

به کارگیری روش شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی دبی تزریق بهینه گاز در سیستم‌های فراز‌آوری با گاز به صورت پیوسته

احسان خامه‌چی*، رحیم عباسی پور آتشگاه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

فراز‌آوری با گاز یکی از متداول‌ترین روش‌های فراز‌آوری مصنوعی است که در بهره‌برداری از منابع هیدروکربوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. فراز‌آوری با گاز در صورتی استفاده می‌شود که مخزن، فشار لازم برای رساندن سیال تولیدی به سرچاه را نداشته باشد یا دبی سیال تولیدی، اقتصادی نباشد. تا به حال روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی فرآیند فراز‌آوری با گاز که همه آن‌ها از آنالیز نودال بهره می‌برند، ارائه شده است. مقاله پیش‌رو مدلی جدید را برای پیش‌بینی دبی تزریق گاز در فرآیند فراز‌آوری با گاز، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ارائه کرده است. برای این مطالعه، ابتدا مشخصات ۱۳۴ چاه حفاری شده در ایران که با توجه به افت فشار مخزن، شرایط کاندیدا شدن برای تولید با استفاده از فراز‌آوری با گاز را دارند، جمع‌آوری و طبقه‌بندی شد. سپس، به منظور یافتن دبی بهینه تزریق گاز برای رسیدن به ماکزیمم نرخ تولید، این چاه‌ها در نرم‌افزار PROSPER مدل‌سازی شدند. در نهایت، با استفاده از اطلاعات خروجی نرم‌افزار، شبکه عصبی مناسب طراحی گردید. فشار جریانی سرچاه، فشار جریانی ته چاه، شاخص بهره‌دهی، قطر داخلی لوله مغزی، عمق محل مشبک کاری، درصد برش آب، ماکزیمم دبی تولید نفت، عمق تزریق گاز، چگالی مخصوص گاز تزریقی، فشار استاتیک ته چاه، چگالی نفت، نسبت گاز به نفت، فشار نقطه حباب و دمای مخزن، پارامترهای ورودی و دبی بهینه تزریق گاز، به عنوان پارامتر خروجی شبکه عصبی تعریف گردید. همچنین ۷۰ درصد از چاه‌ها (۹۴ چاه) برای آموزش، ۱۵ درصد (۲۰ چاه) برای تست و ۱۵ درصد (۲۰ چاه) باقیمانده برای ارزیابی عمومیت شبکه اختصاص داده شد. با بررسی خطاهای آماری به دست آمده از این شبکه می‌توان نتیجه گرفت که روش ارائه شده برای یافتن دبی بهینه تزریق گاز، روشی سریع، دقیق و بی‌نیاز از روش‌های نرم‌افزاری ارائه شده پیشین است.

واژگان کلیدی فراز‌آوری با گاز، دبی تزریق بهینه گاز، شبکه عصبی مصنوعی، آنالیز خطای آماری

مقدمه

استفاده کرد. اولین کاربرد عملی استفاده از هوا جهت فراز‌آوری مصنوعی، سال ۱۸۴۶ در بعضی از چاه‌های نفتی پنسیلوانیا انجام شد و از آن زمان تاکنون روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته تا به روش پیشرفته‌ی امروزی رسیده است. فراز‌آوری با گاز از نظر تزریق گاز به دو نوع تزریق پیوسته گاز و تزریق متناوب تقسیم بندی می‌شود. تزریق پیوسته گاز روشی ساده و کارآمد در محدوده وسیعی از شرایط عملیاتی است. همچنین، نیاز کمتری به نگهداری تأسیسات سطح الارضی دارد. با این حال، برای برخی از چاه‌ها که شاخص بهره‌دهی کمتری دارند، تزریق متناوب گاز مقرون به صرفه خواهد بود [۳]. تاکنون روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی فراز‌آوری با گاز که در آن‌ها آنالیز نودال نقش اساسی دارد، ارائه شده است [۴]. گمز در سال ۱۹۷۴ روشی برای به دست آوردن نمودار عملکرد فراز‌آوری با گاز (شکل-۱) ارائه داد. در این روش یک چندجمله‌ای درجه ۲ با استفاده از روش کمترین مربعات خطا به نمودار عملکرد فراز‌آوری با گاز عبور داده شد و سپس

فراز‌آوری مصنوعی زمانی در بهره‌برداری از چاه‌های نفت و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد که مخزن توانایی لازم برای رساندن سیال تولیدی به سرچاه را نداشته باشد و یا دبی تولیدی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد. امروزه به دلیل افت فشار مخازن، استفاده از فراز‌آوری مصنوعی در سراسر جهان رو به افزایش است. زمانی که یک چاه نیاز به تولید با استفاده از فراز‌آوری مصنوعی پیدا کند، انتخاب روش مناسب فراز‌آوری مصنوعی برای آن چاه برای رسیدن به تولید بیشتر اهمیت ویژه‌ای پیدا خواهد کرد [۱]. فراز‌آوری با گاز یکی از متداول‌ترین روش‌های فراز‌آوری مصنوعی است که با تزریق گاز در ستون سیال درون چاه انرژی لازم را برای جریان یافتن و تولید سیال فراهم می‌سازد [۲].

یک مهندس معدن آلمانی به نام کارامانول لوچر اولین کسی بود که از هوای فشرده شده جهت راندن و بلند کردن ستون مایع در آزمایشگاه

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات (khamehchi@aut.ac.ir)



می‌شوند. این عناصر از سیستم‌های زیستی الهام گرفته‌اند. شبکه‌های عصبی برای پیاده‌سازی توابع پیچیده در زمینه‌های مختلف از جمله تشخیص الگو، تشخیص هویت، طبقه‌بندی، پردازش صحبت و تصویر و سیستم‌های کنترلی کاربرد دارد. امروزه، از شبکه‌های عصبی برای حل مسائل دشواری که حل آن‌ها با کامپیوترهای معمولی دشوار است، استفاده می‌شود [۹]. در طبیعت، ساختار شبکه‌های عصبی از طریق نحوه اتصال بین اجزا تعیین می‌شود. بنابراین، می‌توان یک ساختار مصنوعی به پیروی از شبکه‌های طبیعی ساخت و با تنظیم مقادیر هر اتصال تحت عنوان وزن اتصال، نحوه ارتباط بین اجزای آن را تعیین نمود. پس از تنظیم یا همان آموزش شبکه عصبی، اعمال یک ورودی خاص به آن منجر به دریافت پاسخ خاص می‌شود. شبکه،

ضرایب این چندجمله‌ای تعیین و معادله این نمودار مشخص گردید [۵]. این معادله برای به‌دست آوردن دبی بهینه تزریق گاز و رسیدن به ماکزیمم دبی تولیدی نفت مورد استفاده قرار گرفت. هونگ در سال ۱۹۷۵ تأثیر پارامترهای مختلف را روی تزریق پیوسته گاز در فرایند فراز‌آوری با گاز در ۶ چاه بررسی کرد. اساس کار هونگ برای به‌دست آوردن معادله‌ی نمودار عملکرد فراز‌آوری با گاز، شبیه کار گمز بود، با این تفاوت که وی چندجمله‌ای درجه ۳ بر روی نمودار عبور داد [۶]. در سال‌های بعد لو و فنگ از برنامه‌ریزی خطی برای به‌دست آوردن دبی بهینه تزریق گاز استفاده کردند [۷]. وانگ و همکارانش برای بهینه‌سازی دبی تزریقی گاز و همچنین تأسیسات سطح‌الارضی برنامه‌ریزی نمایی را به کار بستند. همچنین وی برای اولین بار برهم کنش فشار چاه‌های مجاور در فرایند فراز‌آوری با گاز را مورد بررسی قرار داد [۸]. در سال‌های بعد روش‌های بهینه‌سازی فرایند فراز‌آوری با گاز برای اولین بار در چاه‌های گازی که مشکل انباشت مایع در ته چاه را داشتند، مورد استفاده قرار گرفت.

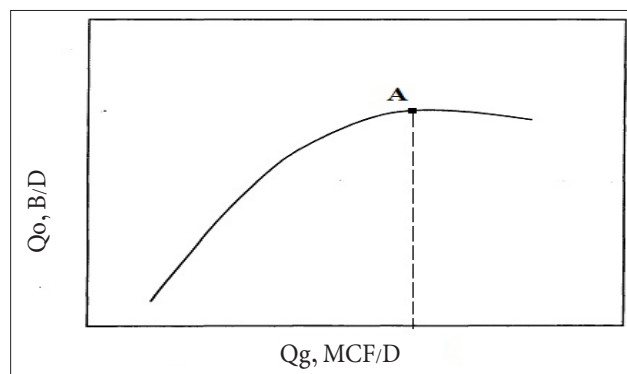
در فرایند فراز‌آوری با گاز یکی از مهمترین پارامترها دبی بهینه تزریق گاز است. کامل‌ترین و بهترین روش در بهینه‌سازی فراز‌آوری با گاز روشی است که تمام پارامترهای موثر در طراحی را در نظر بگیرد که باعث پیش‌بینی دقیق‌تر نرخ تولید و در نتیجه افزایش سود شود. روش‌هایی که پیش‌تر برای یافتن دبی بهینه تزریق گاز ارائه شده است، علاوه بر زمان بر بودن، به دلیل نادیده گرفتن برخی از پارامترهای موثر در نرخ تزریق گاز، برای پیش‌بینی دبی بهینه تزریق، دقت کافی ندارند.

هدف این مقاله، یافتن دبی بهینه تزریق در فراز‌آوری با گاز، با در نظر گرفتن همه پارامترهای موثر در دبی تزریق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی است.

۱- شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی از عناصر عملیاتی ساده‌ای به صورت موازی ساخته

کمیت	پارامترها	بیشینه	کمینه	
ورودی های شبکه عصبی	چگالی نفت (در دمای ۶۰ درجه فارنهایت و فشار اتمسفر) ^۳	۴۱/۷	۱۶	
	شاخص بهره‌دهی ^۴ (Stb/Psi.Day)	۳/۲	۱/۹۶	
	فشار استاتیک ته چاه ^۵ (Psi)	۵۷۶۲	۳۵۰۰	
	برش آب ^۶ (%)	۱۳	۱	
	قطر داخلی لوله مغزی ^۷ (Inch)	۵	۳	
	عمق محل مشبک کاری ^۸ چاه (ft)	۱۲۸۰	۹۲۵۰	
	فشار جریان سرچاه ^۹ (Psi)	۶۰۰	۴۲۰	
	عمق تزریق گاز ^{۱۰} (ft)	۱۰۷۸۵	۷۱۰۵	
	چگالی مخصوص گاز تزریقی ^{۱۱}	۰/۷۸	۰/۶۶	
	فشار جریان ته چاه ^{۱۲} (Psi)	۳۵۲۴	۱۴۶۲	
	ماکزیمم دبی تولیدی ^{۱۳} نفت (Stb/Day)	۶۰۸۰	۲۴۸۵	
	دمای مخزن ^{۱۴} (F)	۲۴۰	۱۸۹	
	نسبت گاز به نفت ^{۱۵} (Scf/Stb)	۱۸۱۰	۱۶۳	
	فشار نقطه حباب ^{۱۶} (Psi)	۱۹۱۴	۱۵۰۰	
	دبی بهینه تزریق گاز ^{۱۷} MM(Scf/Day)	۲۰/۲۸	۳/۰۵	
	خروجی شبکه عصبی			



نمودار عملکرد فراز‌آوری با گاز

تزریقی از روی نمودار عملکرد، مقدار گاز تزریقی که در آن، مقدار نفت تولیدی در ماکزیمم حد خود قرار دارد، به عنوان مقدار گاز تزریقی بهینه در نظر گرفته شد. براساس بررسی‌های انجام شده بر روی تحقیقات فوق و همچنین آنالیز حساسیت، ۱۴ مورد از اطلاعات چاه و مخزن به عنوان اطلاعات ورودی برای شبکه عصبی مصنوعی تعیین شد. خروجی شبکه نیز مقدار گاز تزریقی بهینه تعریف گردید.

این ۱۴ ورودی طوری انتخاب شدند که تمام پارامترهایی که روی خروجی (مقدار گاز تزریقی بهینه) تأثیرگذار بود، پوشش داده شود. جدول ۱- نشان‌دهنده این ۱۴ پارامتر و گستره تغییرات آن‌هاست.

حال پس از مشخص شدن اطلاعات ورودی و خروجی شبکه عصبی مصنوعی، به طراحی شبکه می‌پردازیم. شبکه‌ای که با استفاده از ۱۴ ورودی، بتواند خروجی مطلوب را برای هر چاه، با کمترین خطا تخمین بزند.

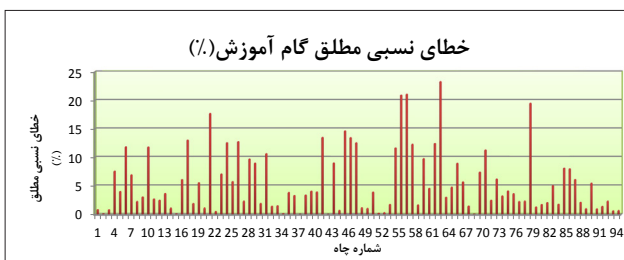
۲-۱- معماری شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده برای مسأله

ابتدا ۷۰ درصد از داده‌ها (۹۴ چاه)، برای آموزش، ۱۵ درصد از داده‌ها برای تست و ۱۵ درصد از داده‌ها برای اعتبارسنجی شبکه عصبی مصنوعی اختصاص داده شد. اعتبارسنجی شبکه عصبی مصنوعی، علاوه بر تست، به منظور سنجش حساسیت شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روند تغییرات تک تک داده‌ها صورت می‌پذیرد.

برای یافتن بهترین معماری شبکه عصبی برای این مسأله، روش سعی و خطا به کار گرفته شد. ابتدا با یک لایه مخفی که شامل یک

۲ پارامترهای خطاهای آماری مدل شبکه عصبی بهینه در سه گام آموزش، اعتبارسنجی و تست

گام	میانگین مجذور خطا	ثابت R^2	خطای مطلق میانگین	خطای نسبی مطلق میانگین (%)
آموزش	۱/۲۱	۰/۹۷۸	۰/۵۲۹	۵/۶۷
اعتبارسنجی	۱/۰۶	۰/۹۹۵	۰/۴۲۲	۴/۹۶
تست	۱/۲۴	۰/۹۸۷	۰/۵۳۲	۶/۱۳

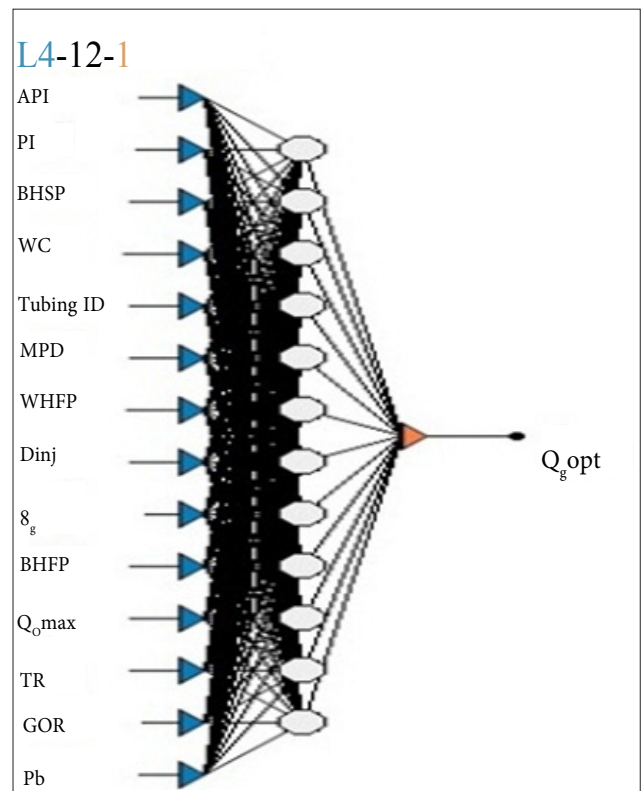


۳ خطای نسبی مطلق خروجی شبکه در گام آموزش

بر مبنای تطابق و هم‌سنجی بین ورودی و هدف سازگار می‌شود تا اینکه خروجی شبکه و هدف بر هم منطبق گردند. عموماً تعداد زیادی از این زوج‌های ورودی و خروجی به کار گرفته می‌شود تا در این روند که از آن تحت عنوان یادگیری نظارت شده یاد می‌شود، شبکه، آموزش داده شود. داده‌های ورودی و آموزشی در مهندسی نفت می‌تواند داده‌های آزمایشگاهی، داده‌های به‌دست آمده در میدان، داده‌های به‌دست آمده از شبیه‌سازی مخزن و یا ترکیبی از این‌ها باشد [۱۰]. تاریخ نخستین پژوهش در مورد شبکه‌های عصبی مصنوعی به سال ۱۹۴۳ میلادی باز می‌گردد که در آن، مک کولاج و پیتزاولین گام را در زمینه معرفی این روش برداشتند [۱۱]. از آن زمان به بعد، شبکه‌های عصبی مصنوعی کاربرد گسترده‌ای در علوم مهندسی پیدا کرد.

۲-۲- روش بهینه‌سازی

در مطالعه پیش‌رو، اطلاعات ۱۳۴ چاه که کاندیدای تولید به کمک فرازآوری با گاز هستند، جمع‌آوری و در نرم‌افزار PROSPER شبیه‌سازی شده است. سپس، نمودار عملکرد فرازآوری با گاز مربوط به هریک از چاه‌ها در نرم‌افزار پیش‌گفته رسم گردید. با توجه به نامحدود بودن گاز



۲ ساختمان شبکه عصبی استفاده شده



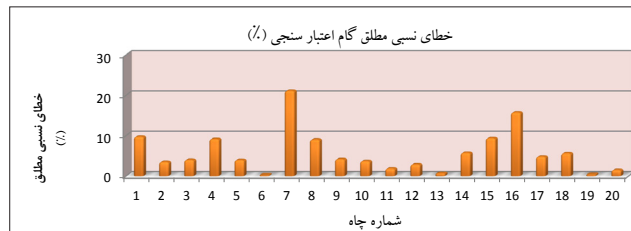
بنابراین، شبکه عصبی مصنوعی که در نهایت طراحی گردید، ۱۴ نرون در لایه اول (ورودی‌ها)، یک لایه مخفی با ۱۲ نرون و لایه خروجی با ۱ نرون داشت. افزون بر این، توابع انتقال برای لایه مخفی، تانژانت سیگموید و برای لایه خروجی، خطی انتخاب شد. برای ارزیابی عملکرد این مدل، از آنالیزهای آماری و گرافیکی استفاده شد. برای آنالیز خطاهای آماری این شبکه از پارامترهای آماری شامل خطای نسبی مطلق میانگین، خطای مطلق میانگین، ثابت R^2 و میانگین مجذور خطا استفاده شد. تعریف و کاربرد هر کدام از این پارامترها در مقالات دیگر موجود است [۱۳]. جدول ۲- مقایسه آنالیز خطاهای آماری مدل شبکه عصبی بهینه را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، مدل موجود، در هر سه گام آموزش، اعتبارسنجی و تست، دقت بسیار خوبی دارد.

در این مطالعه، علاوه بر بررسی پارامترهای آماری مدل، دقت مدل به صورت گرافیکی نیز بررسی شد. شکل‌های ۲، ۳ و ۴ خطای نسبی مطلق خروجی‌های شبکه را در گام آموزش، تست و اعتبارسنجی نشان می‌دهند. همان‌طور که دیده می‌شود، خطاها دارای روند

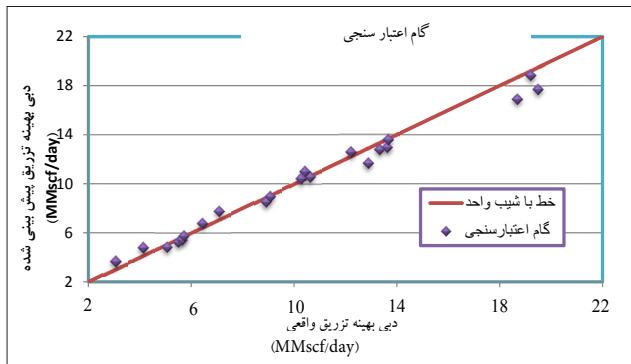
نرون بود، شروع کرده و با افزودن تعداد لایه‌های مخفی و نرون به لایه‌ها، خطای شبکه بررسی گردید. لازم به ذکر است که باید تعداد بهینه نرون‌ها را در لایه مخفی یافت. زیرا اگر تعداد نرون‌ها در لایه مخفی بیش از حد باشد، از عمومیت شبکه عصبی مصنوعی کاسته می‌شود. همچنین، اگر کمتر از حد بهینه باشند، خطای شبکه افزایش می‌یابد [۱۲]. پس از آنالیز نرم‌افزاری و سعی و خطا، بهترین شبکه که دارای حداقل خطای ممکن بود، برگزیده شد.

۳- بحث و جمع‌بندی

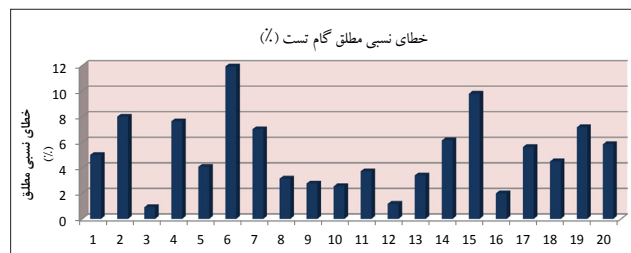
همان‌طور که قبلاً اشاره شد، برای پیدا کردن مدل شبکه عصبی بهینه، تعداد زیادی شبکه با تعداد لایه‌ها و نرون‌های مختلف آزمایش شد و بهترین مدل شبکه عصبی با یک لایه مخفی با ۱۲ نرون به دست آمد.



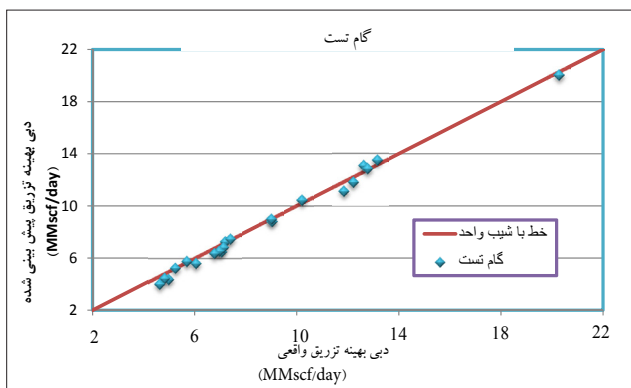
شکل ۴ | خطای نسبی مطلق خروجی شبکه در گام اعتبارسنجی



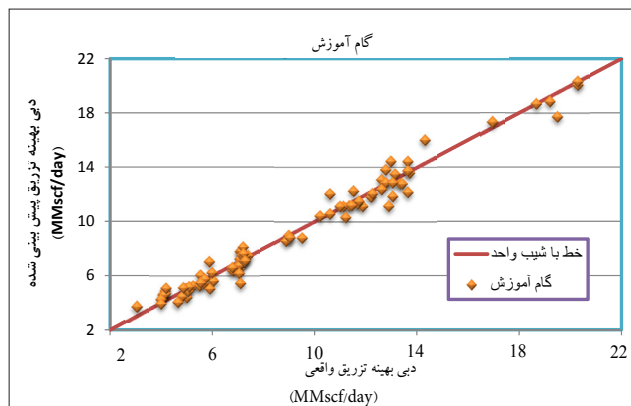
شکل ۷ | رسم خروجی مدل شبکه عصبی بهینه برحسب داده‌های واقعی در گام اعتبارسنجی



شکل ۵ | خطای نسبی مطلق خروجی شبکه در گام تست



شکل ۸ | رسم خروجی مدل شبکه عصبی بهینه برحسب داده‌های واقعی در گام تست



شکل ۶ | رسم خروجی مدل شبکه عصبی بهینه برحسب داده‌های واقعی در گام آموزش

نتیجه گیری

■ یافتن دبی بهینه تزریق گاز در فراز آوری با گاز با استفاده از شبکه‌های عصبی روشی سریع است. درحالی که روش‌های مختلف که پیش تر به آن‌ها اشاره شد، روش‌هایی زمان‌بر و پرهزینه‌اند.

■ شبکه عصبی طراحی شده در این مقاله با خطایی ناچیز، دبی بهینه تزریق گاز را برای هر چاه پیش‌بینی می‌کند. درحالی که روش‌های دیگر خطای زیادی دارند.

■ با توجه به اینکه تعداد پارامترهایی که به عنوان ورودی شبکه استفاده شد، بسیار زیاد بود (۱۴ پارامتر)، می‌توان ادعا کرد تمام پارامترهایی که روی دبی تزریق گاز اثرگذار بودند، لحاظ شده‌اند.

■ با توجه به خطای ناچیز تست شبکه عصبی طراحی شده، می‌توان گفت که عمومیت شبکه، قابل قبول است. ■

خاصی نیستند و به صورت تقریباً یکنواخت توزیع شده‌اند. همچنین، خطاها در سه گام آموزش، اعتبارسنجی و تست، در حد قابل قبولی هستند و مدل، در کل، دقت خوبی ارائه می‌دهد.

شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نمودارهای دبی بهینه تزریق پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی را نسبت به دبی بهینه تزریق واقعی به دست آمده از شبیه‌سازی، به ترتیب برای گام‌های آموزش، تست و اعتبارسنجی نمایش می‌دهند. داده‌هایی که روی خط با شیب واحد قرار گرفته‌اند، یعنی به طور کاملاً دقیق پیش‌بینی شده‌اند. همان‌طور که دیده می‌شود، در هر سه گام آموزش، اعتبارسنجی و تست، داده‌ها تقریباً روی خط با شیب واحد قرار می‌گیرند که قابلیت بسیار خوب مدل توسعه داده شده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

پانویس‌ها

- | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1. gas lift performance curve (GLPC) | 7. tubing inside diameter | 14. reservoir temperature |
| 2. liquid loading | 8. mid perforation depth | 15. gas oil ratio (GOR) |
| 3. API | 9. flowing wellhead pressure | 16. bubble point pressure |
| 4. productivity index | 10. gas injection depth | 17. optimum gas injection rate |
| 5. bottom hole static pressure | 11. gas specific gravity | 18. train |
| 6. water cut | 12. flowing bottom hole pressure | 19. test |
| | 13. maximum oil production rate | 20. validation |

منابع

- [1] Santos, G., Bordalo, N., Alhanati, F.J.S., " Study of the dynamics, optimization and selection of intermittent gas-lift methods-a comprehensive model ", Journal of Pet. Science and Eng., 2001, 32, PP. 231-248.
- [2] Cleg, J.D., Bucaram, S.M., Hein, N.W., " Recommendations and comparison for selecting artificial lift methods ", JPT, SPE 24834, 1993, PP. 1128-1167.
- [3] Khamehchi, E., Rashidi, F., Rasouli, H., " Prediction of Gas Lift Parameters Using Artificial Neural Networks ", Iranian Chemical Engineering Journal, 2009, 43, PP.176-186.
- [4] Khamehchi, E., Rashidi, F., Karimi, B., Pourafshary, P., Amiry, M., " Continuous Gas Lift Optimization Using Genetic Algorithm ", Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2009, 3(4), PP. 3919-3929.
- [5] Gomez, V., " Optimization of Continuous Flow Gas Lift Systems ", M.S. Thesis, University Of Tulsa, 1974.
- [6] Hong, H.T., " Effect of the Variables on Optimization of Continuous Gas Lift System ", M.S. Thesis, University of Tulsa, 1975.
- [7] Bieker, H.P., Slupphaug, O., Johansen, T.A., " GLOB-AL OPTIMIZATION OF MULTIPHASE FLOW NETWORKS IN OIL AND GAS PRODUCTION SYSTEMS ", M.S. Thesis, Norwegian University Of Science & Technology, 2007.
- [8] Wang, P., Litvak, M., " Gas Lift Optimization for Long-Term Reservoir Simulations ", Society of Petroleum Engineers, Society of Petroleum Engineers, Houston, Texas, 2004.
- [9] منہاج، محمدباقر، " مبانی شبکه‌های عصبی "، مرکز نشر پروفیسور حسابی، ۱۳۷۷.
- [10] Demuth, H., Beale, M., " Neural Network Tool Box ", Forth Edition, Math Works Company, 2002, PP.37-55.
- [11] McCulloch, w., Pitts, W., " a logical calculus of the ideas immanent in nervous activity ", bulletin of mathematical biophysics, 1943, PP.115-133.
- [12] Krose, B., van der Smagt, P., " Introduction To Neural Network ", Eighth Edition, University Of Amsterdam, German Aerospace Research Establishment, 1996, PP.40-44.
- [13] Hemmati-Sarapardeh, A., Khishvand, M., Naseri, A., Mohammadi, Amir, H., " Toward reservoir oil viscosity correlation ", Chemical engineering science, 2013, 90, PP. 53-68.