Archive of SID

تطابق تاریخچه اتوماتیک با استفاده از نرم افزارهای هوشمند

سمانه مهرآور[۱]، علیرضا محبی[۲]، صادق شکیب[۳]

شرکت مشاوره و مهندسی پتروسار
S.mehravar@petrosar-co.com

چکیده

به منظور تهیه پیش بینی معتبر ازعملکرد آینده مخازن هیدروکربنی، اجرای تطابق تاریخچه تولیدامری مهم و ضروری می باشد .حتی با داشتن مدل جامع دینامیک با بهترین ودقیق ترین پارامترهای مخزن، نتایج حاصل از شبیه ساز با داده های مشاهده شده در تاریخچه تولید مخزن متفاوت خواهد بود وبنابراین پیش بینی عملکرد آینده مخزن از دقت لازم برخوردار نخواهد بود. به دلیل وقت گیربودن و دقیق نبودن فرایند تطابق تاریخچه با روشهای متعارف و بصورت دستی ، وجود نرم افزاری با دقت بالا به منظور انجام این عمل به صورت خودکار از اهمیت فراوانی برخوردار می باشد. نرم افزار CougarFlow امکان انجام تمامی مراحل انجام تطابق تاریخچه از بررسی پارامترهای موثر تا بهینه سازی و آنالیز ریسک برای پیش بینی عملکرد مخزن در زمان کم و با دقت بالا را به کاربر داده است. همچنین امکان اعمال تغییرات بر روی مدل زمین شناسی و به صورت ناحیه ای فراهم می آید.

واژه‌های کلیدی: شبیه سازی، پیش بینی عملکرد آینده ، تطابق تاریخچه ،نرم افزار CougarFlow

۱. مقدمه

یکی از اهداف مهم شبیه سازی،ارائه یک مدل مخزنی است که اطلاعات دینامیکی و استاتیکی مخزن را به درستی نشان دهد تا بتواند عملکرد آینده مخزن را صحیح پیش بینی کند. اصولاً بعد از ساخت مدل مخزنی، این مدل باید قادر به محاسبه صحیح اطلاعات مشاهده شده در طول تاریخچه تولید مخزن باشد.این اطلاعات معمولا شامل فشار چاه و مقادیر تولید می باشند. درصورت منطبق نبودن اطلاعات میدانی و پاسخ های حاصل از مدل،این مدل باید بازبینی شود و برخی پارامترهای دارای عدم قطعیت طوری تغییر یابند تا نتایج مدل جدید با اطلاعات میدانی تطابق پیدا کنند.[۱]

تطابق تاریخچه شامل دو مرحله اصلی می باشد:

۱. شناخت پارامترهای موثر و دارای عدم قطعیت مانند نفوذپذیری، تخلخل و مشخص کردن میزان تاثیر هر پارامتر

۲. بهینه سازی مقادیر پارامترها و تطابق مدل با تاریخچه تولید

در این مقاله مرحله دوم که شامل بهینه سازی پارامترها است مورد بررسی قرار می گیرد.

در تطابق تاریخچه پارامترهایی که بیش ترین عدم قطعیت و حداکثر تأثیر را بر روی تطابق دارند، تغییرمی یابند. تطابق تاریخچه به دو روش متعارف دستی و خودکار انجام می گیرد[۲]. در روش دستی ، معمولا 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

۱- مدیر بخش مدلسازی مخزن- شرکت مشاوره و مهندسی پتروسار

۲- مدیر بخش مهندسی نفت- شرکت مشاوره و مهندسی پتروسار

۳- مدیرعامل- شرکت مشاوره و مهندسی پتروسار

www.SID.ir

Archive of SID

میدان حاصل شود، ادامه می یابد . بنابراین حتی با وجود تعداد اندک پارامتر مخزنی، به دلیل تاثیرات متقابل میان پارامترها و عملکرد محاسبه شده، این روش می تواند کاملا وقت گیر باشد. تطابق تاریخچه تولید خودکارشبیه تطابق تاریخچه تولید دستی است ، با این تفاوت که د ر این روش، از منطق کامپیوتری برای تنظیم پارامترهای مخزن و مقایسه نتایج با اطلاعات میدانی استفاده می شود. در این روش وقت کمتری صرف می شود و همچنین تاثیر متقابل پارامترها در نظر گرفته می شود. [۳]

در تطابق تاریخچه تولید خودکار، سعی در حداقل کردن تابع هدف است .تابع هدف به عنوان تابعی از تفاوت میان عملکرد مشاهده شده مخزن و عملکرد شبیه سازی شده مخزن در طول دوره تاریخچه تولید تعریف می شودوبه صورت زیر می باشد:

$$OF = \frac{1}{2}\sum_{is=1}^{ns}\sum_{it=1}^{nt} w_{it,is}^{f}\left(d_{it,is}^{sim} - d_{it,is}^{obs}\right)^2$$

در فرمول فوق، پارامترها به صورت زیرمشخص می شوند:

OF: تابع هدف

ns: سری پارامترها

nt: تعداد زمان ها در هر سری

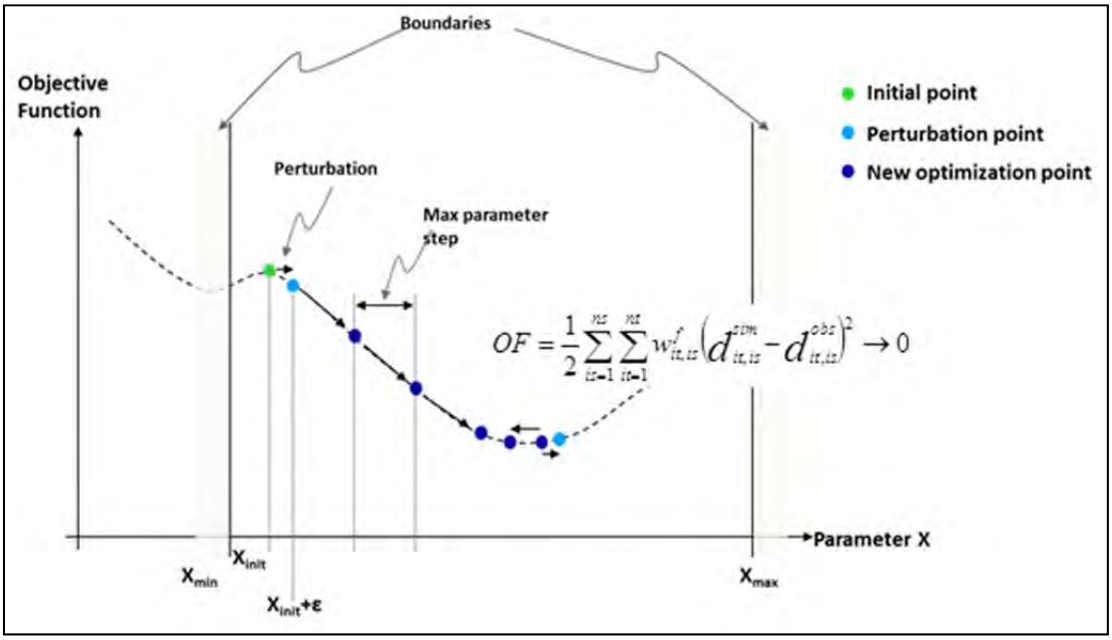
$d_{it,is}^{obs}$: داده های مشاهده شده در زمان it

$d_{it,is}^{sim}$: نتایج حاصل از شبیه ساز در زمان it

$w_{it,is}^{f}$: وزن نهایی پارامتر

وزن نهایی پارامتر، متاثر از وزن داده های میدانی ، پارامترهای دارای عدم قطعیت و زمان می باشد.

شکل زیر چگونگی تغییر پارامترها طی فرایند تطابق تاریخچه را نمایش می هد. این فرایند ازیک نقطه شروع شده و پس از اعمال انحراف ، به سمتی که تابع هدف کوچکتر می شود پیش میرود. هنگامی که با ادامه این روند، تابع هدف شروع به بزگتر شدن کرد، انحراف دوباره صورت می گیرد و تا جایی که تابع هدف به کمترین میزان ممکن برسد.[۴]



شکل ۱: تغییر پارامتر به منظور مینیمم شدن مقدار تابع هدف

www.SID.ir

Archive of SID

۲. آشنایی با نرم افزار CougarFlow

مؤسسه نفت فرانسه (IFP) و شرکت BeicipFranlab یکی از شرکت های پیشرو ، در تولید نرم افزارهای مد لسازی مخازن می باشد. این شرکت در حال حاضر نرم افزار CougarFlow را به عنوان یکی از قدرتمندترین نرم افزارها به منظور انجام تطابق تاریخچه خودکار با همکاری برخی از شرکت های نفتی جهان مانند TOTAL، BP، Petrobras، Eni، Petronas و شرکت ملی نفت ایران تحت عنوان پروژه First توسعه داده و به بازار عرضه نموده است . این نرم افزار در طول زمان و بنا به نیاز های شرکت های عضو کنسرسیوم این پروژه، ارتقاء یافته ودر اختیار شرکت های فوق قرار می گیرد. لیسانس این نرم افزار در حال حاضردر اختیار شرکت ملی نفت ایران و زیر مجموعه های آن می باشد و شرکت پتروسار به عنوان نماینده شرکت فرانسوی Beicip-Franlab عهده دار نصب ، آموزش و پشتیبانی آن است.

هدف از طراحی و توسعه نرم افزار CougarFlow تسهیل عملیات تطابق تاریخچه مخزن می باشد. این نرم افزار قابلیت اتصال به سایر نرم افزارهای مدلسازی زمین شناسی مانند RML, Petrel, Gocad و نیز نرم افزارهای شبیه ساز مخزن مانند Pumaflow, Eclipse, VIP, IMEX,… را ،جهت کالیبره کردن داده های مختلف بر روی مدل زمین شناسی و مخزنی ، داراست.

تمامی مراحل انجام تطابق تاریخچه اعم از بررسی پارامترهای موثر،بهینه سازی و آنالیز ریسک برای پیش بینی عملکرد مخزن در نرم افزار CougarFlow قابل انجام است. در این مقاله تنها بخش بهینه سازی پارامتر ها مورد بررسی قرار می گیرد.

این نرم افزار قابلیت بهینه سازی انواع مختلف پارامترها از جمله پارامترهای کلاسیک و پارامترهای دارای توزیع آماری را دارا می باشد.

داده های کلاسیک داده هایی هستند که بوسیله یک عدد تعریف می شوند مانند ضرایب تغییر پارامترهای زمین شناسی و پارامترهای دینامیکی مانند نقطه پایانی نمودارهای تراوایی نسبی، سطوح تماس و ... .

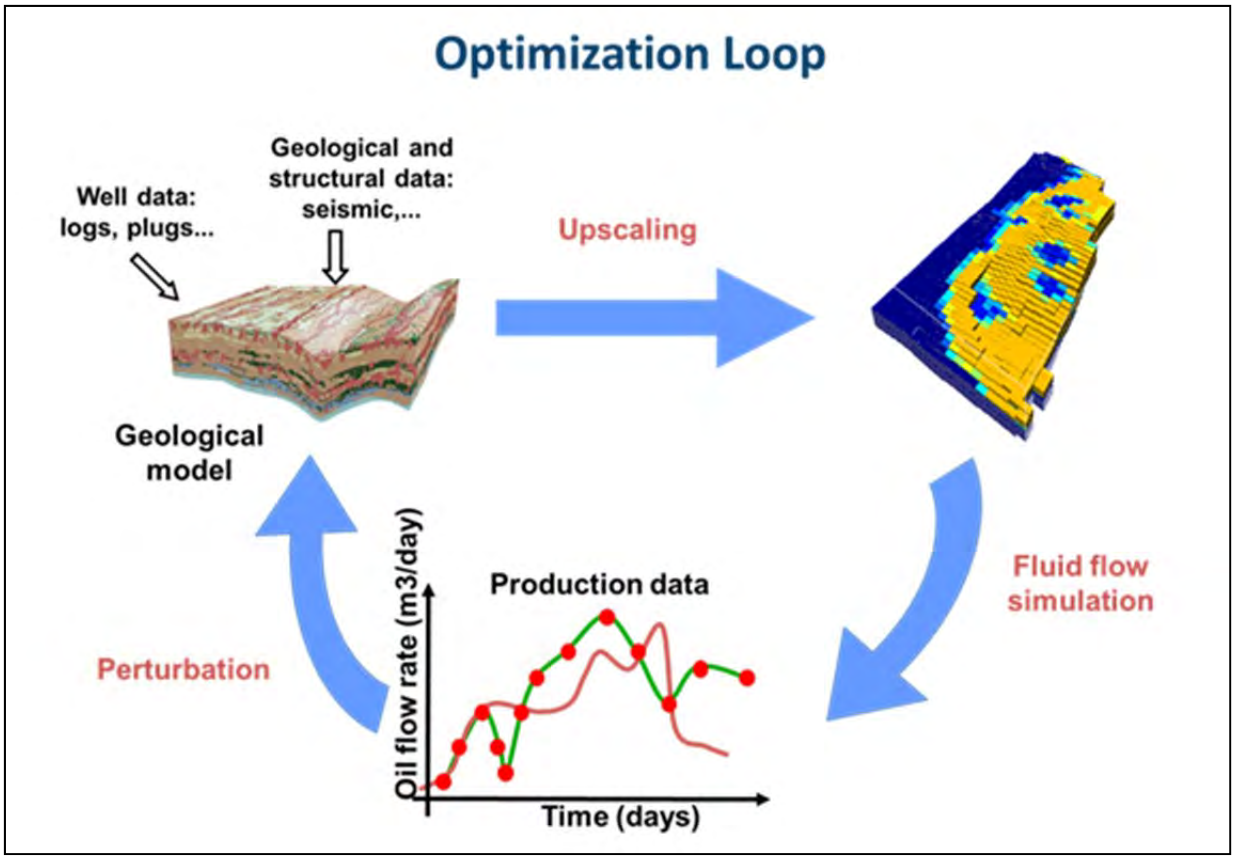
پارامترهای دارای توزیع آماری دسته ای از پارامترها هستند که در آنها آرایه ای از اطلاعات وجود دارد که در فضای مخزن توزیع شده اند. از جمله این پارامترها می توان تراوایی،تخلخل و یا رخساره را نام برد.

به دلیل تفاوت در نوع و ماهیت اطلاعات اسکالر و اطلاعات دارای توزیع آماری از روشهای متفاوتی جهت بهینه سازی آنها استفاده می شود.

نرم افزار Cougarflow تنها نرم افزار از این نوع است که قابلیت بروزرسانی مدل زمین شناسی جهت به روزرسانی اطلاعات دارای توزیع آماری در طی فرایند تطابق تاریخچه را داراست.شکل زیرارتباط بین تطابق تاریخچه، شبیه ساز دینامیک و شبیه ساز استاتیک را نشان می دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲: چرخه انجام بهینه سازی پارامترها و مقایسه نتایج شبیه سازی شده با نتایج میدانی

به منظور انجام تطابق تاریخچه، پارامترهایی که بیش ترین عدم قطعیت و حداکثر تأثیر را بر روی تطابق دارند، تغییرمی یابند. همانطور که اشاره شد برای بهینه سازی پارامترهای کلاسیک و پارامترهای دارای توزیع آماری از روشهای متفاوتی در این نرم افزار استفاده شده است که در ادامه توضیح داده می شود.

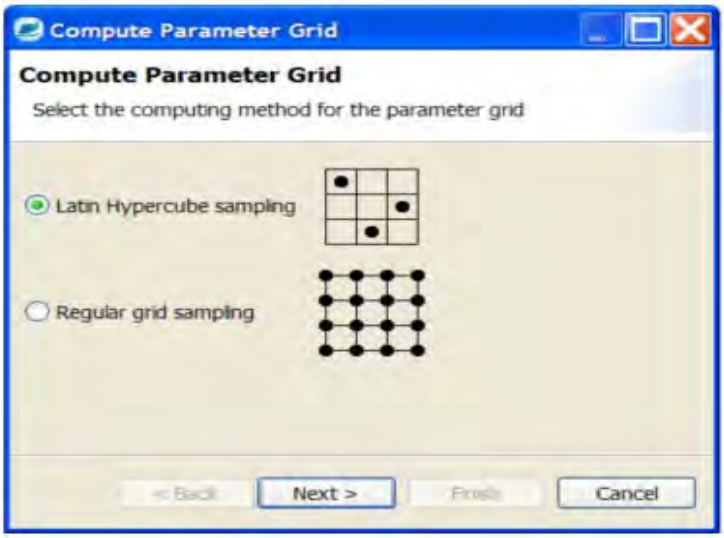
۲,۱ بهینه سازی پارامترهای کلاسیک

۲,۱,۱ مشخص کردن نقطه آغاز جهت بهینه سازی

یافتن بهترین نقطه برای آغاز فرایند بهینه سازی از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. انتخاب نقطه آغاز نامناسب جهت شروع این فرایند می تواند منجر به عدم موفقیت در یافتن مینیمم ویا ماکزیمم مطلق گردیده و در نتیجه کل فرایند بهینه سازی را با مشکل مواجه سازد. برای رفع این مشکل در نرم افزار CougarFlow امکان یافتن بهترین نقطه جهت آغاز فرایند بهینه سازی با استفاده از روش Global Search فراهم آمده است. دراین نرم افزاردو الگوریتم Latin Hapercube Sampling و Regular Grid Sampling مورد استفاده قرار می گیرد. با استفاده از این الگوریتمها می توان تغییرات هر پارامتر را در محدوده بازه ماکزیمم و مینیمم آن مقدار مورد بررسی قرار داده و مقدار بهینه جهت آغاز بهینه سازی را محاسبه نمود. نتیجه حاصل از بکارگیری هر یک از این روشها می تواند به عنوان نقطه آغازین در فرایند نهایی بهینه سازی مورد استفاده قرار گرفته و بدین وسیله احتمال قرار گرفتن در اکسترممهای محلی را به حداقل کاهش داد.

www.SID.ir

Archive of SID



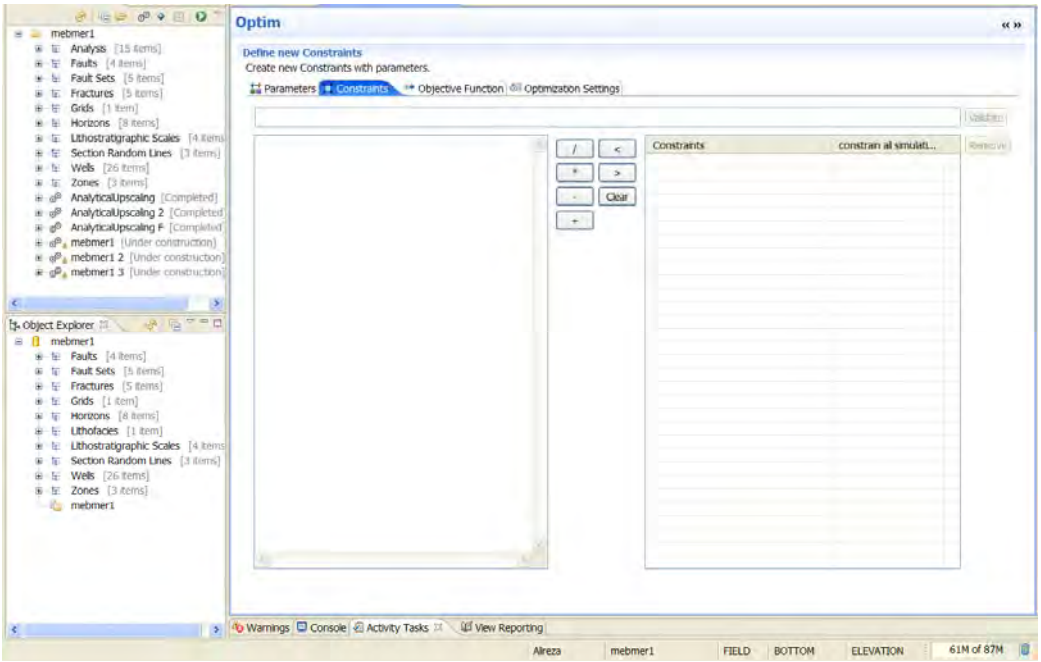
شکل۳: الگوریتم های مورد استفاده جهت یافتن نقطه اولیه

با بررسی نتایج حاصل از انجام Global Search و بررسی دامنه تغییرات هر پارامتر می توان پارامترهای موثر بر فرایند بهینه سازی را نیز تشخیص داده و در نتیجه با حذف پارامترهای غیر موثر از حجم محاسبات بعدی کاسته و فرایند را با سرعت بیشتری پیگیری نمود.

۲،۱،۲ اعمال محدودیتهای فیزیکی بر روی پارامترها

در این بخش می توان روابط خاصی بین پارامترها مورد تغییر اعمال نموده و مدل را مجبور به تبعیت از این روابط و محدودیتها نمود.

به طور مثال می توان رابطه خاصی بین تراوایی و تخلخل تعریف نموده و به این وسیله نرم افزار همواره و در طول فرایند بهینه سازی این روابط را بر محاسبه مقادیر تراوایی و تخلخل در نظر خواهد گرفت. با استفاده از این امکان می توان نتایج بهینه سازی را به طور دلخواه تحت تاثیر قرار داد.



شکل۴: اعمال محدودیت بر روی روابط بین پارامترهای مختلف

www.SID.ir

Archive of SID

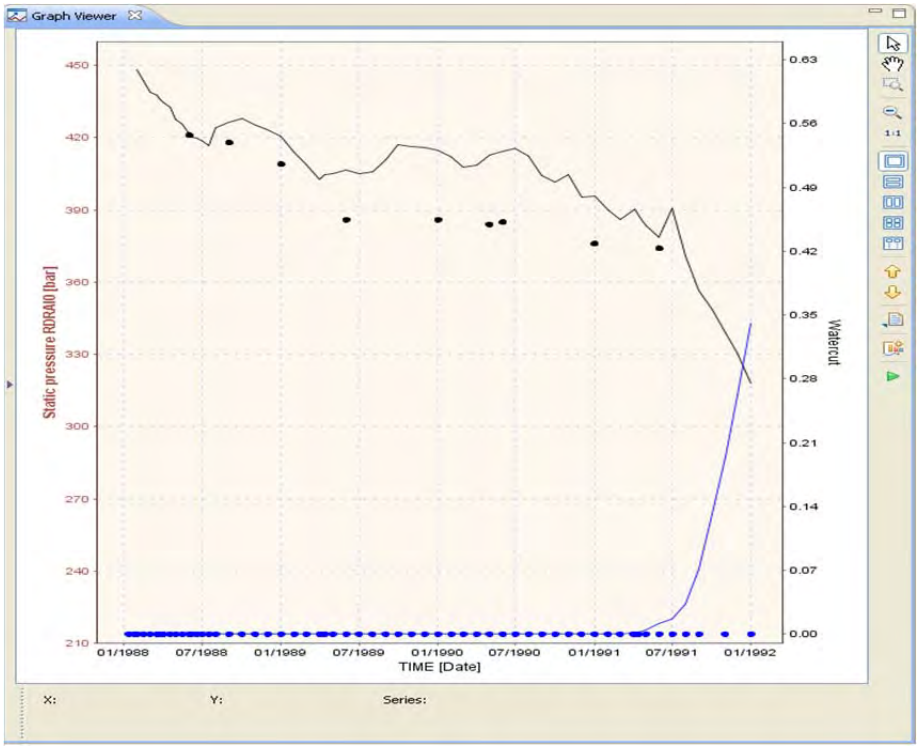
۲،۱،۳ تعریف تابع هدف

در این بخش از نرم افزار، معرفی داده ی میدانی مورد نظر، جهت منطبق شدن با نتایج حاصل از شبیه ساز صورت می گیرد. هر چه میزان تابع هدف کمتر باشد،مقدارمحاسبه شده پارامتر مورد نظر با داده های میدانی منطبق تر است.
برای بهینه سازی و بدست آوردن مقدار مینیمم تابع هدف، در این نرم افزار الگوریتمهای مختلفی در نظر گرفته شده است. این الگوریتم ها در ذیل آورده شده:

- Gauss-Newton
- Steepest Descent
- Levenberg-Marquardt
- Powell (by default)

استفاده از هریک از الگوریتمهای فوق معایب و مزایایی دارد به طور مثال الگوریتم Gauss-Newton در مدت زمان کوتاه همگرا خواهد شد. این روش برای موارد غیر خطی مناسب نیست. الگوریتم Steepest Descent خیلی سریع به جواب نزدیک شده در حالیکه در نزدیکی جواب موثر عمل نمی کند. الگوریتم Levenberg-Marquardt ترکیبی از الگوریتمهای Gauss و Steepest Descent می باشد.الگوریتم Powell الگوریتم بهینه سازی شده Levenberg-Marquardt بوده و دقیقترین و سریعترین الگوریتم مورد استفاده در نرم افزار می باشد.

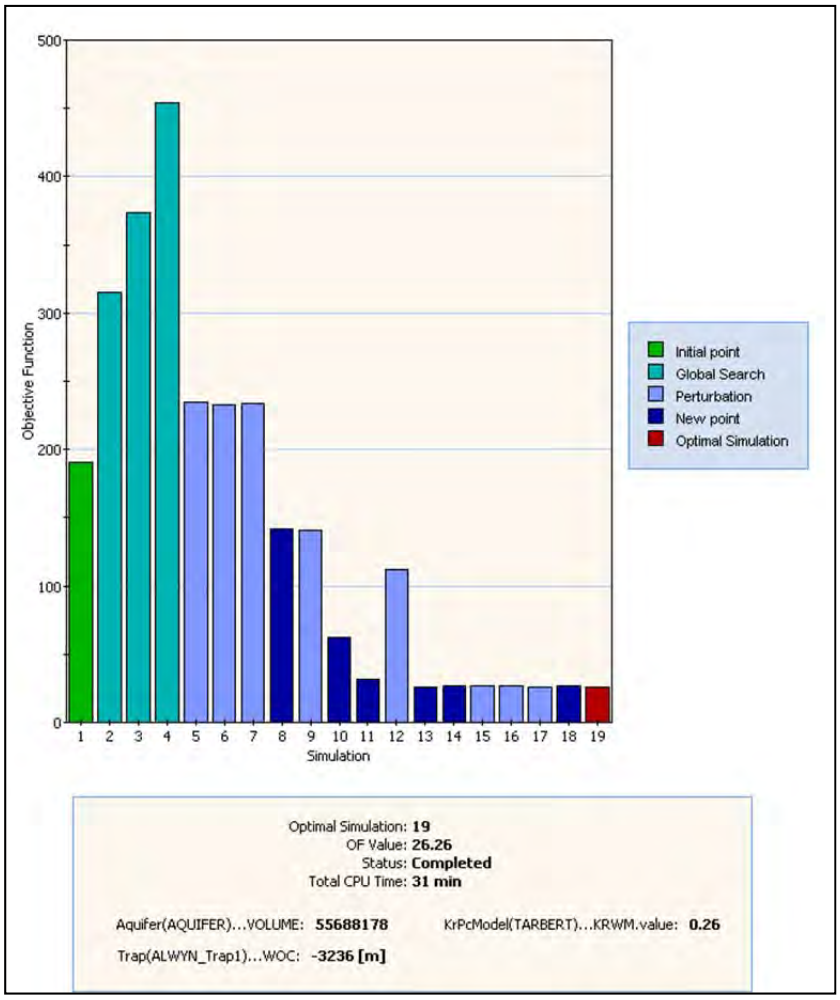
در شکل ۵ میزان تطابق مدل با اطلاعات میدانی قبل از آغاز محاسبات تطابق تاریخچه برای فشار استاتیک و میزان تولید آب برای یک چاه نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود تفاوت زیادی بین مدل و مقادیر واقعی وجود دارد.
در این مدل پارامترهای حجم آبده، میزان نقاط انتهایی نمودارهای تراوایی نسبی و سطح تماس آب و نفت به عنوان متغیر تعریف شده است. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است مقدار تابع هدف که با استفاده از این متغیرها تعریف شده است در طی ۱۹ مرحله شبیه سازی به میزان مینیمم خود رسیده است. همانطور که قبلا توضیح داده شد، هنگامی که تابع هدف کوچک است، مقادیر محاسبه شده توسط شبیه ساز با مقادیر میدانی تطابق بیشتری دارد. میزان تطابق فشار و آب تولیدی این چاه بعد از تکمیل محاسبات در شکل ۷ نشان داده شده است که تطابق مناسبی با اطلاعات واقعی میدان نشان می دهد.



شکل۵: مقادیر محاسبه شده و مقادیر میدانی در حالت اولیه

www.SID.ir

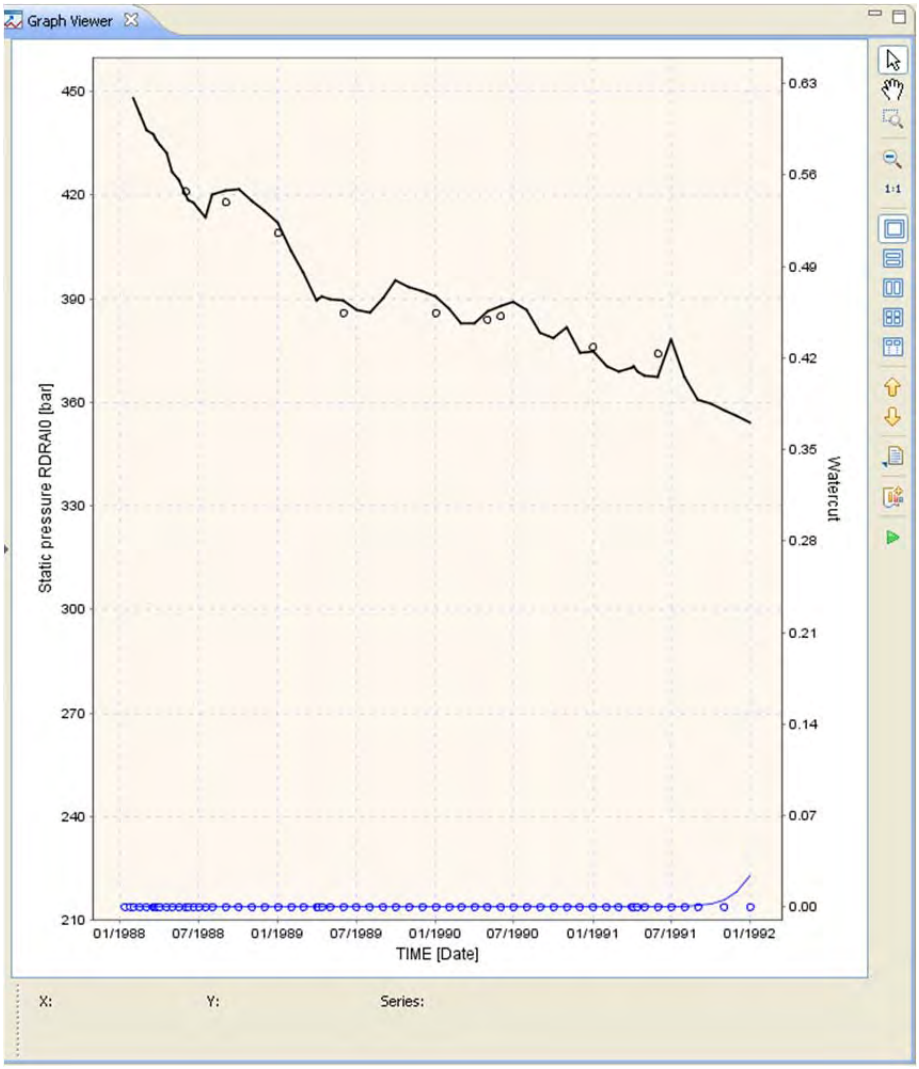
Archive of SID



شکل۶: روند تغییرات تابع هدف در طول محاسبات تطابق تاریخچه و مقدار نهایی پارامترهای متغیر

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۷: مقادیر محاسبه شده و مقادیر میدانی در حالت نهایی

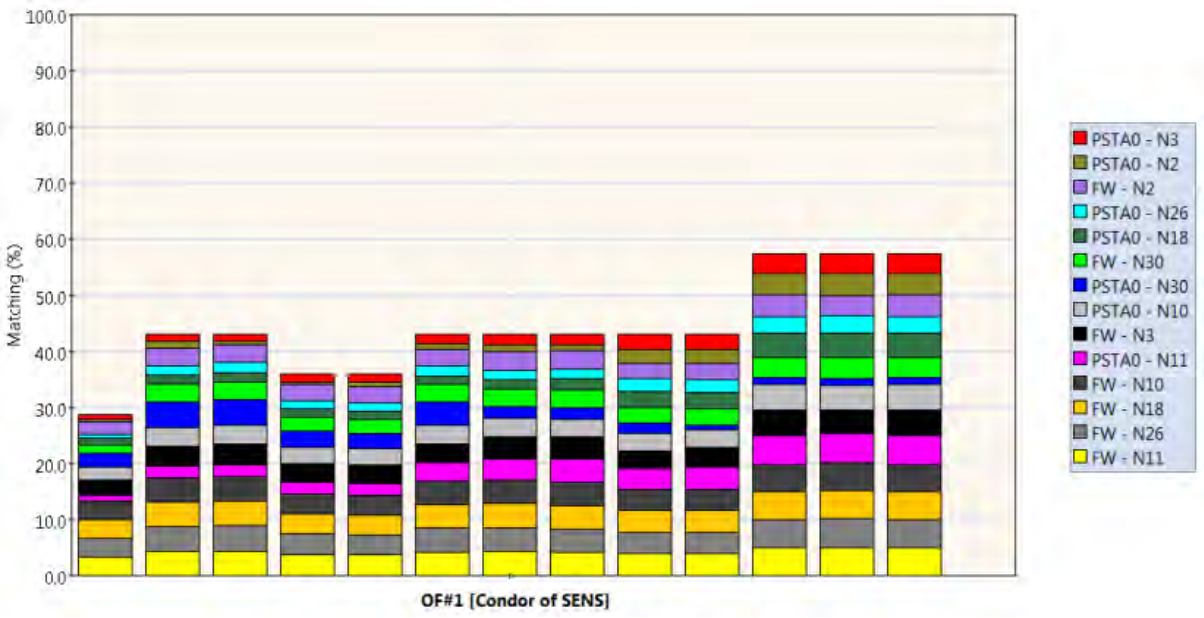
تحلیل نتایج تطابق تاریخچه در این نرم افزار در نمایشگرهای Contribution Analyzer و Contribution Map صورت می گیرد.

نمایشگر Contribution Analyzer (شکل ۸)جهت بررسی میزان نقش تطابق هر یک از پارامترها با میزان واقعی و میزان تاثیرگذاری هریک از این پارامترها در مقدار تابع خطا می باشد. همانطور که در شکل دیده می شود میزان تطابق دو پارامتر فشار استاتیک و میزان تولید آب در چاههای مختلف میدان، در طول فرایند تطبیق تاریخچه از حدود ۳۰ درصد به حدود ۶۰ درصد رسیده است.

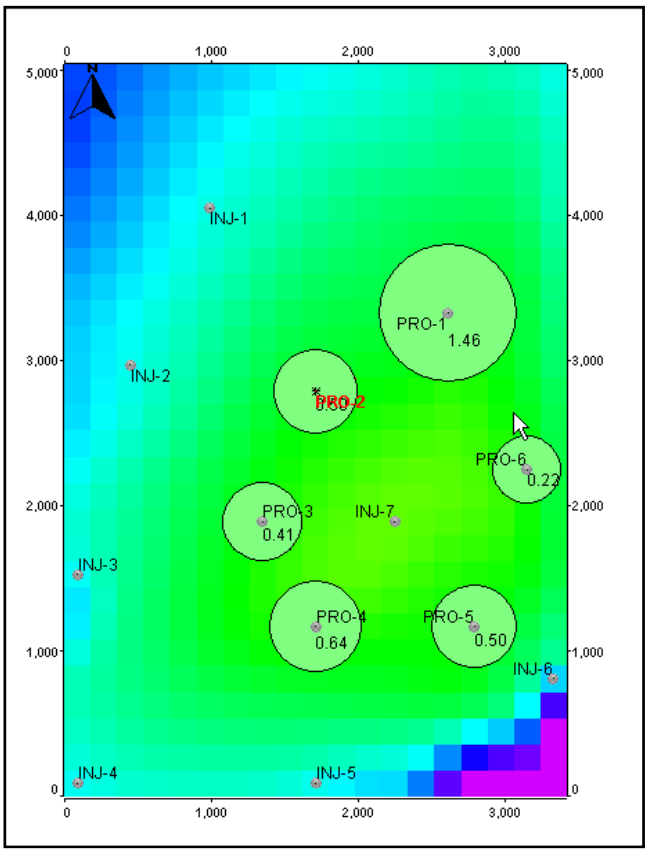
در شکل ۹ نقش هر یک از چاهها در میزان خطای محاسبات با دایره نشان داده شده است. هر چه اندازه این دایره بزرگتر باشد نشان می دهد که این چاه دارای خطای بیشتری می باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸: نمایشگر **Contribution Analyzer**



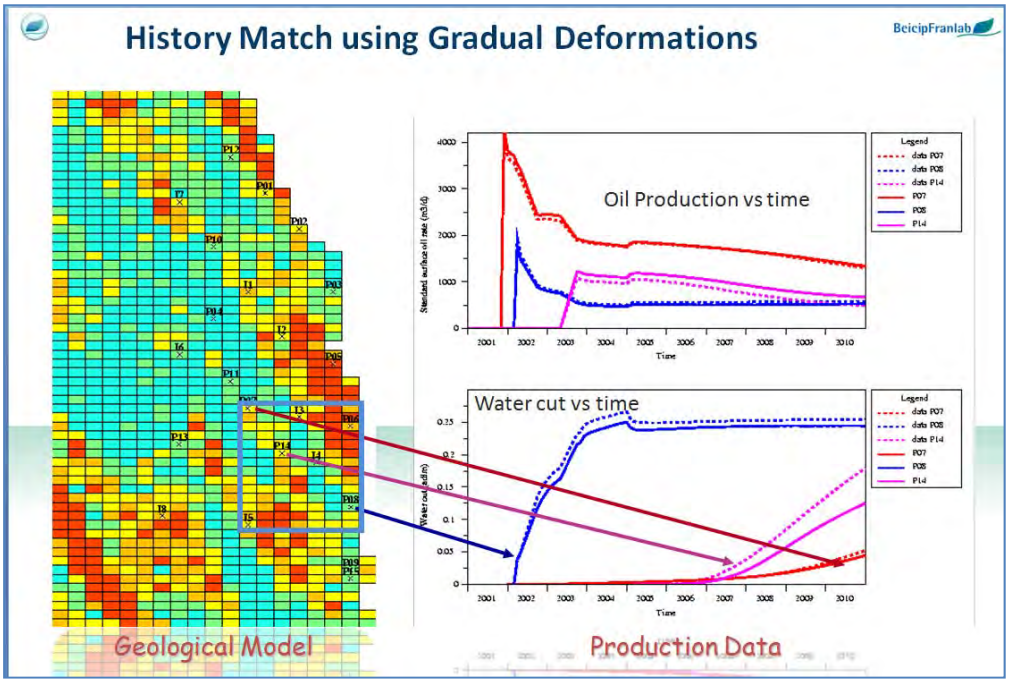
شکل ۹: نمایشگر **Contribution Map**

www.SID.ir

Archive of SID

۲,۲ بهینه سازی پارامترهای دارای توزیع آماری

این نرم افزار تنها نرم افزار از این نوع است که قابلیت بروزرسانی پارامترهای دارای توزیع آماری و مدل زمین شناسی در طی فرایند تطابق تاریخچه را داراست. بدین صورت امکان اعمال تغییرات بر روی مدل زمین شناسی و به صورت ناحیه ای فراهم می آید. با استفاده از این ابزار تغییر مدل زمین شناسی تنها در اطراف چاههای مورد نظر (چاههایی که تطبیق مناسبی با اطلاعات واقعی در آنها وجود ندارد) امکانپذیر می گردد. روش مورد استفاده در این قسمت ، Local Gradual Deformation می باشد.



شکل۱۰: تغییر پارامترهای دارای توزیع آماری با استفاده از روش Local Gradual Deformation

۳. نتیجه‌گیری

همان طور که گفته شد، با انجام تطابق تاریخچه تولید مخزن می توان به پیش بینی معتبرتری در مورد عملکرد آینده مخزن رسید. در این مقاله نرم افزار CougarFlow که در آن الگوریتم های دقیقی برای انجام تطابق تاریخچه خودکار تعریف شده معرفی گردید. در این نرم افزار امکان بهینه سازی مقدار پارامترهای اسکالرو همچنین پارامترهای با توزیع آماری جهت انجام تطابق تاریخچه وجود دارد.

مراجع

1. A. Satter, J.Varnon, and M. Hoang, "Integrated Reservoir Management ,"paper SPE 22350 presented at the 1992 SPE International Meeting on Petroleum Engineering, Beijing, March 24–27, 1992

2. Enhanced Oil Recovery - Iranian Chemical Engineering Journal (Special Issue) – Vol.8 – No. 43 (2009)

3. A.T. Watson and et al, "A New Algorithm for Automatic History Matching Production Data", SPE 15228 (1986).

4. CougarFlow user manual

www.SID.ir