

پیش‌بینی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین طی فرآیند کاهش فشار در حضور دی‌اکسید کربن با استفاده از نظریه‌های هوش مصنوعی

پژوهش‌نفت

سال بیست و دوم

شماره ۷۱

صفحه ۹۱-۸۱، ۱۳۹۱

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله ۹۱/۵/۲

احسان خامه‌چی^{۱*}، رضا بهوندی^۲ و سید وحید یثربی^۱

۱- دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

khamehchi@aut.ac.ir

چکیده

تزیق امتزاجی دی‌اکسید کربن به عنوان یکی از روش‌های متداول ازدیاد برداشت نفت از مخازن با تغییر خواص سیالات نفتی می‌تواند باعث بروز برخی مشکلات مانند ته‌نشینی آسفالتین شود که خود منجر به کاهش نفوذپذیری سازند و قابلیت کاهش تولید چاه‌های نفت و یا گرفتگی دهانه چاه و تسهیلات سرچاهی می‌گردد. پیش‌بینی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین به منظور بهینه‌سازی عملیات تزیق امتزاجی دی‌اکسید کربن از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. هدف این تحقیق، پیش‌بینی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی‌اکسید کربن با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی می‌باشد. این روش شامل یک شبیه‌ساز به نام "Intelligent Proxy Simulator (IPS)" مبتنی بر ساختار شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از دو الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا و الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات می‌باشد. جهت ارزیابی نتایج شبکه‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین از مدل جامد ترمودینامیکی در

نرم‌افزار CMG (Winprop) استفاده شده است. نتایج به دست آمده از مدل‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی‌اکسید کربن نتیجه رضایت بخش تری نسبت به مدل جامد ترمودینامیکی دارد. نتایج این تحقیق نشان داد با توجه به ته‌نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی‌اکسید کربن و اثرات مخرب این پدیده، می‌توان با تکیه بر توانایی‌های شبکه‌های توسعه داده شده هوش مصنوعی و فراهم نمودن بانک اطلاعاتی از متغیرهای تأثیر گذار به صورت نظری، از ایجاد ته‌نشینی آسفالتین در فرآیند کاهش فشار در حضور دی‌اکسید کربن در شرایط واقعی تا حدودی جلوگیری کرد.

واژه‌های کلیدی: فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین، الگوریتم پس انتشار خطا، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

مقدمه

در آزمایش‌های خود از هپتان نرمال به عنوان عامل ته‌نشین کننده استفاده نموده و دامنه تغییرات دما را از ۶۰ تا ۰°C در ۱۲۰ در نظر گرفتند. در ادامه آنها ملاحظه کردند که در دماهای پایین با افزایش دما، پایداری سیستم بیشتر شده و برای ایجاد ته‌نشینی نیاز به ته‌نشین کننده بیشتری است. اما در دماهای بالا با افزایش دما این پایداری کاهش یافته و به حلال کمتری جهت ایجاد ته‌نشینی نیاز است. آنها این رفتار را با تئوری حلالیت و ساختار کلئیدی نفت خام هماهنگ دانستند. بر این مبنا در دماهای پایین، پدیده حل شدگی آسفالتین و در دماهای بالا، حالت کلئیدی آن غالب است. بنابراین در دماهای پایین، طبق تئوری حلالیت وقتی که دما افزایش می‌یابد، حلالیت آسفالتین بیشتر می‌شود. اما در دماهای بالا بر مبنای تئوری ذرات کلئیدی، با افزایش دما پیوندهای بین آسفالتین و رزین از بین می‌رود و باعث ناپایداری و ته‌نشینی آسفالتین می‌شود.

Hirschberg [۳] در تحقیقی که انجام داد به این نتیجه رسید که افزایش دما باعث کاهش پارامتر حلالیت و در نتیجه افزایش ته‌نشینی آسفالتین می‌گردد. محققین علت افزایش ته‌نشینی آسفالتین با افزایش دما را به از هم گسیختگی مولکول‌های آسفالتین - رزین (که باعث پایداری آسفالتین می‌شود) نسبت دادند. این نتیجه، خلاف یافته‌های قبلی است که نشان می‌داد با افزایش دما، حلالیت افزایش می‌یابد. زیرا آنها بدون توجه به پدیده حلالیت، عامل پایداری آسفالتین در نفت را پیوندهای بین مولکول‌های آسفالتین و رزین بیان نموده‌اند.

فشار: تغییر فشار به عنوان یکی از پارامترهای اصلی ترمودینامیکی، می‌تواند سیستم کلئیدی نفت را از حالت پایداری خارج نموده و به عنوان یک عامل بر ته‌نشینی آسفالتین تأثیر بگذارد.

Hirschberg [۳] با استفاده از مدل ترمودینامیکی و انجام برخی آزمایشات، تأثیر فشار بر روی ته‌نشینی آسفالتین را تشریح و حلالیت آسفالتین در یک نمونه نفت را با استفاده از یک مدل پیشنهادی تفسیر نمود.

تحقیقات زیادی بر روی مدل‌سازی ته‌نشینی آسفالتین در اثر افزودن حلال انجام شده است. اما متأسفانه تعداد مقالاتی که بر روی مدل‌سازی آسفالتین در اثر تغییرات فشار در حضور حلال به چاپ رسیده، بسیار کم می‌باشد. به همین دلیل در این تحقیق سعی شده با استفاده از اطلاعات موجود و ارائه یک مدل نوین بر مبنای هوش مصنوعی، فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی‌اکسید کربن را پیش بینی نمود. پس از انجام عملیات سیلاب‌زنی با آب، بسیاری از مخازن نفتی جهت ازدیاد برداشت، تحت تزریق دی‌اکسید کربن (به صورت امتزاجی یا نزدیک به آن) یا گازهای هیدروکربنی قرار می‌گیرند. با تزریق دی‌اکسید کربن، نفت باقی‌مانده در تخلخل‌های کوچک تر متورم شده و گرانیوی آن کاهش می‌یابد. به این ترتیب می‌توان این بخش از نفت را تولید کرد. اما تزریق دی‌اکسید کربن می‌تواند به صورت همزمان باعث ته‌نشینی آسفالتین شود. مواد آسفالتینی درون نفت آن دسته از مواد آلی هستند که در نرمال آلکان‌ها مانند نرمال هپتان نا محلول و در تولوئن و بنزن محلول هستند [۱].

در تزریق امتزاجی دی‌اکسید کربن متغیرهای مختلفی از قبیل دما، فشار، ترکیب سیال مخزن، ترکیب گاز دی‌اکسید کربن تزریقی و نسبت گاز به نفت تولیدی پارامترهای تأثیرگذار بر ته‌نشینی آسفالتین بوده و باعث تشدید یا مانع ته‌نشینی آن در مخزن می‌شوند. در ادامه به برخی از آزمایشات انجام شده در تأثیر این متغیرها بر پارامتر حلالیت آسفالتین اشاره می‌شود.

دما: نظر محققین در مورد چگونگی تأثیر دما بر ته‌نشینی آسفالتین در مخازن و چاه‌های بهره برداری نفت، یکسان نیست. به این معنی که بعضی از نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که با افزایش دما، ته‌نشینی بیشتر می‌شود و نتایج بخشی دیگر از تحقیقات حاکی از کاهش میزان ته‌نشینی با افزایش دما می‌باشد. این تأثیر دوگانه دما بر ته‌نشینی آسفالتین مورد بررسی قرار گرفته است.

Peramanu و همکاران [۲] به مطالعه اثر افزایش دما بر ته‌نشینی آسفالتین در دو نوع نفت سنگین پرداختند. آنها

غلظت ۴۶-۳۵٪ مولی دی اکسید کربن برای سه مجموعه بوده است.

Takahashi و همکاران [۵]، ته‌نشینی آسفالتین را طی تزریق دی اکسید کربن در یک نمونه نفت خام تهیه شده از یک مخزن کربناته خاورمیانه بررسی کردند. فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین برای این نفت در یک محفظه PVT با استفاده از تکنیک Light-Scating با نزدیکی اشعه مادون قرمز به وسیله افزایش تدریجی فشار ترکیب در غلظت‌های از قبل تعیین شده دی اکسید کربن اندازه‌گیری شد. نتایج آنها نشان داد هنگامی که غلظت دی اکسید کربن بیش‌تر از ۵۰٪ مولی می‌شود، مقدار قابل توجهی از آسفالتین ته‌نشین می‌گردد.

Verdier و همکاران [۶]، مطالعه‌ای بر روی رفتار فازی آسفالتین بعد از تزریق دی اکسید کربن درون دو نمونه نفت مرده (آمریکای جنوبی و خاورمیانه) با استفاده از یک محفظه فشار بالا و یک تکنیک تصفیه انجام دادند. آنها دریافتند هنگامی که فشار افزایش می‌یابد، آسفالتین پایداری بیشتری دارد. هرچند در تزریق دی اکسید کربن هنگامی که دما کاهش می‌یابد، آسفالتین پایداری بیشتر است.

نسبت گاز به نفت: تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان از افزایش ته‌نشینی آسفالتین با رشد حجم گاز به نفت دارد. Sunit Kokal و همکارانش [۷] در بررسی ته‌نشینی آسفالتین در چاه‌هایی با نسبت گاز به نفت بالا، دریافتند که شروع ته‌نشینی آسفالتین معمولاً در نسبت‌های گاز به نفت پایین اتفاق می‌افتد و مقدار ته‌نشینی آسفالتین به دلیل افزایش حجم گاز یا نسبت حجم گاز به نفت افزایش می‌یابد.

مدل‌های نظریه‌های هوش مصنوعی

در این تحقیق، برای پیش‌بینی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین طی فرآیند کاهش فشار در حضور دی اکسید کربن، از شبیه‌ساز IPS که شامل دو شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد، استفاده شده است.

شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مبتنی بر مدل‌های محاسباتی هستند که قادرند رابطه میان ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم فیزیکی را توسط شبکه‌ای از گره‌ها که همگی به هم متصل

نتایج این تحقیق تأیید می‌کند که حلالیت آسفالتین بالای نقطه حباب با افزایش فشار افزایش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان با استفاده از پارامتر حلالیت و حجم مولی آسفالتین در فاز مایع بیان نمود. در زیر نقطه حباب با افزایش فشار، گاز بیشتری در مایع حل خواهد شد و ترکیب نفت تغییر می‌کند، در نتیجه پارامتر حلالیت مایع کاهش می‌یابد و باعث ته‌نشینی آسفالتین می‌گردد. بنابراین مقدار حلالیت آسفالتین در نفت در نقطه حباب در کمترین مقدار است، در نتیجه بیشترین مقدار ته‌نشینی را خواهد داشت.

ترکیبات نفت: رزین‌ها یکی از عوامل پایداری آسفالتین در نفت می‌باشند. نسبت حجمی رزین به آسفالتین در نفت‌های مختلف متفاوت بوده و می‌تواند در محدوده ۱ تا ۲۰ متغیر باشد. در این حالت سیستم پایدار است. اگر این نسبت کمتر از ۱ و حجم رزین‌ها کمتر از آسفالتین شود، آسفالتین از حالت پایدار خارج شده و ذرات به هم می‌چسبند. در نتیجه تشکیل توده بزرگ‌تر داده و در نهایت ته‌نشین می‌شود.

Peramanu و همکاران [۲] در تحقیقی نسبت حلال ته‌نشین دهنده به نفت سنگین مورد نیاز برای شروع ته‌نشینی آسفالتین را بر حسب تعداد کربن ته‌نشین دهنده‌ها (آلکان‌های نرمال) به دست آورده و به این نتیجه رسیدند که ابتدا این نسبت با افزایش تعداد کربن افزایش و پس از عبور از یک مقدار ماکزیمم که در $n-C_{10}$ است، کاهش می‌یابد. آنها این رفتار را مرتبط با خصوصیات انحلالی و کلوئیدی آسفالتین در نفت دانسته‌اند.

تأثیر گاز دی اکسید کربن: تزریق دی اکسید کربن می‌تواند به دلیل کاهش pH و خارج شدن نفت از حالت پایدار، ته‌نشینی آسفالتین را به همراه داشته باشد.

Huang و Srivastava [۴] آزمایشات استاتیکی ته‌نشینی آسفالتین را برای سه نمونه نفت خام ترکیب مجدد با استفاده از یک محفظه دما-حجم-فشار بالا در دمای مخزن (۱۳۸-۱۴۵ °F) انجام دادند. سیال ترکیب مجدد به وسیله ترکیب نفت تفکیک‌گر و نمونه‌های گاز با نسبت‌های گاز به نفت ۱۰۷، ۱۲۹ و ۱۸۰ SCF/bbl تهیه شدند. نتایج آنها نشان داد که فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین در حدود

در الگوریتم بهینه‌سازی تجمعی ذرات، تعدادی عامل به نام ذره به جستجوی فضا برای یافتن نقطه بهینه می‌پردازند. در هر گام، ذرات مکان خود را در فضا تغییر می‌دهند تا به هدف برسند. مکان جدید هر ذره بر اساس مکان قبلی، بهترین نقاطی که خود آن ذره تا به حال پیدا کرده و بهترین نقطه‌هایی که جمع ذرات تاکنون به آن رسیده‌اند تعیین می‌شود. ذره یا پرند در واقع با تغییر بردار سرعت می‌تواند مکان بعدی خود را تعیین کند، بنابراین در این مسأله به ازای هر ذره یک بردار سرعت نیز در نظر گرفته می‌شود.

توابع محرک^۲

مجموع ورودی‌های هر نرون پس از ضرب در وزن‌های متناظر، در یک تابع موسوم به تابع محرک اعمال می‌شوند. مرسوم‌ترین تابع در این خصوص تابع سیگموئید^۳ است که تابعی مشتق‌پذیر بوده و محدوده تغییر آن بین صفر تا یک می‌باشد. این تابع که به عنوان تابع محرک در هر دو شبکه استفاده شده، مطابق زیر تعریف می‌گردد.

$$f(S_j) = \frac{1}{1 + e^{-S_j}} \quad (1)$$

ورودی‌های شبکه عصبی برای آموزش وزن‌ها باید در یک بازه قرار گیرند. به این دلیل که اگر یک ورودی در بازه‌ای وسیع و ورودی دیگر در بازه کوچک تغییر کند، مقدار تأثیر ورودی اول بیشتر از ورودی دوم می‌شود. در نتیجه همه ورودی‌ها در یک بازه برده می‌شود. با فرض اینکه مقدار بیشینه ورودی X_1 برابر $\max X_1$ و کمینه برابر $\min X_1$ باشد، مقدار جدید ورودی در بازه جدید بر اساس رابطه^۲ مشخص می‌شود:

$$X_{min_{new}(t)} = \frac{X_i - \min X_i}{\max X_i - \min X_i} \quad (2)$$

یکی از قابلیت‌های IPS این است که می‌توان در ابتدا تابع خروجی را به بازه $[0-1]$ برد. سپس داده‌های آموزش را بین بازه خروجی مثلاً در بازه $[0/2]$ تا $[0/8]$ تعریف نمود تا اگر داده‌ای از داده‌های آزمایش بزرگ‌تر از داده‌های

هستند، تعیین نمایند که در آن میزان فعالیت هر یک از این اتصالات توسط اطلاعات تاریخی و طی فرآیند یادگیری تنظیم می‌شود. در نهایت مدل قادر خواهد بود قوانین مرتبط میان ورودی‌ها و خروجی‌ها را کشف نماید، هر چند این قوانین غیرخطی و پیچیده باشند [۸].

دیدگاه جدید شبکه‌های عصبی مصنوعی در دهه ۱۹۴۰ مطرح شد. زمانی که مک کلوچ و پیتز^۱ [۹] نشان دادند که شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند هر تابع حسابی و منطقی را محاسبه نمایند. این موضوع با تحقیقات حب^۲ [۱۰] کسی که عمل شرط‌گذاری الگوریتمی را جهت یادگیری نرون‌های بیولوژیکی ارائه داد، ادامه یافت. نخستین کاربرد عملی شبکه‌های عصبی در اواخر دهه ۱۹۵۰ توسط روزنبلات^۳ [۱۱] با معرفی شبکه‌های چند لایه پرسپترون صورت گرفت. در این تحقیق از یک شبیه‌ساز به نام Intelligent Proxy Simulator (IPS) که متشکل از دو شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم‌های آموزشی پس انتشار خطا^۴ و بهینه‌سازی ازدحام^۵ می‌باشد، جهت شبیه‌سازی پارامتر فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی اکسید کربن استفاده شده است.

الگوریتم پس انتشار خطا

الگوریتم یادگیری پس انتشار مبتنی بر قانون یادگیری اصلاح خطا می‌باشد. در این روش با استفاده از مجموعه وزن‌های تصادفی اولیه، آموزش آغاز می‌گردد. پس از تعیین خروجی مدل برای هریک از الگوهای ارائه شده در مجموعه آموزش، خطای حاصل از تفاوت بین خروجی مدل و مقادیر مورد انتظار محاسبه شده و با برگشت به داخل شبکه در جهت عکس (خروجی به ورودی) مقادیر وزن‌ها تصحیح می‌شود. این روش به دلیل نحوه تنظیم و تصحیح وزن‌ها، الگوریتم انتشار برگشتی نامیده می‌شود.

روش الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات^۶

روش بهینه‌سازی تجمعی ذرات اولین بار توسط کندی و ابرهارت در سال ۱۹۹۵ معرفی شد. این روشی فرا ابتکاری است که به وسیله تغییر جمعیتی از عامل‌ها کار می‌کند [۱۲]. این روش نیاز به عملگرهای پیچیده‌ای ندارد و به سادگی قابل پیاده‌سازی است. به علاوه مقادیر احتمالی در این روش باعث بهبود عملکرد آن شده است.

1. McCulloch and Pitts

2. Hebb

3. Rosenblalt

4. Onset Pressure of Asphalten Precipitation

5. Particle Swarm Optimiztion (PSO)

6. Back Propagation (BP)

7. Transfer Functions

8. Sigmoid

می‌باشند. این قوانین به دو صورت قوانین ترکیب درصد مولی و وزنی ارائه شده‌اند. قوانین اختلاط ترکیب درصد مولی برای دمای بحرانی، فشار بحرانی و ضریب بی‌مرکزی بحرانی به صورت روابط زیر ارائه شده‌اند.

$$T_{cm} = \sum_{i=1}^n y_i T_{ci} \quad (۳)$$

$$p_{cm} = \frac{z_{cm} R T_{cm}}{V_{cm}} = \frac{(\sum_{i=1}^n y_i T_{ci}) R (\sum_{i=1}^n y_i z_{ci})}{(\sum_{i=1}^n y_i V_{ci})} \quad (۴)$$

$$\omega_{cm} = \sum_{i=1}^n y_i \omega_{ci} \quad (۵)$$

همچنین ضریب بی‌مرکزی بحرانی به علت سادگی و وجود کمیت‌های مستقل، به عنوان یک متغیر کمکی جهت کاهش متغیرهای ورودی انتخاب شده است. با اعمال قانون اختلاط با توجه به خواص بحرانی متغیرهای ورودی در ترکیب نفت و گاز دی اکسید کربن تزریقی تعداد داده‌های ورودی از ۲۷ متغیر به ۸ متغیر کاهش پیدا کرده است. یک نمونه در جدول ۲ نشان داده شده است.

معماری شبکه‌های عصبی

به منظور پیش‌بینی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین طی فرآیند کاهش فشار در حضور دی اکسید کربن توسط مدل‌های شبکه عصبی، ۸۰ درصد داده‌ها جهت آموزش و ۲۰ درصد برای آزمایش به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند. پس از امتحان کردن ۲۰ ساختار متفاوت، برای شبکه عصبی با الگوریتم پس انتشارخطا، ساختاری ۳ لایه با دو لایه پنهان (لایه اول ۳ و لایه دوم ۴ نرون) و برای شبکه عصبی با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، ساختاری ۲ لایه با یک لایه پنهان (۵ نرونی) بهترین ساختار را از لحاظ پایین بودن خطای محاسباتی نشان دادند. لازم به ذکر است با توجه به محدودیت داده‌ها جهت آموزش شبکه‌ها، از انتخاب لایه‌های پنهان با نرون‌های زیاد به دلیل امکان افزایش خطا و پیچیدگی شبکه اجتناب شده است. معماری شبکه‌های عصبی پس انتشار خطا و بهینه‌سازی ازدحام ذرات در پیش‌بینی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی اکسید کربن به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند.

آموزش باشد، از طریق برون‌یابی مقدار آن محاسبه شود. همچنین در انتخاب لایه‌های پنهان تا ۸ لایه و تعداد نرون‌های هر لایه محدودیتی وجود ندارد. بارزترین توانایی این شبیه‌ساز، پیش‌بینی چندین پارامتر خروجی با خطای برابر به صورت همزمان می‌باشد که این شبیه‌ساز را از دیگر نرم افزارهای معمول هوش مصنوعی متمایز می‌گرداند.

تهیه بانک اطلاعاتی

جهت آموزش مدل‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی اکسید کربن، یک بانک اطلاعاتی از متغیرهای تأثیرگذار تهیه گردید که متشکل از ۱۰۷ نمونه آزمایشگاهی [۱۳] می‌باشد. با در نظر گرفتن متغیرهای تأثیرگذار روی پارامتر حلالیت ته‌نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی اکسید کربن، تعداد ورودی‌ها با احتساب فشار (۱ متغیر)، دما (۱ متغیر)، نسبت گاز به نفت (۱ متغیر)، ترکیب سیال مخزن (۱۲ متغیر) و ترکیب گاز تزریقی (۱۲ متغیر) مجموعاً ۲۷ متغیر ورودی می‌باشد. یک نمونه از داده‌های بانک اطلاعاتی در جدول ۱ نشان داده شده است.

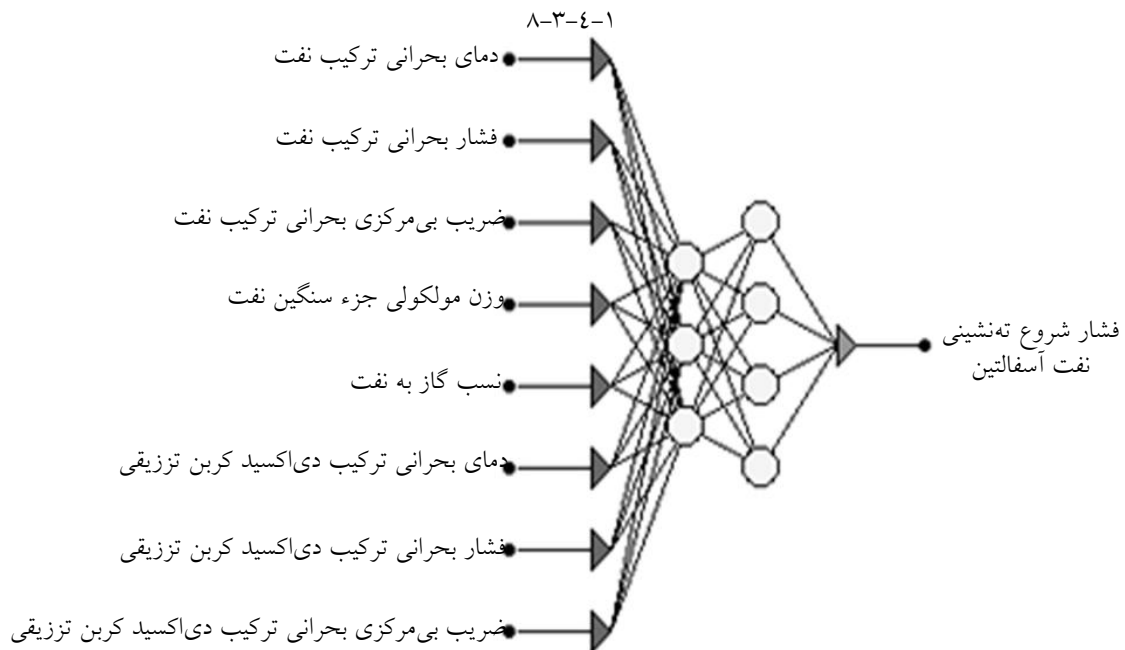
۲۷ متغیر به عنوان ورودی برای هر نوع سیستم مدل‌سازی مستقل از نوع روش محاسباتی زیاد بوده و منجر به افزایش خطای سیستم می‌شود. بنابراین ضروری است با استفاده از روشی که باعث افزایش خطای قابل توجه در مدل‌سازی نشود، از تعداد متغیرهای ورودی کاسته شود. به علت ماهیت متغیرها و اینکه نوع و میزان هریک از متغیرهای ورودی بر روی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی اکسید کربن مؤثر است، با بررسی‌های انجام شده از قوانین اختلاط جهت کاهش تعداد متغیرها در این تحقیق استفاده شده است. با توجه به اینکه خواص بحرانی معرف نوع و نشان‌دهنده ماهیت ماده خالص می‌باشد، با استفاده از این روابط ترکیب درصد مواد موجود در نفت و گاز تزریقی و نوع ماهیت اجزاء موجود لحاظ گردید. همچنین با استفاده از دو پارامتر وزن مخصوص و وزن مولکولی جز سنگین نفت، خواص بحرانی آن نیز محاسبه شد. قوانین کی^۱ ساده‌ترین نوع قوانین اختلاط

جدول ۱- یک نمونه از بانک اطلاعاتی

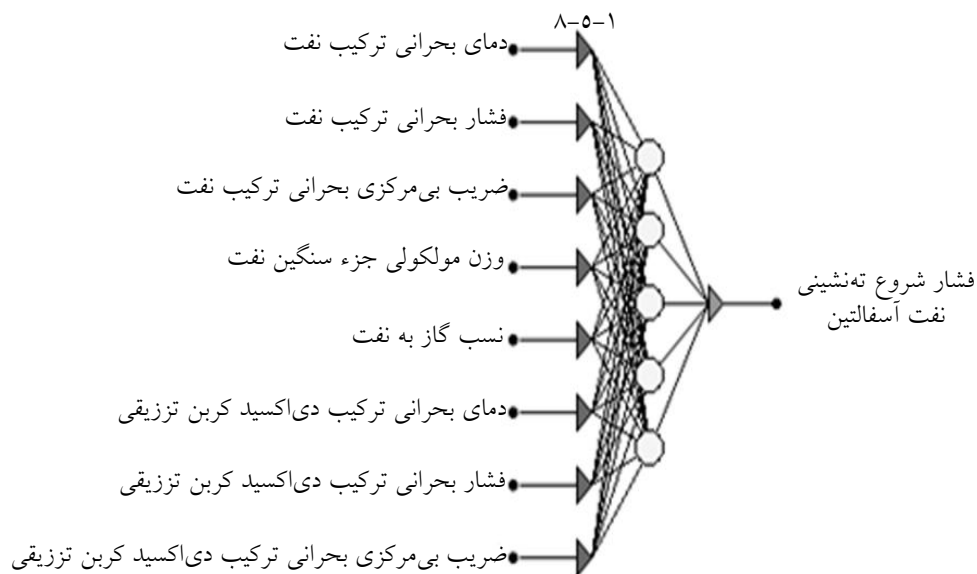
اجزا	ترکیب نفت	ترکیب گاز	
N ₂	۰/۱۳	۰/۲۶	داده‌های ورودی
H ₂ S	۰/۱	۰	
CO ₂	۰/۲۹	۷۹	
C ₁	۵۲/۳۲	۷/۲۴	
C ₂	۵/۵۳	۵/۲	
C ₃	۴/۲۵	۳/۲۸	
iC ₄	۰/۸۵	۱/۰۹	
nC ₄	۲/۹۱	۱/۱۱	
iC ₅	۲/۲۸	۰/۸۹	
nC ₅	۱/۹۳	۱/۰۵	
C ₆	۵/۹۷	۰/۸۸	
C ₇₊	۴۳/۷۸	۰	
وزن مخصوص جز سنگین C ₇₊		۰/۸۹۸۵	
وزن مولکولی جز سنگین C ₇₊		۵۹۹	
نسبت گاز به نفت (scf/bbl)		۱۳۹۶	
دمای مخزن (°F)		۲۷۰	
فشار مخزن (Psi)		۹۳۰۰	
			داده خروجی
فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین (Psi)		۵۳۰۰	

جدول ۲- پارامترهای نهایی ورودی شبکه‌های عصبی پس از اعمال قانون اختلاط کی

	نام متغیر	
داده‌های ورودی (۸ متغیر)	دمای بحرانی ترکیب نفت (°F)	۱۷۸/۲۲
	ضریب بی مرکزی بحرانی ترکیب نفت	۰/۷۲۳
	فشار بحرانی ترکیب نفت (Psi)	۱۹۴۴/۴
	وزن مولکولی جز سنگین C ₇₊	۵۵۹
	نسبت گاز به نفت (scf/bbl)	۱۳۹۶/۴۲
	دمای بحرانی ترکیب دی اکسید کربن تزریقی (°F)	۶۶/۵۰
	فشار بحرانی ترکیب دی اکسید کربن تزریقی (Psi)	۱۷۰۷/۰۱
	ضریب بی مرکزی بحرانی ترکیب دی اکسید کربن تزریقی	۰/۱۹
داده خروجی (۱ متغیر)	فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین (Psi)	۵۳۰۰



شکل ۱- معماری ساختار شبکه عصبی پس انتشار



شکل ۲- معماری ساختار شبکه عصبی بهینه سازی ازدحام ذرات

آزموده شده است. آسفالتین ته نشین شده به عنوان یک جامد خالص معرفی شده است. در این تحقیق به منظور پیش بینی فشار شروع ته نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی اکسید کربن، در نرم افزار CMG از معادله حالت (SRK) Soave- Redlich- Kwong و پارامترهای ورودی مورد نیاز همچون خواص بحرانی،

پیش بینی فشار شروع ته نشست آسفالتین توسط مدل جامد

جهت اعتبار سنجی نتایج پیش بینی فشار شروع ته نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی اکسید کربن توسط مدل های هوش مصنوعی از مدل جامد در نرم افزار CMG ماژول winprop استفاده شده است.

ساده ترین مدل ته نشینی آسفالتین مدل جامد با یک ترکیب است که توسط گوپتا^۱ و توماس^۲ و همکاران

1. Gupta
2. Thumas

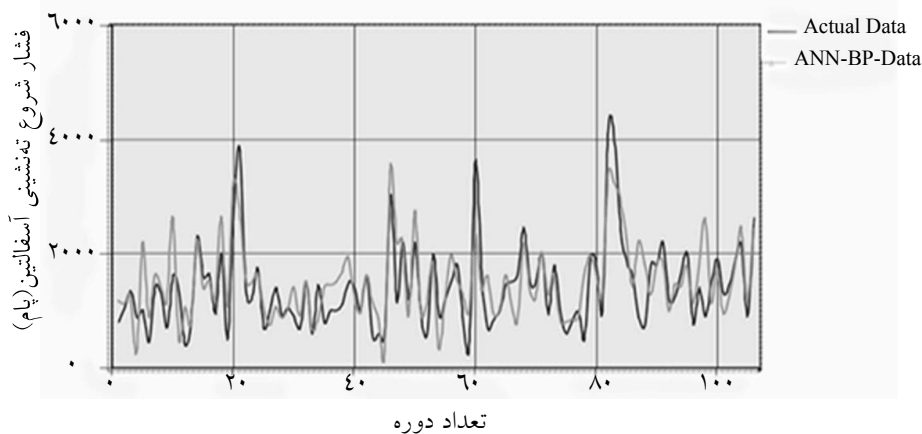
به داده‌های واقعی در مرحله آموزش را نشان می‌دهند). پیش‌بینی و تخمین زده شد. به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل از مدل‌های هوش مصنوعی و جهت مقایسه پیش‌بینی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی‌اکسید کربن از مدل جامد استفاده شده است. نتایج مدل‌های ارائه شده در پیش‌بینی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی‌اکسید کربن در شکل‌های ۵ الی ۷ و جدول ۳ نشان داده شده‌اند. خطاهای محاسباتی در تمامی مدل‌ها بر اساس خطای حداقل مربعات و به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$E_k = \frac{1}{2} (y_k - o_k)^2 \quad (6)$$

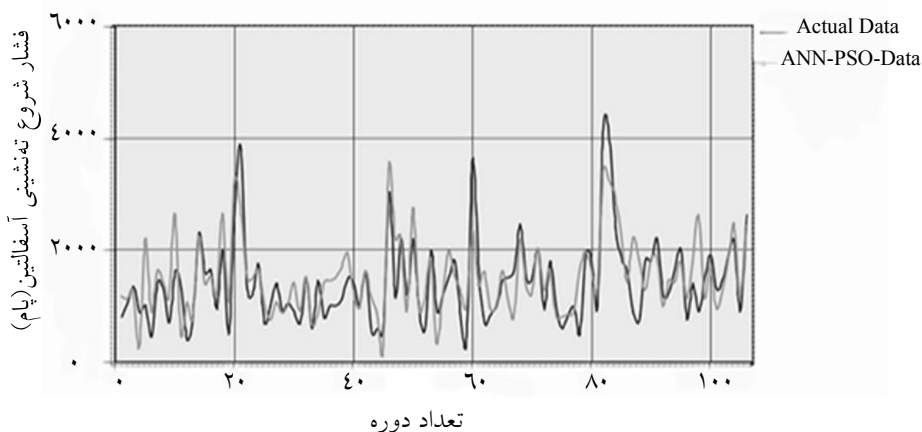
ضریب بی‌مرکزی بحرانی و ضرایب برخورد دوتایی استفاده شده است.

مقایسه نتایج مدل‌های هوش مصنوعی و مدل جامد ترمودینامیکی

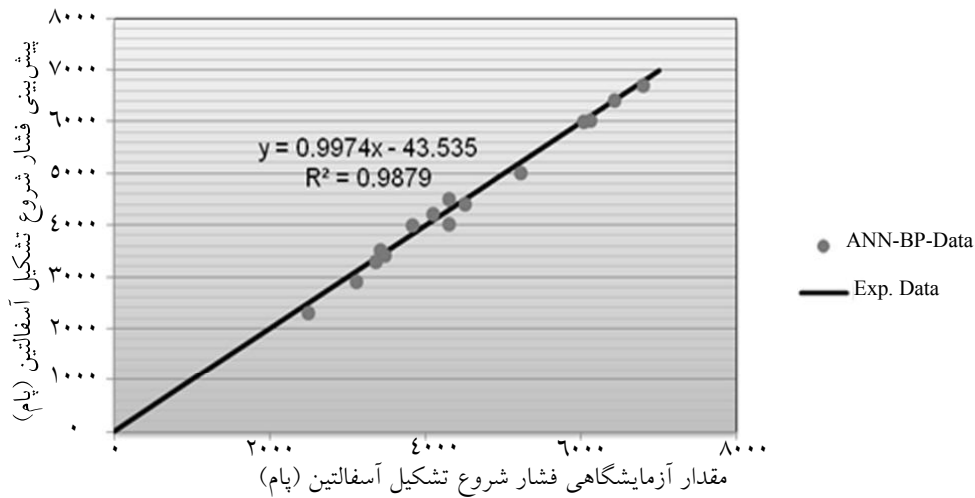
با جمع‌آوری داده‌هایی از متغیرهای تأثیرگذار بر پارامتر حلالیت ته‌نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی‌اکسید کربن، یک بانک اطلاعاتی شامل ۱۰۷ نمونه آزمایشگاهی که هر نمونه دارای ۸ متغیر ورودی و یک متغیر خروجی می‌باشد تهیه گردید. در ادامه، فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین توسط دو شبکه عصبی شبیه‌ساز IPS (شکل‌های ۳ و ۴ تقریبی از پیش‌بینی‌های دو شبکه نسبت



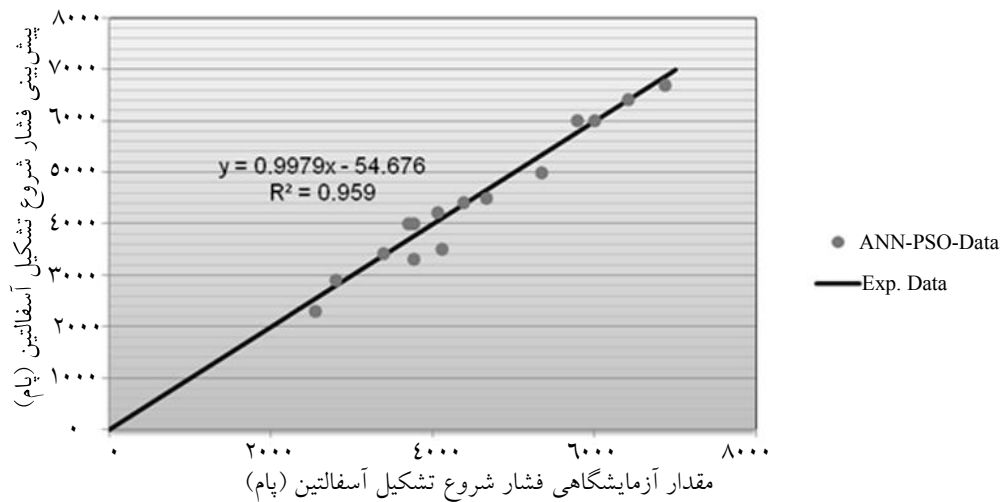
شکل ۳- تقریبی از پیش‌بینی شبکه عصبی پس انتشار نسبت به داده‌های آزمایشگاهی در مرحله آموزش



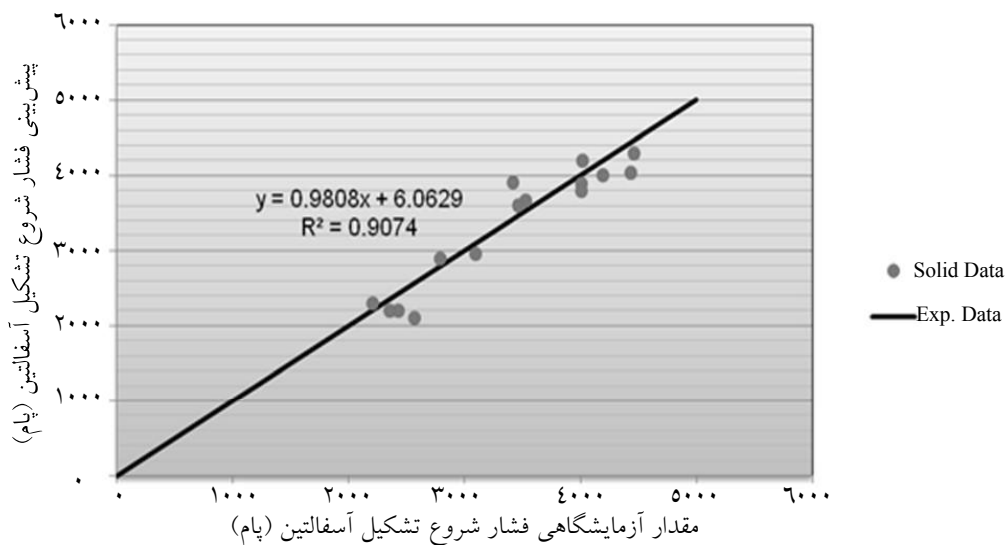
شکل ۴- تقریبی از شبکه عصبی بهینه‌سازی ازدحام ذرات نسبت به داده‌های آزمایشگاهی در مرحله آموزش



شکل ۵- پیش‌بینی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین با استفاده از شبکه عصبی پس انتشار در مرحله آزمایش*



شکل ۶- پیش‌بینی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین با استفاده از شبکه عصبی بهینه‌سازی ازدحام ذرات در مرحله آزمایش*



شکل ۷- پیش‌بینی فشار شروع ته‌نشینی آسفالتین با استفاده از مدل جامد*

* داده‌های آزمایشگاهی از مرکز تحقیقات نفت تهران و مقالات مرتبط با تزریق دی اکسید کربن گردآوری شده است.

در مقایسه با روش های زمان بر و پرهزینه آزمایشگاهی و تحقیقاتی، ضروری است با دید تازه تری نسبت به این علوم و به کارگیری آنها در مسائل پیچیده صنعت نفت کشورمان همت گماشت.

نتیجه گیری

- ۱- تقریب مدل های هوش مصنوعی در پیش بینی فشار شروع ته نشینی آسفالتین طی کاهش فشار در حضور دی اکسید کربن نسبت به مدل جامد ترمودینامیکی به داده های آزمایشگاهی نزدیک تر بودند.
- ۲- استفاده از قانون اختلاط و خواص بحرانی نتیجه مطلوبی در کنترل سیستم ها و کاهش خطای احتمالی به دلیل تعداد زیاد ورودی ها داشت.
- ۳- شبیه ساز IPS با توانایی برون یابی داده های تست و تعداد لایه پنهان زیاد در دست یابی به بهترین ساختار، عملکردی مناسب در این تحقیق داشته است.

علائم و نشانه ها

ضریب بی مرکزی بحرانی جزء خالص ω_{ci}

دمای بحرانی جزء خالص T_{ci}

فشار بحرانی جزء خالص P_{ci}

ضریب تراکم پذیری بحرانی جزء خالص Z_{ci}

حجم بحرانی جزء خالص V_{ci}

کسر مولی جزء خالص y_i

ثابت گازها R

اعتبار و اهمیت یک کار بستگی به دقت نتایج به دست آمده از آن و میزان انحراف نتایج مذکور با نتایج تجربی دارد. با توجه به نتایج حاصل و شکل های موجود در پیش بینی فشار شروع ته نشینی آسفالتین طی فرآیند کاهش فشار توسط مدل های مختلف می توان به برتری مدل های هوش مصنوعی به خصوص شبکه پس انتشار خطا نسبت به مدل جامد اشاره کرد که برخی از دلایل آن به شرح زیر است: شبکه های عصبی بر خلاف روش جامد جهت پیش بینی فشار شروع ته نشینی آسفالتین نیازی به تنظیم پارامترهای مختلف ندارند. همچنین در نرم افزار CMG ماژول winprop جهت پیش بینی فشار شروع ته نشینی آسفالتین برای هر نمونه نفتی باید تمامی مراحل انجام گردد. بنابراین، پیش بینی فشار شروع ته نشینی آسفالتین برای چندین نمونه نفت، مستلزم صرف زمان زیادی می باشد در صورتی که در مدل های هوش مصنوعی پس از آموزش دادن مدل با نفت های متفاوت در پیش بینی فشار شروع ته نشست آسفالتین در کمترین زمان می توان به نتیجه دلخواه دست یافت علاوه بر این عدم دسترسی آسان و فضای پیچیده نرم افزار CMG در مقابل دسترسی و فضای کاربری آسان شبکه عصبی از دلایل دیگر برتری مدل های هوش مصنوعی نسبت به مدل جامد می باشد.

در بین مدل های توسعه داده شده هوش مصنوعی، شبکه پس انتشار خطا تقریب بهتری در پیش بینی فشار شروع ته نشینی آسفالتین طی فرآیند کاهش فشار در حضور دی اکسید کربن نشان می دهد. با پیشرفت روزافزون به کارگیری مدل های هوش مصنوعی در کاهش زمان و هزینه و به همان نسبت افزایش دقت در زمینه های گوناگون علمی

مراجع

- [1]. Asghari K., and Dong M., "Development of a Correlation Between Performance of CO₂ Flooding and the Past Performance of Waterflooding in Weyburn Oil Field", SPE Production and operations pp. 99789, 2007.
- [2]. Peramanu S., Clarke P. F., and Pruden B. B., "Flow loop apparatus to study the effect of solvent temperature and additives on asphaltene precipitation", Vol. 23, Journal of Petroleum Science and Engineering, pp. 133-143, 1999
- [3]. Hirschberg A., deJong L.N.J., Schipper B.A., and Meijer J.G., "Influence of temperature and pressure on asphaltene flocculation", Vol. 24, SPE, 1984.
- [4]. Srivastava, R. S., and Huang, S. S., "Asphaltene Deposition during CO₂ Flooding: A Laboratory Assessment", SPE, 1997.
- [5]. Takahashi S., Hayashi Y., Yazawa N., and Sarma H. , "Characteristics and Impact of Asphaltene Precipitation during CO₂ Sandstone and Carbonate Cores: An Investigative Analysis through Laboratory Tests and Compositional Simulation", SPE International Improved Oil Recovery Conference , Asia Pacific, 2003.
- [6]. Verdier S., Carrier H., Andersen S. I., and Daridon J. L., "Study of Pressure and Temperature Effects on Asphaltene Stability in Presence of CO₂", Energy Fuels 2006, pp 1584–1590, 2006
- [7]. kokal S., Al-Ghamdi A., and Krinis D., *Asphaltene Precipitation in High Gas-Oil Ratio Wells*, Saudi Aramco Journal of Technology, 2005
- [۸] منهاج، م.، مبانی شبکه‌های عصبی، جلد اول، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۴.
- [9]. Abraham T. H., "(Physio) logical Circuits: The Intellectual Origins of the McCulloch–Pitts Neural Networks", Journal of the History of the Behavioral Sciences , pp 3–25. 2002.
- [10]. Hebb D.O., *organization the behavior*, 2th Ed, new York INC, 1949.
- [11]. Rosenblatt F., *A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain*, First edition, American Psychological Association, INC, 1958.
- [12]. Kennedy J., Eberhart R., "Particle Swarm Optimization, IEEE International Conference on Networks", Piscataway, NJ, vol. 4, pp. 1942-1948, 1995
- [۱۳]. مرکز تحقیقات نفت تهران و مقالات مرتبط با تزریق دی اکسید کربن.