



شبهه‌سازهای متداول مخزن در ایران؛ نقاط قوت و ضعف

ابراهیم شریفی دارانی^۱ ■ شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

مقدمه

امروزه مطالعات جامع مخازن با به کارگیری شبهه‌سازها یکی از دقیق‌ترین روش‌های پیش‌بینی عملکرد مخزن و برآورد ذخیره آن است. به علاوه نقش شبهه‌سازی در کمی کردن عدم قطعیت^۲ و آنالیز اقتصادی بر کسی پوشیده نیست. اطمینان از نتایج شبهه‌سازی تا حدی است که مؤسسات سرمایه‌گذار در حوزه نفت مانند بانک‌ها برای اطمینان از سرمایه‌گذاری خود، از نتایج شبهه‌سازها استفاده می‌کنند.

ایران به عنوان یکی از بزرگترین کشورهای دارای ذخایر نفتی دنیا به داشتن مخازن کربناته پیچیده و شکاف‌دار مشهور است. به علاوه اکثر مخازن بزرگ ایران به نیمه دوم عمر خود رسیده و ضرورت تصمیم در مورد روش ازدیاد برداشت^۳ از این مخازن هر روز بیشتر احساس می‌شود. با توجه به این موارد شبهه‌سازی دقیق مخازن کشور امری اجتناب‌ناپذیر و بسیار مهم می‌نماید. مهم‌ترین ویژگی مخازن جنوب‌غربی ایران که عمده تولید نفت کشور از آنها صورت می‌گیرد سیستم شکاف

بسیار گسترده و پیچیده‌ای است که نمودارهای تصویرگر در برخی نواحی آنها تا ۲۰ شکاف در هر متر از چاه را ثبت کرده‌اند. این سیستم شکاف گسترده باعث وجود تراوایی به شدت جهت‌دار در مخزن شده و شبهه‌سازی توسط مدل‌های موجود را مشکل می‌کند. در چنین شرایطی چاه‌ها در مخزن افت فشار ناچیز و تولید بالایی دارند و تولید چاه به طور مستقیم به شبکه شکاف اطراف آن وابسته است. هم‌چنین وجود نواحی بدون شکاف در مخزن و گسل‌های پیچیده آن باعث وجود نواحی فشاری و تعادلی متعدد در برخی مخازن شده که بر پیچیدگی شبهه‌سازی آنها می‌افزاید.

شرایط بین‌المللی چند سال اخیر که باعث قطع یا دشواری ارتباط میان شرکت‌های تولیدکننده نرم‌افزارهای شبهه‌سازی دنیا با صنعت نفت ایران شده، دشواری‌هایی را در مسیر استفاده از این شبهه‌سازها ایجاد کرده است. هم‌چنین با ویژگی‌هایی که از مخازن ایران بیان شد، روش‌های مرسوم در شبهه‌سازهای تجاری موجود نیز نمی‌تواند پاسخگوی تمام نیازهای مطالعه این

مخازن باشد. موارد عنوان شده، ضرورت پژوهش برای تولید شبهه‌ساز مناسب جهت مطالعه مخازن ایران را بر همگان آشکار می‌سازد.

مرحله اول انجام چنین پژوهشی، شناخت نرم‌افزارهای موجود شبهه‌سازی در بازار ایران و بررسی نقاط قوت و ضعف آنها است. در همین راستا در نوشتار حاضر سعی شده تا مقدمه این شناخت ایجاد شود؛ لذا مقایسه‌ای بین شبهه‌سازهای متداول در صنعت نفت ایران صورت گرفته و نقاط قوت و ضعف هر یک در مدل‌سازی پدیده‌های رایج در مخازن ایران بررسی شده است. شایان ذکر است از آنجا که شبهه‌سازهای تجاری موجود قادر به مدل‌سازی پدیده‌های زیاد و پیچیده‌ای هستند که هم‌اکنون در مخازن ایران مصداق ندارد، از مقایسه شبهه‌سازها در این موارد خودداری شده است. از جمله این فرآیندها می‌توان به مدل‌سازی روش‌های ازدیاد برداشتی از نوع تزریق پلیمر، حلال، فوم و روش‌های مربوط به مخازن فوق سنگین اشاره کرد.

۱- تاریخچه ایجاد نرم افزارهای مدل سازی مخازن در ایران

دهه ۷۰ میلادی را می توان درخشان ترین سال های تولید نرم افزارهای مدل سازی مخازن در ایران دانست. شرکت OSCO که نماینده شرکت ملی نفت ایران در تولید از مخازن کشور بود، تفاوت مکانیزم های حاکم بر مخازن ایران را درک کرده، درصدد توسعه نرم افزارهایی برای مطالعه این مخازن برآمد. البته این شرکت خود را به یک روش مدل سازی نیز محدود نکرد، به نحوی که به طور مثال تنها برای مطالعه موردی یکی از مخازن که پیش بینی ها نشان از سه فازی شدن حرکت سیالات در آن داشت، دست به توسعه نرم افزاری مبتنی بر موازنه مواد زد که هنوز هم تنها نرم افزار از نوع خود در دنیا است. حاصل تلاش های این شرکت باعث به وجود آمدن نرم افزارهایی مانند «مدل سه بعدی ماسه سنگی»، «مدل سه بعدی تخلخل دو گانه»، «مدل موازنه مواد مخازن شکاف دار»، «مدل بلوک های انباشته» و چندین نرم افزار دیگر شد. این نرم افزارها به طور عمده با نگاهی به تحقیقات صورت گرفته در خصوص مکانیزم های موجود در مخازن ایران به خصوص ریزش ثقیلی نفت-گاز و پدیده های بلوک به بلوک توسعه داده شده اند و بعضی از آنها هم اکنون نیز در شرکت مناطق نفت خیز جنوب استفاده می شوند. به طور مثال نرم افزار «موازنه مواد مخازن شکاف دار» که توسط آقای استوارت ایونز نوشته شده، در مدل سازی مخازن شکاف دار دقت قابل قبولی (حتی در مقایسه با شبیه سازی های تجاری کنونی) دارد. این دقت به ویژه در مواقعی که اطلاعات کمتری از مخزن و سیستم شکاف آن در دست است بیشتر به چشم می خورد.

پس از انقلاب اسلامی و خروج شرکت های خارجی، توسعه این نرم افزارها که برخی از آنان هنوز نهایی نشده بودند متوقف شد. وقوع جنگ تحمیلی و شرایط حساس شرکت ملی نفت ایران در آن سال ها مجالی برای توسعه نرم افزارهای جدید باقی نگذاشت و نرم افزارهای توسعه داده شده موجود نیز به روز نشدند. بدین ترتیب با وجود اینکه شرکت ملی نفت ایران خود صاحب تعدادی

از اولین شبیه سازی های نوشته شده دنیا بود، ناگزیر به استفاده از شبیه سازی های وارداتی شد. این شبیه سازی ها که از لحاظ قدمت حتی جوان تر از شبیه سازی های موجود در ایران بودند، به دلیل پشتیبانی و توسعه مداوم تبدیل به شبیه سازی های تجاری و شناخته شده در سطح دنیا شدند و صنعت نفت ایران نیز ناگزیر به استفاده از آنها شد.

۲- شبیه سازی های وارداتی موجود

هم اکنون سه شرکت در بازار رقابتی شبیه سازی های مخازن ایران حضور دارند که به ترتیب سهمشان از بازار ایران عبارتند از:

• شرکت شلمبرژه با خانواده شبیه سازی های Eclipse شبیه سازی Eclipse توسط شرکت ECL و در دهه ۸۰ میلادی توسعه داده شد. این شبیه سازی پس از مدتی توسط شرکت شلمبرژه خریداری و به یکی از رایج ترین شبیه سازی های دنیا تبدیل گردید. به علاوه شرکت شلمبرژه یک تیم بزرگ توسعه دهنده را نیز مسئول به روزرسانی و رفع اشکالات آن کرد و با داشتن شبکه وسیعی از نیروهای پشتیبان در سراسر دنیا، این شبیه سازی را در تمام شرکت های دنیا به نرم افزاری فراگیر تبدیل نمود. Eclipse هم اکنون یکی از متداول ترین شبیه سازی ها در شرکت های نفتی دنیا است.

• شرکت CMG با شبیه سازی های IMEX و STARS

شرکت CMG در سال ۱۹۷۸ و توسط دکتر خالد عزیز، استاد دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه Calgary کانادا به منظور توسعه شبیه سازی مخزن تأسیس شد و از همان زمان تحت پشتیبانی علمی این دانشگاه قرار گرفت. این شرکت طی ۱۹ سال نخست فعالیت خود، مؤسسه ای غیرانتفاعی بود که با پشتیبانی دولت کانادا و برخی از بزرگ ترین شرکت های نفتی دنیا از جمله شرکت ملی نفت ایران اداره می شد. در مقابل، این شرکت تمام جزئیات توسعه نرم افزارها را در اختیار سرمایه گذاران می گذاشت که گزارش های آن نیز هم اکنون در مناطق نفت خیز جنوب موجود است. شرکت CMG در سال ۱۹۹۷ با تغییر نوع شرکت به شرکتی تجاری، رسماً اقدام به فروش نسخه های تجاری نرم افزار خود کرد و از آن زمان تاکنون توانسته سهم قابل توجهی از بازار را به

خود اختصاص دهد.

• شرکت Beicip Franlab با شبیه سازی PumaFlow

شرکت Beicip نیز که توسط دانشگاه IFP فرانسه تأسیس شده، وظیفه توسعه و بازاریابی برای شبیه سازی معروف این دانشگاه با نام Athos را به عهده گرفته است. این شرکت هم اکنون ضمن تغییر نام شبیه سازی به PumaFlow آن را به همراه بسته کاملی از نرم افزارهای آنالیز و شبیه سازی مخزن به فروش می رساند.

هم اکنون با وجود حضور هر سه شرکت یاد شده در ایران، بیشتر مطالعات شبیه سازی توسط شبیه سازی Eclipse انجام می شود. به نحوی که در سال های اخیر به جز یک یا دو مورد تمام مطالعات جامع تعریف شده در مناطق نفت خیز جنوب توسط این شبیه سازی انجام شده اند. این دو مورد هم توسط شبیه سازی شرکت CMG مطالعه شده و شبیه سازی شرکت Beicip تاکنون نتوانسته سهمی از مطالعات را به خود اختصاص دهد.

۳- قابلیت ها و نقاط قوت شبیه سازی ها

۳-۱- خانواده شبیه سازی های Eclipse

این شبیه سازی به دلیل سابقه طولانی و اینکه توسط شرکت های بزرگ و معتبری برای انواع مخازن مورد استفاده قرار گرفته است، به نوعی امتحان خود را در حل مسائل مهندسی مخازن پس داده و در برخی کشورها به شبیه سازی استاندارد و مبنای تصمیم گیری بانک ها و مؤسسات سرمایه گذاری تبدیل شده است. این شبیه سازی دارای یکی از بهترین پشتیبانی ها در دنیا است؛ به نحوی که علاوه بر کتابچه های راهنمایی که با نام های Reference Manual و Technical Description انتشار یافته اند و به تنهایی تمام نیازهای کاربر را برآورده می کنند، تیم پشتیبانی شلمبرژه نیز با تربیت مهندسان پشتیبان و اعزام آنان به سراسر جهان زمینه استفاده راحت تر کاربران را از این نرم افزار فراهم کرده است.

خانواده شبیه سازی های Eclipse دارای چهار شبیه سازی با نام های اکلیپس نفت سیاه^۴، اکلیپس ترکیبی^۵، اکلیپس حرارتی^۶ و FrontSim می باشد که به ترتیب برای شبیه سازی با روش نفت سیاه، ترکیبی و حرارتی توسط روش تفاضل محدود^۷ و



روش خطوط جریان^۸ توسعه داده شده‌اند.

مهم‌ترین موارد برتری این شبیه‌ساز برای مطالعه مخازن ایران در زیر آورده شده است:

الف) همان‌گونه که گفته شد مهم‌ترین برتری این شبیه‌ساز پشتیبانی گسترده شرکت شلمبرژه است. این پشتیبانی علاوه بر اینکه باعث سهولت استفاده از آن توسط کاربران شده، با انتقال تجربیات، اشکالات و نیازهای شرکت‌های نفتی استفاده‌کننده به تیم توسعه‌دهنده شلمبرژه، باعث رفع اشکالات درونی شبیه‌ساز و وجود امکانات متنوع در آن شده است.

ب) نقطه قوت دیگر این شبیه‌ساز روش مؤثر آن در گزارش خطاهای هنگام اجرای مدل به کاربر است. متن خطاهای این شبیه‌ساز از گویاترین متون در بین رقبای آن است؛ به نحوی که در اکثر مواقع کاربر تنها با داشتن متن اشکال و مراجعه به کتابچه راهنما می‌تواند به تنهایی مشکلات موجود در فایل داده را برطرف کند.

ج) این خانواده شبیه‌ساز بر خلاف دو رقیب خود دارای شبیه‌سازی از نوع خطوط جریان است که به کاربر توانایی اجرای مدل ریزدانه جهت صحت‌سنجی روش درشت‌نمایی خواص^۹ سلول‌ها را می‌دهد.

د) سرعت اجرای این شبیه‌ساز قابل قبول بوده و توانایی آن در استفاده از هسته‌های پردازشی رایانه توسط قابلیت اِکلیپس موازی^{۱۱} بر این برتری افزوده است. البته در استفاده از قابلیت موازی این شبیه‌ساز محدودیت‌هایی وجود دارد که در بخش نقاط ضعف به آنها اشاره خواهد شد.

ه) پشتیبانی این شبیه‌ساز از نوع خاصی از شبکه‌های بی‌سازمان^{۱۱} به نام PEBI بوده و هم‌چنین امکان اجرای مدل توسط تنسور کامل تراوایی^{۱۱} نیز یکی از برتری‌های این شبیه‌ساز به شمار می‌رود که امکان مدل‌سازی مخازن پیچیده مانند مخازن ایران را فراهم می‌سازد.

و) این شبیه‌ساز هم‌چنین قادر به استفاده از روش نه نقطه‌ای در گسسته‌سازی معادلات، توسط روش تفاضل محدود است که می‌توان از آن برای کاهش میزان خطای به وجود آمده بر اثر راستای سلول‌های شبکه استفاده نمود.

۲-۲- خانواده شبیه‌سازهای شرکت CMG

شرکت CMG به دلیل پشتوانه آکادمیک قوی در بسیاری از موارد مبدع روش‌های مدل‌سازی جدید و پدیده‌های نوظهور در مخازن بوده است. این مسأله به ویژه در مدل‌سازی پدیده‌های مرتبط با روش‌های ازدیاد برداشت و حرارتی توسط شبیه‌سازهای ترکیبی و حرارتی این شرکت بیشتر به چشم می‌خورد. این شرکت دارای سه شبیه‌ساز با نام‌های GEM، IMEX و STARS است که به ترتیب برای شبیه‌سازی با روش نفت سیاه، ترکیبی و حرارتی توسعه داده شده‌اند.

مهم‌ترین برتری‌های این خانواده شبیه‌ساز در مطالعه مخازن ایران به شرح زیر است:

الف) پیاده‌سازی مؤثر روش تقسیم عمودی بلوک‌های ماتریس معروف به Sub-Domain برای مدل‌سازی دقیق فرآیند ریزش ثقلی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این شبیه‌ساز است که در دو شبیه‌ساز دیگر با این دقت وجود ندارد. این قابلیت که امکان شبیه‌سازی دقیق مهم‌ترین مکانیزم رایج در مخازن شکاف‌دار ایران را فراهم کرده، بیان‌گر کاربرد مؤثر این شبیه‌ساز برای مطالعه این‌گونه مخازن است.

ب) ویژگی دیگری که در این شبیه‌ساز به خوبی پیاده شده و مورد آزمایش نیز قرار گرفته، توانایی مدل‌سازی فرآیندهای موسوم به بلوک به بلوک^{۱۲} است. این شبیه‌ساز از طریق روشی به نام SDDK^{۱۴} توانسته علاوه بر مدل‌سازی فرآیند جذب مجدد^{۱۵}، پوستگی موئینگی^{۱۶} بین بلوک‌های ماتریس را نیز به صورت کامل و جزئی شبیه‌سازی کند.

ج) داشتن ویژگی شبکه‌بندی دینامیک^{۱۷} نیز یکی از برتری‌های این شبیه‌ساز است که دو رقیب دیگر فاقد آن هستند. این قابلیت به شبیه‌ساز اجازه می‌دهد اندازه سلول‌ها را مطابق فرآیندی خاص در مخزن تغییر داده و استفاده از آن باعث تسریع در اجرای مدل مخازن بسیار بزرگ خواهد شد.

د) این شبیه‌ساز نیز توانایی اجرا به صورت موازی بر روی چندین هسته پردازشی را دارد که البته به اندازه Eclipse مورد آزمایش قرار نگرفته است.

۳-۳- شبیه‌سازهای شرکت Beicip

شرکت Beicip دارای یک بسته کامل نرم‌افزاری در زمینه مدل‌سازی مخزن است که در این بخش تنها به ذکر قابلیت‌های شبیه‌ساز این شرکت با نام PumaFlow خواهیم پرداخت. این شبیه‌ساز قادر به اجرا در سه حالت نفت سیاه، ترکیبی و حرارتی است. همان‌گونه که اشاره شد، شبیه‌ساز PumaFlow در واقع نسخه توسعه یافته شبیه‌ساز معروف دانشگاه IFP به نام Athos است. مهم‌ترین ویژگی‌های این شبیه‌ساز برای مطالعه مخازن ایران را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد: الف) اصلی‌ترین برتری این شبیه‌ساز که البته میراث شبیه‌ساز Athos است، قابلیت محاسبه ضریب شکل^{۱۸} با دقت بالا در تابع انتقال بین ماتریس و شکاف در مدل‌های تخلخل دوگانه است. این شبیه‌ساز مدعی است برای محاسبه خود کار ضریب شکل بر اساس اندازه ماتریس و مکانیزم حاکم بر جریان بین ماتریس و شکاف، روش جدیدی ابداع کرده که وابسته به زمان است. بنابراین پیش‌بینی سرعت تخلیه ثقلی ماتریس به ویژه در مکانیزم ریزش ثقلی گاز-نفت و آشام آب-نفت توسط این شبیه‌ساز به واقعیت نزدیک‌تر است.

ب) برتری دیگر این شبیه‌ساز استفاده از الگوریتمی جهت تصحیح بازیافت نهایی ریزش ثقلی گاز-نفت در مدل‌های تخلخل دوگانه است. این توانایی باعث می‌شود میزان بازیافت نهایی ریزش ثقلی که معمولاً در مدل‌های تخلخل دوگانه به طور اشتباه محاسبه می‌شود تصحیح شده، پیش‌بینی دقیق‌تری از میزان بازیافت نهایی مخزن انجام گیرد (شکل-۱). عدم وجود دقت در مدل‌های تخلخل دوگانه برای محاسبه بازیافت نهایی ریزش ثقلی، ناشی از محاسبه پارامترها در مرکز سلول و غیرخطی بودن نمودار فشار موئینگی نسبت به اشباع است که توضیح دقیق آن از حوصله این نوشتار خارج است.

ج) این شبیه‌ساز هم‌چنین مدعی مدل‌سازی پدیده جذب مجدد در مخازن شکاف‌دار است. قابلیتی که در صورت صحت عملکرد می‌تواند در شبیه‌سازی دقیق‌تر فرآیندهای حاکم بر مخازن ایران نقشی پررنگ ایفا کند.

خود کار این نقص از طریق تغییر نمودارهای فشار موئینگی وجود دارد (استفاده از کلید IN-TPC). ولی متأسفانه استفاده از این کلید می‌تواند خطای زیادی در محاسبه سیالات در جای اولیه به خصوص در مخازنی با سنگ‌های فشرده (مخازن معمول در ایران) به وجود آورد. این امر ناشی از آن است که نرم‌افزار Eclipse برای تصحیح بازیافت نهایی ریزش ثقلی از تغییر فشار موئینگی گاز-نفت و آب-نفت استفاده می‌کند و این نمودارها به طور مستقیم بر روی اشباع اولیه سیالات در مدل تأثیر گذار هستند. مواردی از این نقص در گزارشات درونی شرکت مناطق نفت خیز جنوب وجود دارد. بنابراین استفاده از Eclipse برای مدل‌سازی پدیده ریزش ثقلی گاز-نفت در تخمین بازیافت نهایی همراه با خطای محاسباتی خواهد بود.

از لحاظ تئوری، عدم وجود دقت در مدل‌های معمول ریزش ثقلی را می‌توان با تقسیم یک بعدی ماتریس به چند سلول در جهت عمودی جبران کرد. این مدل در شبیه‌سازها به عنوان مدل Subdomain شناخته می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود استفاده از این مدل در Eclipse بتواند سبب تخمین درست بازیافت نهایی ریزش ثقلی گاز-نفت گردد. ولی طی آزمایشی که اخیراً در شرکت مناطق نفت خیز انجام شد مشخص گردید که استفاده از این قابلیت عملاً امکان‌پذیر نبوده و فعال‌سازی آن باعث عدم همگرایی شبیه‌سازی و در نتیجه عدم اجرای آن می‌شود. (از آنجایی که مطالعه حاضر هنوز به اتمام نرسیده، گزارش آن نیز منتشر نشده است.) این مسأله احتمالاً به دلیل

شکاف دار بودن باید با استفاده از مدل‌های تخلخل یا تراوایی دوگانه مدل‌سازی شوند و به همین دلیل زمان‌های اجرای بسیار طولانی دارند. بنابراین استفاده از قابلیت اجرای موازی برای مطالعه این گونه مخازن اجتناب‌ناپذیر است. طبق تجربه‌ای که در شرکت مناطق نفت خیز جنوب به خصوص در سال‌های اخیر و پس از مدل‌سازی اکثر مخازن این شرکت با Eclipse وجود دارد، این نرم‌افزار کماکان در اجرای موازی به ویژه در مورد مدل‌های تخلخل دوگانه دارای خطاهای زمان اجرا^{۱۹} است. این خطاها در برخی موارد و با توجه به قطع ارتباط با شرکت سازنده باعث ایجاد تأخیر در مطالعات مذکور شده است.

ج) الگوریتم موازی‌سازی Eclipse کارآیی مناسبی به ویژه هنگام استفاده از تعداد هسته‌های پردازشی زیاد (بیشتر از ۳۲ هسته) ندارد. این مسأله باعث شده استفاده از کلاسترهای بزرگ مانند آنچه در ابر رایانه ملی وجود دارد برای اجرای این شبیه‌ساز کارآیی لازم را نداشته باشد.

د) مدل‌های ریزش ثقلی استفاده شده در Eclipse (مدل Gilman-Kazemi، مدل Quandalle and Sabathier و مدل Subdomain) به خوبی قادر به مدل‌سازی این پدیده نیستند.

مهم‌ترین اشکال موجود در دو مدل نخست عدم توانایی آنها در پیش‌بینی صحیح میزان بازیافت نهایی این مدل‌هاست که البته به دلیل حل معادلات برای مرکز ماتریس اتفاق می‌افتد. در برخی شبیه‌سازها، با ترفندهایی این عدم دقت تصحیح شده که در Eclipse نیز امکان تصحیح

این شبیه‌ساز هم‌چنین توانایی اجرای موازی بر روی چند هسته پردازش را نیز داراست.

۴- اشکالات فنی و نقاط ضعف

۴-۱- خانواده شبیه‌سازهای Eclipse

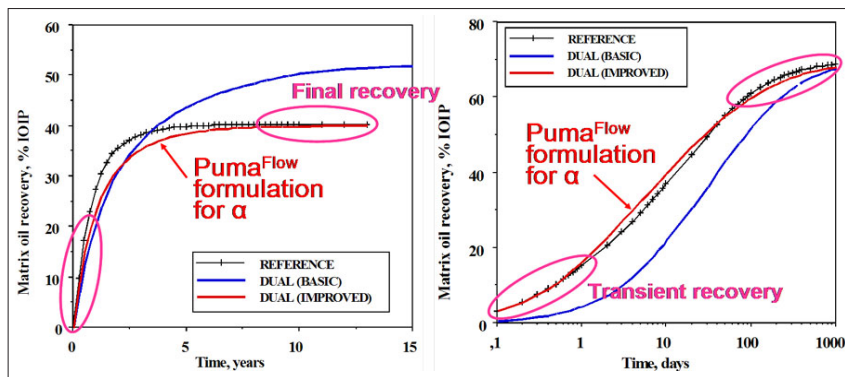
همان‌گونه که برای اطمینان از صحت عملکرد یک شبیه‌ساز در مدل‌سازی یک فرآیند مشخص نیاز به آزمایش عملکرد آن در شرایط گوناگون است، برای پی بردن به نقاط ضعف و اشکالات فنی آن نیز بایستی از شبیه‌ساز در شرایط مختلف و برای مدل‌سازی پدیده‌های گوناگون در مخازن استفاده کرد.

با توجه به این مسأله و از آنجایی که شبیه‌ساز Eclipse بیشترین استفاده را در ایران داشته، نقاط ضعف و اشکالات فنی این شبیه‌ساز بیشتر مشخص شده و بنابراین قسمت اعظم بخش حاضر به بیان نقاط ضعف عمومی و اشکالات فنی شبیه‌ساز Eclipse اختصاص یافته است.

نقاط ضعف Eclipse را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

الف) شرکت شلمبرژه مدت مدیدی است شبیه‌ساز Eclipse را پشتیبانی می‌کند. استراتژی این شرکت در توسعه این شبیه‌ساز همواره حفظ کلیت آن و تنها افزودن قابلیت‌های جدید و تصحیح مدل‌های موجود بوده است. این مسأله باعث شده که این شبیه‌ساز دارای کلیدهای بسیار زیاد و متنوعی باشد که برخی مواقع برای فعال‌سازی یک قابلیت باید کلیدهای زیادی تغییر داده شوند. هم‌چنین در موارد زیادی چندین کلید کار مشابهی انجام می‌دهند. در ضمن افزودن کلیدهای متنوع مطابق با نیاز و سلیقه کاربران باعث شده استاندارد مشخصی که قابل تعمیم به تمام موارد باشد در نوشتن فایل داده‌های این شبیه‌ساز وجود نداشته باشد. همین امر باعث سردرگمی کاربران برای کار با Eclipse در بار نخست می‌شود. البته ذکر این نکته نیز ضروری است که با وجود دفترچه راهنمای بسیار قوی این شبیه‌ساز، مقداری از این سردرگمی کاسته شده و اخیراً با توسعه نرم‌افزار Petrel، کار با این شبیه‌ساز بسیار ساده‌تر شده است.

ب) تعدادی از مخازن ایران از نوع مخازن بسیار بزرگ هستند که اکثر این مخازن به دلیل



شکل ۱ | نمودارهای شرکت Beicip در مورد فرمول ویژه شبیه‌ساز PumaFlow



وجود خطای برنامه نویسی اتفاق افتاده که متأسفانه در شرایط حاضر امکان انتقال مشکل به شرکت شلمبرژه و درخواست رفع آن در نسخه‌های بعدی وجود ندارد.

پس از اینکه برخی شرکت‌ها قابلیت جذب مجدد را (اکثراً بنا به درخواست شرکت ملی نفت ایران) در شبیه‌سازهای خود گنجانده‌اند، شلمبرژه هم در صدد مدل‌سازی این فرآیند در Eclipse برآمد. این قابلیت به طور رسمی در نسخه ۲۰۰۸ Eclipse توسط کلیدی با نام BTOBALFA گنجانده شده است. اما پس از بررسی دقیق کارایی این مکانیزم در شبیه‌ساز Eclipse توسط مهندسان بخش مخازن مناطق نفت‌خیز جنوب مشخص شد این کلید نه تنها نمی‌تواند مکانیزم جذب مجدد را به درستی مدل کند بلکه در برخی موارد عملاً امکان اجرای مدل با آن نیز وجود ندارد. (گزارش منتشر شده در این زمینه از گزارشات داخلی شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب بوده و در دسترس عموم قرار ندارد) این مسأله به مهندسان شرکت شلمبرژه نیز منعکس شده و ایشان نیز به نقص موجود در شبیه‌ساز اعتراف کرده‌اند.

از آنجایی که دو شبیه‌ساز یاد شده دیگر کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند در این نوشتار تنها مواردی از نقاط ضعف آنها ذکر خواهد شد که تاکنون مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

۴-۲- خانواده شبیه‌سازهای شرکت CMG

نقاط ضعف نرم‌افزار CMG را به شرح زیر می‌توان برشمرد.

الف) اگرچه شبیه‌سازهای این شرکت کتابچه راهنمای مفصلی دارند ولی شیوه نگارش و فصل‌بندی این کتابچه‌ها، امکان استفاده مؤثر از آنها را دشوار کرده است. این موضوع ناشی از آن است که کتابچه راهنمای این شبیه‌سازها تنها بر اساس کلیدهای مورد استفاده در فایل داده‌ای مرتب شده‌اند و کاربر برای یافتن قابلیت یا مدل خاصی در کتابچه باید کلید مربوط به آن را بداند. ب) شرکت CMG به دلیل کوچکتر بودن نسبت به شرکت شلمبرژه، خدمات پشتیبانی مناسبی ندارد. این شرکت تعداد کمی مرکز پشتیبانی در سراسر دنیا دارد که نزدیک‌ترین مرکز

دریافت و رفع اشکالات توسط تیم توسعه دهنده، کارایی کمتری نسبت به شرکت شلمبرژه دارد.

ج) از آنجایی که شبیه‌ساز PumaFlow نسخه بازنویسی شده شبیه‌ساز Athos است و توسعه آن هم‌چنان ادامه دارد، این شبیه‌ساز هنوز تمامی قابلیت‌های Athos را در خود نگنجانده و بنابراین در حال حاضر استفاده از این شبیه‌ساز با محدودیت‌هایی روبرو است.

د) با توجه به اینکه این شبیه‌ساز هم‌چنان در حال توسعه می‌باشد، اشکالات متعدد برنامه نویسی و عدم کنترل خطاهای هنگام اجرای آن، کاربر را آزار می‌دهد.

۵- نیازهای امروزه شبیه‌سازی

آنچه تاکنون گفته شد مربوط به شبیه‌سازی پدیده‌های مختلف در شبیه‌سازها بود. در صورتی که امروزه جهت اتخاذ تصمیم درست برای مخازن، علاوه بر شبیه‌ساز دقیق و مناسب، نیازمند ابزارهای کمکی برای انجام محاسبات و تحلیل نتایج به دست آمده هستیم. در این بخش به برخی از نیازها و میزان تحقق آنها در بسته‌های نرم‌افزاری شرکت‌های مورد بحث اشاره خواهد شد.

از آنجایی که امروزه اخذ تصمیم صحیح در خصوص یک روش توسعه یا افزایش برداشت از مخزن در گرو انجام محاسبات عدم قطعیت برای نتایج بدست آمده است و تنها داشتن یک جواب قطعی برای مسأله نمی‌تواند پاسخ‌گوی نیاز مدیران و سرمایه‌گذاران باشد، شرکت‌های تولیدکننده شبیه‌سازهای تجاری به سمت ایجاد ابزارهایی برای دستیابی به این هدف حرکت کرده‌اند. هم‌اکنون شرکت شلمبرژه با معرفی نرم‌افزار Petrel بستری فراهم نموده که تمام عملیات پیش و پس‌پردازشی به علاوه تعدادی الگوریتم بهینه‌سازی، طراحی آزمایش و تحلیل عدم قطعیت را در بر می‌گیرد. از آنجایی که تمام مراحل ایجاد مدل و تحلیل نتایج شبیه‌سازی (از تفسیر اطلاعات لرزه‌ای تا ساختن مدل زمین‌شناسی و اجرای شبیه‌سازی جریان سیال) در این نرم‌افزار قابل انجام است می‌توان از آن به شکل مؤثری در محاسبه تأثیر تمام عوامل شبیه‌سازی بر نتایج پیش‌بینی مدل و کمی‌سازی

آن به ایران در دویی واقع شده است. (ذکر این نکته نیز خالی از لطف نیست که مسؤل این مرکز فردی ایرانی است.) نداشتن پشتیبانی حضوری باعث شده استفاده از شبیه‌سازهای این شرکت کمی با دشواری همراه باشد و شاید یکی از مهم‌ترین دلایلی که موجب عدم استفاده زیاد از شبیه‌سازهای این شرکت در ایران شده نیز همین مسأله باشد.

ج) شبیه‌سازهای این شرکت در برخی مواقع سرعت اجرا را فدای دقت محاسبات می‌کنند. از آنجایی که در مطالعات مخازن، زمان اجرای شبیه‌سازی (به خصوص در مخازن بزرگ و پیچیده ایران) یکی از عوامل مؤثر انجام پروژه بوده و در اکثر مواقع مقداری خطای محاسبه قابل پذیرش است، کارایی این شبیه‌ساز در صنعت نفت ایران نسبت به Eclipse کمتر است. به عنوان نمونه می‌توان به تصمیمی که هر کدام از این شبیه‌سازها هنگام عدم همگرا شدن نتایج در حداقل پله زمانی ۲۰ مجاز می‌گیرند اشاره کرد. Eclipse هنگامی که از طریق کوچک کردن پله زمانی قادر به حل مسأله نباشد، تنها پیغام خطاری به کاربر نشان داده و شبیه‌سازی را با پذیرفتن نتایج غیر دقیق محاسبه شده ادامه می‌دهد، در صورتی که در نقطه مقابل، شبیه‌سازهای شرکت CMG در این مواقع از اجرا باز می‌ایستند.

د) گزینه‌هایی که برای گرفتن خروجی‌های مختلف از این شبیه‌ساز وجود دارد به گستردگی آنچه در Eclipse وجود دارد نیست.

ه) الگوریتم موازی‌سازی این شبیه‌ساز نیز مانند آنچه در مورد Eclipse ذکر شد، با افزایش تعداد پردازنده‌ها کارایی خود را از دست می‌دهد.

۴-۳- شبیه‌ساز PumaFlow (شرکت Beicip)

نقاط ضعف نرم‌افزار PumaFlow را به شرح زیر می‌توان برشمرد:

الف) کتابچه راهنمای این شبیه‌ساز نیز از ساختار مناسبی برخوردار نبوده، بسیاری از موارد موجود در شبیه‌ساز را در بر نمی‌گیرد.

ب) با وجود اینکه این شبیه‌ساز خدمات پشتیبانی حضوری در ایران ارائه می‌دهد، ولی به دلیل عدم کارایی مناسب این پشتیبان، شرکت در

مطلق در این خصوص امکان پذیر نیست. آنچه می توان در خصوص شبیه سازی های مورد بحث گفت این است که هر کدام از آنها دارای قابلیت ها و نواقصی هستند و انجام مطالعات مخازن باید با نگاه به این محدودیت ها و توانایی ها صورت پذیرد. به نظر نگارنده با سامان دهی بررسی های صورت گرفته در این زمینه، در آینده ای نزدیک می توان در خصوص شبیه سازی مورد استفاده در مدل سازی انواع مخازن قضاوتی روشن داشت. بدین معنی که برای شبیه سازی هر نوع مخزنی، با نگاه به نقاط قوت و ضعف شبیه سازی ها، شبیه سازی مناسب انتخاب شود. این مقاله می تواند به عنوان نقطه آغازی در چنین بررسی هایی مورد استفاده قرار گیرد. هم اکنون در اداره مهندسی مخازن شرکت ملی مناطق نفت خیز، چنین مطالعاتی آغاز شده و طبق برنامه باید در آینده ای نزدیک به هدف یاد شده منتهی شود.

به علاوه با وجود اینکه شبیه سازی های تجاری موجود قابلیت های زیادی دارند، ولی از آنجایی که شرکت های سازنده این نرم افزارها تمرکز خود را بر توسعه مدل هایی متمرکز کرده اند که ممکن است در مخازن ایران کمتر کاربرد داشته باشند، هم چنان نیاز به توسعه شبیه سازی مخازن با رویکردی متفاوت جهت رفع نقایص موجود در شبیه سازی ها و متناسب با نیازهای مخازن ایران به خوبی احساس می شود. باعث خوشوقتی است که در سال های اخیر، این نیاز به خوبی احساس شده و توسعه شبیه سازی توسط برخی گروه های دانشگاهی و صنعتی در حال پیگیری است. اگر چه راه زیادی تا رسیدن به شبیه سازی مطلوب باقی مانده، ولی فعالیت های انجام شده در خور تحسین است.

دیگر انجام دهد. تمام الگوریتم های موجود در این نرم افزار از نوع الگوریتم های مبتنی بر شیب^{۱۱} بوده و سرعت تطابق خوبی دارند.

شرکت CMG نیز که اخیراً با معرفی نرم افزار CMOST به طور رسمی وارد بازار نرم افزارهای تطابق خود کار تاریخچه شده و هنوز مراحل توسعه را پشت سر می گذراند و الگوریتم های مورد استفاده در این نرم افزار نیز مبتنی بر شیب هستند.

شرکت شلمبرژه در این زمینه نرم افزار SimOpt را معرفی کرده که البته قادر به انجام تطابق تاریخچه به صورت کاملاً خود کار نیست. این شرکت با معرفی تابع هدف تاریخچه^{۱۲} در نسخه ۲۰۱۱ نرم افزار Petrel عملاً در حال تبدیل این نرم افزار به یک نرم افزار تطابق کامل و پیشرفته تاریخچه است. نرم افزار Petrel شلمبرژه را قادر می کند تا به سادگی با توسعه قابلیت تطابق مطلوب تاریخچه، از رقبا خود پیشی بگیرد. زیرا همان طور که پیش تر نیز اشاره شد، نرم افزار Petrel این امکان را فراهم می کند که تمام پارامترهای مدل سازی از تفسیر اطلاعات لرزه ای تا اطلاعات دینامیک مخزن در تطابق تاریخچه یا هر آنالیز دیگری دخیل شوند و این قابلیت در نرم افزارهای دیگر به سادگی امکان پذیر نیست.

نتیجه گیری

گرچه رتبه بندی شبیه سازی های موجود در ایران به ظاهر می تواند به عنوان راهنمایی برای استفاده بهینه از این نرم افزارها تلقی شود، ولی دست یابی به این رتبه بندی احتیاج به مطالعه عمیق و مقایسه ای وسیع در خصوص تمام امکانات شبیه سازی ها داشته و از لحاظ علمی نیز رتبه بندی

عدم قطعیت استفاده کرد. در خصوص قابلیت گشته شده، یعنی کمی سازی و تحلیل عدم قطعیت مدل های مخازن دو شرکت دیگر نیز امکاناتی را ارائه می دهند. شرکت Beicip با ارائه نرم افزارهای Easysense و CougarFlow که امکان اجرا در بستر نرم افزار OpenFlow را دارند آنالیز عدم قطعیت را برای شبیه سازی مخازن ممکن کرده است. از آنجایی که لحاظ کردن پارامترهای زمین شناسی توسط این نرم افزار کمی دشوار است، نرم افزار Petrel در این زمینه رقیب توانمندتری محسوب می شود. قابل ذکر است که سابقه نرم افزارهای شرکت Beicip در انجام آنالیز عدم قطعیت بیشتر از شرکت شلمبرژه بوده و نرم افزار Petrel در ابتدای راه خود برای توسعه روش های مختلف انجام این امر قرار دارد.

شرکت CMG نیز برای جبران عقب ماندگی خود در این زمینه اخیراً اقدام به توسعه و معرفی نرم افزار CMOST کرده که علاوه بر توانایی انجام تطابق خود کار تاریخچه، قادر به تحلیل عدم قطعیت نیز است. البته این نرم افزار جدید بوده و هنوز به اندازه کافی مورد آزمایش قرار نگرفته و به اندازه نرم افزارهای یاد شده پیشرفت نکرده است. در ضمن نقطه ضعف عدم امکان لحاظ کردن پارامترهای مؤثر در تهیه مدل زمین شناسی در آنالیز عدم قطعیت در این نرم افزار نیز وجود دارد.

موضوع دیگر، نرم افزارهای تطابق خود کار تاریخچه است. نرم افزار CondorFlow شرکت Beicip از پرسابقه ترین این نرم افزارها به شمار می آید که با امکان اجرا تحت بستر OpenFlow می تواند تطابق خود کار تاریخچه را با استفاده از شبیه سازی شرکت (PumaFlow) یا هر شبیه سازی

پانویس ها

1. ebrahim.sh@gmail.com

2. uncertainty quantification

3. Enhanced Oil Recovery

4. ECLIPSE blackoil (ECLIPSE 100)

5. ECLIPSE compositional (ECLIPSE 300)

6. ECLIPSE thermal (ECLIPSE 300)

7. finite difference method

8. stream line simulation method

9. property up-scaling

10. parallel ECLIPSE

11. unstructured grid

12. permeability full tensor

13. block to block interaction

14. sub-domain dual permeability

15. re-imbibition

16. capillary continuity

17. dynamic gridding (dynagrid)

18. shape factor

19. bug

20. time step

21. gradient based

22. history match objective function