



انتخاب متغیرهای تأثیرگذار در شبیه‌سازی مخزن برای پروکسی مدل به روشی نوین با استفاده از آنالیز واریانس

آرش اعظمی فرد^{*}، احسان خامه‌چی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
چکیده

برای طراحی یک پروکسی مدل به‌عنوان جانشین مدل شبیه‌سازی واقعی، نیازمند انتخاب متغیرهای مؤثر در فرآیند شبیه‌سازی از بین انواع متغیرهای مخزنی هستیم. این کار در گذشته به‌صورت کلاسیک و بی‌قاعده انجام می‌شد و مبنای عملی نداشت. در این مقاله با استفاده از روشی عملی به‌نام طراحی آزمایش، از بین همه متغیرها، متغیرهای مؤثر انتخاب شده است. اشکال روش کلاسیک عدم‌توانایی محاسبه تداخل متغیرهاست که در روش طراحی آزمایش برطرف شده است. طراحی مورد استفاده در این مقاله یک طراحی فاکتوریل جزئی است که با استفاده از داده‌های خروجی شبیه‌سازی نرم‌افزار ECLIPSE و از طریق روش آنالیز واریانس و نرم‌افزارهای آماری از بین هشت متغیر، متغیرهای مؤثر را پیدا می‌کند. متغیرهای انتخاب شده می‌توانند به‌عنوان متغیرهای ورودی برای پروکسی مدل استفاده شوند. این مقاله با طرح یک مسئله (انتخاب متغیر مؤثر) در مهندسی نفت آغاز شده، وارد محاسبات آماری می‌شود و در پایان دوباره به دانش مهندسی نفت ختم می‌گردد. در بخش انتهایی نوشتار نیز روند تأثیرگذاری متغیرها بر اساس گذشت زمان بررسی می‌شود. نتیجه نهایی بدین صورت است که از بین متغیرهای انتخابی، تداخل و نفوذپذیری افقی متغیرهای تأثیرگذار بوده و با گذشت زمان مقدار تأثیرگذاری آنها کم می‌شود.

واژگان کلیدی: انتخاب متغیر مؤثر، طراحی آزمایش، فاکتوریل جزئی، آنالیز واریانس

مقدمه

امروزه پروکسی مدل‌ها به‌عنوان رابطه‌ای ریاضی جایگزین مدل‌های شبیه‌سازی شده مخازن نفت و گاز جهت بررسی تأثیر سناریوهای مختلف تولید شده‌اند. دلیل این امر حجم بسیار زیاد محاسباتی روش‌های مختلفی مثل الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی و ... می‌تواند در مواردی است که نیاز به حل این روش‌ها به‌صورت هم‌زمان با معادلات شبیه‌سازی داریم. این حجم محاسبات می‌تواند برای اهدافی مانند یافتن محل بهینه چاه در مخزن نیز غیرقابل اجتناب باشد. حل هم‌زمان پروکسی مدل با الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی و ... راه حلی کارآمد برای این دسته از محاسبات مهندسی مخزن است. پروکسی مدل نیازمند انتخاب متغیرهای تأثیرگذار جهت پیش‌بینی عملکرد مخزن است. این تحقیق با هدف ارائه روش نوینی جهت انتخاب متغیرهای مؤثر از بین متغیرهای بسیار متنوع مخزن جهت استفاده به‌عنوان متغیرهای ورودی پروکسی انجام شده است.

۱- بخش تجربی یا تئوری

جهت یافتن متغیر تأثیرگذار بر یک پاسخ، با متغیرهای مختلفی روبرو هستیم که برخی از آنها نقش تعیین‌کننده‌ای بر پاسخ دارند و اثر برخی

دیگر ناچیز است. طراحی‌های تجربی مطرح شده در این نوع اهداف

(هدف‌های غربالی) شامل موارد زیر است:

- فاکتوریل کامل
- فاکتوریل جزئی
- پلاکت-بورمن^۲

روش پلاکت-بورمن، برای تعداد خاصی از متغیرها قابل اجراست اما روش فاکتوریل کاربرد گسترده‌تری دارد. روش فاکتوریل کامل نیازمند اجراهای متعدد است که به‌صرفه نخواهد بود؛ بنابراین برای انتخاب متغیر مؤثر عموماً از روش فاکتوریل جزئی استفاده می‌شود.

در سال ۱۹۸۳ مؤسسه ASQC طراحی فاکتوریل جزئی را به صورت زیر تعریف کرد:

یک طراحی فاکتوریل که سهم مناسبی از طراحی فاکتوریل کامل است برای اجرا و بررسی آزمایش انتخاب شده است. فاکتوریل‌های جزئی مورد استفاده برای اهداف غربالی، دارای وضوح III و یا IV هستند. برای تمرکز بر اثراتی فراتر از اثر متغیرها [یعنی اثر تداخل‌ها]، در آزمایش وضوح V یا بیشتر در نظر گرفته می‌شود. هدف این مقاله

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات (azamifard@aut.ac.ir)

- ضریب تولید آب در آبد
- سطح تماس آب و نفت^۸

هم چنین نرخ تولید کل نفت میدان بر حسب بشکه در روز به عنوان پاسخ در نظر گرفته شده است. نتایج عملیات شبیه سازی به زمان انجام آن بستگی ندارد؛ به عبارت دیگر متغیر غیر قابل کنترلی در این عملیات وجود ندارد و به این دلیل نیازی به اجرای آزمایش در حالت نقطه میانی^۹ نیست.

نقطه میانی برای پیدا کردن خطای محض^{۱۰} استفاده می شود. در حالت فاکتوریل کامل نیاز به ۲۵۶ بار شبیه سازی داریم تا اثر متغیرهای مختلف را بر نرخ تولید نفت بررسی کنیم. به دلیل حجم زیاد اطلاعات مورد نیاز از شبیه سازی، با استفاده از تکنیک طراحی آزمایش و به روش فاکتوریل جزئی تنها با ۱۶ بار شبیه سازی می توان اطلاعات مورد نیاز را از شبیه ساز به دست آورد. به عبارتی دقیق تر از طراحی^{۸-۴} به شرح زیر استفاده شده است:

همان طور که در جدول ۱- مشاهده می شود، چهار متغیر اول به صورت فاکتوریل کامل طراحی شده اند و چهار متغیر بعدی، از حاصل ضرب حالت های متغیرهای پیشین ساخته می شوند.

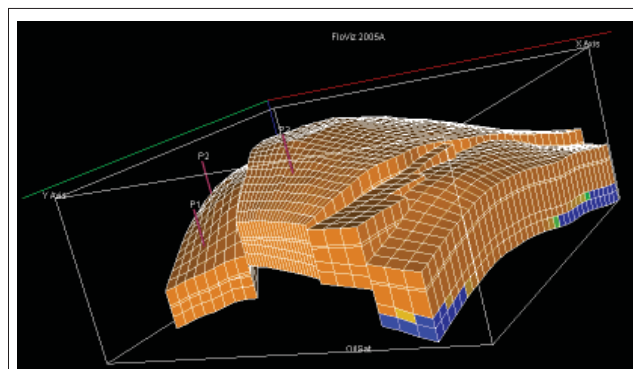
به عنوان مثال در هر شبیه سازی حالت های تداخل، از حاصل ضرب حالات نفوذ پذیری در سه جهت مختصات به دست می آید. دقت این طراحی IV بوده و این بدان معناست که متغیرهای اصلی مثل تداخل، حجم آب آبد و... در بدترین حالت با تداخل های درجه سوم مختلط می شوند. معمولاً مقادیر تداخل های درجه سوم بسیار ناچیز بوده و می توان اثر محاسبه شده را با اثر متغیر مورد نظر برابر در نظر گرفت. هدف از این طراحی، تشخیص متغیرهای مؤثر از متغیرهای غیر مؤثر در این میزان وضوح است که متعاقب با آن این الگوی اختلاط جواب گوی هدف مقاله حاضر خواهد بود.

متغیر	تعریف
۱	۱
۲	۲
۳	۳
۴	۴
۵	۲۳۴
۶	۱۳۴
۷	۱۲۳
۸	۱۲۴

انتخاب متغیر مؤثر بر عملکرد مخزن است که به دلایل گفته شده، برای انتخاب این متغیر از روش فاکتوریل جزئی با وضوح IV استفاده می شود. مخزن مورد مطالعه در این مقاله یک مخزن تاقدیسی است که با شبکه بندی به ابعاد ۵×۳۵×۳۵ شبیه سازی شده است. فازهای موجود در مخزن عبارتند از نفت، آب، گاز و گاز محلول در نفت. از طرفی، مخزن به دلیل نیروهای تکنونیک حالت کمائی پیدا کرده است. گسل ها همگی ناتراوا هستند و هیچ سیالی توانایی عبور را ندارد.

در شکل ۱- نمایی کلی از مخزن ارائه شده است. همان طور که از این شکل مشخص است، یک آبد از پایین مخزن را تغذیه می کند. این آبد به شکل عددی شبیه سازی می شود. چگالی نفت، آب و گاز این مخزن در شرایط استاندارد به ترتیب: ۵۲/۸۶۱۵، ۶۲/۴۲۸۰ و ۰/۰۵۵۷ پوند بر فوت مکعب است. مقدار اشباع کاهش نیافتنی آب در این مخزن ۰/۲ است و عمق سطح تماس آب و نفت و هم چنین عمق سطح تماس نفت و گاز به ترتیب ۳۷۸۰ و ۲۵۵۲ فوت می باشد. عمق مینا برای شرایط اولیه شبیه سازی همان عمق سطح تماس نفت و گاز در نظر گرفته شده که فشار در این عمق ۳۲۰۰ پام است. فرآیند شبیه سازی برای مدت ۱ سال کامل انجام شده که معادل با ۵۴ بازه زمانی^۳ شبیه سازی خواهد بود. همان طور که در ابتدای معرفی ذکر شد، مخزن از ابتدای فرآیند شبیه سازی دارای اشباع گاز بوده و طی شبیه سازی، سه چاه با نرخ ۴۰۰۰ بشکه در روز تولید می کنند. روند تولید مخزن به گونه ای است که تمامی فرآیند شبیه سازی، در بازه منحنی کاهش تولید خواهد بود و به دلیل کاهش تولید در کمترین مقدار تعریف شده خود فشار ته چاهی در ۱۵۰۰ پام ثابت نگه داشته می شود. از پنج لایه عمودی تعریف شده برای این مخزن تنها دو لایه بالایی برای هر سه چاه شبکه کاری شده اند. از بین متغیرهای متعدد شبیه سازی مخزن، متغیرهای زیر به ترتیب به عنوان متغیر مورد آزمایش انتخاب شده اند:

- حجم آب آبد^۵
- نفوذ پذیری در جهت X (Kx)
- نفوذ پذیری در جهت Y (Ky)
- نفوذ پذیری در جهت Z (Kz)
- تداخل^۶
- نسبت ضخامت خالص به ناخالص^۷



شکل ۱ | نمایی کلی از مخزن مورد مطالعه



سال) طراحی شده که داده‌های نفت تولیدی میدان، هر یک و نیم سال انتخاب شده‌اند. به عبارت دیگر، میزان نفت تولیدی در روزهای ۱۷ام، ۱۰۶۵ام، ۱۶۱۳ام، ۲۱۶۱ام، ۲۷۰۸ام و در نهایت ۳۲۵۷ام برای محاسبات مراحل بعدی انتخاب شده‌اند. در جدول ۴ داده‌هایی که باید آنالیز شوند بر حسب بشکه در روز ارائه شده است.

محاسبات آماری براساس داده‌های خروجی شبیه‌ساز انجام می‌شود. اثر متغیرهای اصلی توسط نرم‌افزار آماری MINITAB و همچنین نرم‌افزار آماری Design-expert محاسبه شده است. اثر هر متغیر، عددی حقیقی است که هم‌بعد با مقدار پاسخ خواهد بود. عملیات آماری برای شش دسته پاسخ مربوط به شش زمان مختلف تکرار شده تا روند تغییر اثرات با گذشت زمان نیز مشاهده شود. با استفاده از امکانات موجود در نرم‌افزارهای آماری، طراحی مدنظر انجام گردیده و مقادیر پاسخ نیز وارد نرم‌افزار می‌شود. در مرحله بعدی نرم‌افزار محاسبات آنالیز واریانس را انجام داده و متغیرهای مؤثر را با عدم قطعیت از پیش تعریف شده ۰/۰۵ به ما معرفی می‌کند. لازم به ذکر است عدم قطعیت محاسبات قابل تغییر می‌باشد. محاسبات انجام شده فقط برای عوامل اصلی و تداخل‌های درجه دوم آنهاست. نتیجه کار نرم‌افزار در بازه‌های زمانی مختلف در نمودارهای نرم‌الی^{۱۱} که در ادامه این مقاله ارائه خواهند شد نشان داده شده است. در این نمودار، هر یک از عوامل اصلی و تداخل‌های آنها با یک نقطه نمایش

جدول ۲- حالت متغیرها در تک‌تک اجراها (شبیه‌سازی‌ها) را نشان می‌دهد. در این جدول، عدد ۱ به معنای سطح بالای متغیر مورد نظر و عدد ۰- به‌عنوان سطح پایین متغیر در نظر گرفته شده است. در این طراحی، برای حالت بالا مقدار متغیر در عدد ۲ و برای حالت پایین، عدد مربوطه در ۰/۵ ضرب شده است. مثلاً برای حجم آب آبدۀ مقدار خام موجود در مخزن برابر 7×10^8 بشکه بوده که برای حالت بالا و پایین این طراحی، به ترتیب مقادیر 14×10^8 و $3/5 \times 10^8$ اتخاذ شده است. متغیرهایی نیز وجود دارند که قابلیت دو برابر و نصف شدن ندارند. سطح بالا و پایین این دسته در جدول ۳- ارائه شده است.

پس از اجرای شبیه‌سازی در ۱۶ حالت مختلف از مخزن، نرخ نفت تولیدی از میدان در شش زمان مختلف به عنوان پاسخ انتخاب شده است. هدف از انتخاب شش زمان، اثر بررسی گذشت زمان بر متغیرهای مختلف است. کل فرآیند شبیه‌سازی برای ۳۲۵۷ روز (نه

۳ | مقادیر سطوح طراحی برای دو متغیر از طراحی مورد استفاده

متغیر	مقدار در سطح بالا	مقدار در سطح پایین
WOC	۳۷۸۰	۳۴۸۰
NTG	۰/۹	۰/۴

۲ | طراحی مورد استفاده در این پژوهش

Run number	V_aquifer	Kx	Ky	Kz	porosity	NTG	PI of aquifer	WOC
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1
4	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1
8	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
9	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1
10	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1
11	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1
12	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1
13	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
14	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1
15	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1
16	1	1	1	1	1	1	1	1

زمان انتخابی از شبیه‌سازی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تعداد تداخل‌های تأثیرگذار به یک عدد کاهش یافته و نسبت خالص به ناخالص مجدداً به متغیر تأثیرگذار تبدیل شده است. شکل ۶- نمودار تأثیرات را در پنجمین زمان انتخابی نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، تداخلی مؤثر نیست و فقط سه متغیر اصلی (تخلخل و دو نفوذپذیری افقی) تأثیرگذار هستند.

شکل ۷- نمودار نرمال را در آخرین روز شبیه‌سازی نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۷- مشاهده می‌شود ضخامت خالص به ناخالص مجدداً به جمع متغیرهای تأثیرگذار اضافه شده است.

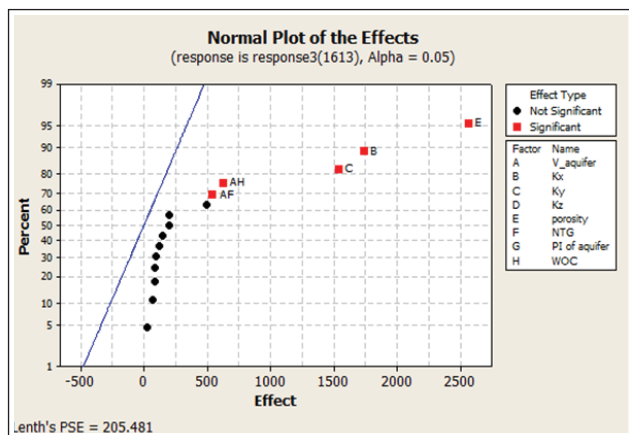
در شکل ۸- نمودار اثر همه متغیرها اصلی در شش زمان مختلف به صورت هم‌زمان رسم شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود مقدار اثر سه متغیر (تخلخل و نفوذپذیری در جهات X و Y) بیشتر از سایر عوامل بوده و سه متغیر (نفوذپذیری عمودی و دو متغیر متعلق به آبده) نیز اثر کمی داشته‌اند و یک متغیر (ضخامت خالص به ناخالص) حالتی بینابین تأثیرگذار و کم‌تأثیر از خود نشان داده است. این حالت برای نسبت ضخامت خالص به ناخالص مربوط به نحوه محاسبات

داده می‌شود و فاصله نقاط نمودار از خط رسم شده بیانگر تأثیر عامل مدنظر در پاسخ است. مرزی که بین تأثیرگذار بودن یا نبودن وجود دارد، با عددی موسوم به عدم قطعیت مشخص می‌شود که در این پژوهش، مقدار آن برابر ۵ درصد در نظر گرفته شده است ($\alpha=0.05$).

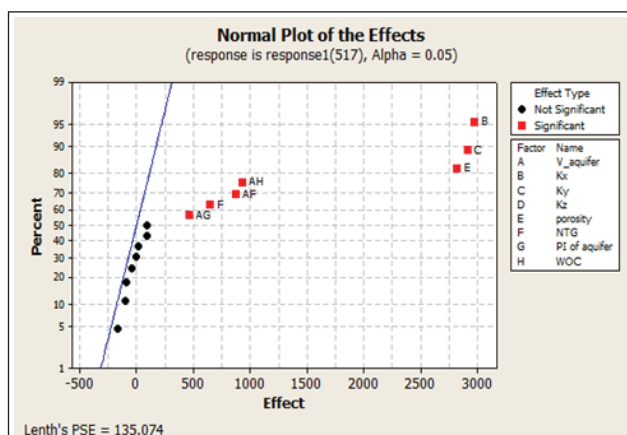
۲- نتایج و بحث

شکل ۲- نتایج نرم‌افزار MINITAB که در قالب نمودار نرمال است را برای اولین زمان انتخابی نمایش می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است در روز ۱۷ام شبیه‌سازی، نفوذپذیری در جهات X و Y، تخلخل و هم‌چنین نسبت ضخامت خالص به ناخالص متغیرهای تأثیرگذاری بوده و سه تداخل AF، AH و AG نیز تأثیر به‌سزایی در پاسخ دارند.

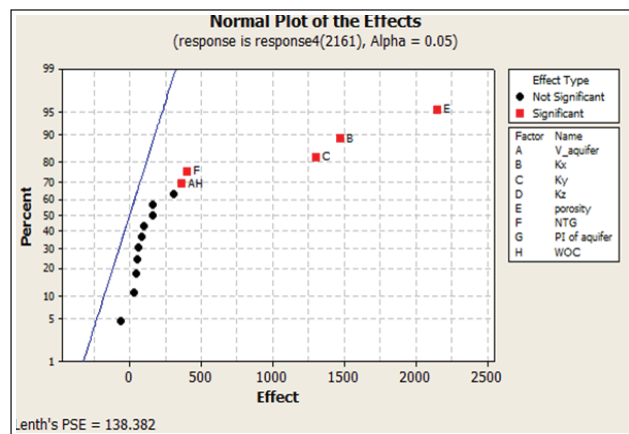
نمودار نرمال در دومین و سومین روز از شبیه‌سازی، در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند. در این بازه فقط نفوذپذیری‌های جهات X و Y و تخلخل اثر داشته و تعداد تداخل‌های کمتری تأثیرگذار می‌باشند. از اینجا شکل ۵- نمودار تأثیرات را در پنجمین



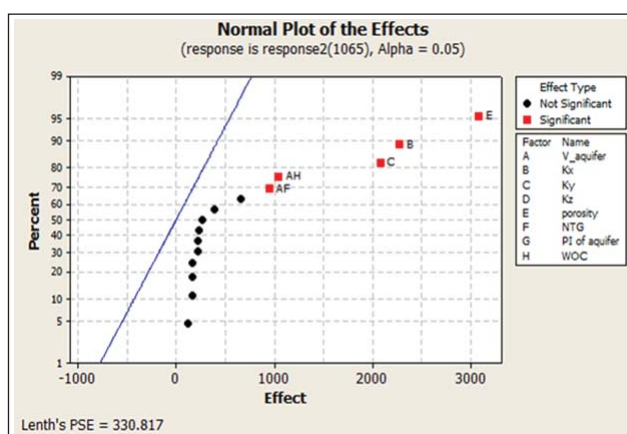
شکل ۴ | نمودار نرمال برای سومین زمان انتخابی



شکل ۲ | نمودار نرمال برای اولین زمان انتخابی



شکل ۵ | نمودار نرمال برای چهارمین زمان انتخابی



شکل ۳ | نمودار نرمال برای دومین زمان انتخابی

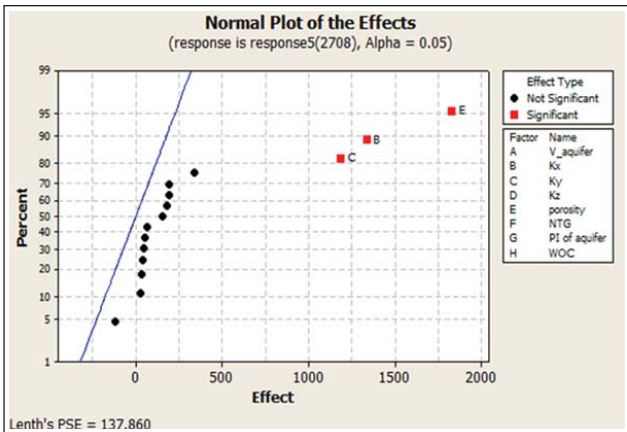
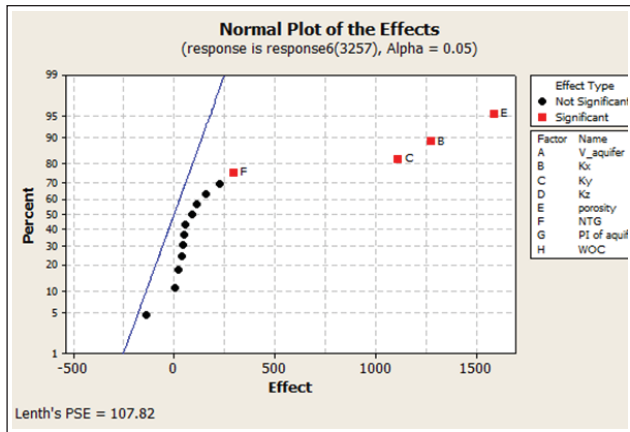


مقدار ارزش-پی، تأثیر گذاری متغیر بیشتر خواهد شد. از سوی دیگر، هرچه مقدار ارزش-پی متعلق به متغیر، بیشتر باشد تأثیر گذاری آن کمتر خواهد بود.

نمودارهای نرمال اثرات در زمان‌های مختلف، نشان می‌دهد که سه متغیر تخلخل و نفوذ پذیری در جهات X و Y بر نرخ تولید نفت مخزن تأثیر گذار هستند. نسبت ضخامت خالص به ناخالص در برخی زمان‌ها تأثیر گذار و در

آماري و نزديكي عدم قطعيت اين متغير به عدم قطعيت تعيين شده براي نرم افزار مي باشد. ضمن اينكه روند تغيير تأثیر برای نفوذ پذیری افقی و تخلخل، نزولی است و تأثیر سایر متغیرهای اصلی با گذشت زمان تغییر چندانی ندارد.

طبق جدول آنالیز واریانس، متغیری که مقدار ارزش-پی آن کوچکتر از ۰/۰۵ باشد، تأثیر گذار شناخته می‌شود و با کاهش شدیدتر



شکل ۷ نمودار نرمال برای ششمین زمان انتخابی

شکل ۶ نمودار نرمال برای پنجمین زمان انتخابی

جدول ۴ داده‌های مورد استفاده از خروجی شبیه‌ساز

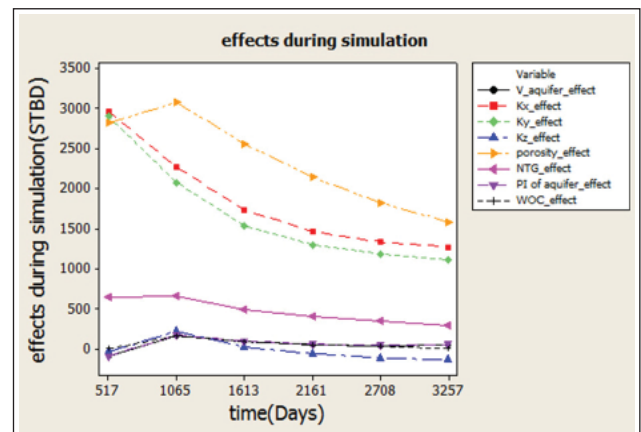
زمان (روز)						شماره اجرا
۳۲۵۷	۲۷۰۸	۲۱۶۱	۱۶۱۳	۱۰۶۵	۵۱۷	
۱۱۸۰/۱۱۷	۱۲۸۴/۶۳۹	۱۴۳۸/۰۳۴	۱۶۷۶/۷۰۷	۲۰۷۶/۸۴۲	۲۸۱۰/۳۹۸	۱
۰۵۶/۱۳۲۲	۱۴۳۸/۶۸۴	۳۲۴/۱۶۱۶	۱۳۱/۱۹۰۰	۰۲۴/۲۳۸۲	۸۶۶/۳۲۳۶	۲
۲۹۲/۳۵۸۷	۳۹۲۰/۹۸۶	۴۳۷۵/۰۰۱	۴۹۹۴/۳۸	۵۸۲۶/۴۶۷	۷۰۱۹/۷۴۸	۳
۴۰۰۴/۰۶۵	۴۳۶۶/۵۱۷	۴۸۵۹/۰۳۶	۵۵۴۴/۶۶۴	۶۴۷۷/۸۵۴	۷۸۴۳/۱۴۴	۴
۳۸۰۳/۸۳	۴۲۱۹/۲۲۹	۴۷۳۰/۹۵۵	۵۴۱۴/۲۸۹	۶۳۶۸/۲۷۹	۷۸۴۷/۵۰۴	۵
۳۴۱۰/۶۶۵	۳۷۸۹/۵۲۷	۴۲۶۴/۳۱۳	۴۸۹۰/۶۳	۵۷۳۳/۰۶۱	۷۰۱۲/۹۰۱	۶
۳۴۵۷/۲۵۲	۳۶۲۳/۸۶۸	۳۷۹۳/۰۸۲	۴۰۹۸/۲۹۴	۴۸۶۵/۱۰۴	۷۶۹۵/۹۶	۷
۳۴۰۹/۶۷	۳۳۹۹/۲۸۶	۳۴۵۷/۷۷۷	۳۶۹۳/۹۳۶	۴۳۲۰/۴۴۱	۶۵۲۵/۱۳۴	۸
۲۶۵۹/۴۹۶	۲۸۷۶/۹۳۸	۳۱۲۳	۳۴۰۶/۵۸۴	۳۷۶۰/۳۱۱	۴۲۵۴/۸۹	۹
۲۳۲۸/۰۴۴	۲۵۲۸/۴۳۷	۲۷۵۹/۱۸۷	۳۰۱۴/۰۳۱	۳۳۲۵/۹۳۱	۳۷۵۴/۵۰۳	۱۰
۲۱۴۵/۲۷	۲۳۱۳/۸۶۳	۲۵۷۷/۱۷	۲۹۶۰/۷۸۱	۳۵۷۱/۷۲۲	۴۸۶۵/۵۰۲	۱۱
۱۹۴۱/۴۰۱	۲۱۰۹/۶۶۱	۲۳۳۳/۹۴۵	۲۶۵۵/۹۱۸	۳۱۹۳/۹۰۴	۴۳۸۷/۲۹	۱۲
۱۸۳۵/۲۳۱	۱۹۷۳/۵۰۸	۲۱۴۸/۲۵۹	۲۴۰۶/۵۶	۲۹۲۹/۶۰۶	۴۲۷۶/۲۰۲	۱۳
۱۹۸۲/۱۸	۲۱۲۷/۲۷۷	۲۳۳۱/۹۷۶	۲۶۵۰/۲۹۹	۳۲۶۳/۱۴۶	۴۷۲۸/۹۶۹	۱۴
۴۷۵۱/۳۳۱	۵۲۱۵/۴۳۴	۵۹۰۵/۱۵۲	۶۹۹۳/۳۳۷	۸۸۸۳/۱۹	۱۱۴۴۶/۹۷	۱۵
۵۴۰۶/۸۷۷	۵۹۷۱/۲۲۹	۶۸۴۹/۹۹	۸۳۰۰/۸۵۳	۱۰۸۸۶/۶	۱۱۹۳۷/۶۳	۱۶

است. تمام فرآیند شبیه‌سازی انجام شده، مربوط به بازه منحنی کاهش تولید از عمر مخزن است؛ بنابراین فشار مخزن با گذشت زمان افت می‌کند؛ چراکه نفوذپذیری‌ها در قالب ضریب گذردهی^{۱۳} در فشار سلول‌ها^{۱۴}، در معادلات شبیه‌سازی مخزن ضرب می‌شوند. انتظار چنین رفتار کاهش‌ی برای تأثیرات نفوذپذیری وجود داشت. حتی نفوذپذیری عمودی هم با گذشت زمان اندکی روندی نزولی از خود نشان می‌دهد که این امر تأییدی بر صحت محاسبات انجام شده در این پژوهش می‌باشد. کاهش تأثیر تخلخل نیز با گذشت زمان روندی شدیدتری پیدا می‌کند که دلیل آن ورود مستقیم تخلخل در معادلات شبیه‌سازی نفت سیاه^{۱۵} می‌باشد. آبدۀ این مخزن قوی نیست؛ بنابراین متغیرهای آن بر عملکرد مخزن تأثیر گذار نخواهد بود. می‌توان نتیجه گرفت که گذشت زمان جای متغیرهای مؤثر را با متغیرهای غیر مؤثر عوض نخواهد کرد.

نتیجه‌گیری

با استفاده از طراحی آزمایش مطرح شده در این مقاله، از طریق روش آنالیز واریانس با کمترین تعداد اجرا و دقت زیاد و با در نظر گرفتن نرخ تولید نفت به‌عنوان پاسخ، از بین هشت متغیر انتخاب شده، سه متغیر تخلخل و نفوذپذیری در جهات X و Y به‌عنوان متغیرهای تأثیر گذار بر عملکرد مخزن انتخاب شدند. ■

برخی دیگر بی‌تأثیر است و سایر متغیرها یعنی حجم آب آبدۀ، اندیس تولید آبدۀ، نفوذپذیری عمودی و سطح تماس آب و نفت هیچ‌گاه تأثیر گذار نبوده‌اند. علت تغییر نقش ضخامت خالص به ناخالص در زمان‌های مختلف ناشی از نزدیک‌بودن بسیار زیاد ارزش-پی این متغیر به مقدار عدم قطعیت تعیین شده برای محاسبات آنالیز واریانس می‌باشد ($\alpha=0/05$). این امر در جداول آنالیز واریانس حاصل از نرم‌افزار Design-expert نیز قابل مشاهده



شکل ۸ | اثر همه عوامل اصلی در شش زمان انتخابی از شبیه‌سازی

پانویس‌ها

- | | | |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1 khomehchi@aut.ac.ir | 6 porosity | 11 normal plot |
| 2 Plackett-Burman | 7 Net to Gross (NTG) | 12 p-value |
| 3 time step | 8 Water Oil Contact (WOC) | 13 transmissibility coefficient |
| 4 decline curve | 9 center point | 14 cells |
| 5 volume of aquifer | 10 pure error | 15 black-oil simulation |

منابع

- [1] M.Crick, "Pros and Cons of Applying a Proxy Model as a Substitute for Full Reservoir Simulations", JPT online journal, JULY 2010
- [2] NIST/SEMATECH-Handbook of Statistical Methods, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, MAY 2012.
- [3] H.Chen, "Minimum Aberration and Related Criteria for Fractional Factorial Designs", J. R. Statist. Soc. B (1999) 61, Part 1, pp. 85-93
- [4] Robert L.Mason; Richard F.Gunts; James L. Hess, "Statistical design and analysis of experiments", JOHN WILEY & SONS, Inc, 1989
- [5] محمد ادریسی؛ علی ادریسی؛ روش تحقیق تجربی، جهاد دانشگاهی و احد امیرکبیر، ۱۳۸۵
- [6] Design-expert software help center. (<http://www.statease.com/index.html>)
- [7] Bradley, N. "the response surface methodology". master of science, Indiana University of South Bend, 2007
- [8] Salazar, R. "Coupled Co2 Sequestration and Enhanced Oil Recovery optimization using experimental design and response surface methodology". master of science. the university of texas at Austin. May 2009
- [9] Mingyao Ai, Runchu Zhang. "Sn-m designs containing clear main effects or clear two-factor interactions", School of Mathematical Sciences, Peking University, 2011
- [10] (<http://www.minitab.com/en-US/default.aspx>)
- [11] J.Chen, et al. "a catalog of two-level and three-level fractional factorial designs with small runs", University of Waterloo, 1992
- [12] Prasanphanich, J. "Gas Reserves estimation by monte-carlo simulation and chemical flooding optimization using experimental design and response surface methodology". master of science. the university of texas at Austin. August 2009