فناوری‌های جدید شبیه‌سازی در صنعت حفاری چاه‌های نفت و گاز؛ مزایا و کاربردها

مجتبی کریمی زارچی

حفاری یکی از پرهزینه‌ترین عملیات‌ها در اکتشاف و توسعه مخازن نفت و گاز است. در بعضی مواقع سطح تجربهٔ پیمانکار و یا کارکنان در این صنعت پایین بوده و این مسائل ممکن است موجب بروز حوادثی گردد که در صورت توجه بیشتر می‌توان از وقوع آن جلوگیری کرد. از جمله مواردی که استفاده از آن در صنایع پرخطر و پرهزینه‌ای نظیر حفاری لازم است، شبیه‌سازهای حفاری است. اساسا استفاده از شبیه‌سازها در تمامی صنایع امروزی کاربرد داشته و در برخی از صنایع از لوازم اولیه موفقیت است.

صنایعی مانند صنعت هوافضا و صنایع نظامی، نیاز به استفاده از شبیه‌ساز را لازم دانسته و امروزه استفاده از روش‌های تخصصی در آموزش و انتقال این نوع از فناوری‌های جدید را حیاتی می‌دانند، اما در صنعت حفاری از شبیه‌سازی استفاده چندانی نمی‌شود. تنها استفاده از فناوری شبیه‌سازی در صنعت حفاری، آموزش کنترل چاه به روش‌های قدیمی در شرایط نشت گاز در چاه و جلوگیری از فوران چاه و انفجار، همچنین آموزش نحوه اداره کردن نسل جدید ابزارآلات خودکار حفاری می‌باشد. این موضوع نه‌تنها مشخص‌کننده کمبود بینش در استفاده از شبیه‌سازی در این صنعت است، بلکه نشان می‌دهد شبیه‌سازهای قدیمی توان و انعطاف‌پذیری لازم برای شبیه‌سازی فرآیندهای عملیات حفاری را ندارند. شکل (۱)، دو شبیه‌ساز سنتی و مدرن حفاری را نشان می‌دهد. شبیه‌سازهای مدرن امروزی توسط تیم‌های عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند تا تکنیک‌های حفاری و فرآیندهای حفاری را در یک محیط امن و کم‌هزینه تمرین و تجربه کنند. توانایی شبیه‌سازها الزاماً دقت آنها در پیش‌بینی شرایط ویژه چاه نیست، بلکه این شبیه‌سازها آمادگی تیم حفاری را جهت حفر چاه‌های جدید در مقابل شرایطی محتمل افزایش می‌دهد. همچنین فرصتی را مهیا می‌کند تا اطمینان حاصل شود که تیم حفاری در بالاترین سطح یادگیری است. این چشم‌انداز مخصوصاً هنگامی که یک عملیات جدید یا فناوری جدید به کار گرفته می‌شود مفید است.

یک شبیه‌ساز به عنوان یک وسیله، جایگزین فرآیندهای فیزیکی که تا اندازه‌ی زیادی شبیه همان وسیلهٔ فیزیکی عمل می‌کند، تعریف می‌شود. شبیه‌سازهای جدید عملیات حفاری هم اکنون در حال توسعه و ارتقاء هستند. آقای میلهمو گابلریک مفهوم ذهنی جدید از شبیه‌سازی با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری ارائه داده و آن را «شبیه‌سازی مجازی تجربه» نامیده‌اند [۲]. آنها با استفاده از داده‌های ۲۲ چاه حفاری شده، شبیه‌سازی ساخته‌اند که قادر است بازدهی عملیات حفاری را در یک چاه جدید پیش‌بینی نماید. کوپر و همکارانش، شبیه‌سازی را معرفی می‌کنند که قادر است نرخ نفوذ در لایه‌ها، سرعت حفاری و نرخ از بین رفتن دندانه‌های مته حفاری را بر اساس تابعی از نوع مته، نوع سنگ در حال حفاری و یکسری پارامترهای مربوط به عملیات، پیش‌بینی کند [۳]. هارلند، برتلی و رمپرسون نیز با پدید آوردن نرم‌افزار «شبیه‌ساز بهینه‌سازی حفاری» (DROPS) یک دیدگاه جدید را در شبیه‌سازی عملیات حفاری به وجود آوردند [۱]. این نرم‌افزار بر اساس داده‌های نمودارگیری چاه‌ها طراحی شده و داده‌های جمع‌آوری شده از چاه‌های قبلی به نرم‌افزار وارد می‌شوند.

شکل ۱- شبیه‌ساز سنتی کنترل چاه و شبیه‌ساز نوین حفاری

مزایای فناوری‌های شبیه‌ساز جدید

بازدهی و عملکرد عملیات حفاری بر اساس ترکیب تئوری‌های موجود در ریاضی و داده‌های آزمایشگاهی قابل پیش‌بینی است. شبیه‌سازهای حفاری می‌توانند به فرآیند آموزش مهندسین و حفاران شتاب داده و موجب افزایش استفاده از بهترین فناوری موجود شود. پس از حفر تعدادی چاه، تجربهٔ بدست آمده ضبط شده و مورد استفاده مجدد در شبیه‌ساز قرار می‌گیرد. شبیه‌ساز حفاری می‌تواند یک مدل کامل از فرایند حفاری تولید کند. بنابر این مهندسین حفاری و مخازن می‌توانند سناریوهای مختلفی را در نظر گرفته و با داده‌های جدید، نقشه‌ی حفاری را به‌روز کرده و به تبع آن تصمیمات نهایی را اتخاذ نمایند.

استفاده از شبیه‌ساز حفاری می‌تواند به طور مؤثری زمان فرآیند یادگیری را برای پیمان‌کار و کارفرما کاهش دهد. همچنین اجازه آزمایش ارتباطات و درک را در یک محیط بی‌خطر فراهم آورده و یک فرصت ایده‌آل برای آزمایش و بهبود شرایط اضطراری را مهیا می‌کند. کاهش هزینه‌ها نه تنها در بخش آموزش مکانیزه دکل مهم است، بلکه برای نحوه تکنیک‌های حفاری مانند (TTRD) و (ERD) نیز حائز اهمیت است. این تکنیک‌ها به روش‌های رایجی برای بسیاری از عملیات‌ها تبدیل شده است، گرچه هنوز در کشورمان روش نوینی محسوب می‌شوند.

سناریوهای آموزشی در شبیه‌ساز حفاری

ترکیبی از شبیه‌ساز با یک کارگاه تمام‌عیار می‌تواند یک پیشرفت منطقی را از کارگاه‌های «حفاری روی کاغذ» (DWOP) به «حفاری روی شبیه‌ساز» (DWOS) داشته باشد. در اینجا درگیری فیزیکی تیم در شبیه‌سازی خیلی بیشتر از زمان کار روی کاغذ و سر کلاس بوده و از تأثیر بیشتری برخوردار است.

حفاری با شبیه‌سازی (DWOS)

قبل از آنکه هرگونه شبیه‌سازی انجام شود، شبیه‌ساز با کلیه اطلاعات مرتبط با چاه و دکل که توسط اپراتور به دست می‌آید، برنامه‌ریزی می‌شود. اغلب این اولین زمانی است که همه داده‌های دکل و چاه ترکیب شده و شبیه‌ساز می‌تواند کمبودهای برنامه‌ریزی چاه را نشان دهد.

علاوه بر این، فرآیند حفاری و عملیات استاندارد، ثبت خطرات عملیات، دروس قبلی آموزش داده شده و روندهای خاص پروژه همه با هم توسط مسئول آموزش و تأسیسات تلفیق می‌شوند. این مسئله به شبیه‌ساز، پیمانکار و اپراتور اجازه می‌دهد تا درباره اهداف خاصی بحث کنند. بعد از تشکیل تیمی از افراد و قبل از حفاری چاه روی شبیه‌ساز، تیم‌های عملیاتی همراه با نماینده شرکت خدماتی، جلسه‌ای با نام «pre-spud» تشکیل می‌دهند. در اینجا تیم پروژه شامل تیم تحت‌الارضی، اطلاعاتی نظیر داده‌های چاه‌های مجاور را ارائه نموده و در مورد فراگیری از چاه‌های مشابه و هر فرآیند خاص دیگر بحث می‌شود.

در یک نوع از شبیه‌ساز حفاری، هنگامی که حفار با پارامترهای انتخاب شده حفاری می‌کند دیگر اعضای تیم می‌توانند مولفه‌هایی نظیر (RPM) و (ROP)، افزایش فشار هیدرواستاتیک ته چاه و چگالی گل چرخشی (ECD) را از شبیه‌ساز مشاهده کرده تا با مشاهده تغییرات، تخمین درستی از شرایط داشته باشند (مثلاً افزایش فشار پمپ، (torque)، و نیروی (overpull) در شبیه‌ساز نشان از ناقص تمیز شدن چاه دارد). همچنین در هنگام حفاری روی شبیه‌ساز، تیم‌های برنامه‌ریزی و نظارت می‌توانند تکنیک‌های مورد استفاده و دستورالعمل‌های اخذ شده را مرور کرده و به سؤالات زیر

پاسخ دقیقی دهند:
آیا تیم گردش گل عملیات تمیز کاری را به خوبی انجام داده است؟
چطور و کجا حفاری انحرافی انجام شده است؟
اگر نیاز به بسته شدن چاه شده است دلیل آن چه بوده است؟
آیا سیالی در لوله‌ها وجود دارد؟
آیا لوله‌ای (stuck) شده است، علت آن و راه آزاد شدن آن چیست؟
در پایان شبیه‌سازی، برنامه کاری با تمامی اجزا مرور می‌شود تا اطمینان حاصل شود که تمامی موضوعات مربوطه در نظر گرفته شـده وتمام قسمت‌ها به طور دقیق مشخص شـده‌اند. فعالیت کـردن در این برنامه کاری، نواقص و مشـکلات احتمالی از عملیات برطرف شـده، باعث شـتاب فرآیند یادگیری از طریق حذف کردن تمرینات ضعیف و جایگزیـن کردن آنها با بهترین تمرینـات و در نهایت بالابردن اعتمـاد به نفس افراد می‌شـود. قابل ذکر اسـت که هماهنگی میان تیم‌ها به اندازه مهارت‌های هر تیم مهم است. تیم‌ها باید از راه دور با یکدیگر ارتباط داشته باشند و از این فرصت در جهت بهبود دکل بهره ببرند.
نرم‌افزارهای شبیه‌سـاز می‌تواند در ارتباط با تجهیزات، توسـعه یابند و با استفاده از آن دنیای سه بعدی را به وجود بیاورند تا نیروی انسانی مرتبط بتواند تجربیات قبلی خود در مناطق عملیاتی را به صورت پیوسته بر روی شبیه‌ساز استفاده کند. چنین توانایی آموزش جامع و واقعی را فراهم می‌کند. شبیه‌سازها شرایط واقعی محیط اطراف را بازتاب می‌کنند که باعث موفقیت بیشتر برای آموزش خواهد بود.

تجسم‌سازی

فنـاوری (visualization) یا تجسم‌سـازی به یکی از ابزارهـای مهم مباحث زمین‌شناسـی و ژئوفیزیک برای دیدن و تفسـیر داده‌های لرزه‌شناسـی، لاگ‌های سه بعـدی، مدل‌های (geocellular)، گریدها، چاه‌های افقی و تعیین موقعیت چاه تبدیل شده است. حفاری انحرافی نیز از به تصویر کشیدن موقعیت پیچیده چاه در سه بعد سود می‌برد. با این حال، در حال حاضر در صنعت حفاری چندان بهره‌ای از این فناوری پرسود برده نشده است. تفسیر چشم‌اندازهای سه بعدی می‌تواند برای نشان دادن محیط داخل چاه و تصویر انحنای چاه، خرده‌های سـنگ بسـتر، لوله حفاری (انحراف از مرکز چاه)، پروفایل سـرعت در محیط حلقوی، سـازند (بافت، زبری و غیره)، پارامترهای مهندسی ته چاه (دما، فشـار) و ابزار ته چاه به کار رود. شـرکت اینتلیجنس نرم‌افزاری ارائه کرده است که به صورت خودکار در پیدا کردن، نمایش و تشخیص ناهنجاری‌ها و مشکلات هیدرولیکی کمک می‌کند. داده‌های شبیه‌سازی شده با استفاده از یک برنامه هیدرولیکی پیشرفته فراهم شده و یک مدل به نگام طوری برنامه‌ریزی می‌شود که شامل پارامترهای دیگر حفاری و چاه باشد. کاربردهای اولیه بر روی موقعیت چاه در مخازن پیچیده و حفاری هدایتی تمرکز می‌کرد تا بتواند انحنای چاه را کنترل و از برخورد آنها در سکوهای (multi-well) جلوگیری کند. اما اکنون از تصویربرداری سـه‌بعدی اسـتفاده می‌شود تا کشف مشکلات حفاری را سریع‌تر و ساده‌تر و بین داده‌های عملیاتی حفاری و مدل‌های زمین ارتباط برقرار کند. در ادامه به دو نمونه از شبیه‌سازهای نوین حفاری اشاره می‌شود:

الف- نرم‌افزار شبیه‌ساز «آموزش حفاری و دکل پیشرفته» (DART)

ظرفیت‌های نرم‌افزاری با توجه به تهیه‌کنندگان شبیه‌سـازها متفاوت است. در هر صورت شبیه‌ساز (DART) می‌تواند به طور مؤثر در سه ناحیه اصلی فعالیت کند:
۱- شکل دکل و تأسیسات سطح الارضی
۲- طراحی چاه
۳- خصوصیات سازند و مخزن
بدون تغییر محیط سـه بعدی، این نرم‌افزار می‌تواند برای کاربردهای خاص بهینه شود، فقط با تغییر متغیرهایی نظیر: سیستم گردش گل حفاری، (BOP) و ساختار چوک، تعداد و خصوصیات پمپ، پارامترهای سیسـتم قدرت و محدودیت‌های سیستم (hoisting). از جمله مزایای شبیه‌سـاز (DART) طراحی چاه است. قبل از هر شبیه‌سازی، نرم‌افزار برنامه‌ریزی می‌شـود تا چاه را همان‌گونه که مهندس حفار می‌گوید در نرم‌افزار طراحی شـود. ورودی‌های اصلی طراحی چاه شامل هندسه چاه، شکل (casing)، خصوصیات گل حفاری، پیکربندی لوله‌های حفاری، موقعیت (jar) و نوع مته اسـت. سپس داده‌ها توسط نرم‌افزار استفاده می‌شود تا پارامترهای مناسب مثل حجم، فشار گل در چرخش، نیروهای کشش و گشتاور را محاسبه کند. خصوصیات کلیدی سازند و مخزن می‌تواند برنامه‌ریزی شـود تا پاسـخ مناسـب به عملکردهای خاص خدمه در طـول حفاری از میان سـازندها و منطقه‌های مخزنی با خصوصیات زمین‌شناسـی متفاوت داده شـود. نیازمندی‌های اصلی قابل برنامه‌ریزی عبارتند از:
- عمق سازند
- فشار سازند و گرادیان شکاف
- قدرت سنگ و نرمی
- گرادیان حرارتی زمین
- خصوصیات سیال مخزنی یا سازند(آب/گاز/نفت)
- تخلخل
- راستا و شیب سازند
- شکستگی‌ها، منطقه‌های (kick/loss)
- شبیه‌سازی و نقش آن در طراحی چاه

اگرچه شبیه‌سازهای حفاری در ابتداء برای شبیه‌سازی لوله‌گذاری و عملیات کنترل چاه طراحی شده بودند، توسعه نرم‌افزارهای برنامه‌نویسی، اجازه شبیه‌سازی عملیات حفاری و مشـکلات معمول حفاری را به طور مؤثـر می‌دهد. این نتایج در پارامترهای خروجی مانند فشار پمپ، وزن هوک، گشتاور چرخشی، نرخ تولید و غیره به طور محسوس خود را نشان داده و این قابلیت را به حفار می‌دهد که بر روی دکل، رفتار آن‌ها را به طور دقیق مشـاهده کند. این توانایی برای دوباره تولید کردن این واقعیت بستگی به نتایج حاصل از ابزارهای برنامه‌ریزی طراحی دارد. البته نیاز به تأکید اسـت که شبیه‌سـازهایی مانند (DART) نمی توانند جایگزین ابزارهای اختصاصی طراحی و برنامه‌ریزی چاه شوند. یک ابزار طراحی چاه محاسـبات مربوط به پارامترهای(گشـتاور، فشار پمپ، خرده‌ها و غیـره) را برای کل ناحیه انجام می‌دهد. در هر صورت، شبیه‌سـازها تغییرات دینامیکی در این پارامترها را در یک عمق مشخص هنگامی که پمپ در حال کار بوده و دستگاه چرخانی درگیر و حفاری با وزن روی مته در حال پیشروی است، دوباره تولید می‌کند.

مطالعه موردی استفاده از شبیه‌ساز (DART)

شبیه‌سـاز (DART) یک نسخه تمام عیار از کابین کنترل دکل مدرن فراساحل، کامپیوترهای سایبر به همراه جایگاه حفار و کمک حفار است. کابین کنترل به مانیتورهای مجهز اسـت که ۵۰ فوت طول دارند که محیط دکل حفاری و خود تجهیزات دکل به صورت سـه بعدی در آن تصویر می‌شود. همان طور که حفار، تجهیزات حفاری را اداره می‌کند، شبیه‌سازها در سطح دکل حرکات و صداهای موجود را برای حفار- همان طور که اگر حفار در دکل بود می‌شنید و می‌دید- بازسازی می‌کنند.
شرایط ته چاهی با هندسه چاه، شرایط زمین شناسی، فشار، سیالات و شکل لوله جداری در شبیه‌ساز برنامه‌ریزی شده است. مدل نرم‌افزار اثرات مخزن و چاه را بر روی صفحه نمایش‌هـای تصویری ترجمه می‌کند. ترکیبی از شبیه‌سـازهای سـطح و درون‌چاهی، حفاری ایمن و کم‌هزینه برای محیط زیست را به ارمغان می‌آورد. در اواخر سال ۱۹۹۰، نسـل جدیدی از تجهیزات حفاری و لوله‌های کامل مکانیزه وارد عرصهٔ حفاری شدند. این تجهیزات به وسـیله افرادی که فقط تجربه کار با دستگاه‌های دستی داشتند، اداره می‌شد. در ابتدا، کارکرد کندتر از دستگاه‌های دستی و عادی بود و رفته رفته افراد کار با این دستگاه را آموخته و با کامپیوترها و صندلی‌های سایبر آشنایی پیدا کردند.
شـکل (۲) شبیه‌سـاز (DART) نصب شده در سـال ۱۹۹۹ در آبردین استرالیا جهت آموزش به خدمه حفار را نشان می‌دهد. از آن زمان تا کنون این شبیه‌ساز مورد استفاده قرار گرفته و هم اکنون جهت آموزش در شـرایط فراساحل مورد استفاده قرار می‌گیرد. اخیراً تجهیزاتی نزدیک باکو پایتخت آذربایجان نصب شده است که می‌تواند ۵ چاه در دریای خزر را روی کامپیوترهای سـایبر شبیه‌سـازی کند (شـکل ۳). در ابتدا کار روی عملیات‌هـا، صلاحیت برای افراد روی دکل و آموزش کنترل فوران چاه تمرکز می‌کرد. سـپس این تمرکز به سـمت بهینه کردن و ارتقا کیفی مهندسـین حفار، کار گروهی، کارگاه‌هـای حفـاری روی کاغـذ، دوره‌هـای (stuck pipe) و دوره‌های (TTRD) پی‌گیری شـد. شبیه‌سـاز (DART) هم اکنون به صورت منظم توسط چندین اپراتور برای برنامه‌های آموزشی مهندسین حفار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ب- نرم‌افزار شبیه‌ساز حفاری (DROPS)[1]

ویژگی‌های این نرم‌افزار به شرح زیر است:

۱- ایجـاد «نمـودار مقاومت ظاهری سـنگ» (ARSL) کـه کاربردهای (ARSL) عبارتند از:

تعیین پروفایل پایداری چاه که برای کاهش ایجاد collapse و گیر کردن لوله‌ها و هدر رفتن گل اهمیت دارد.

تعیین قابلیت چرخش ۳ بعدی؛ که برای هدایت مؤثرتر مسیر چاه مفید است.

اسـتفاده در شبیه‌سازی حفاری که به همراه (casing) ها، مسیر چاه، نوع حفاری، نوع گل و مته و شرایط عملیاتی شبیه‌سازی انجام می‌شود.

۲- ارزیابی بهنگام شرایط حفاری

۳- تحلیل شرایط حفاری‌های آینده

آموزش صحیح باعث بیشترشـدن اهداف تأسیسات سـطح الارضی، پربار شدن نتایج حفـاری، و افزایـش عمر دکل می‌گردد. این فواید نشـان‌دهنده ارزش عملیات حفاری شبیه‌سازی شده می‌باشد. از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز حفاری مانند « DROPS» می‌توان در پیش‌بینی عملکرد حفاری، انتخاب مناسـب مته، وزن روی مته و سرعت چرخش و همچنین انتخاب بهینه گل حفاری برای کاهش هزینه‌ها استفاده کرد.

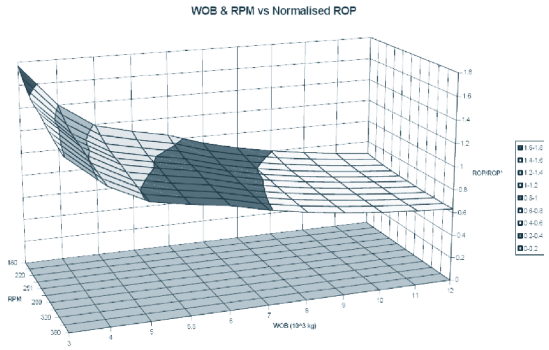
شکل ۲- شبیه‌ساز DART در آبردین استرالیا نصب شده در سال ۱۹۹۹

شکل ۳- تجهیزات آموزش نرم‌افزار DART، نصب شده در باکو- آذربایجان

در طول ۸ سـال، (DROPS) بر روی چاه‌های متفاوتی در دریای شمال به کار گرفته شده است و نتایج خوبی نیز به همراه داشته است. این شبیه‌ساز بر اساس مدل‌های نرخ نفوذ عمل می‌کند و از داده‌های حفاری انحرافی با استفاده از مدل معکوس حفاری برای بدست آوردن ARSL اسـتفاده می‌کند. از ARSL در طراحی مته، تعیین پارامترهای عملیاتی و وزن و فشـار و نرخ جریان گل برای به‌دسـت آوردن کمترین هزینه اسـتفاده می‌شود. این نرم‌افزار تأثیر نسـبی تغییرات وزن روی مته و سـرعت چرخش را بر روی معکوس نرخ نفوذ (ROP/۱) بررسـی می‌کند (شـکل ۴). تجربه بر روی چاه‌های متفاوت نشان داده‌است که این شبیه‌سازها با دقت خوبی کار می‌کنند و با پیشرفت حفر چاه‌ها شبیه‌ساز می‌تواند (ROP) را در چاه‌های دیگر پیش‌بینی کند. در حال حاضر، از شبیه‌ساز به عنوان پیش‌برنامه‌ریز، ارزیابی روزانه و آنالیز بعد از اتمام حفاری استفاده می‌شود. استفاده از شبیه‌ساز در حین حفاری، راه حل مناسبی برای رفع اشکالات و تصحیح داده‌های فرض‌شده است. نتیجه‌گیری کلی این است‌که شبیه‌ساز یک ابزار قدرتمند در عملیات حفاری واقعی است و انتقال تجربه از حفاری در یک چاه به چاه دیگر را افزایش می‌دهد.

مطالعه موردی استفاده از شبیه‌ساز دراپس در دریای شمال

این نرم‌افزار بر روی چاه‌هایی در دریای شمال مورد استفاده قرار گرفت تا نرخ نفوذ و سرعت حفاری را متناسب با ساختار زمین‌شناسی و نوع مته و سایر مولفه‌های حفاری تا حد امکان پیش‌بینی کرده و سرعت حفاری را بهینه کند.



شکل ۴- معکوس نرخ نفوذ در مقابل وزن روی مته و سرعت چرخش

نتایجی که در استفاده از این نرم‌افزار به دست آمد، به قرار زیر است:

۱- استفاده از (DROPS) تأثیر زیادی بر روی پیشرفت نمودارها برای مناطق جدید دارد.

۲- استفاده از این شبیه‌ساز نشان داد که میزان صرفه‌جویی اقتصادی تا حدود ۳۰ درصد امکان‌پذیر است.

۳- این نرم‌افزار توان برنامه‌ریزی بهتر را فراهم کرده و تأثیرات واقعی پارامترهای ممکن را بر روی قیمت نهایی نشان می‌دهد.

۴- اسـتفاده از ایـن نرم‌افزار در انتخاب مته، عمق تعویض متـه و پارامترها به صورت مقطع به مقطع برای افزایش عملکرد و کاهش هزینه، همچنین انتخاب صحیح مته و پارامترهای عملیاتی موثر است.

۵- در اسـتفاده از (DROPS) حتی با تمرکز بر روی محدودیت‌ها مثل پایداری چاه و غیره، بهینه‌سازی (ROP) برای کاهش هزینه و زمان به خوبی امکان‌پذیر است.

۶- (ARSL)محدوده کاربرد زیادی شـامل پایداری چاه و بهینه‌سـازی حفاری دارد. ورودی مورد نیاز برای تولید آن به طوری که استفاده می‌شود، گران نیست و در چاهی که لاگ موجود نیست نیز قابل تولید است.

جمع‌بندی

در این مقاله اهمیت شبیه‌سـازهای حفاری بیان شـد و نقش شبیه‌سازهای نوین حفاری را در بهینه کردن زمان و سرعت حفاری و در نتیجه هزینه‌های تولید نفت نشان داده شـد. امروزه کمتر شرکت فعال نفتی اسـت که از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی حفاری برای توسعه خود بهره نبرده باشد. دلیل آن‌هم همان گونه که در متن اشاره شد، پرخطر بودن و هزینه داشـتن حفاری بدون شبیه‌سـازی اسـت. یکی از مسائلی که در صنعت حفاری کشورمان بهتر است مورد توجه و عنایت ویژه قرار گیرد، آموزش خدمه و پرسنل حفاری و تجهیز صنعت حفاری با حداقل یک نرم‌افزار شبیه‌سـاز قوی اسـت که گرچه هزینه‌هایـی را در بدو امر ایجاد می‌کند، اما اثرات و برکات قابل توجهی را نصیب آینده این صنعت و نیروی انسانی فعال در این زمینه می‌کند.

منابع:

1- “Eight Years Experience with a Drilling Optimization Simulator in the North Sea”, R. Nygaard and G. Hareland, Drops Technology, Y. Budiningsih, Conoco Indonesia, H.E. Terjesen, Statoil ASA and F.Stene, Norsk Hydro ASA, IADC/SPE 77247

2- “Advanced drilling simulators offer realistic models to reduce crews’ learning curve” By Roger Hodgson, P Hassard, KCA DEUTAG Drilling Ltd, Newsitem 29 IADC Drilling Contractor July 06

3- “DRILLING OPTIMIZATION USING DRILLING SIMULATOR SOFTWARE”, A Thesis by JOSE GREGORIO SALAS SAFE, Texas A&M University May 2004