

استفاده از طراحی آزمایش در بهینه‌سازی مخازن نفتی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳

کد مقاله: ۳۶۵۴۱

سید مرتضی موسوی^۱

چکیده

در این تحقیق بررسی تطابق تاریخچه به کمک روش طراحی آزمایش با توجه به اطلاعات تولید یکی از میدان‌های جنوب غربی ایران انجام شده است. این میدان در ۱۲۰ کیلومتری غرب اهواز قرار دارد و از نظر زمین‌شناسی، ساختار تکنونیک آن مشابه میدان‌های دیگر در این ناحیه است. فرایند این تحقیق را می‌توان در ۷ مرحله اصلی بیان نمود. در نهایت پس از بررسی‌های صورت گرفته نتیجه آن شد که تعریف استراتژی‌های مختلف روند پیش‌بینی آینده مخزن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی دیگر مزیت نرم‌افزار به کاررفته به‌گونه‌ای است که می‌توان استراتژی کاربران را در مدل ساخته‌شده پیاده کرد و آینده مخزن را مطابق آن استراتژی پیش‌بینی کرد.

واژگان کلیدی: طراحی آزمایش، مخازن نفتی، مخازن هیدروکربنی، نفت، doe.

امروزه برای اجرا و توسعه واقعی میادین نفت و گاز، به تحقیقات، مطالعات، شبیه‌سازی میدانی و اجرای آزمایشی طرح نیاز است. در این بین کاملاً واضح است که حتی با انجام کامل مطالعات و شبیه‌سازی‌های انجام شده، باز هم به دلیل کمبود اطلاعات و همچنین عدم اطمینان صددرصدی به داده‌ها، عدم قطعیت زیادی در شبیه‌سازی‌ها و همچنین پیش‌بینی آینده مخزن وجود دارد که می‌بایست حتی الامکان در راستای کاهش این عدم قطعیت‌ها گام برداریم. مهمترین منابع عدم قطعیت در مدلسازی و مطالعه مخازن شامل محدودیت در ابزارهای اندازه‌گیری، ساد هسازی‌های به کاررفته در مدل‌سازی، پیچیدگی بیش از حد مخازن هیدروکربنی و خطای اندازه‌گیری می‌باشد (جمشیدنژاد، ۱۳۹۲). در شبیه‌سازی مخازن نفت و گاز به طور مرسوم بعد از ساخت مدل، فرایند تطبیق تاریخچه انجام می‌شود. تطابق تاریخچه عبارت است از تنظیم پارامترهای مدل به گونه‌ای که خروجی مدل (داده‌های تولید و فشار) به داده‌های واقعی نزدیک باشند. تطابق تاریخچه از داده‌های دینامیکی در ایجاد مدل‌های مخزنی و کمی‌سازی خطا و نیز آنالیز عدم قطعیت در پیش‌بینی عملکرد آینده مخزن استفاده می‌کند.

تطابق تاریخچه را می‌توان به صورت دستی یا اتوماتیک انجام داد. در تطابق تاریخچه دستی، مهندس مخزن مدل مخزن را به وسیله شبیه‌سازی اجرا می‌کند سپس نتایج را با داده‌های واقعی مخزن مقایسه می‌کند. این کار چندین مرحله تکرار می‌شود و در هر مرحله مهندس مخزن با تغییر متوالی هر کدام از پارامترها که در محدوده آن است و درحالی‌که سایر پارامترها را ثابت نگه می‌دارند کیفیت تطابق را بهبود دهد (Bishop & Knapp, 1975). در واقع این نوع تطابق پذیری یک فرایند حدس و خطا است که در پایان، اختلاف بین عملکرد مدل و عملکرد واقعی مخزن باید حداقل گردد. در تطابق تاریخچه اتوماتیک از منطق کامپیوتری برای تنظیم پارامترهای مخزنی استفاده می‌شود که به طور کلی به دو دسته روش‌های قطعی و آماری مانند طراحی آزمایش تقسیم بندی می‌شوند. هدف از این تحقیق بررسی کاربرد طراحی آزمایش در تطبیق تاریخچه یک مخزن واقعی است. در این راستا، در ابتدا مقدمه‌ای از طراحی آزمایش ذکر گردیده و در ادامه مروری بر تحقیقات گذشته در رابطه با استفاده از روش طراحی آزمایش در شبیه‌سازی مخزن ارائه می‌گردد. سپس روش‌های مختلف طراحی آزمایش برای یک مخزن واقعی اعمال می‌گردد و بهترین روش گزینش می‌شود.

طراحی آزمایش‌ها با تشخیص عوامل مؤثر در انجام آزمایش‌ها و تعیین سطوح مختلف این عوامل، با حداقل تعداد آزمایش‌ها و بیشترین توصیف از متغیر پاسخ، دستیابی به نتایج موردنظر آزمایشگر را امکان‌پذیر کرده است. طراحی آزمایش نوعی روش انجام آزمایش است که به صورت کاملاً سیستماتیک عمل می‌کند و با صرف کمترین منابع، هزینه و زمان، بیشترین اطلاعات را از نتایج آزمایش استخراج می‌کند (جمشیدنژاد، ۱۳۹۲). در آزمایش‌های به روش سنتی یک محقق تنها یک عامل را تغییر می‌دهد و مابقی عوامل را ثابت در نظر می‌گیرند، درحالی‌که در روش طراحی آزمایش تمامی عواملی که ممکن است روی آزمایش‌ها تأثیر بگذارند همزمان باهم در آزمایش تغییر می‌کنند درواقع طرح ما متعادل می‌باشد و این باعث می‌شود بتوان آزمایش خود را فرموله کرد و یک معادله به دست آورد و سپس آن را با روش‌های مختلف بهینه‌سازی در ریاضیات حل کرد و جواب نهایی را به دست آورد. در طراحی آزمایش، عوامل زیر را بایستی در نظر داشت (Bishop & Knapp, 1975):

- درک و بیان مسئله
- انتخاب متغیر پاسخ
- انتخاب عامل‌ها، سطوح و دامنه‌ها
- انتخاب طرح آزمایش
- انجام آزمایش
- تحلیل آماری داده‌ها
- نتیجه‌گیری‌ها و پیشنهادها

در مطالعات گذشته، تعداد متغیرهای موردبررسی عموماً ۲ تا ۱۶ بوده و بیشتر آنها در سه سطح برای مطالعات عدم قطعیت در مخازن زیرسطحی بررسی شده است. طرح‌های مورد استفاده در مطالعات پیشین عبارت است از:

- پلاکت-برمن
- طراحی فاکتوریل جزئی
- فاکتوریل کامل 2^k و 3^k
- ترکیب مرکزی
- باکس-بنکن
- ترکیب ۲ و ۳ سطحی فاکتوریل کامل
- دی-اِپتیمال

۲- چارچوب نظری

۲-۱- طراحی فاکتوریل جزئی در مقابل طراحی فاکتوریل کامل

روش‌های طراحی آزمایش، به عنوان یک روش سریع و قابل اعتماد برای به دست آوردن نتایج احتمالی و یک ایده مناسب برای برخورد با عدم قطعیت می باشد؛ که در این آزمایش از روش فاکتوریل کامل در سه سطح و طرح مرکب مرکزی استفاده شده است. پارامترهای عدم قطعیت با تأثیرپذیری کمتر روی توسعه مخزن شامل: شاخص بهره ده آبخوان، حجم اولیه آب در آبخوان، فشار ته چاه تزریقی، گذرده گسل بودند. مؤثرترین پارامترهای عدم قطعیت در تولید کلی نفت عبارت بودند از: حجم منافذ، انتقال پذیری در جهت Z(عمودی)، نرخ تزریق سطحی، اشباع گاز بحرانی. نتایج بیانگر این بود که استفاده مستقیم از طراحی آزمایش قابل اعتماد است و روشی آسان برای به دست آوردن پیش بینی احتمال تولید و یک روش کارآمد برای مطالعه مخازن توسعه نیافته است.

۲-۲- طراحی دی-اِپتیمال

دمسلت و همکاران ۱۹۹۱ نفرات اولی بودند که از طراحی دی-اِپتیمال در مطالعات عدم قطعیت استفاده کردند. مبنای طراحی دی-اِپتیمال معادله سطح پاسخ است. در نتیجه اجرای طراحی دی-اِپتیمال بهتر از اجرای طراحی فاکتوریل جزئی است (Damsleth et al, 1991).

۲-۳- طراحی پلاکت-برمن

بررسی عدم قطعیت برای پیش بینی نفت تولیدی و سیلاب زنی محیطی انجام گرفت. از طراحی آزمایش، آنالیز واریانس و رگرسیون خطی برای تشخیص اثر مهم عدم قطعیت استفاده کرد و یک پروکسی به دست آورد. در نهایت فاکتورهای مؤثر در تولید تجمعی نفت: ضخامت ناحیه نفت فوق سنگین، تراوایی نسبی آب-نفت، میانگین تخلخل، میانگین تراوایی افقی به دست آمد (Peake et al, 2005).

۲-۴- طراحی مرکب مرکزی

آریف در سال ۲۰۱۳ یک مطالعه جامع با استفاده از روش‌های محاسباتی برای ارزیابی تطابق تاریخچه بکار برد. از روش‌های مختلف طراحی آزمایش، مدل‌های مختلف پروکسی که مجموعه‌ای از معادلات تجربی است و نهایتاً الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده کرد. روش‌های مورد بررسی در طراحی آزمایش، روش‌های طراحی مرکب وجه مرکزی و پلاکت-برمن، همچنین روش‌های مورد بررسی در مدل پروکسی، روش‌های معادله چندجمله‌ای درجه دوم و معادله کریجینگ می باشد. انواع مدل پروکسی درجه‌های مختلفی از دقت را در پیش‌بینی شبیه‌سازی مخزن دارد (Arief, 2013).

پارامترهای عدم قطعیت در این مدل شامل: ۵ گسل، تغییرات نفوذپذیری در جهت X و Z در ۵ ناحیه تغییرات تخلخل در ۴ ناحیه بوده که از بین پارامترها، حساس‌ترین آنها برای ارزیابی تطابق تاریخچه انتخاب می شود. تأثیر پارامترهای فوق بر روی پارامترهای پاسخ شامل: کل نفت تولیدی، کل گاز تولیدی و کل آب تولیدی در سطح مخزن و کل نفت تولیدی، کل آب تولیدی در سطح میدان است. مدل پروکسی کریجینگ برای متغیرهای پاسخ قادر به پیش‌بینی شبیه‌سازی مخزن با دقت بیشتری نسبت به معادله چندجمله‌ای درجه دوم است. همچنین طراحی مرکب وجه مرکزی کامل می‌تواند یک مدل پروکسی بهتر از طراحی کسری تولید کند (Reis, 2006).

ریس در سال ۲۰۰۶ آنالیز ریسک با تطابق تاریخچه به وسیله طراحی آزمایش و شبکه عصبی مصنوعی انجام داد. در نتیجه یک رابطه میان متغیرهای عدم اطمینان ایجاد نموده اما در ارتباط با روابط غیرخطی دچار مشکل شد. در نتیجه از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده کرد که جایگزین روش سطح پاسخ شد؛ اما برای این کار اجزای شبیه‌سازی بیشتر و گرانتر می شود اما مهارت آن در بررسی روابط غیرخطی است. او به این نتیجه رسید که استفاده از آنالیز ریسک با تاریخچه تولید خیلی مهم است و باعث اطمینان از انجام پروژه می شود.

کریستوفر وایت در سال ۲۰۰۳ با استفاده از طراحی آزمایش، حساسیت پیش بینی تولید نفت را بررسی کرد. پارامترهای عدم قطعیت مورد بررسی عبارت بودند از: ۱. موقعیت چاه ۲. نسبت نفوذپذیری عمودی به افقی ۳. تراکم پذیری منافذ ۴. اندازه آبخوان ۵. آسیب چاه و ۶. نفوذپذیری عمودی. کریستوفر وایت، ابتدا تأثیر هر پارامتر را به طور جداگانه مورد بررسی قرار داد و مشاهده کرد که تراکم پذیری منافذ بیشترین و موقعیت چاه کمترین تأثیر را روی مجموع نفت تولیدی و مجموع آب تولیدی داشته و نفوذپذیری عمودی بدون تأثیر بوده است. در آزمایش بعدی تأثیر همزمان دو پارامتر روی بازایی کلی بررسی شد. به ترتیب اندازه آبخوان و

نفوذپذیری مؤثر بودند که البته بازایی، بیشتر در نفوذپذیری بالا به اندازه آبخوان حساستر بود. درحالیکه ضریب پوسه نیز کمترین تأثیر را نشان داد و همچنین اثر پارامترها روی رانش آب و ظرفیت جریان مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که اندازه آبخوان و نفوذپذیری اثر زیادی روی رانش آب و همچنین نفوذپذیری و تراکم پذیری اثر زیادی روی ظرفیت جریان دارند. نتایج با شبیه‌سازی مونته‌کارلو مقایسه شد، مشاهده شد که این نتایج تقریباً مشابه هستند (White & Royer, 2003).

۲-۵- سطح متغیرهای ورودی

بیشتر متغیرها در سه سطح بررسی می‌شوند؛ اما تعدادی از مطالعات هستند که نیاز به سطح بیشتری دارند؛ مانند: جونز و همکاران ۱۹۹۷ که اثر فاصله و الگوی چاه را بر روی سیلاب زنی بررسی کردند، نیاز به ۴ سطح از متغیرها داشتند؛ که طراحی فاکتوریل کامل ۲ و ۳ سطحی قادر به انجام آن نبود و از طراحی لاتین هابیر کیوبیک استفاده کردند (Jones et al, 1997).

۳- روش تحقیق

در این تحقیق، بررسی تطابق تاریخچه به کمک روش طراحی آزمایش با توجه به اطلاعات تولید یکی از میادین جنوب غربی ایران انجام شده است. این میدان در ۱۲۰ کیلومتری غرب اهواز قرار دارد و از نظر زمین شناسی، ساختار تکتونیکی آن مشابه میادین دیگر در این ناحیه می‌باشد. فرایند این تحقیق را می‌توان در ۷ مرحله اصلی به صورت زیر بیان نمود:

۱. مدلسازی استاتیک و دینامیک مخزن
۲. انجام آنالیز حساسیت و تعیین پارامترهای حساس
۳. انجام تطابق تاریخچه
۴. تعیین بهترین اجرا با بیشترین تطبیق با داده های مشاهده ای
۵. آنالیز واریانس
۶. بهینه سازی داده های حاصل از مدل ساخته شده
۷. پیش‌بینی آینده مخزن

با جمع آوری اطلاعات و نتایج به دست آمده از تمامی اجراهای طراحی آزمایش می‌توان چندین تصمیم در راستای انتخاب نوع روش طراحی آزمایش گرفت. دقت، زمان و هزینه فاکتورهای اساسی هستند که هرکدام ممکن است در اولویت قرار بگیرد و به عنوان معیار گزینش روش مناسب طراحی آزمایش بکار روند.

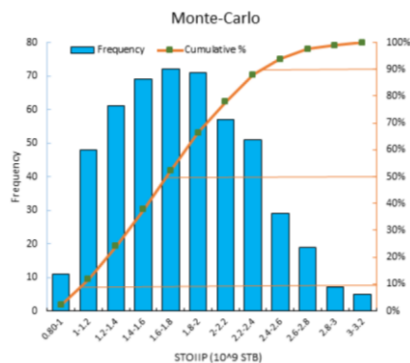
۳-۱- آنالیز حساسیت نفت درجا به کمک مدل استاتیکی

زمانی که برای پیش بینی آینده مخزن یا محاسبه متغیر خاصی عدم قطعیت قابل توجهی وجود داشته باشد، بهتر است آنالیز عدم قطعیت انجام گیرد. این آنالیز با نرم‌افزار پترل و روش مونته‌کارلو-LHS انجام شده است. پارامترهای مؤثر برای محاسبه هیدروکربن درجا و محدوددهی تغییر این پارامترها در جدول ۱ آمده است.

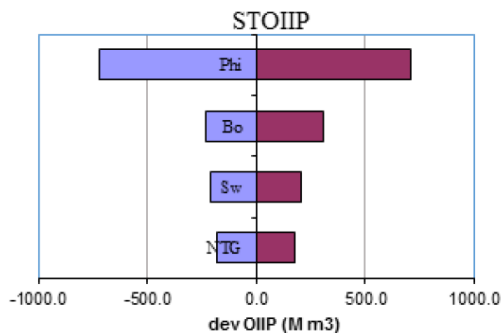
جدول ۱- محدوده پارامترهای مؤثر بر روی هیدروکربن درجا

پارامتر	مقدار بیشینه	مقدار پایه	مقدار کمینه
ضریب حجمی نفت (Bo)	۱,۴۰۳	۱,۲۱۹۷	۱,۰۳۷
اشباع آب (Sw)	۰,۳۲۲	۰,۲۳۲	۰,۱۴۲
نسبت ضخامت مفید به ضخامت کل (NTG)	۰,۹۴۴	۰,۸۵۸	۰,۷۷۲
تخلخل (Phi)	۰,۱۵۳	۰,۱۰۹	۰,۰۶۵

نمودار تورنادو نیز بیانگر میزان حساسیت پارامترهای مؤثر بر روی مقدار نفت درجا است (شکل ۱). همان گونه شکل ۱ نشان می‌دهد، تخلخل حساسترین متغیر بر روی میزان نفت درجا است که در محاسبه اولیه آن باید دقت لازم را داشت. در نهایت با تأثیر متقابل این چهار پارامتر با یکدیگر نمودار توزیع نفت درجا حاصل می‌شود (شکل ۲). مطابق شکل زیر و جدول ۲ خوشبینانه ترین، محتمل ترین و بدبینانه ترین حالت از مقدار نفت درجا را در اختیار کاربر قرار می‌دهد.



شکل ۲- توزیع نفت درجا



شکل ۱- حساسیت پارامترها بر روی نفت درجا

جدول ۲- مقدار حالت های مختلف نفت درجا

Percentiles/Statistics	STOIP (MMMSTB)
P10 (بدبینانه ترین)	۱,۱۷۶۰۸
P50 (محتمل ترین)	۱,۷۶۶۸
P90 (خوش بینانه ترین)	۲,۴۶۱۴۳

۲-۳- آنالیز حساسیت مدل دینامیکی مخزن

پس از ساخت مدل استاتیک، مدل دینامیکی مخزن ساخته میشود و بعد از شناسایی پارامترهای مؤثر بر تولید نفت آنالیز حساسیت انجام می شود. در جدول ۳ محدوده پارامترها مشخص شده است. همانطور که از شکل ۳ نتیجه می شود، سه پارامتر اول، متغیرهای نسبت تراوایی عمودی به تراوایی افقی، تراکم پذیری سنگ مخزن و تراوایی حساسترین پارامترها بر روی تولید نفت تجمعی هستند.

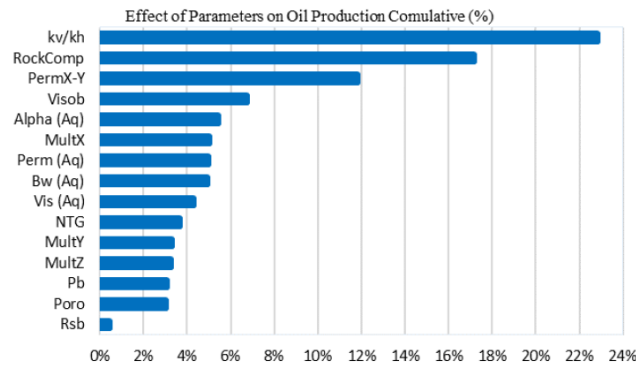
۴- طراحی آزمایش

در این مقاله، هدف نشان دادن قابلیت رویکرد طراحی آزمایش در تطابق بهینه تاریخچه مخازن نفتی و گازی است. لذا تنها به ارائه نتایج بهترین روش طراحی آزمایش انتخاب شده در این مطالعه یعنی روش طراحی مرکب مرکزی اکتفا شده است. به کمک روش طراحی مرکب مرکزی ۱۵ اجرا طرح ریزی شده است. نتایج در جدول ۴ آورده شده است. آنچه از این جدول می توان نتیجه گرفت این است که اجرای شماره ۱۱ بیشترین انطباق را با داده های مشاهده ای نشان می دهد.

جدول ۳- محدوده پارامترهای مؤثر بر روی تولید تجمعی نفت

پارامتر متغیر	نماد	واحد	مقدار بیشینه	مقدار پایه	مقدار کمینه
حلالیت گاز در فشار حباب	R _{sb}	Mscf/stb	۰,۴۸۶۰	۰,۴۶۲۹	۰,۴۳۹۷
ضریب حجمی آب	B _w	-	۱,۰۲۵	۱,۰۱۹	۱
ویسکوزیته آب	Vis	cp	۰,۶۱	۰,۶۰۳	۰,۵۷
تراوایی آبد	PERM	MD	۵۵	۴۶	۳۵
زاویه تأثیر آبد	ALPHA	DEG	۳۶۰	۳۶۰	۰
تخلخل	Phi	-	۰,۱۵۳	۰,۱۰۹	۰,۰۶۵
فشار حباب	P _b	psi	۲۱۴۴	۲۱۲۹	۱۹۵۶
نسبت ضخامت مفید به ضخامت کل	NTG	-	۰,۹۴۴	۰,۸۵۸	۰,۷۷۲
گذردهی در جهت X	Mult X	-	۱۴	۱۲	۱۰
گذردهی در جهت Y	Mult Y	-	۱۴	۱۲	۱۰
گذردهی در جهت Z	Mult Z	-	۱,۲۵	۱	۰,۷۵
ویسکوزیته نفت در فشار حباب	VisOb	cp	۶,۰۱	۵,۷۲	۵,۴۳
تراوایی	Perm X-Y	md	۷۰	۴۶	۳۰

۴,۷۲۱۳*۱۰ ^{-۶}	۵,۹۰۱۷*۱۰ ^{-۶}	۷,۰۸۲۴*۱۰ ^{-۶}	1/psi	RCOMP	تراکم پذیری سنگ
۰,۲	۰,۶	۰,۸	-	kv/kh	نسبت تراوایی عمودی به افقی



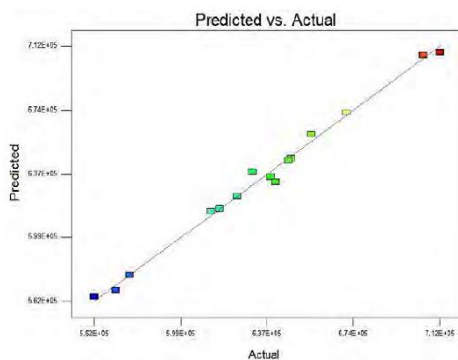
شکل ۳- درصد تأثیر متغیرها بر روی تولید تجمعی نفت

جدول ۴- نتایج اجرای طراحی مرکب مرکزی

ردیف	تابع هدف	درصد عدم تطبیق	خطای جذر میانگین مربعات
۱	۶۴۰۶۲۶	۵,۲۹	۱۶۱۴۶
۲	۶۲۳۹۱۲	۲,۵۴	۱۳۳۲۱
۳	۵۷۱۲۹۵	۱۱,۶	۲۸۲۲۲
۴	۷۱۱۶۷۸	۱۶,۹۶	۵۶۲۸۹
۵	۶۴۵۹۲۷	۶,۱۶	۱۳۵۴۲
۶	۶۱۶۳۸۸	۱,۳۰	۱۲۸۴۳
۷	۵۶۱۸۴۴	۷,۶۶	۳۴۳۳۳
۸	۷۰۴۵۹۲	۱۵,۸۰	۵۱۰۱۷
۹	۶۴۷۲۵۵	۶,۳۷	۱۵۸۹۹
۱۰	۶۷۱۳۵۹	۱۰,۳۴	۳۱۵۳۶
۱۱	۶۱۲۴۹۴	۰,۶۶	۱۰۱۴۶
۱۲	۵۷۷۲۱۱	۵,۱۴	۲۶۷۵۲
۱۳	۶۵۶۰۹۲	۷,۸۳	۲۲۴۵۲
۱۴	۶۳۰۴۴۱	۳,۶۱	۱۲۳۵۹
۱۵	۶۳۸۳۵۴	۴,۹۱	۱۵۱۲۴

۵- اعتبار سنجی مدل با انجام آنالیز واریانس

برای اطمینان از نتیجه گرفته شده، آنالیز واریانس با استفاده از نرم افزار Design Expert انجام گرفت. نمودار مقادیر واقعی و مقادیر محاسبه شده رسم شدند (شکل ۴). همانطور که دیده می شود روند مقادیر خیلی به هم نزدیک هستند. میانگین و انحراف استاندارد و R-Square به ترتیب مقادیر ۶۳۳۹۶۴,۸ و ۶۲۹۰,۰۵ و ۰,۹۹۲۵۴۴ به دست آمده اند.



شکل ۴- مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده تولید تجمعی نفت

۶- نتیجه گیری

اجرای طراحی مرکب مرکزی-۱۱ با توجه به دلایل گفته شده برای پیش‌بینی آینده مخزن تا سال ۲۰۳۵ انتخاب گردید. لازم به ذکر است که این پیش‌بینی تنها با اطلاعات یک چاه از میدان مورد مطالعه صورت پذیرفت. منطقی است که تعریف استراتژی‌های مختلف روند پیش‌بینی آینده مخزن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی دیگر مزیت نرم‌افزار به کاررفته به گونه‌ای است که می‌توان استراتژی کاربران را در مدل ساخته شده پیاده کرد و آینده مخزن را مطابق آن استراتژی پیش‌بینی کرد. با توجه به یافته‌های تحقیق در سال ۲۰۳۵ مقدار تولید تجمعی نفت از چاه مورد مطالعه به ۸۶۴۸۱۹۴ بشکه می‌رسد.

۷- منابع

۱. جمشیدنژاد، محمد، ۱۳۹۲، آنالیز عدم قطعیت در مطالعات مخازن هیدروکربنی، چاپ اول، تهران، انتشارات راه معاصر.
2. Arief, I. H. (2013). Computer assisted history matching: A comprehensive study of methodology.
3. Bishop, K. A. & Knapp, R. M. (1975). An Approach to the Problem of Slow Convergence for Automatic History Matching Procedures. In SPE Northern Plains Section Regional Meeting. Society of Petroleum Engineers.
4. Damsleth, E. Hage, A. Hydro, N. & Volden, R. (1991). Maximum Information at Minimum Cost—A North Sea Field Development Study using Experimental Design. In Offshore Europe Conference. SPE (Vol. 23139).
5. Jones, A. D. W. Al-Qabandi, S. Reddick, C. E. & Anderson, S. A. (1997). Rapid assessment of pattern waterflooding uncertainty in a giant oil reservoir. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
6. Peake, W. T. Abadah, M. & Skander, L. (2005). Uncertainty assessment using experimental design: Minagish oolite reservoir. In SPE Reservoir Simulation Symposium. Society of Petroleum Engineers.
7. Reis, L. C. (2006). Risk Analysis with History Matching Using Experimental Design or Artificial Neural Networks (SPE100255). In 68th EAGE Conference & Exhibition.
8. White, C. D. & Royer, S. A. (2003). Experimental design as a framework for reservoir studies. In SPE Reservoir Simulation Symposium. Society of Petroleum Engineers.

