

## اهمیت کیفیت تطابق تاریخچه بر روی پیش‌بینی عملکرد مخزن با کاربرد سناریوهای مختلف تزریق گاز امتزاجی

مرتضی شگفت‌فرد<sup>۱\*</sup>، محمدرضا عبدالی<sup>۱</sup>، سید محمد زمانزاده<sup>۲</sup>

۱- اهواز، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب

۲- تهران، دانشگاه تهران، دانشکده زمین‌شناسی

پیام نگار: m.shegftfard@gmail.com

### چکیده

امروزه شبیه‌سازی به عنوان یک ابزار مهم مدیریتی در مطالعات مخزن بکار می‌رود و تطابق تاریخچه<sup>۱</sup> نیز از مهمترین مسائل در شبیه‌سازی است. برای در دست داشتن پیش‌بینی قابل اعتماد از عملکرد آینده مخزن، انجام تطابق تاریخچه بر روی مدل شبیه‌سازی شده یک مخزن ضروری خواهد بود. اساس فرایند تطابق تاریخچه، تنظیم و تطبیق فاکتورها و پارامترهای مخزنی است که با حداقل سازی خطا بین داده‌های ثبت شده واقعی (مثلاً اطلاعات تولیدی، فشار، نسبت گاز به نفت و میزان آب تولیدی) و نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی حاصل می‌گردد. این فرایند عموماً به دو روش کلاسیک دستی و خودکار انجام می‌شود. در این مقاله، تأثیر دقت بالای تطابق تاریخچه در پیش‌بینی عملکرد آینده مخزن با اعمال چند سناریوی تزریق امتزاجی گاز و تخلیه طبیعی بر روی دو مدل مخزنی متفاوت معمولی و شکافدار بصورت مجزا بررسی شده است که تطابق تاریخچه هر دو مدل مخزنی به روش خودکار با استفاده از یک نرم‌افزار هوشمند تطابق تاریخچه انجام شده است. در هر مدل با انتخاب دو حالت از تطابق تاریخچه (با دقت‌های متفاوت)، شبیه‌سازی سناریوهای مختلف بر روی هر دو حالت انجام شد و نتایج سناریوها با توجه به میزان دقت دو حالت تطابق تاریخچه، مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت.

**کلمات کلیدی:** فرایند تطابق تاریخچه، شبیه‌سازی مخزن، پارامترهای دارای عدم قطعیت، تزریق گاز امتزاجی

### ۱- مقدمه

یکی از اهداف مهم توصیف مخزن، تعریف یک مدل مخزنی است که اطلاعات دینامیکی و استاتیکی مخزن را نشان دهد. عموماً بعد از ساخت مدل مخزنی، بایستی با اطلاعات و مدل‌های تفسیری موجود تطابق یابند. به عبارت دیگر، مدل مخزنی باید قادر به بازتولید کلیه

اطلاعات مورد استفاده در فرایند شبیه‌سازی همچون اطلاعات چاه‌آزمایی و اطلاعات تولید باشد. اگر مدل ایجاد شده صحیح باشد، اطلاعات میدانی و پاسخ‌های مدل بر هم منطبق خواهد شد در غیر این صورت مدل باید بازبینی شود تا اشکالات موجود در آن شناسایی و رفع گردد [۱، ۲].

پس از اینکه مدل تأیید شد، می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد آینده

1. History Matching

باید توجه کرد که هر چه اطلاعات خروجی سیستم بیشتر باشد، انتخاب یک پردازشگر مناسب برای سیستم محدودتر است و تعداد سعی و خطاهای لازم کمتر خواهد شد. ورودی و خروجی‌ها در یک برنامه کامپیوتری را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: [۱۵]

$$\text{ورودی} = \begin{cases} (d_1, \dots, d_i, \dots, d_n) & \text{داده} \\ (X_1, \dots, X_i, \dots, X_n) & \text{پارامتر} \end{cases}$$

$$\text{خروجی} = \begin{cases} (d_{1s}, \dots, d_{is}, \dots, d_{ns}) & \text{نتیجه} \\ & \text{برآیند} \end{cases}$$

$(d_i)$  داده‌های واقعی هستند که مستقیماً در دوران تولید چاه اندازه گرفته و یا محاسبه می‌شوند و پارامترهای  $(x_i)$  داده‌هایی هستند که مقادیر آنها بین دو مقدار حداقل و حداکثر تغییر می‌کند. هرگاه  $x$ ، حداقل بر یک  $d$  تأثیر گذارد، یعنی تغییر یک  $x$  باعث تغییر حداقل یک  $d$  شود، در این حالت  $d_i$  و  $x_i$  وارد برنامه خواهند شد. خروجی‌های برنامه عبارتند از نتایج  $d_{is}$  و  $d_{is}$  باید برابر با  $d_i$  گردد و یا اختلاف آنها حداقل شود؛ در این حالت  $x_i$  آنقدر تغییر داده می‌شود تا  $d_i - d_{is}$  حداقل گردد.<sup>۲</sup> این فرایند را تطابق تاریخچه گویند. قانون عمومی در تطابق تاریخچه بدین گونه است که پارامترهایی که بیشترین عدم قطعیت و حداکثر تأثیر را بر روی تطابق دارند، تغییر یابند. به عبارت دیگر برای انجام یک شبیه‌سازی کامل، نیاز به تطابق مدل ساخته شده با مدل واقعی (مخزن) از طریق تاریخچه تولید مخزن است. برنامه شبیه‌سازی از زمان شروع تولید مخزن تا حال حاضر، برای مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های واقعی به اجرا گذاشته می‌شود. در صورتی که اختلاف نتایج زیاد باشد، باید با تغییر پارامترهایی که در ادامه توضیح داده می‌شود، مدل را به مدل واقعی نزدیک کرد. این فرایند تا جایی که تطابق تاریخچه قابل قبولی حاصل شود، ادامه خواهد یافت [۲۶].

لازم به ذکر است که تطابق تاریخچه به دو روش دستی و خودکار قابل انجام است. انتخاب تطابق تاریخچه دستی یا خودکار بستگی به اهداف تطابق تاریخچه تولید، منابع اختصاص یافته برای تطابق

مخزن تحت سناریوهای مختلف توسعه مورد استفاده قرار گیرد. رفتار مخزن با محاسبه پارامترهایی از قبیل درصد اشباع سیالات، فشار و شدت جریان توسط شبیه‌ساز بدست می‌آید. لازم بذکر است که برای پیش‌بینی رفتار میدان، می‌بایست کل سیستم (مخزن، چاه‌ها و تجهیزات سرچاهی) را در نظر گرفت. این موارد باید با یکدیگر بررسی شوند چرا که آنها بطور متقابل بر هم تأثیر می‌گذارند. بعد از این که مدل مخزن ساخته شد، بررسی می‌شود که آیا این مدل با تاریخچه فشار یا تولید مخزن مطابقت دارد یا خیر. برای تطابق مدل با تاریخچه مخزن معمولاً تغییراتی در مدل در محدوده زمین‌شناسی و مهندسی مخزن انجام می‌شود. عموماً مدلی که ارائه می‌گردد باید کمترین پیچیدگی و کمترین عدم قطعیت در پارامترهای مخزنی را دارا باشد و هم زمان، بهترین اطلاعات را نیز در اختیار قرار دهد. لازم به ذکر است که در تطابق تاریخچه، لزومی بر تطابق تمام چاه‌های مدل با تولید واقعی نیست، بلکه روند تطابق مهم است. در واقع فرایند شبیه‌سازی شامل توصیف مخزن، تطابق تاریخچه عملکرد مخزن و پیش‌بینی رفتار آینده مخزن تحت سناریوهای مختلف است [۱ و ۲].

## ۲- تطابق تاریخچه

به طور کلی یک سیستم شامل قسمت‌های ورودی، خروجی و پردازش است که مشخص کننده خصوصیات آن سیستم می‌باشد. واحد پردازش یک سیستم با انجام یک سری اعمال و محاسبات بر روی (ورودی - خروجی) سیستم را آماده می‌کند. در مسائل معمولی، با معلوم بودن ورودی و پردازش، هدف محاسبه خروجی سیستم است؛ اما در مورد تطابق تاریخچه باید گفت که برعکس موارد یاد شده است. بدین ترتیب که ورودی و خروجی را داریم و به دنبال بهترین پردازشگر برای سیستم مورد نظر خواهیم بود به طوری که در صورت یکسان بودن ورودی‌ها، در تطابق تاریخچه همان خروجی از سیستم به دست آید. مبنای حل مسائل معکوس، استفاده از روش سعی و خطا است بدین ترتیب که یک حدس در مورد حالت سیستم در نظر گرفته می‌شود و با ورودی معلوم، خروجی، محاسبه و با خروجی واقعی سیستم مقایسه می‌شود. این فرایند تا زمانی که قدر مطلق تفاوت بین خروجی واقعی محاسبه شده در یک محدوده قابل قبول باشد ادامه خواهد یافت [۲ و ۴].

2. Outcome  
3.  $d_i - d_{is} = \text{Minimum}$

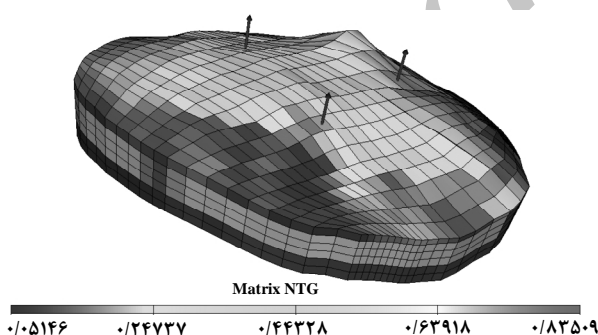
1. Trend

- خواص شکاف و ماتریکس مخزن شکافدار موارد ذکر شده، تعدادی از پارامترهای دارای عدم قطعیت هستند که حساسیت سنجی بر روی آنها جهت رسیدن به تطابق تاریخچه مطلوب انجام می‌شود. اطلاعات زیر (در صورت وجود) بعنوان مبنای مقایسه در فرایند حساسیت سنجی روی پارامترهای دارای عدم قطعیت به کار می‌روند [5].

- شدت جریان‌های تزریق
  - شدت جریان‌های نفت، آب و گاز
  - نسبت گاز به نفت تولیدی و نسبت آب به نفت تولیدی
  - اطلاعات فشاری مخزن و چاه‌ها
  - سطوح تماس سیالات
- در ادامه، بررسی اهمیت کیفیت تطابق تاریخچه روی عملکرد آینده مخزن برای هر دو مدل مورد مطالعه با چندین سناریو تزریق گاز امتزاجی آورده شده است.

### ۳- مدل شماره ۱

مخزن شکافدار مورد مطالعه، در حال حاضر مخزنی اشباع و دارای کلاهک گازی است. بنابراین یکی از مکانیسم‌های اصلی تولید، رانش کلاهک گازی می‌باشد. این میدان مرکب از دو سازند ایلام و سروک از گروه بنگستان است و در جنوب غربی ایران واقع شده است. فشار اولیه PSIA 4100 و دما 150 درجه فارنهایت است.



شکل ۱- تصویری از مدل مخزنی شبیه‌سازی شده

چنانچه برای مخزن شکافدار مطالعه‌ای برای مدل شکاف انجام نشده باشد، در شبیه‌سازی، مقدار یکسانی برای خصوصیات شکاف در همه گریدها تعمیم داده می‌شود. در نتیجه عدم تجانس شکاف‌های

تاریخچه تولید و مهلت زمانی برای مطالعه شبیه سازی دارد. بطور کلی اولین مرحله تطابق تاریخچه، یافتن پارامترهایی است که در آنها عدم قطعیت وجود دارد. عموماً در هر اجرا به روش متعارف دستی، مقدار یکی از پارامترهای دارای عدم قطعیت تغییر داده می‌شود و سپس اثر آن بر تولید، فشار، اشباع سیالات و حرکت سطوح تماس سیالات مشاهده می‌گردد. بر اساس میزان تغییر فشار شبیه سازی شده با تغییر یک پارامتر می‌توان به میزان حساسیت مدل نسبت به آن پارامتر پی برد. این فرایند کمک می‌کند تا پارامترهایی که بیشترین اثر را بر تاریخچه تولید می‌گذارند، مشخص شوند. بعد از اینکه این پارامترها با ضرایب کلی تغییر داده شد و نتایج آنها مورد بررسی قرار گرفت، نوبت به تغییرات کوچک و محلی است تا پارامترها را به مقدار جزئی تغییر دهد و تطابق قابل قبولی از مدل بدست آید. در طول فرایند تطابق، باید تغییر پارامترها بر مبنای واقعیت و در محدوده منطقی و معینی صورت پذیرد؛ در این حالت، معمولاً نیاز به آزمون و خطا برای تنظیم پارامترهای مخزنی مختلف است. آزمون و خطا تا زمانی که تطابق قابل قبولی بین عملکرد محاسبه شده و عملکرد واقعی میدان حاصل شود، ادامه می‌یابد که می‌تواند بسیار وقت‌گیر هم باشد. روش خودکار، همانند تطابق تاریخچه متعارف است جز اینکه در این روش از منطق و الگوریتم‌های کامپیوتری بجای دخالت مستقیم مهندسی برای تنظیم داده‌های مخزن استفاده می‌شود و دقت و سرعت عمل در این حالت بسیار بالاتر از روش دستی است [14].

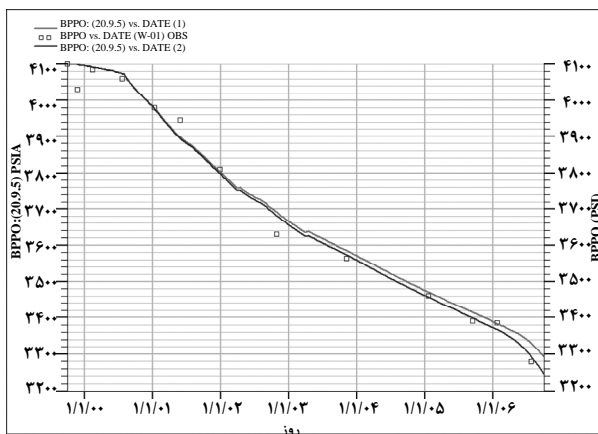
برای اینکه  $(d_i - d_{is})$  به حداقل برسد، می‌توان پارامترهای  $(x_i)$

زیر را تغییر داد [4]:

- تخلخل
- تراکم پذیری
- تراوایی  $k_h$  و  $k_v$
- نسبت خالص به کل<sup>۱</sup>
- ضریب پوسته<sup>۲</sup> (آسیب سازند)
- خواص سفره آبی<sup>۳</sup> (تخلخل، تراوایی و دیگر خواص)
- داده‌های سیال (PVT)
- تراوایی نسبی

1. NTG  
2. Skin  
3. Aquifer

مقایسه نتایج، کلیه مطالعات در یک دوره ثابت ده ساله انجام می‌شود. در مرحله اول هر دو مدل مورد مطالعه، سناریوی پیش‌بینی تولید طبیعی اجرا می‌گردد، و بعد از آن با دو نمونه گازی سناریوی تزریق گاز درون لایه نفتی به صورت امتزاجی انجام خواهد شد. در نهایت از نتایج سناریوهای تزریق در ارزیابی تأثیر دقت تطابق تاریخچه در هر مدل استفاده می‌گردد.



شکل ۲- مقایسه دقت و کیفیت تطابق تاریخچه میزان افت فشار شبیه‌سازی شده با افت فشار مشاهده‌ای مخزن در هر دو حالت

### ۳-۱-۱ پیش‌بینی تولید طبیعی مخزن

هدف از اجرای این سناریو، بررسی حداکثر میزان تولید مخزن بواسطه انرژی طبیعی مخزن است. با تولید طبیعی، با توجه به افت فشار بالا در مخزن، نشان‌دهنده غیر صیانتی بودن برداشت است. در حالت اول تطابق با دقت ۹۰٪، میزان تولید تجمعی نفت که برابر است با MMSTB ۱۸/۸، کمتر از حالت دوم که میزان آن MMSTB ۱۹/۹ است، می‌باشد. همچنین میزان افت فشاری که در حالت اول نتیجه شده، از حالت دوم تطابق که دارای دقتی بالای ۹۵٪ است، بیشتر می‌باشد. لازم به ذکر است که فشار در حالت اول و دوم تطابق به ترتیب PSIA ۳۱۱۲ و PSIA ۳۱۶۰ می‌باشد.

### ۳-۱-۲ شبیه‌سازی تزریق گاز امتزاجی درون لایه نفتی

برای بررسی و مقایسه نتایج حاصل از تزریق گاز امتزاجی در لایه نفتی، دو نمونه گاز متان و دی‌اکسید کربن برای تزریق انتخاب شدند. ابتدا می‌بایست شرایط امتزاج پذیری هر گاز با سیال مخزن مشخص گردد. بنابراین با استفاده از نرم‌افزار PVTi و

مخزن نادیده گرفته می‌شود و به این ترتیب نتایج بدست آمده با استفاده از روش متعارف و سنتی تطبیق نمی‌تواند با دقت زیاد، عملکرد آینده مخزن را پیش‌بینی کند [۳ و ۴].

بنابراین برای مدل دینامیکی مخزن شکافدار مورد مطالعه، تطابق تاریخچه خودکار به وسیله یک نرم‌افزار هوشمند تطابق تاریخچه انجام می‌شود تا برای پارامترهای شکاف، مقادیر متفاوتی در گریدهای مختلف اختصاص دهد و نقشه خصوصیت آن پارامتر نیز حاصل گردد. این نرم‌افزار با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی بوسیله هوش مصنوعی و شبکه عصبی نه تنها باعث کاهش مدت مورد نیاز برای رسیدن به یک تطابق قابل قبول نسبت به روش، متعارف می‌شود، بلکه دقت پارامترهای تخصیص داده شده به مدل را نیز افزایش می‌دهد. در این روش، صرف نظر از جزئیات روند بهینه‌سازی، پارامترهای مدل مخزن به طور سیستماتیک تا زمانی که تطابق مطلوبی بدست آید، تغییر می‌کنند.

با توجه به اطلاعات موجود میدان، فرایند شبیه‌سازی و ساخت مدل دینامیکی بوسیله نرم‌افزار Eclipse100 انجام شد. با آنالیز حساسیت سنجی بر روی پارامترهای دارای عدم قطعیت این مدل (پارامترهایی همچون تراوایی و تخلخل شکاف، ارتفاع شکاف و ماتریکس و ضریب شکل ماتریکس و شکاف)، تطابق تاریخچه برای فشارهای تعادلی اندازه‌گیری شده واقعی و اطلاعات تولیدی میدان بدست آمد. دو حالت از تطابق تاریخچه‌هایی که صورت پذیرفت (با توجه به مقدار پایین RMS)، انتخاب شد که نتایج آن در شکل‌های پایین آورده شده است. در حالت اول، تطابق با دقتی در حدود ۹۰٪ و در حالت دوم تطابق با دقت بالای ۹۵٪ انتخاب گردید. در شکل‌های (۲) تا (۴) هر دو حالت تطابق تاریخچه و همچنین مقایسه آنها آورده شده است.

### ۳-۱-۳ بررسی سناریوهای مختلف تزریق گاز و مقایسه نتایج

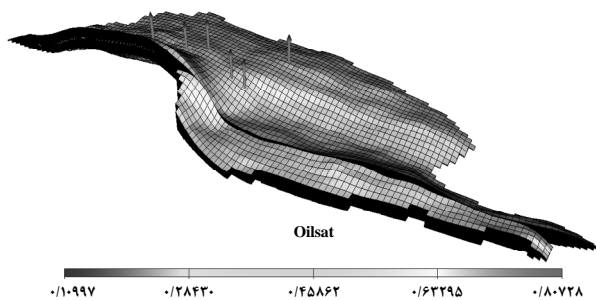
#### نسبت به کیفیت تطابق تاریخچه

بعد از انجام تطابق تاریخچه، چندین سناریو تزریق گاز تعریف گردید که بر روی هر دو حالت تطابق تاریخچه اجرا می‌شود. لازم به ذکر است که مخزن مورد مطالعه در طی یک دوره هفت ساله تحت تخلیه طبیعی قرار داشته است. برای پیش‌بینی آینده مخزن و

اهواز در منتهی الیه ناحیه فروافتادگی دزفول قرار گرفته و دارای ابعاد ۲۸/۵ در ۴/۵ کیلومتر در افق آسماری است. فشار اولیه مخزن PSIA ۵۵۰۰ و دمای مخزن °F ۲۱۰ گزارش شده است. با توجه به دیگرام فازی نمونه‌های نفتی، مخزن در شرایط اولیه و نیز در حال حاضر در شرایط تک فازی و زیر اشباع قرار دارد و دارای کلاهک گازی نمی‌باشد.

جدول ۱- نتایج سناریو تزریق گاز درون لایه نفتی برای مدل ۱

حالت اول تطابق (دقت ۹۰٪)	گاز تزریقی متان	گاز تزریقی دی اکسید کربن
تولید تجمعی نفت (MMSTB)	۲۱/۷	۲۳/۹
فشار مخزن (PSIA)	۳۱۹۹	۳۲۴۱
حالت اول تطابق (دقت ۹۵٪)	گاز تزریقی متان	گاز تزریقی دی اکسید کربن
تولید تجمعی نفت (MMSTB)	۲۳/۳	۲۸/۱
فشار مخزن (PSIA)	۳۲۷۸	۳۳۶۲



شکل ۳- تصویری از مدل مخزنی شبیه‌سازی شده

در این مدل بررسی تطابق تاریخچه فقط برای فشارهای تعادلی مخزن به صورت خودکار توسط نرم‌افزار هوشمند تطابق تاریخچه انجام شد. در اینجا نیز بعد از انجام حساسیت سنجی بر روی پارامترهای دارای عدم قطعیت (که عمدتاً پارامترهایی چون خواص سفره آبی، تراوایی در جهت عمود است) تطابق تاریخچه صورت گرفت. سپس دو حالت از مدل‌های تطابق تاریخچه انتخاب و بررسی‌ها روی آنها انجام شد. در حالت اول تطابق تاریخچه با دقتی در حدود ۹۰٪ و در حالت دوم تطابق تاریخچه با دقتی بالاتر از ۹۵٪ انتخاب گردید.

شبیه‌ساز Eclipse، ۳۰۰ آزمایش لوله قلمی<sup>۱</sup> شبیه‌سازی گردید و حداقل فشار امتزاجی هر گاز با سیال مخزن بدست آمد که برای متان و دی اکسید کربن به ترتیب، PSIA ۳۲۰۳ و PSIA ۲۹۶۸ می‌باشند. با توجه به فشارهای امتزاج‌پذیر پایین گازهای متان و دی اکسید کربن، این گازها به هنگام تزریق در اولین تماس با سیال مخزن به صورت امتزاجی عمل می‌کنند.

یکی از اهداف تزریق مجدد گاز همراه مانند گاز متان، بررسی حداقل میزان تزریق گاز در مخزن می‌باشد. این میزان تزریق برای مخازنی که هیچ منبع تامین گاز برای تزریق ندارند بسیار مفید می‌باشد که تا حد امکان از افت فشار مخزن جلوگیری می‌کند. در این حالت گاز تفکیک شده مخزن با نصب کمپرسور تحت فشار قرار می‌گیرد و دوباره به مخزن تزریق می‌گردد. [۷]

گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن به عنوان مهم‌ترین گاز موثر در تغییرات آب و هوا، کاربرد چندانی در صنایع ندارد و نمی‌توان آن را همچون گاز متان به عنوان خوراک بکار برد. بنابراین می‌بایست تمهیداتی را در نظر گرفت تا از این گاز استفاده بهینه شود و ضمن استفاده مفید از آن از ورود این گاز به جو زمین جلوگیری گردد. همانطور که گفته شد می‌توان از این گاز گلخانه‌ای در تزریق مخازن هیدروکربنی و ازدیاد برداشت استفاده کرد. دی اکسید کربن مزایای زیادی نسبت به دیگر گازها در ازدیاد برداشت دارد. بعضی از این مزایا عبارتند از: [۸و۹]

۱. قابلیت دستیابی به شرایط امتزاج پذیری در فشارهای پایین مخزن

۲. قابلیت حل شونده‌گی بالا در نفت خام و در نتیجه، کاهش

گرانروی نفت خام و افزایش شدت جریان تولیدی

۳. بازدهی جابجایی بالا و در نتیجه افزایش ضریب بازیافت نهایی

۴. قابل استفاده بودن برای مخازن نفت با شرایط مختلف

نتایج این سناریو در هر دو حالت تطابق تاریخچه در جدول (۱) آورده شده است. همان‌طور که پیداست در این سناریو نیز میزان تولید تجمعی حالت دوم تطابق تاریخچه نسبت به حالت اول بیشتر، و افت فشار مخزن در این حالت کمتر است.

#### ۴- مدل شماره ۲

این میدان در جنوب غرب ایران در فاصله ۱۸۰ کیلومتری شمال غرب

1. Slim Tube

#### ۴-۱-۲ تزریق امتزاجی گاز در لایه نفتی

جهت تزریق گاز امتزاجی در این مدل نیز دو نمونه گاز متان و دی‌اکسید کربن برای تزریق انتخاب شدند. ابتدا شرایط امتزاج پذیری هر گاز با سیال مخزن مشخص می‌گردد. بنابراین توسط شبیه‌سازی آزمایش لوله قلمی، حداقل فشار امتزاجی<sup>۱</sup> هر گاز با سیال شبیه‌سازی شده مخزن بدست آمد که برای گاز متان و دی‌اکسید کربن به ترتیب PSIA ۴۵۹۲ و PSIA ۴۱۵۶ می‌باشد. در مدل مخزنی شبیه‌سازی، بر طبق اطلاعات میدانی موجود در حال حاضر تولید از میدان توسط ۶ چاه تولیدی انجام می‌شود. جهت تزریق گازهای تعریفی در مخزن، دو چاه تزریقی با الگوی چهار نقطه‌ای<sup>۲</sup> در مدل تعریف گردید. نتایج این سناریو نیز در هر دو حالت تطابق تاریخچه در جدول (۲) آورده شده است. در این سناریو نیز میزان تولید تجمعی حالت اول تطابق تاریخچه نسبت به حالت دوم بیشتر و افت فشار مخزن کمتر است.

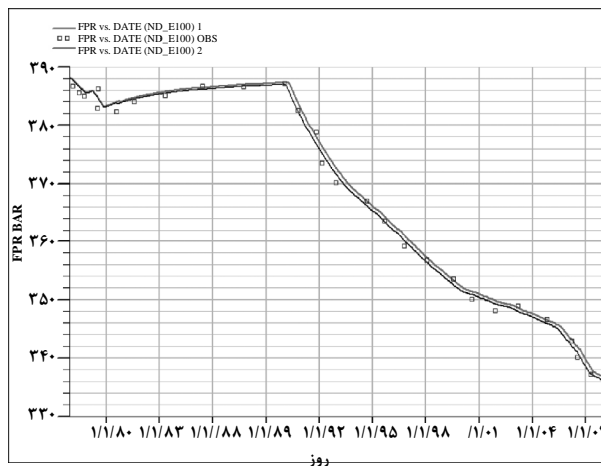
#### جدول ۲- نتایج سناریوی تزریق گاز درون لایه

نفتی برای مدل ۲

گاز تزریقی	گاز تزریقی	حالت اول تطابق (دقت ۹۰٪)
دی‌اکسید کربن	متان	
۶۶۴	۵۵۷	تولید تجمعی نفت (MMSTB)
۴۷۲۴	۴۶۹۳	فشار مخزن (PSIA)
گاز تزریقی	گاز تزریقی متان	حالت اول تطابق (دقت ۹۵٪)
دی‌اکسید کربن		
۶۲۷	۵۲۱	تولید تجمعی نفت (MMSTB)
۴۶۸۵	۴۶۳۶	فشار مخزن (PSIA)

#### ۵- نتیجه‌گیری

۱- مشاهده شد که در مدل مخزن شکافدار، در حالت اول تطابق (دقت ۹۰٪)، نتایج میزان نفت تولیدی تجمعی همه سناریوهای تزریق از حالت دوم تطابق (دقت ۹۵٪)، کمتر بوده است. همچنین افت فشار مخزن حالت اول نیز در تمام سناریوها نسبت به حالت دوم تطابق بیشتر بود. این در حالی است که در مدل دوم مورد مطالعه، عکس رفتار مدل اول رخ داد، بطوریکه نتایج میزان تولید تجمعی نفت همه سناریوهای تزریق حالت



شکل ۴- مقایسه دقت و کیفیت تطابق تاریخچه میزان افت فشار شبیه‌سازی شده با افت فشار مشاهده‌ای مخزن در هر دو حالت

#### ۴-۱-۴ پیش‌بینی عملکرد مخزن با بررسی سناریوهای مختلف بر روی مدل

شبیه‌سازی مخزن در سناریوهای تخلیه طبیعی، تزریق متان و تزریق گاز دی‌اکسید کربن در مخزن انجام گرفت. مخزن مورد مطالعه در طی یک دوره ۳۰ ساله تحت تخلیه طبیعی خود قرار داشته و برای پیش‌بینی آینده مخزن و مقایسه نتایج، کلیه مطالعات در یک دوره ۱۷ ساله انجام شده‌اند. در مرحله اول سناریوی پیش‌بینی تولید طبیعی اجرا خواهد شد و سپس سناریوهای مربوط به فرایند تزریق امتزاجی گازهای متان و دی‌اکسید کربن درون لایه نفتی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

#### ۴-۱-۱ پیش‌بینی تولید طبیعی مخزن

در این سناریو از ۶ چاه تولیدی موجود در مدل بصورت طبیعی بدون هیچ محدودیت خاصی تولید می‌گردد. در حالت اول تطابق (با دقت ۹۰٪)، میزان تولید تجمعی نفت این سناریو که بیانگر حداکثر تولید مخزن به واسطه انرژی طبیعی مخزن می‌باشد، از حالت دوم، بیشتر و همچنین افت فشاری که در حالت اول بدست آمده است، از حالت دوم تطابق (با دقت بالای ۹۵٪) کمتر است. لازم به ذکر است که مقدار تولید تجمعی نفت حالت اول و دوم تطابق به ترتیب MMSTB ۴۰۰ و MMSTB ۳۸۰ می‌باشد. همچنین فشار در حالت اول و دوم تطابق به ترتیب PSIA ۴۵۰۴ و PSIA ۴۴۵۶ است.

1. Minimum Miscible Pressure  
2. Four Spot

- [4] Hoier, L., Whiston, C. H., "Miscible Variation in Compositionally Grading Reservoir," SPE, Annual Technical Conference and Exhibition in Texas, Oct. (2000).
- [5] Landa, J. L., Güyagüla, B., "A Methodology for History Matching and the Assessment of Uncertainties Associated with Flow Predictions," paper SPE 84465 prepared the SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Denver, Colorado, U.S.A., Oct. (2003).
- [6] Landa, J. L., Kalia, R. K., Nakano, A., Nomura, K., Vashishta, P., "History Match and Associated Forecast Uncertainty Analysis – Practical Approaches Using Cluster Computing," paper IPTC10751 presented at the IPTC 2005, Doha, Qatar, Nov. (2005).
- [7] Li, R., Reynolds, A. C., Oliver, D. S., "History Matching of Three-Phase Flow Production Data," paper SPE 66351 presented at the SPE Reservoir Simulations Symposium, Houston, USA (2001).
- [8] Mantica, S., Cominelli, A., and Mantica, G., "Combining Global and Local Optimization Techniques for Automatic History Matching Production and Seismic Data," SPEJ June (2002).
- [9] Meyer J. P., "Summary of Carbon Dioxide Enhanced Oil Recovery (CO<sub>2</sub> EOR) Injection Well Technology," Contek Solutions 2828 West Parker Rd., Suite 102-B Plano, Texas 75075. (2002).
- [10] Satter A., Varmon J. and Hoang, M., "Integrated Reservoir Management," paper SPE 22350 presented at the 1992 SPE International Meeting on Petroleum Engineering, Beijing, Mar.(1992).
- [11] Selberg, S., Schulze-Riegert, R., Stekolschikov, K., "Event Targeting Model Calibration Used for History Matching Large Simulation Cases," paper 106044 was prepared for presentation at the 2007 SPE Reservoir Simulation Symposium held in Houston, Texas, U.S.A., Feb. (2007).
- [12] Schiozer, D. J., "Use Of Reservoir Simulation, Parallel Computing and Optimization Techniques to Accelerate History Matching and Reservoir Management Decisions," paper SPE 53979 prepared for the SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Caracas, Apr. (1999).
- [13] Schulze-Riegert, R., Axmann, J., Haase, O., Rian, D., You, Y., "Evolutionary Algorithms Applied to History Matching of Complex Reservoirs," SPE Reservoir Evaluation & Engineering Apr. (2002).
- [14] Parakh, H., "Simulation Study of Miscible Gas Injection for Gas Enrichment above the Minimum Miscibility Enrichment," The University of Texas at Austin. Dec. (2004).
- [15] Walker, G.J., Pettigrew, S., "Measures of Efficiency for Assisted History Matching," 10th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery- Amsterdam, The Netherlands 4-7 Sep. (2006).
- [16] Watson, A. T., Lee, W. J., "A New Algorithm for Automatic History Matching Production Data," SPE 15228 (1986).
- [17] Williams, M., Keating, J., Barghouty, M., "The Stratigraphic Method: A Structured Approach to History Matching Complex Simulation Models," SPEREE Apr. (1998).

اول (دقت ۰/۹۰) بیشتر از حالت دوم است که دقت آن بالای ۰/۹۵ می‌باشد. افت فشار مخزن این مدل نیز در همه سناریوهای تزریق در حالت اول کمتر از حالت دوم است. با حساسیت سنجی روی پارامترهای دارای عدم قطعیت در دو مدل مخزنی متفاوت که سناریوهای مشابهی روی آنها اعمال شد، نتیجه گرفته شد که افزایش دقت در تطابق تاریخچه، تأثیر مستقیمی بر روی نتایج پیش‌بینی عملکرد آینده مخزن بگذارد.

۲- جهت بررسی سریع صحت ساخت مدل شبیه‌سازی شده می‌توان از نرم‌افزار هوشمند تطابق تاریخچه استفاده کرد. بدین صورت که ابتدا چند حالت از اجراهای تطابق تاریخچه که دارای خطای پایینی هستند انتخاب می‌شوند. بعد از آن، مدل از طریق مقایسه روند رفتار واقعی گذشته مخزن با مدل‌های حاصل شده از اجراهای مختلف تطابق، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در صورتی که رفتار تمام مدل‌های انتخابی از اجراهای تطابق از یک روند مشابه‌ای تبعیت کنند، مدل شبیه‌سازی دارای ساختاری صحیح و منطقی است. بعد از این مرحله، برای افزایش کیفیت شبیه‌سازی و اعتماد به نتایج آن، می‌توان حساسیت سنجی را تا زمانی که خطا (RMS) به حداقل ممکن برسد، ادامه داد. انجام این مراحل از طریق این گونه نرم‌افزارهایی که به صورت خودکار تطابق تاریخچه را انجام می‌دهند، میسر بوده و به روش دستی بسیار زمان بر می‌باشد.

## ۶- تقدیر و تشکر

بدینوسیله از شرکت ملی نفت ایران و همچنین شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب جهت حمایت‌های مربوطه سپاسگزاری می‌گردد.

## مراجع

- [1] Bishop, K. A., Knapp, R. M., "An Approach to the Problem of Slow Convergence for Automatic History Matching Procedures," SPE 5424 (1975).
- [2] Hegstad, B.K., Omre, H., "Uncertainty assessment in history matching and forecasting," In Proceeding of the Fifth International Geostatistics Congress, ed. E.Y Baafi and N.A. Schofield, Wollongong Australia, v.1, p. 585, (1996).
- [3] Hearn, H., Charles, L., Whiston, H., Curtis, "Evaluating of Miscible and Immiscible Gas Injection in the Safah Field, Oman," SPE 29115, Presented at the 13th SPE Symposium on Reservoir Simulation held in San Antonio, TX, USA, Feb. (2005).