

طراحی و ایجاد نرم افزار شبیه ساز جریان گل حفاری در چاه های عمودی و جهت دار

سهیل اکبری*، سیدحسن هاشم آبادی، دانشگاه علم و صنعت ایران • بهمن پیرمردیان، مدیریت اکتشاف نفت

چکیده

در این تحقیق به منظور سهولت در محاسبه برخی از پارامترهای مهم گل حفاری و ارائه سریع نتایج، طراحی و ایجاد شبیه ساز جریان گل حفاری در دستور کار قرار گرفت. از آنجایی که حرکت گل حفاری در سیستم گردش گل، به خصوص در محیط آنالوس چاه های حفاری عمودی و جهت دار، از پیچیدگی هایی برخوردار است، به کمک شبیه سازی CFD، برخی از پارامترهای گل حفاری محاسبه و بررسی گردید. ابعاد آنالوس حفاری با توجه به یکی از چاه های میدان نفتی اهواز انتخاب گردید. در ادامه، به منظور تسریع در دستیابی به نتایج شبیه سازی، به کمک شبکه ی عصبی مصنوعی رابطه میان پارامترهای عملیاتی ایجاد شد. سپس، با استفاده از رابط گرافیکی نرم افزار متلب، شبیه ساز جریان گل حفاری طراحی و ایجاد گردید. در این نرم افزار سعی شده است اطلاعاتی متفاوت با سایر نرم افزارهای موجود، در اختیار کاربر قرار گیرد. این اطلاعات شامل میزان حمل کنده های حفر شده، افت فشار کل سیستم گردش گل، میزان تنش وارده بر روی لوله حفاری و کمترین دبی مورد نیاز برای حمل کنده می باشند. جهت محاسبه این پارامترها، از کاربر مشخصات مورد نیاز سیستم گردش گل، چاه، سیال و کنده گرفته می شود. از ویژگی های مهم این نرم افزار، پاسخگویی سریع به کاربر می باشد. همچنین این نرم افزار قابلیت تعیین بهترین مدل رئولوژیکی گل حفاری مورد استفاده را دارد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۰۳/۰۴

تاریخ ارسال به داور: ۹۵/۰۳/۰۴

تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۰۵/۳۱

واژگان کلیدی:

گل حفاری، شبکه عصبی مصنوعی، شبیه ساز، CFD، حمل کنده، چاه های عمودی و جهت دار

مقدمه

از شبیه سازی کامپیوتری ارائه داده و آنرا شبیه سازی مجازی تجربه^۲ (VES) نامیده اند. آنها با استفاده از داده های ۲۲ حلقه چاه حفاری شده، شبیه سازی ساخته اند که قادر است پارامترهای عملیات حفاری را در یک چاه جدید پیش بینی نماید. کوپر^۳ و همکارانش [۲] شبیه سازی را معرفی می کنند که قادر است نرخ نفوذ در لایه ها، سرعت حفاری و نرخ از بین رفتن دندانه های مته حفاری را براساس تابعی از نوع مته، نوع سنگ در حال حفاری و یکسری پارامترهای مربوط به عملیات، پیش بینی کند. مفهوم دیگری برای شبیه ساز حفاری توسط هارلند^۴ و همکاران [۳] به کار گرفته شد. آنها نرم افزاری به نام شبیه ساز حفاری بهینه^۵ (DROPS) را توسعه دادند که براساس داده های نمودارگیری زمین شناسی چاه های حفاری شده^۶ (GDL) طراحی شده و داده های جمع آوری شده از چاه هایی که قبلاً در همان منطقه حفاری شده اند، به نرم افزار وارد می شوند. سالاس^۷ [۴] در سال ۲۰۰۴ مزایا، معایب و دقت نرم افزار DROPS را با استفاده از داده های واقعی چاه ها مورد ارزیابی قرار داد. نرم افزار DROPS یک برنامه کامپیوتری است که برای کاهش هزینه های مربوط به حفاری توسط شرکت های نفتی به کار می رود. این نرم افزار عملیات حفاری را براساس مقاومت سازند شبیه سازی می کند. پارامترهای ورودی این نرم افزار شامل پارامترهای عملیاتی و اطلاعاتی در رابطه با سازندهای مورد حفاری می باشد. نتایج نرم افزار DROPS به دو صورت گرافیکی و مقادیر عددی بیان می شود.

عملیات حفاری با تاریخ تمدن بشر شکل گرفته و با توسعه صنعت به تدریج تکامل یافته و به صورت یک صنعت عظیم در آمده است. امروزه با توجه به کاهش منابع قدیم نفتی، عملیات حفاری تخصصی تر و پیچیده تر از گذشته شده و از لحاظ اقتصادی گران تر گردیده است. به همین لحاظ تکنولوژی حفاری جهت دار با هدف با صرفه تر کردن عملیات حفاری، روز به روز تغییر یافته و سیستم های جدیدتر جایگزین شده اند. از طرفی، شبیه سازهای حفاری می توانند به فرایند آموزش مهندسان و حفاران شتاب داده و موجب افزایش استفاده از بهترین فناوری موجود شوند. داشتن یک نرم افزار برای ارتباط بین اطلاعات عملیات حفاری ضروری است، به طوری که بتوان با تغییر شرایط حفاری و خصوصیات گل حفاری، اثرات این پارامترها را بررسی کرد. هدف از این تحقیق طراحی یک شبیه ساز در زمینه مهندسی گل حفاری است تا کاربران با استفاده از این شبیه ساز بتوانند با تأثیر خصوصیات گل بر روی حفاری و مشاهده تغییرات حاصله بر روی پارامترهای حفاری و هیدرولیک سیال حفاری آشنا گردند. با کمک این شبیه ساز کاربران می توانند با مشکلاتی که مهندس گل در حین عملیات حفاری با آنها روبه رو می شود، آشنا شوند و در درمان گل و مدیریت سیستم گل تجربه بسیار خوبی کسب نمایند.

شبیه سازهای جدید عملیات حفاری هم اکنون در حال توسعه و ارتقاء هستند. میلیهم و گابلر^۱ [۱] مفهوم ذهنی جدید از شبیه سازی با استفاده

* نویسنده ی عهده دار مکاتبات (soheilakbari@chemeng.iust.ac.ir)

لیو^۵ [۵] به مطالعه محاسبه‌ی پارامترهای بهینه برای محاسبات هیدرولیک، گشتاور و درگ با استفاده از شبیه‌سازی‌های مونت کارلو پرداخته است. این پارامترها در نرم‌افزارهای حفاری موثرند و مطالعات لیو به کاربران آینده نرم‌افزار برای وارد کردن مقادیر ورودی بهتر کمک خواهد کرد. برای اهداف شبیه‌سازی، با استفاده از داده‌های چاه‌های موجود، تأثیرگذاری پارامترها بررسی شده است. آینی و همکاران [۶] برنامه‌ای کامپیوتری براساس هیدرولیک گل حفاری با استفاده از پارامترهای رئولوژی مدل‌های بینگهام، پاورلا و هرشل بالکلی در محیط ویزوال بیسیک طراحی کردند. این نرم‌افزار، نرم‌افزار ضریب اصطکاک لوله و ناهم مرکز بودن آن و استفاده از شش پارامتر اندازه‌گیری شده توسط ویسکومتر را در مدل هیدرولیکی به کار می‌برد. آنها با استفاده از داده‌های میدانی که توسط گل‌های پایه آبی و پایه روغنی در اوکلاهما حفر شده بودند، نرم‌افزار را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نشان دادند که افت فشار اصطکاک‌کی اندازه‌گیری شده در دو ناحیه از چاه با مقادیر به دست آمده از سه مدل مطابقت دارد. همچنین مشاهده شد که یک مدل رئولوژی برای بیان رفتار گل حفاری در کل سیستم گل که شامل قسمت‌هایی که نرخ برش کمی دارند مانند تانک‌های گل و قسمت‌هایی که نرخ برش بالایی دارند مانند مته، کافی نیست. به طوری که به منظور بیان رفتار گل در سطح از مدل پاورلا و در تمام اعماق چاه از مدل هرشل بالکلی استفاده می‌شود. شیرکوندی و همکاران [۷] یک شبیه‌ساز حفاری فروتعدالی طراحی کرده و توسعه دادند. این نوع حفاری باعث افزایش ROP^۹، حذف هرزروی و مشکلات مربوط به آن مانند آسیب سازند می‌شود. این شبیه‌ساز کامپیوتری فشار کف چاه، فشار موردنیاز برای خارج کردن کنده‌های حفاری، کل افت فشار ایجاد شده در چاه، انرژی جنبشی بر واحد حجم به منظور تمیزسازی چاه، قابلیت حفاری سازند، ROP و میزان هزینه حفاری برای هر متر را شبیه‌سازی و محاسبه می‌کند. نتایج آنها نشان داد که انتخاب گردش گل بهینه، تمیزسازی مناسب چاه از کنده‌ها را تضمین می‌کند.

قاسمی کفروودی و هاشم‌آبادی [۸] به مطالعه حمل کنده توسط گل حفاری در چاه‌های عمودی به کمک شبیه‌سازی CFD پرداختند. آنها از مدل‌های کراس و هرشل بالکلی برای پیش‌بینی رفتار رئولوژی گل استفاده و به کمک کد عددی، میدان جریان و فشار را محاسبه کردند. همچنین به کمک نرم‌افزار فلونت، اثر نوع گل حفاری، سرعت محوری گل و سرعت چرخش رشته حفاری، چگالی سیال و اندازه کنده بر درصد انتقال کنده مورد بررسی قرار دادند. محمدزاده و همکاران [۹] با کمک شبیه‌سازی CFD به مطالعه تأثیر ویسکوزیته افزا بر روی رفتار گل حفاری و میزان حمل کنده در چاه‌های شیب‌دار و افقی پرداختند. برای شبیه‌سازی جریان دوفازی از مدل مخلوط استفاده و رفتار رئولوژیکی سیالات حفاری با استفاده از مدل هرشل بالکلی بررسی شده است. با توجه به مشاهدات نتیجه‌گیری کردند که با افزایش ویسکوزیته ظاهری سیال حفاری، قدرت حمل کنده افزایش می‌یابد و از طرفی، باعث افزایش افت فشار سیال در آنالوس می‌شود که نامناسب است. همچنین

بیشترین کاهش حمل کنده در زاویه ۶۰ درجه و به مقدار بیش از ۱۸ درصد مشاهده شده است و حساسیت چاه‌های افقی و شیب‌دار نسبت به عوامل کاهنده حمل کنده همچون سنگینی سازند، افزایش قطر کنده‌ها و ... از چاه‌های عمودی بیشتر است و با افزایش عوامل کاهنده حمل کنده، شاهد کاهش بیشتری در چاه‌های غیر عمودی بودند. تورینی و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۱۴ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به ارائه روشی جهت پیش‌بینی و حل مشکل هدر رفت گل حفاری پرداختند. آنها از داده‌های ۳۸ چاه در میدان نفتی مارون ایران استفاده کردند. دقت مدل طراحی شده آنها ۹۴٪ درصد می‌باشد. آنها ۶۰ درصد از داده‌ها را برای آموزش، ۲۰ درصد را برای صحت‌سنجی و ۲۰ درصد باقی را به منظور آزمایش شبکه استفاده کردند. ضمناً شبکه توسعه داده شدهی آنها فقط جهت میدان مورد مطالعه کاربرد دارد. وانگ^{۱۱} و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۱۵ با استفاده از نرم‌افزار متلب جهت پیش‌بینی فشار پمپ براساس عمق حفاری به پیاده‌سازی الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش شبکه عصبی از پتانسیل بالایی جهت مدل‌سازی کردن رفتار هیدرولیکی در چاه برخوردار است و این تحقیق می‌تواند در یک سیستم نرم‌افزاری جهت برنامه‌ریزی حفاری و عملیات حفر چاه‌های نفت و گاز به کار برده شود تا زمان غیر مولد^{۱۱} کاهش یابد. آنها از ۱۸۰ تا ۲۰۰ داده‌ی موجود برای ۳ چاه عمودی جهت شبکه عصبی استفاده کردند. نتایج نشان داد که عملکرد شبکه عصبی وابستگی زیادی به اندازه و دقت پایگاه داده و متغیرهای انتخاب شده برای آنالیز دارد و برای افزایش کارایی مدل، استفاده از داده‌های میدانی نفتی مختلف ضروری است.

۱- معرفی شبیه‌ساز جریان گل حفاری

با مطالعه کارهای صورت گرفته در زمینه تحقق نرم‌افزارهای شبیه‌ساز گل حفاری و از طرفی، اهمیت مطالعه پارامترهای مهم گل حفاری (حمل کنده، افت فشار و تنش وارده بر لوله حفاری توسط گل)، کمبود یک نرم‌افزار ارائه دهنده‌ی این پارامترها احساس می‌شود. لذا در این تحقیق با هدف ارائه این نتایج به کارکنان عملیات حفاری، جهت آگاهی آنها از این پارامترهای درون‌چاهی و تصمیم‌گیری به موقع، نرم‌افزاری طراحی و ایجاد شده است. این نرم‌افزار که Pars-Mudware نام‌گذاری شده است، قابلیت ارائه پارامترهای مذکور در کوتاه‌ترین زمان ممکن و همچنین تعیین بهترین مدل رئولوژیکی گل مورد استفاده را در دماها و فشارهای مختلف داراست.

کمیت PTR نشانگر میزان همراهی دو فاز در قسمت توسعه یافته جریان است و از آن جهت برای مسئله ما مورد اهمیت است که هرچه این کمیت افزایش یابد، سرعت تخلیه شدن چاه از کنده‌های حفاری بیشتر می‌گردد و در نتیجه، در یک حفاری با سرعت ثابت، هرچه PTR بیشتری داشته باشیم، میزان متوسط کنده درون چاه کمتر است.

ب- افت فشار سیال

بهینه‌سازی محاسبات افت فشار اصطکاکی در کل سیستم گردش گل باعث کاهش مشکلاتی مانند تمیزسازی نامناسب چاه و گیر لوله‌های حفاری و غیره می‌شود. در اینجا افت فشاری که در سیستم گل حفاری رخ می‌دهد را به قسمت‌های مختلفی تقسیم می‌کنیم (شکل-۱). گل حفاری از پمپ‌های گل خارج می‌شود. به کمک لوله‌های انتقال وارد لوله‌های حفاری شده و به مته انتقال می‌یابد. پس از خروج از نازل‌های مته حفاری، کنده‌های حفر شده را از فضای آنالوس به سطح زمین انتقال می‌دهد. بدین ترتیب، تنها، فضای آنالوس حاوی سیال دوفازی می‌باشد. از آنجایی که روابط ریاضی موجود برای محاسبه افت فشار سیال در آنالوس، سیال را به صورت تک‌فاز در نظر می‌گیرند و از طرفی، نقش پارامترهای مختلف در این روابط کم است، در این تحقیق جهت محاسبه افت فشار سیالی که از آنالوس چاه در حال حفاری بالا می‌آید، از شبیه‌سازی CFD استفاده شده است؛ چون این سیال، دوفازی (مایع-جامد) می‌باشد و پارامترهای بسیاری در میزان این افت فشار موثرند. افت فشار سایر مسیرهای جریان گل با استفاده از روابط محاسبه شده است.

ج- تنش برشی وارده بر دیواره لوله حفاری

لوله‌های حفاری تنش حاصل از تغییرات فشار و حرارت داخل چاه را تحمل می‌کنند. برای طراحی لوله‌های حفاری سخت‌ترین شرایط چاه را در نظر می‌گیرند. علاوه بر آن، فاکتورهایی وجود دارد که باید مورد

موجود محاسبه می‌شوند. اما در قسمت آنالوس چاه، روابط تجربی برای محاسبه پارامترهای مختلف گل حفاری براساس شرایط حفاری در منابع موجود است که به دلیل پیچیدگی جریان غیرنیوتنی و دوفازی بودن، رابطه‌ای که تأثیر تمامی پارامترهای موثر در رفتار گل را با صحت مناسبی پیش‌بینی کند، وجود ندارد. از این رو، انجام آزمایش‌های تجربی یا حل‌های عددی برای دسترسی به تأثیر عوامل مختلف ضروری است. ابزار دینامیک سیالات محاسباتی^{۱۱} ابزاری قدرتمند است که علاوه بر کم‌هزینه بودن نسبت به تحقیقات تجربی و امکان آزمودن تأثیر پارامترهای متفاوت، یافتن متغیرهای مختلف در تمامی فضای حل را امکان‌پذیر می‌کند. در اینجا جریان سیال حفاری به همراه کنده‌های حفاری درون چاه در دما و فشار مختلفی از گل شبیه‌سازی شده است. معادلات مدل در محیط نرم‌افزار فلونت^{۱۳} حل و نتایج شبیه‌سازی با نتایج تجربی ارزیابی شده و سپس تأثیر پارامترهای مختلف عملیات حفاری بر میزان و نوع حمل کنده‌ها بررسی گردیده است. در ادامه، به کمک شبکه عصبی مصنوعی^{۱۴} میان پارامترهای مورد استفاده و به دست آمده از شبیه‌سازی، ارتباط برقرار شده و به منظور استفاده از نتایج، یک محیط گرافیکی رابط کاربر^{۱۵} طراحی شده است.

۱-۱- داده‌های موجود

داده‌های موجود جهت استفاده در روابط ریاضی و شبیه‌سازی شامل خواص گل حفاری (دانسیته) و پارامترهای رئولوژیکی آن می‌باشد که از مقالات معتبر استخراج شده است. همچنین، ابعاد چاه، بازده سرعت چرخش لوله حفاری، نرخ حفاری، دبی ورودی گل حفاری و خواص کنده‌های حفاری (شامل قطر، دانسیته و غلظت) براساس داده‌های عملیات حفاری فرض شده‌اند.

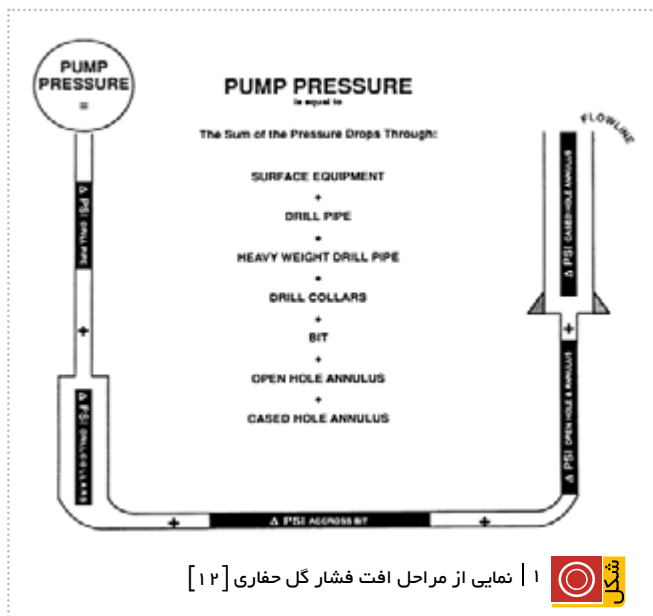
۱-۲- پارامترهای محاسبه شده و ارائه شده در نرم افزار

از جمله مهم‌ترین پارامترهایی که کارکنان عملیات حفاری به آن نیاز دارند تا در ادامه روند حفاری جهت افزایش بازده حفاری تصمیم‌گیری کنند، عبارتند از: میزان حمل کنده‌های حفاری، افت فشار گل حفاری در چاه، تنش وارده بر لوله حفاری، میزان هدر رفت گل حفاری، تغییرات دمایی گل حفاری در حین گردش در چاه، اثرات دما بر روی پارامترهای حفاری و... در اینجا به بررسی میزان حمل کنده، حداقل سرعت سیال مورد نیاز برای حمل کنده، افت فشار گل حفاری، تنش وارده بر روی لوله حفاری، اثر دما و فشار بر روی پارامترهای مذکور و محاسبه پارامترهای رئولوژیکی گل حفاری براساس داده‌های رئومتری می‌پردازیم.

الف-نسبت حمل کنده

برای بررسی توان حمل کنده‌ها توسط سیال حفاری، کمیت نسبت حمل ذره^{۱۶} تعریف شده است که برابر با حاصل تقسیم سرعت متوسط فاز کنده بر سرعت متوسط فاز گل است.

$$PTR(\%) = \frac{\text{Average Axial velocity}_{\text{for solid phase}}}{\text{Average Axial velocity}_{\text{for mud phase}}} \times 100 \quad (1)$$



۱ | نمایی از مراحل افت فشار گل حفاری [۱۲]

سرعت ورودی را می‌توان به هر صورتی مثل تعیین اندازه سرعت و جهت جریان یا تعیین مولفه‌های سرعت مشخص کرد. شرط خروجی توسعه یافتگی که بیانگر صفر بودن تمامی گرادیان‌ها به جز فشار در راستای محور آنالوس است، بر مسئله اعمال شده است. با توجه به شرایط حفاری و ثابت بودن دیواره چاه در تمامی موارد شبیه‌سازی شده در این تحقیق، دیواره بیرونی آنالوس به‌عنوان یک دیواره ثابت مدل‌سازی شده، اما با توجه به امکان چرخش رشته حفاری، دیواره درونی در برخی موارد ثابت و در برخی دیگر، با سرعت ثابت دورانی با محوریت مرکز آنالوس در نظر گرفته شده است. شرط عدم لغزش بر روی تمام دیواره‌ها اعمال گردیده است.

در این مسئله شبکه محاسباتی به‌صورت ساختار یافته و با نرم‌افزار گمیت ایجاد شد. شکل ۳- شبکه ایجاد شده بر روی هندسه چاه را نشان می‌دهد. به دلیل شدیدتر بودن تغییرات سرعت در نزدیک دیواره‌ها، شبکه محاسباتی در نقاط مذکور پُر تراکم‌تر ایجاد گردید.

معادلات فاز پیوسته با استفاده از روش حجم محدود گسسته‌سازی شده و برای ارتباط بین معادلات پیوستگی و مومنتوم، از الگوریتم SIMPLE^{۱۸} استفاده شد [۱۶]. با توجه به ماهیت پدیده‌های نفوذی برای حل عبارات نفوذی معادلات، از روش اختلاف مرکزی استفاده گردید. همچنین برای تقریب مقادیر ترم‌های جابه‌جایی در معادلات مومنتوم و کسر حجمی روی وجوه سلول‌های محاسباتی، از روش اختلاف بالادست مرتبه اول^{۱۹} استفاده شد. معادلات حاکم بر فاز سیال به‌صورت عددی با استفاده از نرم‌افزار تجاری Ansys Fluent 15 حل شدند.

توجه قرار گیرد. با استفاده از شبیه‌سازی CFD، تأثیر فشار و دمای گل حفاری و سایر پارامترهای مرتبط با جریان سیال بر روی فرسایش دیواره لوله حفاری در آنالوس مورد بررسی قرار می‌گیرد.

د- کمترین دبی سیال حفاری جهت حمل کننده

برای تشخیص کمترین میزان دبی گل خروجی از پمپ گل، نیاز است که مینیمم سرعت سیال به منظور جلوگیری از سقوط کننده‌ها به پایین چاه محاسبه شود. کمترین میزان سرعت سیال برابر با مجموع سرعت کننده و سرعت لغزش در نظر گرفته شده است [۱۵-۱۳]. سرعت کننده (V_{ct}) با موازنه جرمی بین نرخ تولید کننده توسط مته و میزان کننده انتقال یافته به دست می‌آید [۱۳].

$$\rho_c Q_i = \rho_c A_{ann} C_c V_{ct} \quad (2)$$

در این رابطه Q_i نرخ کننده ورودی، A_{ann} سطح آنالوس و C_c بیانگر غلظت کننده‌هاست. با تبدیل Q_i به ROP و بیان C_c به صورت درصد (C_{cp}) رابطه زیر برای سرعت کننده حاصل می‌شود:

$$V_{ct} = \frac{ROP}{36(1 - (\frac{D_p}{D_h})^2) C_{cp}} \quad (3)$$

$$C_{cp} = 0.01778ROP + 0.505 \quad (4)$$

در روابط بالا غلظت کننده است. حال مینیمم سرعت سیال برابر است با:

$$V_{min} = V_{ct} + V_g \quad (5)$$

مور^{۱۷} [۱۳] روندی را برای محاسبه سرعت لغزش (V_g) در طی عملیات حفاری بر حسب ویسکوزیته ظاهری ارائه داده است.

۱-۳- شبیه‌سازی DFC انجام شده

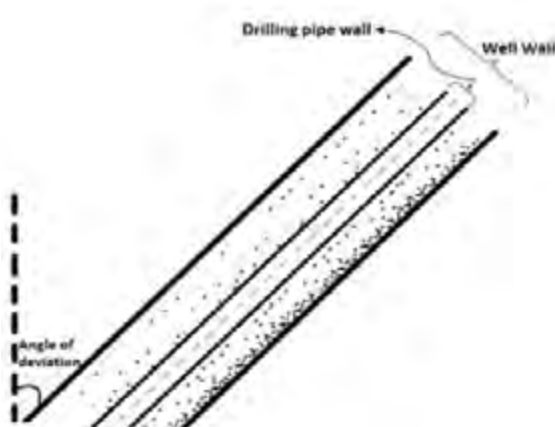
در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار فلونت که جهت شبیه‌سازی CFD به کار می‌رود، رفتار گل حفاری به همراه کننده در آنالوس چاه بررسی می‌شود و حمل کننده، افت فشار و تنش برشی وارده بر لوله حفاری جهت به کارگیری در شبیه‌سازی، مورد محاسبه قرار می‌گیرد. جدول ۱- و شکل ۲- نشان‌دهنده ابعاد و شکل چاه شبیه‌سازی شده‌اند.

با توجه به مواد تشکیل دهنده سازندهای مهم ایران و همچنین، ارزیابی‌های انجام شده، چگالی کننده‌های حفاری در محدوده ۲۵۰۰-۲۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب انتخاب گردیده است. ابعاد کننده‌ها، به‌اندازه دندانه‌های مته و سختی سنگ بستر وابسته است. ولی به‌طور معمول در گزارش‌ها و مقالات، کننده‌ها به‌صورت کروی در نظر گرفته شده است.

شرایط مرزی استفاده شده در این تحقیق به‌طور مختصر در زیر توضیح داده شده است. شرط مرزی ورودی برای تعریف سرعت یا دبی جرمی جریان با تمام خاصیت‌های اسکالر جریان در ورودی به کار می‌رود.

۱ | مشخصات منطقه میانی چاه عملیاتی شبیه‌سازی شده واقع در میدان نفتی اهواز

عمق (m)	قطر لوله حفاری (mm)	قطر چاه (mm)
۱۱۸۰	۷۶	۱۴۹



۲ | منطقه شبیه‌سازی شده چاه

۱-۴- شبکه عصبی مصنوعی^{۲۰}

در این بخش جهت سهولت دستیابی به پارامترهای مورد نظر کاربر شبیه‌ساز، با استفاده از شبکه عصبی میان اطلاعات ورودی شبیه‌سازی CFD و خروجی‌های حاصل از آن، ارتباط برقرار شده است به طوری که کاربر با صرف کمترین زمان به خروجی‌های شبیه‌سازی CFD دست یابد. در اینجا ۱۲ متغیر ورودی داریم و از ۱۵۰ داده جهت آموزش، ارزیابی و آزمایش شبکه استفاده شده است. در جدول ۲-۲ متغیرهای ورودی ارائه شده‌اند. در ضمن متغیرهای خروجی با توجه به اهمیت آنها شامل میزان حمل‌کننده، افت فشار گل حفاری به همراه کنده در آنالوس و تنش برشی وارده بر لوله حفاری می‌باشند.

با افزایش تدریجی تعداد نورون‌های لایه میانی، در نهایت شبکه‌ای با ۱۶ نورون در لایه میانی و ۳ نورون در لایه خروجی (به اندازه متغیرهای خروجی) انتخاب شده است. همان‌طور که در شکل ۴-۴ نشان داده شده است، با افزایش تعداد نورون‌های لایه میانی از ۱۰ به ۱۶، میانگین خطا به کمترین مقدار (۶/۸ درصد) می‌رسد و در ادامه با افزایش نورون‌ها به دلیل پیچیده شدن شبکه، میانگین خطا بالا می‌رود.

در اینجا ۷۰ درصد از داده‌های ورودی به منظور آموزش، ۱۵ درصد جهت ارزیابی و مابقی داده‌ها (۱۵ درصد) به منظور آزمایش شبکه مورد استفاده قرار گرفته است.

در شکل ۵-۵ هیستوگرام خطای سه مرحله‌ی آموزش، آزمایش و ارزیابی ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین خطا در حوالی نقطه صفر تمرکز دارد که نشان از دقت بالای شبکه است.

۱-۵- رابط گرافیکی کاربر

در این تحقیق نتایج حاصل از قسمت‌های قبلی جهت استفاده راحت کاربر به صورت گرافیکی و با استفاده از رابط گرافیکی نرم‌افزار متلب ۲۰۱۳ ارائه شده است.

۲- نتایج

در شکل ۸-۸ طرح کلی شبیه‌ساز جریان گل حفاری ارائه شده است که در ادامه به معرفی بخش‌های مختلف آن می‌پردازیم. به منظور دستیابی به پارامترهای خروجی، به یکسری اطلاعات ورودی نیاز داریم. در ابتدا مشخصات گل حفاری که از دستگاه ویسکومتر به دست می‌آید به همراه دما و فشار اعمالی بر گل در قسمت مربوطه آن در منوی نرم‌افزار وارد می‌شود. سپس، پارامترهای عملیاتی مورد نیاز (مانند: وزن گل و دبی حفاری، سرعت نفوذ مته حفاری، دانسیته و اندازه کنده‌های حفاری و سرعت چرخش لوله حفاری)، ورودی‌های

۲ | متغیرهای ورودی شبکه

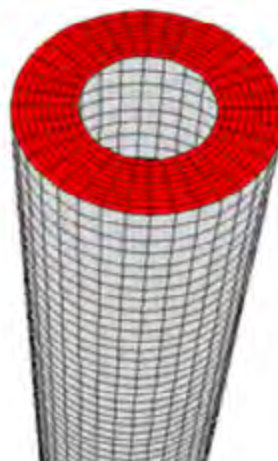
دبی جریان گل حفاری	دانسیته گل	سرعت چرخش لوله حفاری	زاویه انحراف چاه	غلظت کنده
قطر کنده	دانسیته کنده	پارامترهای مدل هرشل بالکلی (n, k, τ ₀) (۳متغیر)	دما	فشار



۴ | میانگین خطا برای شبکه عصبی مصنوعی با نورون‌های مختلف

لازمه جهت محاسبه افت فشار تجهیزات سطحی و محاسبه افت فشار نازل مته و در نهایت ابعاد چاه و لوله حفاری و همچنین زاویه انحراف چاه از کاربر خواسته شده است.

حال با اجرای نرم‌افزار، نتایج در قسمت مربوطه ارائه می‌گردد. در این قسمت PTR و Drill pipe erosion و Pressure drop (در آنالوس به صورت دوفازی) با استفاده از نتایج شبیه‌سازی CFD و به کمک شبکه عصبی مصنوعی ارائه می‌شود. در صورتی که سیال در آنالوس تک‌فاز



۳ | مقطع شبکه محاسباتی ایجاد شده بروی هندسه

در شکل‌های ۶-۶ و ۷ میزان دقت تابع انتقالی که جهت برقراری ارتباط میان ورودی و خروجی استفاده شده، نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب همبستگی برای آموزش داده‌ها ۰/۹۹۹۹۷، برای آزمایش ۰/۹۹۷۲۹ و برای ارزیابی ۰/۹۹۴۶۹ می‌باشد. همچنین ضریب همبستگی کلی برابر است با ۰/۹۹۸۸۴ که نشان از دقت بالای شبکه دارد.

کند. مینیمم جریان گل حفاری جهت حمل کننده‌ها با استفاده از رابطه ۵- محاسبه می‌شود. از طرفی، جهت تعیین مدل رئولوژیکی گل حفاری و پارامترهای مدل مربوطه، قسمتی جداگانه بدین منظور ایجاد شده است که از اطلاعات وارد شده در قسمت‌های قبلی استفاده می‌کند. به منظور اعتبارسنجی نرم‌افزار طراحی شده در این تحقیق، از داده‌های عملیاتی موجود استفاده شده است. در جدول ۳- مقایسه میان نتایج حاصل از این نرم افزار با داده‌های چندین چاه از میداين نفتی جنوب ایران ارائه شده است.

نتیجه گیری

در این تحقیق برای ایجاد محیط گرافیکی مناسب به منظور ارائه پارامترهای جریان گل حفاری در چاه از رابط گرافیکی نرم‌افزار متلب استفاده شد. در شبیه‌ساز طراحی شده سعی بر آن شد که نتایج ارائه شود که در سایر شبیه‌سازهای موجود وجود ندارد و هنگام عملیات حفاری به راحتی قابل دستیابی نیست.

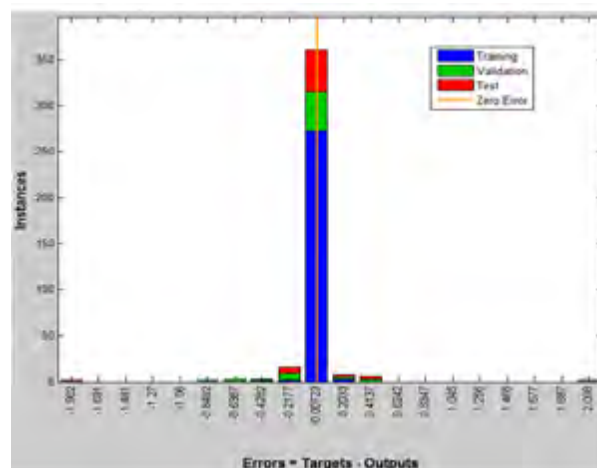
می‌توان نتایج را به صورت زیر جمع بندی کرد:

✓ سیالات حفاری در دمای پایین حمل کننده بهتری دارند و این، به دلیل افزایش ویسکوزیته ظاهری است که به صورت بالاتر بودن تنش تسلیم و ضریب ویسکوزیته به صورت کمی قابل مشاهده است.

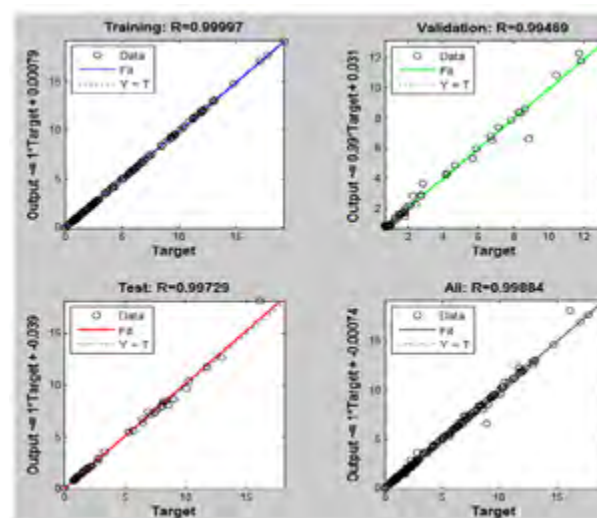
✓ کاهش فشار سیال، باعث کاهش حمل کننده می‌شود و این بدان جهت است که ویسکوزیته ظاهری سیال کاهش یافته و باعث افزایش سرعت نسبی میان دو فاز می‌شود. به عنوان مثال با افزایش فشار از ۰/۱ به ۱۰ مگاپاسکال در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، حمل کننده ۱/۵۶ درصد افزایش می‌یابد.

✓ نتایج حاصل از نرم‌افزار طراحی شده در این تحقیق از دقت بالایی برخوردار است به طوری که با مقایسه نتایج حاصل از آن با داده‌های میدانی، حداکثر ۸ درصد و به صورت میانگین ۵/۴ درصد اختلاف وجود دارد. ■

و بدون کنده (هنگام تعویض مته حفاری، قرار گذاشتن لوله جداری و...) باشد، از رابطه تجربی جهت محاسبه افت فشار استفاده می‌شود. افت فشار گل حفاری در لوله حفاری با استفاده از رابطه تحلیلی محاسبه می‌گردد. مجموع افت فشارهای سیستم گردش گل حفاری به عنوان فشار پمپ بیان می‌گردد تا کاربر با توجه به آن، دبی پمپ را مشخص



شکل ۵ | هیستوگرام خطای آموزش، تست و ارزیابی شبکه



شکل ۶ | مقدار ضریب همبستگی برای مراحل آموزش، آزمایش، ارزیابی و کل شبکه عصبی طراحی شده



شکل ۸ | نمای کلی شبیه‌ساز

Results			
	Samples	MSE	R
Training:	92	9.00501e-4	9.99967e-1
Validation:	20	1.17502e-1	9.94692e-1
Testing:	20	8.73798e-2	9.97289e-1

شکل ۷ | مقادیر ضریب همبستگی و میانگین مربع خطا برای آموزش، آزمایش و ارزیابی شبکه عصبی طراحی شده

۳ | مقایسه میان نتایج حاصل از نرم افزار با داده های عملیاتی

Depth (m)	Hole size (In.)	Drill pipe			Drill collars			Flow rate (GPM)	MW (pcf)	Pressure drop (PSI)	
		Length (m)	OD (In.)	ID (In.)	Length (m)	OD (In.)	ID (In.)			Operating data	Software result
۱۱۹۵	۸.۷۵	۹۸۳	۴.۵	۳.۵	۲۱۲	۶.۲۵	۲.۸۱۲۵	۴۵۳	۶۷.۳۲	۶۰۰	۵۵۶
۱۹۶۱	۸.۷۵	۱۷۵۷	۴.۵	۳.۵	۲۰۴	۶.۲۵	۲.۸۱۲۵	۴۵۳	۶۸.۰۷	۹۸۲	۹۴۱
۳۷۵۰	۶.۱۲۵	۳۴۹۵	۳.۵	۲.۹	۲۵۵	۳.۵	۲.۰۶۲۵	۲۰۹	۸۲.۲۸	۲۱۲۳	۲۲۳۳
۴۴۱۱	۶.۱۲۵	۴۱۵۰	۳.۵	۲.۹	۲۶۱	۳.۵	۲.۰۶۲۵	۱۹۲	۸۶.۴۰	۲۶۳۴	۲۷۵۰

پانویس ها

- | | | |
|------------------------------------|---------------------------------|---|
| 1. Millheim and Gaebler | 8. Liu | 15. Graphical User Interface |
| 2. Virtual Experience Simulation | 9. Rate of Penetration | 16. Particle Transport Ratio (PTR) |
| 3. Cooper | 10. Wang | 17. Moore |
| 4. Hareland | 11. Non productive time | 18. Semi Implicit Method for Pressure Linked Equation |
| 5. Drilling Optimization Simulator | 12. Computational Fluid Dynamic | 19. First order upwind scheme |
| 6. Geological Drilling Log | 13. Ansys Fluent | 20. Artificial Neural Network |
| 7. Salas | 14. Artificial Neural Network | |

منابع

- [1] K. Millheim and R. Huggins, "An engineering simulator for drilling," Parts I & II. papers SPE, vol. 12075, 1983.
- [2] G. A. Cooper, A. G. Cooper, and G. Bihn, "An interactive drilling simulator for teaching and research," Petroleum Computer Conference, vol. 1, 1995.
- [3] G. Hareland, R. Bratli, F. Stene, S. Fagereng, and T. Jorgensen, "Safe Mud Weight Window Predictor-Instantaneous, Pre-Planning and Post Analysis Software," in SPE Latin America/Caribbean Petroleum Engineering Conference, vol. 1, pp. 347-357, 1996.
- [4] J. G. Salas Safe, "Drilling optimization using drilling simulator software," Doctoral Dissertation, Texas A&M University, 2004.
- [5] P. Liu, "sensitivity analyses of drilling parameters affecting hydraulics, torque and drag, using a drilling software," Doctoral Dissertation, Texas A&M University, 2008.
- [6] K. Ayeni and S. Osisanya, "Evaluation of Commonly Used Fluid Rheological Models Using Developed Drilling Hydraulic Simulator," in Canadian International Petroleum Conference, vol. 1, pp. 347-357, 2004.
- [7] F. Shirkavand, G. Hareland, and W. Olson, "The Design and Development of a Drilling Simulator for Planning and Optimizing Under-Balanced Drilling Operations," Journal of Canadian Petroleum Technology, vol. 49, pp. 68-73, 2010.
- [8] E. GhasemiKafrudi and S. H. Hashemabadi, "Numerical Study on Effects of Drilling Mud Rheological Properties on the Transport of Drilling Cuttings," Journal of Energy Resources Technology, vol. 138, p. 012902, 2015.
- [9] Mohammadzadeh, K., S. H. Hashemabadi, and S. Akbari. "CFD Simulation of Viscosity Modifier Effect on Cutting Transport by Oil Based Drilling Fluid in Wellbore." Journal of Natural Gas Science and Engineering, Available online 11 November 2015.
- [10] H. Toreifi, H. Rostami, and A. K. Manshad, "New method for prediction and solving the problem of drilling fluid loss using modular neural network and particle swarm optimization algorithm," Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, vol. 4, pp. 371-379, 2014.
- [11] Y. Wang and S. Salehi, "Drilling Hydraulics Optimization Using Neural Networks," in SPE Digital Energy Conference and Exhibition, 2015.
- [12] B. H. Inteq, "Drilling engineering workbook. A distributed learning course", Baker Hughes INTEQ Inc, 1995.
- [13] Moore, Preston L. "Drilling practices manual.", Chap. 8., Tulsa, (1974).
- [14] U. H. Zeidler, "An experimental analysis of the transport of drilled particles," Society of Petroleum Engineers Journal, vol. 12, pp. 39-48, 1972.
- [15] C. Hopkins and R. Leicksenring, "Reducing the risk of stuck pipe in the Netherlands," in SPE/IADC Drilling Conference, 1995.
- [16] I. Ansys, "ANSYS FLUENT theory guide," Canonsburg, PA, p. 794, 2011.