

## مروری بر کاربرد هوش مصنوعی در بهینه‌سازی روش‌های فراآوری مصنوعی به منظور افزایش تولید نفت

مهشید رجبی، دانشگاه صنعت نفت ■ یوسف تمثیلیان\*، دانشگاه شهید چمران اهواز ■ شاهین کُرد، دانشگاه صنعت نفت، دانشکده نفت اهواز

### چکیده

علم داده، یادگیری ماشین و هوش مصنوعی، با استفاده از توان محاسباتی بالا و ارائه مدل‌های کم‌هزینه برای بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌ها، انقلابی بزرگ در صنعت نفت ایجاد کرده است. طبق آخرین مقالات منتشر شده، سال ۲۰۱۹ سال پیشرفت هوش مصنوعی از تئوری تا عمل است. هوش مصنوعی به تولیدکنندگان نفت و گاز کمک می‌کند تا نحوه تغییر تولید نفت در طول زمان را بررسی نمایند و موجب کاهش هزینه محاسبات و تسهیل فرآیندهای سطح‌الارضی شود. در این مقاله به مروری بر کاربرد یادگیری ماشین و روش‌های هوش مصنوعی در روش‌های فراآوری مصنوعی شامل پمپ‌های کله اسبی، پمپ‌های الکتریکی شناور درون چاهی و همچنین فراآوری مصنوعی با گاز پرداخته می‌شود. روش هوش مصنوعی و الگوریتم‌های مختلف آن در زمینه پیش‌بینی عملکرد، خرابی و فرسایش پمپ‌های کله اسبی و پمپ‌های الکتریکی شناور درون چاهی کاربرد موثری داشته و سبب کاهش هزینه‌ها شده است. همچنین هوش مصنوعی در عملیات فراآوری با گاز، مدل‌هایی را ارائه داده که با پیش‌بینی نرخ و عمق بهینه تزریق گاز سبب سودآوری بیشتر می‌شود.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۸/۰۲/۲۱  
تاریخ ارسال به داور: ۹۸/۰۲/۲۷  
تاریخ پذیرش داور: ۹۸/۰۵/۰۸

### واژگان کلیدی:

هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، فراآوری مصنوعی، پمپ‌های کله اسبی، پمپ‌های الکتریکی شناور درون چاهی

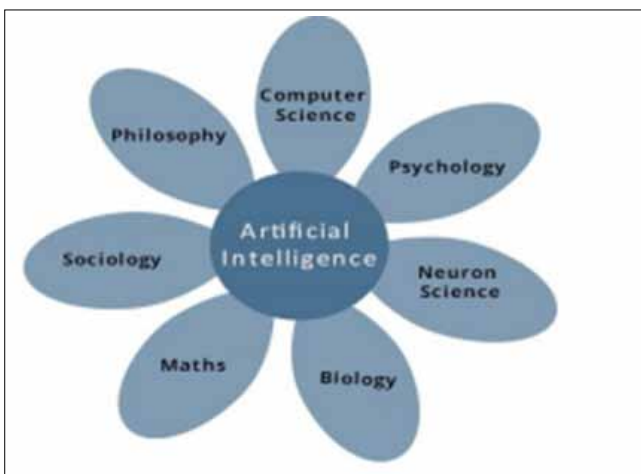
### مقدمه

۳- هوش مصنوعی با استفاده از پایگاه داده‌های بسیار بزرگ و متغیر، با وجود داده‌های نویزدار و ناقص قادر به ایجاد مدل و روابط تجربی با اعتبار و اطمینان می‌باشد.  
۴- این مدل‌ها را می‌توان به منظور کنترل کارهای سنگین و تکراری آموزش داد که نه تنها خطاهای کمتری نسبت به مداخله انسانی دارند بلکه از سرعت بیشتری نیز برخوردار هستند.  
۵- برای پیش‌بینی‌های رگرسیون چندگانه خطی و غیر خطی، مدل‌های هوش مصنوعی در مقایسه با سایر مدل‌های فیزیکی و تجربی دقت

هوش مصنوعی یک اصطلاح کلی برای ماشین‌هایی است که دارای توانایی ادراک، منطقی و یادگیری هستند. یکی از زیرشاخه‌های هوش مصنوعی یادگیری ماشین است. در این روش کامپیوتر پس از پردازش داده‌ها، به صورت هوشمندانه الگوهای موجود در آن‌ها را استخراج کرده، آن‌ها را یاد می‌گیرد و تبدیل به دانش می‌کند. این فرآیند در چنین سیستمی بدون برنامه‌نویسی صریح انجام می‌پذیرد، در واقع سیستم به کمک الگوریتم‌های خود و با توجه به نتایج بدست آمده از پردازش داده‌ها الگوریتم خود را توسعه داده و موارد جدید را به آن‌ها می‌افزاید و ماشین خود را به صورت خودکار به‌روز می‌کند. هوش مصنوعی یک علم و فن آوری بر اساس رشته‌هایی مانند علوم کامپیوتری، زیست‌شناسی، روانشناسی، زبان‌شناسی، ریاضیات و مهندسی است [۱].

استفاده از یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز از اواخر دهه ۱۹۸۰ آغاز شده است. با این حال، از سال ۲۰۱۰ تمایل به استفاده از اینترنت اشیاء در صنایع بالادستی نفت رو به فزونی بوده است. از جمله فواید ارزشمند استفاده از روش‌های هوش مصنوعی عبارتند از [۳-۵]:

- ۱- قابلیت ایجاد روابط و مدل‌های غیرخطی و پیچیده بین ویژگی‌های ورودی و خروجی بدون پیش‌فرض‌ها یا ساده‌سازی‌های پیشین.
- ۲- با استفاده از چندین الگوریتم آموزش متفاوت، انواع مدل‌های یادگیری ماشین را می‌توان ایجاد کرد.



۱ | دامنه گسترش هوش مصنوعی [۲]

\* نویسنده عهد دار مکاتبات (tamsilian@scu.ac.ir)

بیشتری را نشان می‌دهند.

۶- با توجه به سرعت اجرای ابزارهای یادگیری ماشین در کوتاه مدت و بلند مدت، این ابزارها موثر و مقرون به صرفه هستند.

۷- هوش مصنوعی به طور ضمنی می‌تواند ارتباطات غیرخطی پیچیده بین ویژگی‌های وابسته و مستقل را پیدا کند.

یکی از چالش‌های اساسی در گسترش علم داده در این زمینه، تسهیل همکاری بین مهندسين، اپراتورها و دانشمندان داده است. میدان نفتی داده‌های منحصر به فرد و چالش‌های زیست محیطی زیادی دارد. بحث در مورد چگونگی همکاری و ارتباط متخصصین فرازآوری مصنوعی با دانشمندان داده برای درک این محیط عملیاتی پویا، چالش‌های مرتبط با کیفیت داده‌ها و نحوه کارکرد این دارایی‌ها از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد [۶ و ۷].

استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین و به کارگیری الگوریتم‌های مختلف آن به منظور پیش‌بینی عملیات فرازآوری مصنوعی با استفاده از تزریق گاز در فرآیند فرازآوری مصنوعی با گاز و استفاده از انواع مختلف پمپ سبب شده که بتوان مشکلات احتمالی در هنگام تولید را پیش‌بینی کرد و تولید را بهینه‌سازی نمود و از طرفی هزینه‌های تولید را نیز کاهش داد [۲].

تعداد قابل توجهی تحقیقات با استفاده از ابزار هوش مصنوعی در صنعت نفت انجام شده است که البته این میزان در کاربرد هوش مصنوعی در فرآیندهای فرازآوری مصنوعی بسیار محدودتر است. روش‌های داده‌محور، مسیری را به مهندسان نشان می‌دهند که آن‌ها را قادر به تایید سریع عملکرد چاه در مدت زمان بسیار کوتاهی می‌کنند. مدل‌های یادگیری ماشین همچون شبکه‌های عصبی مصنوعی قطعاً جایگزین روش‌های مرسوم همچون شبیه‌سازی عددی نیستند. در عوض یک رویکرد ترکیبی از مدل‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند نتایج مطمئن‌تری ارائه دهند. از شانزده سال اخیر تاکنون، منطق فازی، ANN و الگوریتم ژنتیک (GA) در میان الگوریتم‌های پرکاربرد در بخش بالادستی نفت و گاز بوده است [۸ و ۹].

انتخاب روش مناسب فرازآوری مصنوعی به منظور دستیابی به حداکثر بازیافت نهایی نفت حائز اهمیت است. برای انتخاب بهترین روش فرازآوری برای یک چاه ملاحظات بسیاری از جمله ساختار چاه، پارامترهای مخزنی، زیرساخت و غیره وجود دارد. جدول ۱- عواملی که در انتخاب روش مناسب فرازآوری مصنوعی موثر است را نشان می‌دهد. این پارامترها در طول زمان تغییر می‌کنند که منجر به تغییر در روش فرازآوری می‌شود و به دلیل بررسی تغییرات در طی تولید و انتخاب روش مناسب و طراحی مجدد مهم می‌باشند. با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و الگوریتم‌های مختلف آن و طراحی مدل مناسب با توجه به داده‌های موجود از چاه، مخزن، خواص سیالات، شرایط تولیدی، تاسیسات سطحی و غیره می‌توان روش مناسب فرازآوری مصنوعی را برای چاه یا میدان مورد نظر انتخاب کرد.

یکی از رایج‌ترین روش‌های فرازآوری مصنوعی استفاده از پمپ کله اسبی می‌باشد که در حدود ۸۵ درصد چاه‌های جهان به کار گرفته شده است، پس از آن استفاده از روش فرازآوری مصنوعی با گاز در رتبه دوم و در حدود ۱۰ درصد چاه‌های جهان و در آخر سیستم ESP به عنوان یک روش موثر فرازآوری مصنوعی شناخته می‌شود که در حدود ۵ درصد از چاه‌های سراسر جهان به کار گرفته شده است. به طور کلی هزینه تعمیر ESP معمولاً بسیار بالاتر از سایر سیستم‌های فرازآوری مصنوعی است، بنابراین پیش‌بینی خرابی ESP قبل از وقوع آن و همچنین نگهداری صحیح این پمپ‌ها مسأله مهمی در عملیات میدان نفتی است. در این مقاله با توجه به اهمیت روش‌های هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز به بررسی کاربرد این روش‌ها در چاه‌های تحت عملیات فرازآوری مصنوعی پرداخته شده است. ابتدا مدل‌های مختلفی که به منظور بررسی عملکرد پمپ‌ها ارائه شده بررسی و سپس به کارهایی که تاکنون با استفاده از روش‌های هوشمند در فرازآوری مصنوعی با گاز اجرا گردیده پرداخته می‌شود.

#### ۱- هوش مصنوعی در فرازآوری مصنوعی با پمپ

در پمپ‌های کله اسبی کارت دینامومتر سطحی میزان عملکرد پمپ را

۱ | عوامل موثر در طراحی روش‌های فرازآوری مصنوعی [۱۰]

فاکتورهای سودآوری	پارامترهای مخزنی	خواص سیالات	شرایط تولید	تاسیسات سطحی	پارامترهای چاه
طول عمر خدمات	فشار	چگالی	دبی جریان	تأمین برق	عمق
هزینه تاسیسات	دما	ویسکوزیته	نرخ کاهش	دسترسی به گاز	ضریب پیچش
هزینه عملیات	شاخص تولید	تولید مواد جامد	نسبت گاز به نفت (GOR)	خطوط لوله	قطر
تأخیر در تولید		رسوبات	برش آب	محدودیت فضا	

ویژگی بیشتر و غلبه بر بایاس ناشی از نمونه‌های آموزشی محدود، مدل نیمه نظارت شده‌ای تحت عنوان "Random Peek" توسعه دادند. آن‌ها در این مدل به منظور پیش‌بینی خرابی پمپ کله اسبی از الگوریتم‌های درخت‌های تصمیم، شبکه‌های بیزین (BN) و ماشین بردار پشتیبان استفاده کردند [۱۴].

لیو و همکاران، ۲۰۱۱، یک مدل یادگیری ماشین جدیدی را با نام "AdaBNet" توسعه دادند که با استفاده از روش بوستینگ تعدادی از مدل‌های شبکه بیزین را یاد می‌گیرد و سپس این مدل‌ها را با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف با یکدیگر ترکیب می‌کند تا مدل‌های تقویت شده قوی‌تری جهت پیش‌بینی خرابی پمپ کله اسبی حاصل شود [۱۵].

مایو و همکاران، ۲۰۱۲، با توسعه و مقایسه دو روش ترکیبی خوشه‌بندی غیر نظارت شده یعنی درخت تصمیم سلسله مراتبی و الگوریتم فازی C-Means وضعیت فرسایش پمپ را حتی هنگامی که داده‌های موجود به شدت محدود است، ارزیابی و اندازه‌گیری کردند. ایده این است که پیش‌بینی‌های طبقه‌بندی‌های مختلف را به منظور کاهش واریانس نتایج ترکیب کرد به طوری که آن‌ها وابستگی کم‌تری به ویژگی‌های یک طبقه‌بند خاص داشته باشند [۱۶].

رافاندا و همکاران، ۲۰۱۳، مدل جهانی تعمیم یافته‌ای به منظور پیش‌بینی خرابی و از کار افتادن پمپ‌های کله اسبی ارائه کردند. در این مدل با بکارگیری الگوریتم خوشه‌بندی حداکثر انتظار، مدل جهانی پیشنهاد شده به صورت آماری قادر است که الگوهای قبل از خرابی و همچنین الگوهای خرابی را از الگوهای نرمال در طول مرحله آموزش تشخیص دهد. در مقایسه با مدل‌های پیشین، مجموعه داده آموزشی برای مدل جهانی از مثال‌های الگوهای نرمال و خراب شده بیشتری یاد می‌گیرد. همچنین این مدل با یک ماشین بردار پشتیبان عمومی آموزش داده شده است و قادر به پیش‌بینی خرابی در همه میادین است. آن‌ها با استفاده از اطلاعات موجود از حدود ۲۰۰۰ پمپ کله اسبی مدل جهانی را پیشنهاد دادند که بر اساس آن، امکان خراب شدن پمپ در آینده پیش‌بینی می‌شود و مدل از دقت قابل قبولی برخوردار است [۱۷].

لیو و پاتل، ۲۰۱۳، یک رویکرد سیستماتیک بازشناسی الگو برای شناسایی خرابی‌های چاه ارائه کردند. آن‌ها در این روش، با روند بازشناسی الگو شروع کردند، توضیح دادند که چگونه داده‌های صحیح را انتخاب کرده و نحوه استخراج ویژگی‌های مناسب با استفاده از روش پردازش سیگنال را مشخص کردند. در نهایت، توضیح دادند که چگونه طبقه‌بندها را از طریق الگوریتم‌های ابتکاری به جای آموزش، ایجاد نموده‌اند [۱۸].

نسبت به موقعیت پمپ در واحد پمپاژ مشخص می‌کند. با وجود اینکه این کارت اطلاعات مهمی را در اختیار می‌گذارد ولی به تنهایی نمی‌توان از روی این اطلاعات به مشکلات احتمالی پمپ پی برد. به دلیل کشش میله، SDC به طور کلی نمی‌تواند تمام اطلاعات مورد نیاز را برای درک چگونگی عملکرد پمپ فراهم کند. بدین جهت علاوه بر توجه به شکل SDC و مقادیر حداکثر و حداقل بار از اطلاعات مربوط به ویژگی‌های چاه، نوع روغن پمپاژ و غیره نیز استفاده می‌شود. نوع جدیدی از نوروں برای ساخت شبکه‌های عصبی به کار می‌رود که دارای قابلیت‌های پردازش عددی و سمبولیک است. این نوع جدید از شبکه‌های عصبی برای توسعه SICAD که یک سیستم عصبی سلسله مراتبی که هدف آن کنترل هوشمند پمپ کله اسبی است، به کار گرفته شد.

SICAD از دو خانواده از شبکه‌های عصبی متخصص در بازشناسی الگو (PRN) و متخصص رزونانس (ERN) تشکیل شده است. حالت‌های مختلف فعل و انفعالات میان ERN و PRN استراتژی‌های کنترل پمپاژ متفاوتی را تعریف می‌کنند. الیگر و همکاران، ۱۹۹۳، نقش‌های ایفا شده توسط ERN، PRN و تعاملات آن‌ها را بررسی کردند. آن‌ها همچنین در مورد شرایط اساسی که در آن SICAD ممکن است از خروجی‌های نهایی مختلف برای مدیریت هوشمند نفت استفاده کند، بحث کردند [۱۱]. وانگ و هو، ۲۰۰۶، با به کارگیری اصل منطق فازی که به عنوان یک روش تشخیصی خطا جهت توصیف روابط مبهم و نامشخص بین نشانه‌های خرابی و رویدادهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، به آنالیز اطلاعات فازی موجود در مراحل مختلف تشخیص عیب و پایش وضعیت پمپ‌ها پرداختند و طیف‌های فرکانس نشان‌دهنده عیوب مختلف پمپ را طبقه‌بندی کردند. ویژگی‌های تشخیصی از طیف فرکانس سیگنال‌های ارتعاش پمپ استخراج می‌شوند. این مطالعه نشان داد روش منطق فازی می‌تواند یک روش قوی برای طبقه‌بندی و شناسایی عیوب پمپ باشد [۱۲].

با استفاده از روش یادگیری آماری می‌توان عیب پمپ نفتی را تشخیص داد. ماشین بردار پشتیبان (SVM) دارای عملکرد قوی غیرخطی و همچنین ویژگی بهینه‌سازی جهانی است. تاین و همکاران، ۲۰۰۷، با استفاده از روش بردار پشتیبان به تشخیص خرابی پمپ و پمپاژ نفت پرداختند. علاوه بر این از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی پارامترهای SVM استفاده کردند. با توجه به توانایی خودیادگیری قوی و قابلیت خوب تعمیم‌پذیری الگوریتم SVM، این روش تشخیص می‌تواند به خوبی عیب پمپ نفتی را با یادگیری اطلاعات خرابی پمپ تشخیص دهد. نتایج تشخیص واقعی نشان داد که این روش عملی و موثر است [۱۳].

لیو و همکاران، ۲۰۱۰، جهت تنظیم فرآیند آموزش برای پوشش فضای

گیو و همکاران، ۲۰۱۵، از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی خرابی پمپ ESP با استفاده از داده‌های الکتریکی و فرکانس میدان استفاده کردند. داده‌های مربوط به سیستم پمپ‌های ESP واقعی برای یادگیری مثال‌هایی از شرایط نرمال و شرایط خرابی مورد تحلیل قرار گرفت. یک ماشین بردار پشتیبان عمومی که با مجموعه‌ای از ویژگی‌های انتخاب‌شده آموزش داده شده است، توسعه‌یافت و این روش بر روی داده‌های واقعی مورد آزمایش قرار گرفت. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که این رویکرد نتایج خوبی ارائه می‌دهد [۱۹].

شارما و پندی، ۲۰۱۶، به ارزیابی قابلیت شبکه عصبی مصنوعی در نظارت از پمپ ESP که برای فرازآوری نفت از چاه‌های بالغ استفاده می‌شود، پرداختند. آن‌ها با ارائه یک مدل شبکه عصبی توانستند خرابی‌های معمول در پمپ ESP را قبل از اتفاق افتادن با شناسایی عوامل و شرایط خرابی پمپ، پیش‌بینی کنند. آن‌ها از داده‌های سطح و پایین چاه در زمان واقعی در طول یک دوره بهره‌برداری از پمپ ESP که منجر به خرابی پمپ ESP یا روندهایی می‌شود که ممکن است منجر به خرابی در پمپ ESP شوند، استفاده کردند. مقادیر داده‌های انتخاب‌شده از سطح و پایین چاه به عنوان ورودی مدل شبکه عصبی مصنوعی و خروجی مدل حتی در صورتی که داده‌های ورودی منجر به خرابی پمپ ESP نشود، مورد استفاده قرار گرفتند. با آموزش مدل شبکه عصبی می‌توان از آن برای طبقه‌بندی روندها و یا شرایطی که ممکن است منجر به خرابی در پمپ ESP گردد، استفاده شود [۲۰].

گوپتا و همکاران، ۲۰۱۶، یک روش تحلیلی داده‌محور پیشنهاد کردند تا بتوانند با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره به منظور کاهش ابعاد و بازشناسی الگو، داده‌های آماری عملکرد پمپ ESP را به اقدامات عملی تبدیل کنند. این چارچوب به‌هنگام، اصول مهندسی را با مدل‌های ریاضیاتی ترکیب می‌کند تا بتوان مشکلات را قبل از حادثه تشخیص و اقدامات پیشگیرانه را انجام داد. این امر می‌تواند ایمنی عملیات را تضمین، طول عمر پمپ را افزایش و تولید را بهینه‌سازی نماید [۲۱].

اسنید، ۲۰۱۷، جهت پیش‌بینی طول عمر پمپ، مدل‌های مختلفی همچون رگرسیون خطی، درخت‌های تصمیم و جنگل‌های تصادفی را با یکدیگر مقایسه کردند. بر اساس خطای میانگین مربعات، مدل جنگل تصادفی به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید. ۹۰٪ خطای پیش‌بینی مدل در عرض ۳۰ روز از طول عمر واقعی پمپ بوده است. پس از استانداردسازی بیشتر و بهینه‌سازی، این مدل ممکن است در آینده به صورت عملی به کار برده شود [۲۲].

پنل و همکاران، ۲۰۱۸، انواع مختلف مشکلات فرازآوری مصنوعی، به خصوص روش‌های پمپ کله اسبی و فرازآوری با گاز را که با استفاده از

الگوریتم‌های یادگیری ماشین شناسایی و پیش‌بینی شده است، بررسی کردند. با استفاده از داده‌های تولید یک ساله ۸۰۰ چاه میدان Bakken، مدل‌های یادگیری ماشین آموزش داده شد. متخصصین در هر نوع فرازآوری، داده‌ها را بررسی کرده و دوره‌های خرابی و عملکرد زیر بهینه را شناسایی نمودند. این اتفاقات برای آموزش انواع مختلف الگوریتم‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی استفاده شدند که شامل جنگل تصادفی، درخت گرادیان تقویتی و مدل‌های شبکه عصبی می‌شوند. مدل‌هایی که بر اساس آن خرابی پمپ پیش‌بینی شد از دقت بسیار بالایی برخوردار بود و سبب افزایش کارایی پمپ و کاهش مدت زمان از کارافتادگی پمپ می‌شود [۱۶].

پاتریک بنگرت، ۲۰۱۹، از مجموعه داده‌ای شامل ۳۵۲۹۲ نمونه کارت دینامومتر سطحی گرفته شده از ۲۹۹ پمپ کله اسبی در میدان بحرین استفاده کرد. با این روش ۱۱ کلاس مختلف آسیب را با دقت ۹۹/۹٪ تشخیص داد. این دقت بالا امکان تشخیص خودکار و به‌هنگام پمپ‌های کله اسبی را فراهم می‌کند و همچنین باعث می‌شود تا خدمه به جای نظارت بر پمپ‌ها، بر روی تعمیر آن‌ها تمرکز کنند. بنابراین، بازده کل نفت افزایش و اثرات زیست محیطی کاهش می‌یابد [۲۳].

## ۲- روش هوش مصنوعی در فرازآوری مصنوعی با گاز

به دلیل افزایش تعداد میادین بالغ و کاهش کشفیات عظیم، به حداکثر رساندن بازیافت نفت توسط روش‌های فرازآوری مصنوعی می‌تواند یک عامل جبرانی برای متعادل کردن نسبت عرضه به تقاضا باشد. فرازآوری مصنوعی با گاز یکی از روش‌های فرازآوری است که در چاه‌های عمیق و محیط‌هایی که دمای بالا دارد بر خلاف پمپ‌های ESP و کله اسبی کاربرد دارد.

رشیدی و همکاران، ۲۰۱۰، با استفاده از الگوریتم ژنتیک به محاسبه سائیز بهینه لوله مغزی، عمق گاز تزریقی در فرازآوری مصنوعی با گاز و نرخ تزریق گاز پرداختند [۲۴].

خامه چی و همکاران، ۲۰۱۴، با طراحی یک شبکه عصبی مصنوعی و کوپل کردن آن با الگوریتم ژنتیک، وزن‌ها و بایاس‌ها و همچنین تعداد نوروها و ارتباطات را بهینه کردند. برای رفع نیاز به اجرای نرم‌افزارهای شبیه‌سازی که پرهزینه و زمان‌بر است، از این شبکه در پیش‌بینی بهبود تولید نفت ناشی از فرازآوری با گاز استفاده گردید. سپس یک شبکه با جعبه ابزار شبکه عصبی نرم‌افزار متلب با در نظر گرفتن فرض اولیه که این شبکه کاملاً متصل است، ایجاد شد. در نهایت خطای میانگین مربعات مدل نهایی با شبکه ایجاد شده توسط نرم‌افزار متلب مقایسه گردید و مشخص شد که مدل ارائه شده توسط خامه چی و همکاران

قرار گرفت. مدل پیشنهادی پیش‌بینی و بهینه‌سازی برای دوره زمانی مشخصی از عمر مخزن برای یک سیستم فراآوری با گاز مورد آزمایش قرار گرفته است. دقت پیش‌بینی شده توسط الگوریتم BRNN و LMNN به ترتیب ۹۹/۹٪ و ۹۹/۵٪ بود. نتایج نشان می‌دهد که دو مدل از قابلیت پیش‌بینی خوبی برخوردارند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مدل BR نسبت به مدل LM قوی‌تر و کارآمدتر و برای الگوریتم‌های بهینه‌سازی، روش TBLO بهتر از الگوریتم ژنتیک در تخصیص گاز برای سیستم فراآوری مصنوعی با گاز عمل می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده آن است که مدل پیشنهادی در عملیات فراآوری مصنوعی با گاز موثر و کارساز است [۲۸].

در جدول ۲- خلاصه‌ای از این مطالعات گردآوری شده است. بر این اساس می‌توان گفت استفاده از روش هوش مصنوعی در پمپ‌ها بیشتر با هدف پیش‌بینی طول عمر پمپ و خرابی‌های احتمالی در آن بوده است. همچنین بیشتر مطالعات در رابطه با پمپ کله اسبی و پمپ‌های الکتریکی شناور درون چاهی انجام شده است. چرا که این دو نوع پمپ دارای کاربرد فراوان در صنعت می‌باشند. سایر انواع پمپ کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. روش هوش مصنوعی در فراآوری مصنوعی با گاز نسبت به پمپ کمتر مورد توجه قرار گرفته است و هدف استفاده از این روش تعیین نرخ بهینه گاز تزریقی و عمق بهینه تزریق گاز است. به طور کلی دیده شد الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی، یادگیری ماشین، ماشین بردار پشتیبان و درخت تصمیم بیشتر از سایر الگوریتم‌ها مورد توجه بوده‌اند. بر اساس این مطالعات می‌توان در آینده بر سایر الگوریتم‌های روش هوش مصنوعی و همچنین در استفاده از این روش‌ها در فراآوری مصنوعی با گاز تمرکز داشت.

### نتیجه‌گیری

این مقاله به مرور کاربردهای مختلف و مزایای آنالیز داده‌ها، هوش مصنوعی و تکنیک‌های یادگیری ماشین در مبحث روش‌های فراآوری مصنوعی می‌پردازد. در این مقاله خلاصه‌ای از چندین مطالعه موردی در بخش بالادستی نفت به همراه مزایا و ویژگی‌های آن‌ها ارائه شده است. با توجه به مطالعه صورت گرفته بر روی تحقیقات پیشین، تاکنون الگوریتم‌های مختلفی همچون شبکه‌های عصبی مصنوعی، درخت تصمیم، ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و غیره در پیش‌بینی خرابی و مشکلات مرتبط با روش‌های فراآوری مصنوعی مانند پمپ‌ها و فراآوری با گاز به کار گرفته شده‌اند. هر کدام از این الگوریتم‌ها با توجه به شرایط چاه، نوع و کیفیت داده‌ها، تعداد داده‌ها، نوع مسأله، زمان، دقت مورد نظر و تعداد ویژگی‌ها انتخاب شده‌اند. با وجود ظرفیت‌های بسیار

ساده‌تر و خطای میانگین مربعات کمتر و دقت بالاتری داشت [۲۵]. رنجان و همکاران، ۲۰۱۵، به بهینه کردن عملیات فراآوری مصنوعی با گاز به منظور به حداکثر رساندن تولید هیدروکربن با انتخاب بازه مناسب تزریق گاز پرداختند. اگرچه بهینه‌سازی فراآوری مصنوعی با گاز با استفاده از ابزارهایی همچون منطق فازی و بازشناسی الگو انجام شده است، ولی هیچ‌کدام از آن‌ها به اندازه شبکه عصبی مصنوعی عمل نمی‌کنند. در این بررسی آن‌ها با استفاده از داده‌های چاه‌آزمایی و محاسبات رفتار جریان دوفازی عمودی به پیش‌بینی نرخ تولید میدان با توجه به نرخ‌های مختلف گاز تزریقی پرداختند. تحلیل گره‌ای، دیتابیس‌های فراآوری مصنوعی با گاز و سیستم مانیتورینگ گاز، از جمله ابزارهایی هستند که برای رسیدن به هدف از طریق آموزش و تست مدل‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی بکار گرفته می‌شوند. مدلی که ارائه شده در مقایسه با مدل‌های قبلی دقت بالاتری برای تعیین نرخ تزریق گاز فراآوری داشت [۲۶].

پوتچا و ارتکین، ۲۰۱۸، مدل هیبریدی را پیشنهاد کردند که جهت افزایش سرعت فرآیند شبیه‌سازی، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و الگوریتم‌های محاسبات سخت را کوپل می‌کند. آن‌ها با استفاده از ترکیب شبکه عصبی با یک مدل شبیه‌ساز ترکیبی عددی عملیات فراآوری با گاز را طراحی نمودند. مشاهده گردید که میانگین انحراف کل تولید نفت زمانی که شبیه‌سازی با مدل هیبریدی انجام شده در مقایسه با شبیه‌ساز عددی تقریباً حدود ۵٪ است. این در حالی است که زمان محاسبات با مدل هیبریدی ۱۶۰ بار کمتر از شبیه‌ساز عددی است. مدل پیشنهادی را می‌توان به عنوان ابزاری برای بهینه‌سازی کاربردی عملیات فراآوری با گاز به کار برد [۲۷].

یکی از اقدامات اولیه در عملیات فراآوری پیوسته با گاز تزریق نرخ بهینه گاز در چاه به منظور رسیدن به حداکثر تولید نفت می‌باشد. با توجه به محدودیت عرضه گاز در میدان نفتی، بهینه‌سازی تزریق گاز نقش مهمی در دستیابی به این هدف دارد. میراسلامی و همکاران، ۲۰۱۹، با در نظر داشتن پتانسیل بالقوه شبکه عصبی مصنوعی، با استفاده از روش همگرایی بیزین (BR) عملیات فراآوری پیوسته با گاز را مدل‌سازی کردند. آن‌ها در مطالعاتشان به مقایسه نتایج مدل پیشنهادی با روش LM پرداختند. به منظور حل همزمان مشکلات نرخ تولید چاه و تخصیص فراآوری با گاز در هنگام محدودیت ظرفیت تزریق از الگوریتم بهینه‌سازی آموزش-یادگیری محور (الگوریتم TLBO) استفاده کردند. این الگوریتم با توجه به نرخ همگرا و انتخاب بهترین راه حل، در مقایسه با الگوریتم ژنتیک (GA) کارایی و بهره‌وری بالاتری داشت. داده‌های گسترده‌ی منتشر شده، در توسعه و مقایسه مدل مورد استفاده

زمینه پیش‌بینی عملکرد پمپ‌های کله اسبی و ESP و همچنین پیش‌بینی خرابی و فرسایش پمپ‌ها کاربرد موثری داشته و سبب تدابیر به موقع و کاهش هزینه‌ها شده است. همچنین استفاده از هوش مصنوعی در عملیات فراآوری با گاز مدل‌هایی را ارائه داده که بر اساس آن نرخ تزریق گاز و عمق تزریق آن پیش‌بینی و عملیات بهینه می‌شود. ■

خوب مانیتورینگ، تشخیص، پیش‌بینی و بهینه‌سازی الگوریتم‌های هوش مصنوعی، بدیهی است که صنعت نفت در آینده از مزایای بسیار زیاد و کاربردی روش‌های هوش مصنوعی در حوزه فراآوری مصنوعی منتفع خواهد شد و شرکت‌های نفتی به سودآوری بیشتری خواهند رسید. مشاهده گردید که روش هوش مصنوعی و الگوریتم‌های مختلف آن در

خلاصه‌ای از مقالات و الگوریتم‌های به کار گرفته شده

نویسنده	روش فراآوری	اهداف و نتایج	الگوریتم‌ها
الیگر و همکاران، ۱۹۹۳ [۱۱]	پمپ کله اسبی	کنترل هوشمند پمپ کله اسبی مدیریت هوشمند نفت	شبکه عصبی (SICAD)
وانگ و هو، ۲۰۰۶ [۱۲]	پمپ	طبقه‌بندی و شناسایی عیوب پمپ	اصل منطق فازی
تاین و همکاران، ۲۰۰۷ [۱۳]	پمپ	خرابی پمپ و پمپاژ نفت	روش یادگیری آماری ماشین بردار پشتیبان (SVM) الگوریتم ژنتیک (GA)
رشیدی و همکاران، ۲۰۱۰ [۲۴]	فرازآوری با گاز	محاسبه سایز بهینه لوله مغزی، عمق گاز تزریقی و نرخ تزریق	الگوریتم ژنتیک (GA)
لیو و همکاران، ۲۰۱۰ [۱۴]	پمپ کله اسبی	پیش‌بینی خرابی پمپ کله اسبی	الگوریتم درخت‌های تصمیم شبکه‌های بیزین ماشین بردار پشتیبان (BN)
لیو و همکاران، ۲۰۱۱ [۱۵]	پمپ کله اسبی	پیش‌بینی خرابی پمپ کله اسبی	یادگیری ماشین: "AdaNet" روش بوستینگ
مایو و همکاران، ۲۰۱۲ [۱۶]	پمپ	ارزیابی و اندازه‌گیری فرسایش پمپ	درخت تصمیم سلسله مراتبی الگوریتم فازی C-Means
رافاونداد و همکاران، ۲۰۱۳ [۱۷]	پمپ کله اسبی	پیش‌بینی خرابی و از کار افتادن پمپ کله اسبی تشخیص الگوهای قبل از خرابی و همچنین الگوهای خرابی از الگوهای نرمال	ماشین بردار پشتیبان عمومی الگوریتم خوشه‌بندی حداکثر انتظار
لیو و پاتل، ۲۰۱۳ [۱۸]	پمپ فراآوری با گاز	شناسایی خرابی‌های چاه	الگوریتم‌های ابتکاری
خامه چی و همکاران، ۲۰۱۴ [۲۵]	فرازآوری با گاز	رفع نیاز به اجرای نرم‌افزارهای شبیه‌سازی پیش‌بینی بهبود تولید	شبکه عصبی مصنوعی الگوریتم ژنتیک (GA)
رنجان و همکاران، ۲۰۱۵ [۲۶]	فرازآوری با گاز	بهینه‌کردن عملیات فراآوری پیش‌بینی نرخ تولید میدان تعیین نرخ تزریق گاز	منطق فازی
گیو و همکاران، ۲۰۱۵ [۱۹]	پمپ ESP	پیش‌بینی خرابی پمپ	یادگیری ماشین ماشین بردار پشتیبان عمومی
شارما و پندی، ۲۰۱۶ [۲۰]	پمپ ESP	شناسایی عوامل خرابی‌های معمول در پمپ ESP قبل از اتفاق افتادن و شرایط خرابی پمپ	شبکه عصبی
گوپتا و همکاران، ۲۰۱۶ [۲۱]	پمپ ESP	تبدیل داده‌های آماری عملکرد پمپ ESP به اقدامات عملی تضمین ایمنی عملیات، افزایش طول عمر پمپ و بهینه‌سازی تولید	تکنیک آماری چند متغیره به منظور کاهش ابعاد
اسنید، ۲۰۱۷ [۲۲]	پمپ	پیش‌بینی طول عمر پمپ	رگرسیون خطی درخت‌های تصمیم
پوتچا و ارتکین، ۲۰۱۸ [۲۷]	فرازآوری با گاز	افزایش سرعت فرآیند شبیه‌سازی بهینه‌سازی عملیات فراآوری	شبکه عصبی یادگیری ماشین الگوریتم محاسبات سخت
پنل و همکاران، ۲۰۱۸ [۶]	پمپ کله اسبی فرازآوری با گاز	شناسایی دوره‌های خرابی و عملکرد زیر بهینه افزایش کارایی پمپ و کاهش مدت زمان از کار افتادگی پمپ	شبکه عصبی یادگیری ماشین جنگل تصادفی درخت گرادیان تقویتی
میراسلامی و همکاران، ۲۰۱۹ [۲۸]	فرازآوری با گاز	مدل‌سازی عملیات فراآوری پیوسته با گاز حل همزمان مشکلات نرخ تولید چاه و تخصیص فراآوری با گاز	شبکه عصبی روش همگرایی بیزین (BR) الگوریتم بهینه‌سازی آموزش-یادگیری محور (TLBO)
پاتریک بنگرت، ۲۰۱۹ [۲۳]	پمپ کله اسبی	تشخیص ۱۱ کلاس مختلف آسیب با دقت ۹۹/۹ درصد افزایش بازده کل نفت و کاهش اثرات زیست محیطی	یادگیری ماشین

1. Data Science
2. Machine Learning (ML)
3. Artificial Intelligence (AI)
4. Sucker Rod Pumps (SRP)
5. Electrical Submersible Pump (ESP)
6. Gas Lift
7. Internet of Things (IoT)
8. Feature
9. Artificial Neural Network (ANN)
10. Fuzzy Logic
11. Surface Dynamometer Card (SDC)
12. Pattern Recognition
13. Expert Reasoning
14. Statistical Learning
15. Support Vector Machine (SVM)
16. Global Optimization
17. Semi-Supervised Model
18. Decision Trees
19. Bayesian Networks (BN)
20. Boosting
21. Boosted Model
22. Unsupervised Clustering Ensemble Methods
23. Hierarchical Tree
24. Expectation Maximization Clustering Algorithm
25. Generalized Support Vector Machine (SVM)
26. Heuristic Algorithm
27. Dimensionality Reduction
28. Real-time
29. Linear Regression
30. Random Forests
31. Sub-Optimal Performance
32. Gradient Boosted Tree
33. MATLAB
34. Nodal Analyses
35. Hard Computing Algorithms
36. Numerical Compositional Reservoir Simulation Model
37. Bayesian Regularization (BR)
38. Levenberg–Marquardt (LM) Back-Propagation TA
39. Teaching–Learning-Based Optimization (TLBO) Algorithm

- [1]. Copeland, J., Artificial intelligence: A philosophical introduction. 2015: John Wiley & Sons.
- [2]. Ahmed, H.E., AI Advantages & disadvantages.
- [3]. Medsker, L.R., Microcomputer applications of hybrid intelligent systems. *Journal of Network and Computer Applications*, 1996. 19(2): p. 213234-.
- [4]. Noshi, C.I., A.I. Assem, and J.J. Schubert. The Role of Big Data Analytics in Exploration and Production: A Review of Benefits and Applications. in *SPE International Heavy Oil Conference and Exhibition*. 2018. Society of Petroleum Engineers.
- [5]. Elmer, W.G. Artificial Lift Applications for the Internet of Things. in *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. 2017. Society of Petroleum Engineers.
- [6]. Pannel, M., J. Hsiung, and V. Putcha. Detecting Failures and Optimizing Performance in Artificial Lift Using Machine Learning Models. in *SPE Western Regional Meeting*. 2018. Society of Petroleum Engineers.
- [7]. Bravo, C.E., et al., State of the art of artificial intelligence and predictive analytics in the E&P industry: a technology survey. *Spe Journal*, 2014. 19(04): p. 547563-.
- [8]. Bello, O., et al. Application of artificial intelligence techniques in drilling system design and operations: a state of the art review and future research pathways. in *SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition*. 2016. Society of Petroleum Engineers.
- [9]. Braswell, G., Artificial Intelligence Comes of Age in Oil and Gas. *Journal of Petroleum Technology*, 2013. 65(01): p. 5057-.
- [10]. Ounsakul, T., et al. Artificial Lift Selection Using Machine Learning. in *International Petroleum Technology Conference*. 2019. International Petroleum Technology Conference.
- [11]. Alegre, L., A. Da Rocha, and C. Morooka. Intelligent approach of rod pumping problems. in *Petroleum Computer Conference*. 1993. Society of Petroleum Engineers.
- [12]. Wang, J. and H. Hu, Vibration-based fault diagnosis of pump using fuzzy technique. *Measurement*, 2006. 39(2): p. 176185-.
- [13]. Tian, J., et al. Fault detection of oil pump based on classify support vector machine in 2007 IEEE International Conference on Control and Automation. 2007. IEEE.
- [14]. Liu, Y., et al. Failure Prediction for Artificial Lift Systems. in *SPE Western Regional Meeting*. 2010. Society of Petroleum Engineers.
- [15]. Liu, S., et al. Automatic early fault detection for rod pump systems. in *SPE annual technical conference and exhibition*. 2011. Society of Petroleum Engineers.
- [16]. Di Maio, F., et al., Ensemble-approaches for clustering health status of oil sand pumps. *Expert Systems with Applications*, 2012. 39(5): p. 48474859-.
- [17]. Raghavenda, C.S., et al. Global Model for Failure Prediction for Rod Pump Artificial Lift Systems. in *SPE Western Regional & AAPG Pacific Section Meeting 2013 Joint Technical Conference*. 2013. Society of Petroleum Engineers.
- [18]. Liu, F. and A. Patel. Well failure detection for rod pump artificial lift system through pattern recognition. in *International Petroleum Technology Conference*. 2013. International Petroleum Technology Conference.
- [19]. Guo, D., et al. Data Driven Approach to Failure Prediction for Electrical Submersible Pump Systems. in *SPE Western Regional Meeting*. 2015. Society of Petroleum Engineers.
- [20]. Sharma, R. and N. Pandey. A neural network model for electric submersible pump surveillance. in *2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*. 2016. IEEE.
- [21]. Gupta, S., L. Saputelli, and M. Nikolaou. Applying big data analytics to detect, diagnose, and prevent impending failures in electric submersible pumps. in *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. 2016. Society of Petroleum Engineers.
- [22]. Sneed, J. Predicting ESP Lifespan With Machine Learning. in *Unconventional Resources Technology Conference, Austin, Texas, 2426- July 2017*. 2017. Society of Exploration Geophysicists, American Association of Petroleum.
- [23]. Bangert, P. Diagnosing and Predicting Problems with Rod Pumps using Machine Learning. in *SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference*. 2019. Society of Petroleum Engineers.
- [24]. Rashidi, F., E. Khamehchi, and H. Rasouli, Oil field optimization based on gas lift optimization. *ESCAPE20*, 2010. 6.
- [25]. Khamehchi, E., H. Abdolhosseini, and R. Abbaspour, Prediction of maximum oil production by gas lift in an Iranian field using auto-designed neural network. *history*, 2014. 138: p. 150.
- [26]. Ranjan, A., S. Verma, and Y. Singh. Gas lift optimization using artificial neural network. in *SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference*. 2015. Society of Petroleum Engineers.
- [27]. Putcha, V.B. and T. Ertekin. A Hybrid Integrated Compositional Reservoir Simulator Coupling Machine Learning and Hard Computing Protocols. in *SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition*. 2018. Society of Petroleum Engineers.
- [28]. Miresmaeili, S.O.H., et al., An improved optimization method in gas allocation for continuous flow gas-lift system. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2019. 172: p. 819830-.