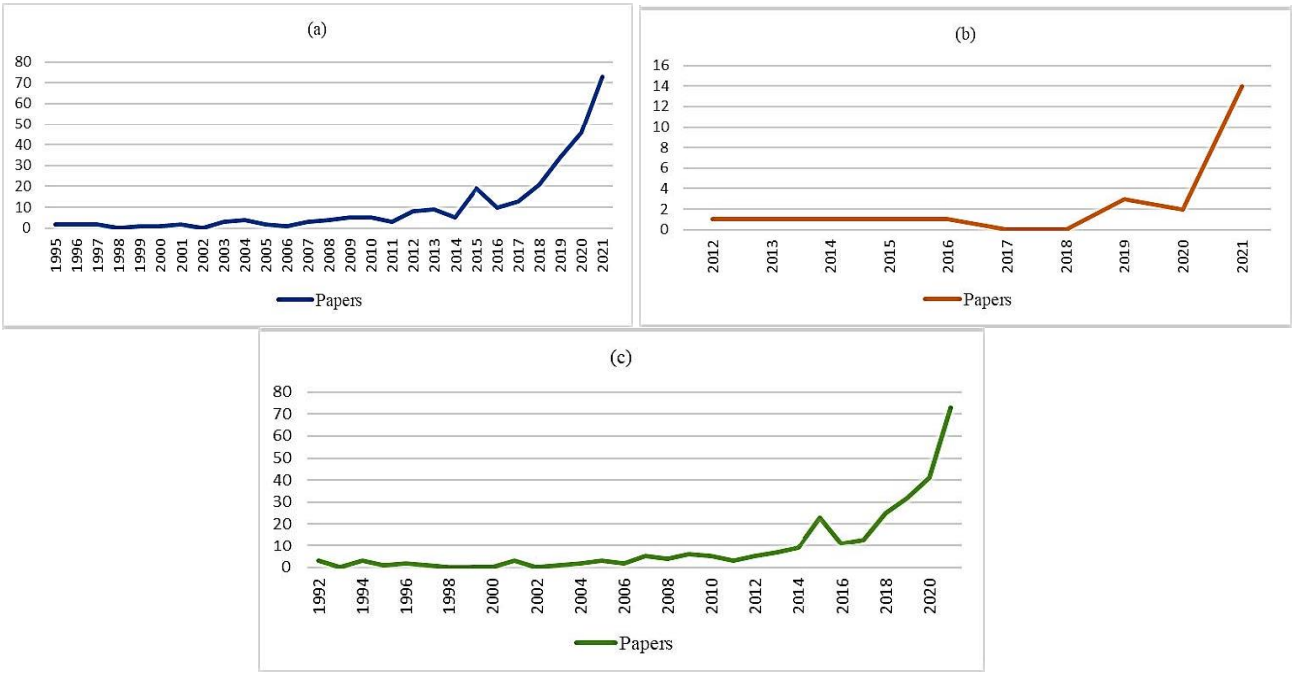
استفاده از هوش مصنوعی در زمینه مهندسی نفت در انجمن بین المللی در اوایل دهه ۱۹۷۰ در انجمن پیشنهاد شد. در سال ۲۰۰۹، SPE شاخه ای از "هوش مصنوعی در تجزیه و تحلیل پیش بینی" را برای ترویج استفاده از فناوری هوش مصنوعی در زمینه نفت، به منظور سازماندهی منظم بحث های مرتبط تاسیس کرد. بر اساس نتایج جستجو از پلتفرم One petro، تعداد مقالات در مورد هوش مصنوعی از سال ۲۰۰۰ به طور قابل توجهی افزایش یافته است که الگوریتم های اصلی آن شامل شبکه عصبی مصنوعی(ANN[4])، منطق فازی[5]، ماشین بردار پشتیبانی(SVM[6])، سیستم

[1] Machine learning
[2] Natural Language Processing
[3] Artificial intelligence
[4] Artificial neural network
[5] fuzzy logic
[6] Support vector machine

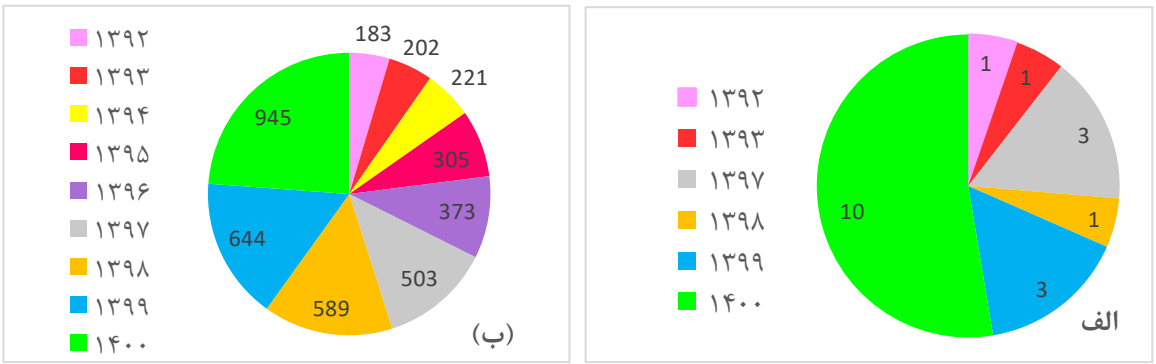
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

هوشمند ترکیبی (HIS[۷])، الگوریتم ژنتیک (GA[۸])، بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO[۹]) است. در بین همه الگوریتم‌ها ANN بیشترین مطالعه را دارد. این موضوع نشان‌دهنده علاقه روزافزون محققان به کاربرد هوش مصنوعی در صنعت نفت است. در شکل ۲ روند افزایشی تعداد مقالات در مورد هوش مصنوعی در دنیا در سه حوزه‌ی صنعت نفت به وضوح مشاهده می شود. همچنین در شکل ۳ این روند افزایشی در مورد پایان نامه‌های دانشجویی در داخل کشور نیز به استناد سامانه ایرانداک مشاهده می‌شود.



شکل ۲- روند افزایشی تعداد مقالات در مورد هوش مصنوعی در دنیا (الف) بالادستی، (ب) میان دستی و (ج) پایین دستی [۳]



شکل ۳- روند افزایشی تعداد پایان نامه های دانشجویی در حوزه هوش مصنوعی در ایران الف) صنعت نفت، گاز و پتروشیمی، ب) کل صنایع

[7] Hybrid intelligent system
[8] Genetic algorithm
[9] Particle swarm optimization

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

در حال حاضر، کاربرد هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز به سرعت در حال توسعه است، چرا که مفهوم هوش مصنوعی به تدریج در مراحل مختلف صنعت، حفاری هوشمند، تولید هوشمند، خط لوله هوشمند، پالایشگاه هوشمند و غیره نفوذ می‌کند و به آن تبدیل خواهد شد. جهت تحقیقات آینده با الگوریتم‌های هوش مصنوعی، یک سری فناوری‌های کاربردی در اکتشاف و تولید را توسعه داده‌اند. در زمینه اکتشاف، استفاده از روش ANN در حال حاضر به نتایج خوبی در کاهش خطرات و بهبود میزان موفقیت چاه‌های اکتشافی دست یافته است [۴]. در زمینه حفاری، تجهیزات جدید مانند دکل حفاری اتوماتیک و لوله حفاری هوشمند سطح حفاری را بهبود بخشیده و هزینه را به میزان قابل توجهی کاهش داده است. در توسعه میدان نفتی، بر اساس داده‌های تاریخی تولید میدان نفتی، بهینه سازی طرح توسعه، حالت کاربردی اصلی فناوری هوش مصنوعی است. علاوه بر این، هوش مصنوعی روش دقیق تری را برای طراحی موضوع شکست و انتخاب چاه های عامل و لایه های هدف ارائه کرده است.

اگر چه بسیاری از محققان دستاوردهای خود را به اشتراک گذاشته اند، به دلیل روش‌ها و محتویات فراوان هوش مصنوعی، خلاصه و نتیجه گیری خاصی در مورد کاربرد هوش مصنوعی در زمینه توسعه میدان نفتی وجود ندارد. پیش‌بینی عملکرد تولید، بهینه‌سازی توسعه، شناسایی باقیمانده نفت، افزایش بازیافت نفت و شناسایی و پیش‌بینی صحیح شکستگی‌های مصنوعی در مخازن غیرمتعارف که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند، وظایف اصلی در توسعه میدان نفتی می باشند. برای پذیرش فناوری هوش مصنوعی در این آثار، تجزیه و تحلیل و خلاصه کردن دستاوردهای موجود اهمیت زیادی دارد [۲].

۲- هوش مصنوعی در زنجیره تامین نفت و گاز

برخی کاربردهای مهم هوش مصنوعی در نفت و گاز در سه بخش بالادستی، میان دستی و پایین دستی در شکل ۴ آمده است که در ادامه به آن خواهیم پرداخت. البته لازم به ذکر است برخی از کاربردها مانند چگونگی بهبود ایمنی کلی و عملکرد عملیاتی در سراسر زنجیره تامین نفت و گاز از بالادست تا پایین دست مشترک می‌باشد. این موضوع را می‌توان با استفاده از ML برای فعالیت هایی مانند مدیریت ایمنی فرآیند (PSM[10])، بازرسی مبتنی بر ریسک (RBI[11])، ارزیابی بلایا و وظایف مربوط به تولید و نگهداری محقق کرد. در این موارد، ML به تسریع فرآیندهای جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها در PSM، پیش‌بینی آسیب پذیری و اختلال در ارزیابی‌های بلایا، بهبود کیفیت و افزایش دقت و صحت کمک کرده است.

علاوه بر این، استفاده از پردازش زبان طبیعی(NLP) برای کمک به کسب دانش مربوط به حوادث در سراسر زنجیره تامین مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته این فناوری با کمک پایگاه‌های داده می‌تواند برای ایجاد یک ساختار دانش قابل اشتراک قوی در کشورها و شرکت‌ها برای کمک به بهبود ایمنی استفاده شود [۵-۷].

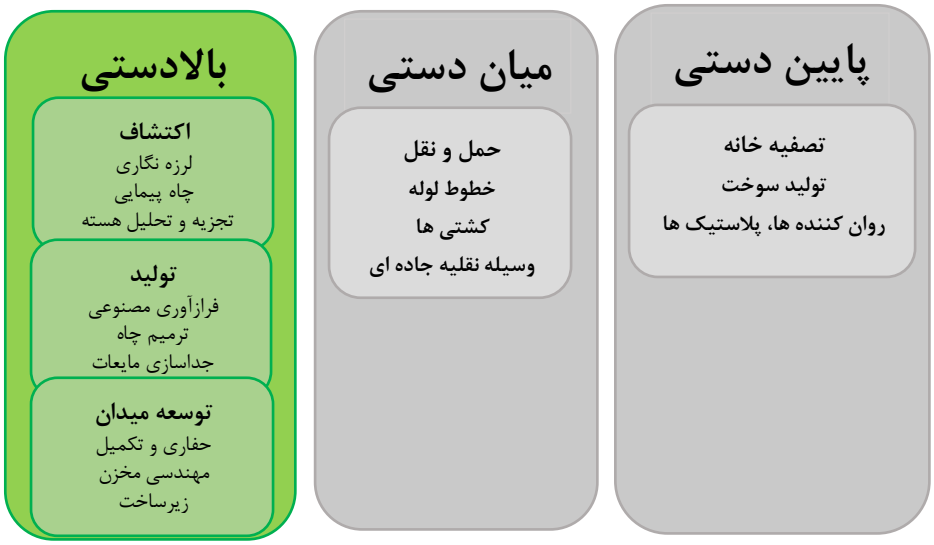
[10] process safety management
[11] risk-based inspection

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۲-۱- هوش مصنوعی در نفت و گاز بالادستی[۱۲]

سه حوزه حیاتی در بخش بالادستی صنعت نفت و گاز، عبارتند از اکتشاف[۱۳]، توسعه میدان[۱۴] و تولید[۱۵]. در اکتشاف، مدل‌های یادگیری ماشین (ML) جهت جمع‌آوری، انتقال و تجزیه و تحلیل داده‌ها در مورد فعالیت‌هایی نظیر نقشه برداری لرزه‌ای، ثبت چاه‌ها و تجزیه و تحلیل هسته استفاده شده‌اند. در نتیجه این استفاده هزینه‌ها و خطاها کاهش یافته و کارایی بهبود خواهد یافت [۸].



شکل ۴- پتانسیل های کاربرد هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز [۸]

بسیاری از کارهای تحقیقاتی بر کاربردهای فناوری‌های هوش مصنوعی در توسعه میدانی، برای فعالیت‌هایی مانند حفاری[۱۶]، مهندسی مخازن[۱۷] و زیرساخت‌ها[۱۸] متمرکز شده‌اند. مدل‌های یادگیری ماشین و هیبریدهای آن کاربردهای موفقی را در حفاری برای پیش‌بینی خواص گل و پارامترهای حفاری بهینه برای بهبود ایمنی، کارایی حفاری و اثربخشی هزینه نشان می‌دهند. به طور مشابه در مهندسی مخازن و زیرساخت، ML و هیبریدهای آن برای اهداف تخمینی و بهینه‌سازی در فعالیت‌هایی مانند تخمین فشار نقطه شبنم و بهینه‌سازی سیلاب استفاده می‌شوند که به حداکثر کردن تولید هیدروکربن، بهینه‌سازی تولید نفت و به حداکثر رساندن سود مالی کمک می‌کند [۹-۱۱].

در حوزه تولید، مدل‌های ML و هیبریدهای آن عمدتاً برای نظارت، پیش‌بینی، انتخاب و تشخیص ویژگی‌ها و اجزای مختلف حیاتی برای تولید بهینه استفاده می‌شوند. این شامل نرخ جریان دریچه خفه کننده، تولید در مراحل قطع آب بسیار بالا، بارش آسفالتین، تولید شن و ماسه، انتخاب جداکننده، رویدادهای معیوب، پیش بینی تولید و نگهداری پیش بینی شده است. علاوه بر این، در بخش بالادستی، فناوری بینایی کامپیوتر برای آموزش تکنسین ها و اپراتورهای میدانی با استفاده از یک محیط واقعیت مجازی استفاده شده است. این امر به کاهش هزینه و زمان آموزش و در عین

[12] upstream
[13] Exploration
[14] Field development
[15] Production
[16] Drilling
[17] Reservoir engineering
[18] Infrastructure

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

حال بهبود ایمنی کمک کرده است [۱۲-۱۴]. هوش مصنوعی و الگوریتم های مختلف آن در زمینه بهینه سازی روش‌های فرازآوری مصنوعی شامل پیش بینی عملکرد، خرابی و فرسایش پمپ‌های کله اسبی و پمپ های الکتریکی شناور درون چاهی کاربرد موثری داشته و سبب کاهش هزینه ها شده است [۱۵].

ضمنا در بخش بالادست نحوه توسعه سیستم چاه های هوشمند، کاربردهای فناوری مخازن هوشمند در میادین نفت و گاز بررسی شده است [۱۶, ۱۷].

۲-۲- هوش مصنوعی در نفت و گاز میان دستی[۱۹]

در بخش میانی، کارکردهای اصلی حمل و نقل و توزیع است. لوله ها و مخازن دو مورد از مهم ترین سیستم های مورد استفاده در حمل و نقل و ذخیره سازی نفت و گاز در صنعت هستند. بسیاری از مقالات در نظر گرفته شده کاربردهای الگوریتم‌های ML را برای مدل‌سازی، نظارت، ارزیابی و بهینه‌سازی خطوط لوله گاز مورد بحث قرار دادند. به ویژه، ML برای یافتن تعادل بهینه بین سود عملیات و مقدار انتقال در خطوط لوله، توسعه سیستم های نظارت مستمر و قابل اعتماد برای اطمینان از ایمنی خط لوله و کمک به افزایش طول عمر آنها استفاده شده است و در نهایت به بهبود عملیات خاص، طراحی و ارزیابی ریسک با استفاده از مدل‌ها و شبیه‌سازی‌های پیش‌بینی‌کننده برای کاهش هزینه‌های نگهداری و عملیاتی کمک نموده است [۱۸, ۱۹].

لوله ها و مخازن ذخیره سازی، به ویژه آنهایی که به طور مداوم برای حمل و نقل طولانی مدت و ذخیره سازی طولانی مدت استفاده می شوند، نیاز به بازرسی و نگهداری دوره ای دارند. بازرسی انسانی این قطعات پرهزینه و ناامن است، بنابراین بازرسی و جابجایی خودکار این قطعات بسیار مطلوب است. ضمنا سیستم های نشت یابی هوشمند با متدهای متفاوت نظیر: روش صوتی، نمونه برداری گازی، پایش خاک، جریان سنج های شدت صوت، حسگرهای کابلی، روش نشت شار مغناطیسی، روش های مبتنی بر پایه نرم افزار و غیره قابل استفاده می باشد. ضمنا پژوهشگاه صنعت نفت در این زمینه پروژه های تحقیقاتی و پایلوتی متعددی را بر مبنای الگوریتم RTTM انجام داده است.

۲-۳- هوش مصنوعی در نفت و گاز پایین دستی[۲۰]

در بخش پایین دستی، کارکردهای اصلی پالایش نفت و گاز و همچنین توزیع محصولات نهایی است، الگوریتم‌های ML و نسخه‌های ترکیبی آن‌ها نسبت به مدل‌های معمولی تواناتر هستند و کاربردهای موفقی را برای پیش‌بینی حوادث مربوط به تعمیر نشان می‌دهند. ML و هیبریدهای آن همچنین در صنایع پایین دستی نفت و گاز برای پیش‌بینی تقاضا و مصرف کلی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، جایی که استفاده از آن به بهبود قابلیت پیش‌بینی و دقت داده‌های پیش‌بینی‌شده و همگام‌سازی آن با فعالیت‌های مختلف تولید کمک کرده است. علاوه بر این، در بخش پایین دستی، فناوری بینایی کامپیوتری[۲۱] برای نظارت بر پارامترهای مختلف مرتبط با فرآوری نفت در کارخانه‌های فرآوری پالایشگاه استفاده شده است. این فناوری با نظارت بر دینامیک شعله نفت در داخل پالایشگاه با استفاده از دوربین‌ها، در پیش‌بینی وقوع شرایط ناپایدار موفق بوده و در نتیجه از موقعیت‌های بالقوه خطرناک جلوگیری می‌کند و با خودکار

[19] Midstream
[20] downstream
[21] Computer vision technology

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

کردن سیستم کنترل، ایمنی را ارتقا می‌دهد [۲۰, ۲۱]. همچنین در جداسازی ترکیب ها ی گوگردی از دیزل نیز میتوان از مدل های هوش مصنوعی استفاده کرد [۲۲].

۳- چالش های پیاده سازی هوش مصنوعی در زنجیره تامین نفت و گاز

در بخش بالادستی صنعت نفت و گاز، سه چالش اصلی وجود دارد. چالش اول اینکه از آنجایی که هوش مصنوعی باید بر اساس زمینه و داده‌های تجاری بسیار سفارشی شود، شرکت ها به تیم‌های داخلی نیاز دارند که بتوانند از توسعه زیرساخت هوش مصنوعی و سفارشی سازی ابزارهای هوش مصنوعی پشتیبانی کنند. چالش دوم، داده است زیرا برنامه های کاربردی موفق هوش مصنوعی نیاز به دسترسی به مقادیر زیادی داده با کیفیت دارند. چالش سوم، همکاری باز بین تمام سطوح است که به دلیل فقدان منبع داده باز و به اشتراک گذاری داده‌های بین شرکتی، چالشی است. علاوه بر این می توان به چالش های ایمنی در حوزه الگوریتم های ML اشاره کرد که برای رویدادهای خطرناک در عملیات حفاری استفاده می شود. جدای از فقدان مجموعه داده‌های در دسترس عموم، کمبود الگوریتم‌های یادگیری عمیق سفارشی عمدتاً در زمینه فعالیت حفاری نیز مشاهده شده است. همچنین هنگام ساخت مدل‌های هوش مصنوعی و ML برای پیش‌بینی تقاضای نفت خام، چالش هایی نظیر داده های ناکافی و پیکربندی نامناسب شبکه وجود دارند که دقت نتایج را پایین می‌آورند. از سایر چالش ها در به کارگیری هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز می توان به عدم آگاهی و دانش در مورد ظرفیت فنی تکنیک ها، کمبود ابزار توسعه برای اجرای کارآمد و در نهایت و عدم قطعیت و ریسک پذیرش فناوری های جدید اشاره نمود [۸, ۲۱].

در بخش میانی نفت و گاز، مشکلاتی نظیر: اندازه گیری داده ها به دلیل هزینه بالای بازرسی، الزامات حفاری و خطر خطوط لوله آسیب پذیر، به ویژه برای پیش بینی عمق خوردگی حفره ای بالا در خطوط لوله نفت و گاز مطرح می شوند. در نهایت، جدای از چالش هایی که قبلا ذکر شد، مشکلات متعددی به واسطه ی گذار به عصر نفت و گاز ۴,۰ نیز وجود دارد که از آن جمله می توان به: چشم انداز منفی و همچنین عدم استانداردسازی و برنامه ریزی کلی اشاره نمود [۱۹].

۴- تجزیه و تحلیل مقایسه ای بر روی اجرای فناوری‌های هوش مصنوعی در بخش های بالادستی، میان دستی و پایین دستی

برای به دست آوردن بینش بیشتر در مورد پویایی اجرای هوش مصنوعی در طول زنجیره تامین نفت و گاز، تجزیه و تحلیل های توصیفی و مقایسه ای انجام شد. تجزیه و تحلیل ها با بررسی کلی کمی آغاز شد و سپس با تجزیه و تحلیل خاص برای هر مکان در زنجیره تامین دنبال شد.

۴-۱- تجزیه و تحلیل مقایسه ای کلی در مورد تحقیقات بر روی هوش مصنوعی با تمرکز بر سه بخش بالادستی، میان دستی و پایین دستی

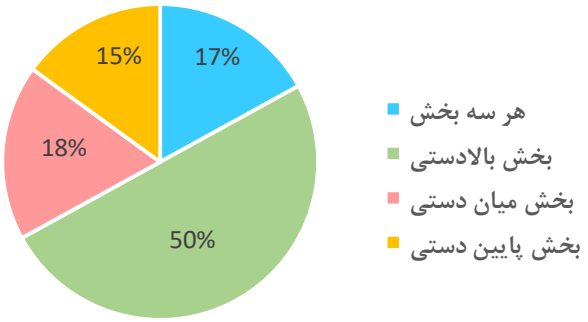
از ۴۰ مطالعه در نظر گرفته شده برای بازبینی که بر روی فناوری‌های هوش مصنوعی خاص در چشم انداز زنجیره تامین نفت و گاز تمرکز داشتند، ۵۰ درصد به بخش بالادستی، ۱۸ درصد به بخش میان دستی، ۱۵ درصد به بخش پایین دستی مربوط می شوند. علاوه بر این، ۱۷ درصد از مقالات بر روی هر سه بخش عرضه، برای فناوری‌های هوش مصنوعی منتخب در زنجیره تامین نفت و گاز متمرکز شده‌اند. توزیع کلی در شکل ۵ نشان داده شده است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

شکل ۶ توزیع کلی را برای همان مجموعه دانش با تمرکز بر پیاده سازی فناوری های AI انتخاب شده در کل زنجیره تامین نشان می‌دهد. می توان مشاهده کرد که ۸۵ درصد از اجرای فناوری هوش مصنوعی مربوط به یادگیری ماشین و الگوریتم‌های ترکیبی، ۵ درصد مربوط به بینایی کامپیوتر، ۸ درصد مربوط به روباتیک و ۲ درصد مربوط به پردازش زبان طبیعی (NLP) است.

با بررسی شکل ۵ و ۶ می‌توان به نتایج زیر اشاره کرد. اول، در مقایسه با سایر بخش‌ها، بیشترین تمرکز کار تحقیقاتی مربوط به بالادست است، در حالی که کمترین تمرکز کار بر روی فعالیت‌های پایین دستی متمرکز است. این یک پرسش مهم برای چنین توزیعی است. کلید درک چنین توزیعی به پیچیدگی فعالیت ها و عملیات در هر بخش مربوط می شود. فعالیت های بالادستی بسیار پیچیده‌تر و سرمایه‌برتر هستند و بنابراین اطلاعات بیشتری برای مدیریت و کاهش چنین پیچیدگی و ریسک‌های مرتبط با آن نیاز است.



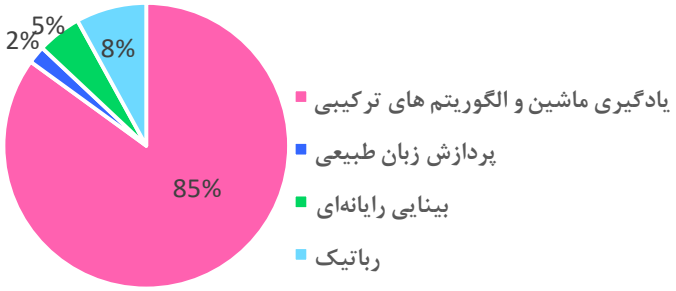
شکل ۵- بررسی پیشینه تحقیق با تمرکز بر سه بخش بالادستی، میان دستی و پایین دستی

دوم، از نظر نوع، در این بخش ها فناوری اصلی اتخاذ شده هوش مصنوعی می باشد که در بخش های زنجیره تامین نفت و گاز، یادگیری ماشین و الگوریتم‌های ترکیبی به وضوح مورد استفاده قرار گرفته است (۸۵ درصد از تمام مقالات بر روی این فناوری ها متمرکز شده‌اند). البته با توجه به توانایی ML و هیبریدهای آن برای تجزیه و تحلیل داده‌های مختلف به شیوه‌ای پیش‌بینی‌کننده و کمک به مدیران زنجیره تامین نفت و گاز در تصمیم‌گیری‌های مختلف، جای تعجب نیست. ML به‌عنوان اصلی‌ترین فناوری هوش مصنوعی، دید کل زنجیره تامین را افزایش می‌دهد که منجر به تصمیم‌گیری‌های آموزشی تقریباً واقعی می‌شود که در زمان و هزینه و همچنین کاهش خطرات در این صنعت حیاتی صرفه‌جویی می‌کند.

سوم، نتایج همچنین نشان می‌دهد که تحقیقات بیشتری برای بررسی میزان پذیرش پایین‌تر هوش مصنوعی در هر دو بخش میان‌دستی و پایین دستی مورد نیاز است. همین نیاز برای کشف اینکه چرا برخی از فناوری‌های هوش مصنوعی مانند NLP برای مثال در این مطالعه توجه کمتری را نسبت به سایر فناوری‌های هوش مصنوعی در زنجیره تامین نفت و گاز به خود جلب کرده‌اند نیز صادق است [۳].

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۶- بررسی پیشینه تحقیق با تمرکز بر انواع فناوری های هوش مصنوعی

۴-۲- تجزیه و تحلیل توصیفی بر اساس پیاده سازی هوش مصنوعی و نوع فناوری

در این بخش، شرح مفصلی از فن‌آوری‌های هوش مصنوعی مختلف که دربخش‌های مختلف زنجیره تامین نفت و گاز پیاده‌سازی شده‌اند، در قالب جدول ارائه شده است. هدف اصلی، ارائه بینش دقیق‌تری فراتر از جایی که فناوری هوش مصنوعی متمرکز شده است یا نوع کلی آن در مورد نحوه ارتباط آن با فعالیت های بخش‌های مختلف در مجموعه دانش تسخیر شده است. جدول ۱ فن آوری های مختلف هوش مصنوعی پیاده سازی شده در فعالیت های مختلف نفت و گاز در بالادست زنجیره تامین را فهرست می کند. در مجموع ۲۰ مطالعه در ادبیات در نظر گرفته شده بر روی کاربردهای هوش مصنوعی در بالادست زنجیره تامین نفت و گاز متمرکز شده است. توسعه و تولید میدانی، فعالیت‌های اصلی با راه‌حل‌های مبتنی بر ML به عنوان فناوری کاربردی غالب هوش مصنوعی بود. این عمدتا به دلیل توانایی فن آوری‌های ML برای کمک به حفاری دقیق، تولید تطبیقی و همچنین نگهداری پیشگیرانه است. استفاده از راه حل‌های ML مانند دوقلوهای دیجیتال[۲۲] ادغام شده با اینترنت اشیاء می واند منجر به عملکرد بهینه کلی در این فعالیت‌ها و کاهش قابل توجه هزینه شود. دیگر کارهای تحقیقاتی بالادستی به اهمیت ارتقای مهارت منابع انسانی فعلی برای تسریع و بهبود کاربرد هوش مصنوعی در فعالیت‌های بالادستی اشاره کرد.

جدول ۱- مقالات با تمرکز بر فناوری های هوش مصنوعی به کار رفته در فعالیت های بالادستی

بخش زنجیره تامین	فعالیت ها	پیاده سازی فناوری هوش مصنوعی	مراجع
بخش بالادستی	Field development (Drilling)	Machine learning – Supervised learning	**Osarogiagbon et al. [23] (2021)**
	Field development	Machine learning; Fuzzy logic; Swarm intelligence; Genetic algorithm; Hybrid	**[2] Li et al. (2020)**
	Field development (Drilling)	Hybrid [Machine learning - Supervised learning & Genetic algorithm]; Hybrid [Machine learning - Supervised learning & Swarm intelligence]	**Mohamadian et al. [10] (2021)**
	Field development (Drilling)	Machine learning – Supervised learning; Fuzzy logic; Swarm intelligence; Genetic algorithm; Hybrid (Multiple types)	**Ossai and Duru [9] (2020)**
	Field development (Drilling)	Machine learning - Multigene genetic programming	**[11] Agwu et al. (2021)**
	Field development (Drilling)	Machine learning – Supervised learning	**Agwu et al. (2018)[24]**
	Field development (Reservoirs)	Machine learning – Reinforcement learning	**Hourfar et al. (2019) [25]**

[22] Digital twins

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

	Production	Machine learning - Supervised learning; Genetic algorithm used as an optimizer	**Rashid et al. (2019) [26]**
	Production	Machine learning - Supervised learning; Swarm intelligence used as an optimizer	**Aminu et al. (2019) [27]**
	Production	Machine learning – Supervised learning; Bayesian optimizer	**Marins et al. (2021) [13]**
	Production	Machine learning - Supervised learning	**WANG et al. (2020) [12]**
	Production	Machine learning - Supervised learning; Genetic algorithm used as an optimizer	**Sadi and Shahrabadi [28] (2018)**
	Production (Forecasting)	Machine learning – Supervised learning	**Al-Shabandar et al. [14] (2021)**
	Production (Artificial Lift)	Machine learning – Supervised learning	**[29] Syed et al. (2020)**
	Exploration, Field development, Production	Machine learning; Hybrid modelling [Physics-driven models and data-driven models]	**Koroteev and Tekic [8] (2021)**
	Training	Computer Vision	**Garcia et al. (2019) [30]**

جدول ۲ مقالات تحقیقاتی در نظر گرفته شده با تمرکز بر جریان میانی زنجیره تامین نفت و گاز را نشان می‌دهد. حمل و نقل از طریق خطوط لوله فعالیت اصلی می‌باشد که با راه حل مبتنی بر ML دوباره به عنوان فناوری پیشرو مورد بحث قرار گرفته است. بسیاری از راه‌حل‌های پیشنهادی هوش مصنوعی با استفاده از داده‌های تاریخی به نگهداری و نظارت خط لوله می‌پردازند. این امر اهمیت در دسترس بودن داده‌ها را به عنوان یک نیاز اساسی و در بسیاری از موارد، چالش برای اجرای موفقیت آمیز هوش مصنوعی در فعالیت‌های میانی برجسته می کند.

جدول ۲- مقالات با تمرکز بر فناوری های هوش مصنوعی به کار رفته در فعالیت های میان دستی

بخش زنجیره تامین	فعالیت ها	پیاده سازی فناوری هوش مصنوعی	مراجع
بخش میان دستی	Transportation (Pipeline)	Machine learning – Multiple types	**Ben Seghier et al. (2021) [19]**
	Transportation (Pipeline)	Machine learning - Supervised learning; Fuzzy logic	**[31] Neuroth et al. (2000)**
	Transportation (Pipeline)	Robotics	**[32] Ibrahimov (2018)**
	Transportation (Pipeline)	Swarm intelligence	**[33] Wu et al. (2014)**
	Transportation (Pipeline)	Machine learning - Supervised learning; Adaptive Neuro-Fuzzy inference System; Fuzzy Inference System; Genetic algorithm used as an optimizer	**Mohamadi Baghmolaei et al. (2014) [34]**
	Transportation (Pipeline)	Machine learning - Genetic programming	**[35] Nazari et al. (2015)**
	Transportation (Pipeline)	Machine learning - Supervised learning	**[18] Saade and Mustapha (2020)**

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۳ نشان می‌دهد در بخش پایین دستی پژوهش کمتری انجام گرفته است. چند مقاله بررسی شده اهمیت کلان داده، ML و تکنیک های بینایی کامپیوتری را برای پیش بینی حوادث (ایمنی) و پالایش هوشمند (عملیات) در پالایشگاه ها برجسته کردند.

جدول ۳- مقالات با تمرکز بر فناوری های هوش مصنوعی به کار رفته در فعالیت های پایین دستی

بخش زنجیره تامین	فعالیت ها	پیاده سازی فناوری هوش مصنوعی	مراجع
بخش پایین دستی	Downstream processing	Machine learning - Supervised learning	**[36] Eze and Masuku (2018)**
	Accident prediction in refineries	Machine learning - Supervised learning; Fuzzy logic; Genetic algorithm; Metaheuristic algorithm; Hybrid (Multiple types)	**[20] Zaranezhad et al. (2019)**
	Refinery process	Machine learning - Supervised learning	**Arce-Medina and Paz-[37] Paredes (2009)**
	Refinery process	Computer vision	**[38] Silva et al. (2015)**
	Consumption forecasting	Hybrid [Machine learning - Supervised learning & Genetic algorithm]	**Li et al. (2018) [39]**
	Demand forecasting	Hybrid [Data mining & Genetic algorithm & Artificial neural network]	**[21] Al-Fattah and Aramco (2021)**
	Stripping Process	Artificial Intelligence	**[40] Shahbazian et al. (2018)**
	Hydrocracker Plant	Artificial Intelligent	**[41] Vasseghian and Ahmadi (2014)**

گروهی از کارهای تحقیقاتی در نظر گرفته شده بر فناوری‌های هوش مصنوعی متمرکز بودند که می‌توانند راه‌حل‌هایی را برای مسائل در هر سه بخش ارائه دهند. جدول ۴ یافته‌های این گروه را که در آن رباتیک، ML و NLP فناوری های هوش مصنوعی پیشنهادی بودند، خلاصه می کند. راه حل های رباتیک برای بهبود عملکرد عملیات خشکی و فراساحلی مورد بررسی قرار گرفتند. مدل‌های ML همچنین برای افزایش پیش‌بینی و ارزیابی خطرات و بلایا در کل زنجیره تامین نفت و گاز مورد بحث قرار گرفتند. NLP برای بهبود اکتساب داده ها، برای کمک به کشف روابط تصادفی از پایگاه های داده استفاده شده اند [۳].

جدول ۴- مقالات با تمرکز بر فناوری های هوش مصنوعی به کار رفته در فعالیت های کل زنجیره تامین

بخش زنجیره تامین	فعالیت ها	پیاده سازی فناوری هوش مصنوعی	مراجع
هر سه بخش	Onshore	Robotics	**Shukla and Karki (2016a) [42]**
	Onshore	Robotics	**Shukla and Karki (2016b) [43]**
	Predict and assess disasters	Machine learning – Supervised learning	**[6] Sattari et al. (2021)**
	Predict and assess disasters	Machine learning – Supervised learning	**[7] Sakib et al. (2021)**
	Oil and Gas industry tasks	Machine learning; Multi-agent Systems	**Hanga and Kovalchuk (2019) [44]**
	Risk based inspection	Machine learning	**Rachman and Ratnayake [45] (2019)**
	Accident exploration	Natural language processing	**[5] Single et al. (2020)**

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

تحقیقات کنونی بر کاربردهای هوش مصنوعی در بخش بالادستی زنجیره تامین نفت و گاز بیش از سایر نقاط متمرکز است. این در واقع منعکس کننده عملکرد صنعت است و می تواند به دو دلیل اصلی باشد. اول، این واقعیت است که فعالیت های بالادستی بیشترین سرمایه را دارند و دوم اینکه سطح پیچیدگی قابل توجهی دارند. فناوری‌های هوش مصنوعی برای ارائه راه‌حل‌های مختلفی که می‌توانند در هزینه‌ها، کاهش پیچیدگی، بهبود بهره‌وری، کارایی و ایمنی در این فعالیت‌های بالادستی را ارائه دهند، ایده‌آل هستند.

فعالیت های میانی عمدتاً به تأثیر فناوری هوش مصنوعی بر بهبود حمل و نقل خط لوله مربوط می شود که شامل سرمایه گذاری در خطوط لوله هوشمند می شود که ردیابی تحویل نفت را تضمین می کند و در عین حال ایمنی این خطوط رو به رشد مداوم را حفظ می کند. خطوط لوله در سراسر جهان ۳ تا ۴ درصد در سال رشد می کند. این امر در مورد تجهیزات مختلف مورد استفاده در این مرحله حمل و نقل میانی نیز صدق می کند.

در مورد پایین دست، راه حل های هوش مصنوعی مختلفی برای توسعه سیستم های هوشمند پالایشگاهی پیشنهاد شده است. نقش هوش مصنوعی ادغام شده با اینترنت اشیاء در این پالایشگاه‌های جدید (که از داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط اینترنت اشیاء و تحویل به مدل‌های دیجیتال هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی تنظیمات و عملیات کارخانه‌های پالایشگاهی برای محصولات مختلف استفاده می‌کنند) کاملا نمایان می باشد. برخی از تحقیقات در این مکان همچنین بر اهمیت بهبود پیش‌بینی فروش با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی هوش مصنوعی برای همسو کردن برنامه‌های تولید پالایشگاه با سیگنال‌های تقاضای واقعی تا حد امکان تاکید دارد.

این تحقیق به تکامل زنجیره تامین نفت و گاز به سمت اتوماسیون و هوشمندی بیشتر اشاره می کند (صنعت نفت و گاز ۴,۰). این امر از طریق هوشمندسازی مختلف رده‌های زنجیره تامین از جمله حفاری دقیق، تولید خودکار، تعمیر و نگهداری هوشمند و پالایش هوشمند نشان داده می‌شود. در این رابطه ذکر این نکته حائز اهمیت است که یک نیاز اساسی برای چنین تکاملی، دیجیتالی کردن موفقیت آمیز کل اکوسیستم است.

راه حل های یادگیری ماشینی (ML) نوع پیشرو فناوری هوش مصنوعی در تمام مکان های زنجیره تامین هستند. این عمدتاً به دلیل تطبیق پذیری آنها و توانایی کمک به ارائه تصمیمات آموزشی در این محیط بسیار پیچیده و پرهزینه است. علاوه بر این، این تصمیم‌ها می‌توانند تقریباً در زمان واقعی با استفاده از تکنیک‌هایی مانند دوقلوهای دیجیتال که اخیراً در صنعت نفت و گاز در حال رشد هستند، انجام شوند. دومین تکنیک محبوب هوش مصنوعی راه حل های رباتیک می باشد. جالب توجه است که در بدنه ادبیات در نظر گرفته شده، فناوری‌های NLP به ندرت مورد استفاده قرار می‌گرفتند و هنوز به بررسی بیشتر برای کشف پتانسیل آنها در این صنعت نیاز است.

امروزه شاهد فاصله معناداری در استفاده از هوش مصنوعی و هوشمندسازی بین بخش پژوهش و فناوری صنعت نفت با دانش روز دنیا (لبه دانش[۲۳]) در کشورهای پیشرو در دنیا هستیم که در جهت توسعه پایدار صنعت نفت، این فاصله باید کاهش یابد.

[23] Edge of knowledge

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

برخی از چالش‌های پیش روی اجرای هوش مصنوعی در سراسر زنجیره تامین نفت و گاز عبارتند از: (الف) فقدان داده های کیفیت منبع باز مربوط به نفت و گاز. (ب) عدم همکاری و استانداردسازی باز. (ج) هزینه بالای اجرای هوش مصنوعی و (د) فقدان استعداد بین رشته ای.

از نظر هزینه بالای پیاده سازی هوش مصنوعی، علاوه بر تکنیک های کاهش هزینه، تحقیقات بیشتری برای کشف سبد سرمایه گذاری و برنامه ریزی بهینه باید انجام شود. در حال حاضر شاهد سرمایه گذاری های کلان شرکت های نفتی کشورهای منطقه در زمینه هوش مصنوعی و فناوری های مرتبط به تحول دیجیتال هستیم. بعنوان مثال در بهمن ۱۴۰۱ عربستان سعودی قرارداد ۹ میلیارد دلاری با غول های فناوری دنیا نظیر آمازون، مایکروسافت، گوگل، اوراکل، هوآوی در زمینه فناوری های نو و ساخت مناطق رایانش ابری منعقد کرده است.

در همین راستا شرکت Sinopec چین با هواوی و شرکت Gazprom روسیه با یاندکس و شرکت Adnoc[۲۴] ابوظبی با Aveva قراردادهای بزرگ نفتی در زمینه هوش مصنوعی، خطوط لوله هوشمند، تولید هوشمند و غیره دارند. بنابراین سرمایه گذاری در این بخش نقش مهم و اساسی در پرکردن این فاصله را خواهد داشت.

در همین زمینه این، نیاز به تلاش هایی در زمینه رویکردهای ارزش گذاری دارد که برای همه تصمیمات سرمایه گذاری دیجیتال اعمال می شود. این شامل تعیین بهترین مدل کسب وکار است که با استفاده از فناوری هوش مصنوعی رشد را تضمین می‌کند. در نهایت ارزیابی اینکه چگونه بهبود خدمات مشتری می تواند منجر به سهم بازار بیشتر شود باید هنر این فرآیند ارزش گذاری باشد.

مهارت و ارتقای مهارت های نیروی کار فعلی در زنجیره تامین نفت و گاز یک نیاز آشکار در اکثر موارد می باشد. هوش مصنوعی به مجموعه جدیدی از مهارت‌ها نیاز دارد که صنعت و موسسات آموزشی به طور یکسان باید از طریق آموزش‌ها و مدرک‌های بیشتر ارائه دهند. این باید در همه سطوح باشد، از تجزیه و تحلیل داده های ساده گرفته تا طراحی سیستم پیچیده و عملیات مدلسازی. بدون چنین تلاشی برای از بین بردن شکاف مهارتی فعلی، پیاده سازی هوش مصنوعی همچنان از سرعت کند فعلی خود رنج می برد. در حال حاضر فقدان متخصصین حوزه هوش مصنوعی و فناوری اطلاعات در کشور وجود دارد و متاسفانه برخی از نخبگان این رشته جذب کشورهای پیشرو نظیر چین، آمریکا، کشورهای حوزه خلیج فارس و کشورهای اروپایی می شوند و لازم است این استعدادها در کشور مدیریت شوند.

تحقیقات کمی، در مورد مسائل اخلاقی و اجتماعی مرتبط با اجرای هوش مصنوعی (صنعت ۵,۰) انجام شده است. این نشانه ای از نیاز به بررسی بیشتر این موارد در همه بخش ها برای بررسی نگرانی های مربوط به جایگزینی نیروی کار و حفظ حریم خصوصی و یکپارچگی داده ها است.

ورود به عرصه تحول دیجیتال نیاز به فرهنگ سازی و آگاهی مدیران مختلف نفتی به اهمیت هوشمندسازی و ضرورت اجرای آن در صنعت نفت دارد و لازمست همه دست اندرکاران و تصمیم گیران این حوزه به ضرورت اینکار و تاثیر آن بر بقای سازمان (با توجه به سرمایه گذاری ها و پروژه های عظیم شرکت های نفتی در دنیا) و امکان رقابت در بازار آینده بطور کامل آگاه شوند.

[24] Abu Dhabi National Oil Caompany

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

تحقیقات آینده برای بررسی اینکه چگونه فناوری‌های هوش مصنوعی می‌توانند با همان سرعت بالادستی در میان‌دستی و پایین‌دستی پیاده‌سازی شوند، مورد نیاز است. راه‌حل‌های هوش مصنوعی خاص برای بررسی بیشتر برای تحقق بخشیدن به پتانسیل آن‌ها در زنجیره تامین نفت و گاز از جمله NLP و واقعیت افزوده و مجازی هستند. ادغام هوش مصنوعی با بلاک چین، اینترنت اشیاء و محاسبات ابری حوزه دیگری از تحقیقات داغ (به ویژه با موضوع رو به افزایش نفت و گاز ۴,۰) است. در نهایت، کار میدانی بیشتری برای همسو کردن کار تحقیقاتی با نیاز واقعی و کاربرد فعلی شیوه‌های زنجیره تامین نفت و گاز مورد نیاز است.

۶-قدردانی

بدینوسیله از تلاش‌های همکاران محترم پژوهشگاه صنعت نفت در پردیس پایین دستی و گروه فناوری و نوآوری تشکر و قدردانی می‌شود.

۷- منابع

[1] X. Wang, "Application of artificial intelligence in oil and gas industry," *Mod Inf Technol*, vol. 3, no. 1, pp. 117-119, 2017.
[2] H. Li, H. Yu, N. Cao, H. Tian, and S. Cheng, "Applications of artificial intelligence in oil and gas development," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 28, no. 3, pp. 937-949, 2021.
[3] A. Deif and T. Vivek, "Understanding AI Application Dynamics in Oil and Gas Supply Chain Management and Development: A Location Perspective," *HighTech and Innovation Journal*, vol. 3, pp. 1-14, 2022.
[4] M. Giuliani *et al.*, "Hybrid Artificial Intelligence Techniques for Automatic Simulation Models Matching with Field Data and Constrained Production Optimization," in *International Petroleum Technology Conference*, 2020: OnePetro .
[5] J. I. Single, J. Schmidt, and J. Denecke, "Knowledge acquisition from chemical accident databases using an ontology-based method and natural language processing," *Safety Science*, vol. 129, p. 104747, 2020.
[6] F. Sattari, R. Macciotta, D. Kurian ,and L. Lefsrud, "Application of Bayesian network and artificial intelligence to reduce accident/incident rates in oil & gas companies," *Safety Science*, vol. 133, p. 104981, 2021.
[7] N. Sakib, N. U. I. Hossain, F. Nur, S. Talluri, R. Jaradat, and J. M .Lawrence, "An assessment of probabilistic disaster in the oil and gas supply chain leveraging Bayesian belief network," *International Journal of Production Economics*, vol. 235, p. 108107, 2021.
[8] D. Koroteev and Z. Tekic, "Artificial intelligence in oil and gas upstream: Trends, challenges, and scenarios for the future," *Energy and AI*, vol. 3, p. 100041, 2021.
[9] C. I. Ossai and U. I. Duru, "Applications and theoretical perspectives of artificial intelligence in the rate of penetration," *Petroleum*, 202.٠
[10] N. Mohamadian *et al.*, "A geomechanical approach to casing collapse prediction in oil and gas wells aided by machine learning," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 196, p. 107811, 2021.
[11] O. E. Agwu, J. U. Akpabio, and A. Dosunmu" ,Modeling the downhole density of drilling muds using multigene genetic programming," *Upstream Oil and Gas Technology*, vol. 6, p. 100030, 2021.
[12] W. Hongliang, M. Longxin, S. Fugeng, and D. Hongen, "Production prediction at ultra-high water cut stage via Recurrent Neural Network," *Petroleum Exploration and Development*, vol. 47, no. 5, pp. 1084-1090, 2020.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

[13] M. A. Marins *et al.*, "Fault detection and classification in oil wells and production/service lines using random forest," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 197, p. 107879, 2021.
[14] R. Al-Shabandar, A. Jaddoa, P. Liatsis, and A. J. Hussain, "A deep gated recurrent neural network for petroleum production forecasting," *Machine Learning with Applications*, vol. 3, p. 100013, 2021.

[۱۵] م. رجبی, ی. تمثیلیان, و ش. کرد, مروری بر کاربرد هوش مصـــنوعی در بهینه ســـازی روش های فرازآوری مصنوعی به منظور افزایش تولید نفت, ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز, ۱۳۹۸، شماره ۱۷۰، صفحه ۳۷-۳۱.

[۱۶] ت. بهروز, فرآیند تو سعه ی سی ستم های چاه های هو شمند, , ماهنامه اکت شاف و تولید نفت و گاز, ۱۳۹۶، شماره ۱۴۴، صفحه ۲۴-۲۱.

[۱۷] م. ج. جمالی, ب. راجی, و م. فعلی, فر صت ها و چالش های به کارگیری فن آوری میادین هو شمند در ایران, ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز, ۱۳۹۵، شماره ۱۴۰، صفحه ۴۸-۴۰.

[18] M. Saade and S. Mustapha, "Assessment of the structural conditions in steel pipeline under various operational conditions–A machine learning approach," *Measurement*, vol. 166, p. 108262, 2020.
[19] M. E. A. B. Seghier, B. Keshtegar, M. Taleb-Berrouane, R. Abbassi, and N.-T. Trung, "Advanced intelligence frameworks for predicting maximum pitting corrosion depth in oil and gas pipelines," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 147, pp. 818-833, 2021.
[20] A. Zaranezhad, H. A. Mahabadi, and M. R. Dehghani, "Development of prediction models for repair and maintenance-related accidents at oil refineries using artificial neural network, fuzzy system, genetic algorithm, and ant colony optimization algorithm," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 131, pp. 331-348, 2019.
[21] S. M. Al-Fattah and S. Aramco, "Application of the artificial intelligence GANNATS model in forecasting crude oil demand for Saudi Arabia and China," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 200, p. 108368, 2021.

[۲۲] م. راجی, ا. دشتی, م. رضاکاظمی, ن. حاجیلری, مدل‌سازی هوش مصنوعی جداسازی ترکیب های گوگردی از دیزل توسط فرایند تراوش تبخیری, نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران, ۱۳۹۹، شماره ۳، صفحه ۲۴۶-۲۳۷.

[23] S. P. Ghuge and A. K. Saroha, "Catalytic ozonation of dye industry effluent using mesoporous bimetallic Ru-Cu/SBA-15 catalyst," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 118, pp. 125-132, 2018.
[24] O. E. Agwu, J. U. Akpabio, S. B. Alabi, and A. Dosunmu, "Artificial intelligence techniques and their applications in drilling fluid engineering: A review," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 167, pp. 300-315, 2018.
[25] F. Hourfar, H. J. Bidgoly, B. Moshiri, K. Salahshoor, and A. Elkamel, "A reinforcement learning approach for waterflooding optimization in petroleum reservoirs," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 77, pp. 98-116, 2019.
[26] S. Rashid, A. Ghamartale, J. Abbasi, H. Darvish, and A. Tatar, "Prediction of critical multiphase flow through chokes by using a rigorous artificial neural network method," *Flow Measurement and Instrumentation*, vol. 69, p. 101579, 2019.
[27] K. T. Aminu, D. McGlinchey, and Y. Chen, "Optimal design for real-time quantitative monitoring of sand in gas flowline using computational intelligence assisted design framework," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 177, pp. 1059-1071, 2019.
[28] M. Sadi and A. Shahrabadi, "Evolving robust intelligent model based on group method of data handling technique optimized by genetic algorithm to predict asphaltene precipitation," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 171, pp. 1211-1222, 2018.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

[29] F. I. Syed, M. Alshamsi, A. K. Dahaghi, and S. Neghabhan, "Artificial lift system optimization using machine learning applications," *Petroleum*, 2020.
[30] C. Garcia, J. Naranjo, A. Ortiz, and M. Garcia, "An approach of virtual reality environment for technicians training in upstream sector. IFAC-PapersOnLine 52 (9), 285–291 (2019)," ed, 2019.
[31] M. Neuroth, P. MacConnell, F. Stronach, and P. Vamplew, "Improved modelling and control of oil and gas transport facility operations using artificial intelligence," in *Applications and Innovations in Intelligent Systems VII*: Springer, 2000, pp. 119-136.
[32] B. Ibrahimov, "A cost-oriented robot for the Oil Industry," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 30, pp. 204-209, 2018.
[33] X. Wu, C. Li, W. Jia, and Y. He, "Optimal operation of trunk natural gas pipelines via an inertia-adaptive particle swarm optimization algorithm," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol ,۲۱ .pp. 10-18, 2014.
[34] M. MohamadiBaghmolaei, M. Mahmoudy, D. Jafari, R. MohamadiBaghmolaei, and F. Tabkhi, "Assessing and optimization of pipeline system performance using intelligent systems," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol. 18 ,pp. 64-76, 2014.
[35] A. Nazari, P. Rajeev, and J. G. Sanjayan, "Modelling of upheaval buckling of offshore pipeline buried in clay soil using genetic programming," *Engineering Structures*, vol. 101, pp. 306-317, 2015.
[36] P. C. Eze and C. M. Masuku, "Vapour–liquid equilibrium prediction for synthesis gas conversion using artificial neural networks," *South African journal of chemical engineering*, vol. 26, no. 1, pp. 80-85, 2018.
[37] E. Arce-Medina and J. I. Paz-Paredes, "Artificial neural network modeling techniques applied to the hydrodesulfurization process," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 49, no. 1-2, pp. 207-214, 2009.
[38] R. Silva, A. T. Fleury, F. Martins, W. Ponge-Ferreira, and F. C. Trigo, "Identification of the state-space dynamics of oil flames through computer vision and modal techniques," *Expert Systems with Applications*, vol. 42, no. 5, pp. 2421-2428, 2015.
[39] J. Li, R. Wang, J. Wang, and Y. Li, "Analysis and forecasting of the oil consumption in China based on combination models optimized by artificial intelligence algorithms," *Energy*, vol. 144, pp. 243-264, 2018.
[40] M. Ebnali, M. Shahbazian, and H. Jazayerirad, "Artificial intelligence for inferential control of crude oil stripping process," *Iranian Journal of Oil and Gas Science and Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 70-92, 2018.
[41] Y. Vasseghian and M. Ahmadi, "Artificial Intelligent modeling and optimizing of an industrial hydrocracker plant," *Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, vol. 48, no. 2, pp. 125-137, 20.۱٤
[42] A. Shukla and H. Karki, "Application of robotics in onshore oil and gas industry—A review Part I," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 75, pp. 490-507, 2016.
[43] A. Shukla and H. Karki, "Application of robotics in offshore oil and gas industry—A review Part II," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 75, pp. 508-524, 2016.
[44] K. M. Hanga and Y. Kovalchuk, "Machine learning and multi-agent systems in oil and gas industry applications: A survey," *Computer Science Review*, vol. 34, p. 100191, 201.۹
[45] A. Rachman and R. C. Ratnayake, "Machine learning approach for risk-based inspection screening assessment," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 185, pp. 518-532, 2019.

Archive of SID.ir