

مدل سازی سه بعدی زمین شناسی سازندهای ایلام و سروک دریکی از میادین نفتی

حمیدرضا همتی نیک*، لیلا فضلی، مصطفی نظری فرد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند • سیدهاشم طباطبائی رئیسی، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران |

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۶/۰۲/۱۲

تاریخ ارسال به داور: ۹۶/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش داور: ۹۶/۰۵/۱۴

چکیده

از اهداف این مطالعه مشخص کردن توان تولیدی و حجم تولید نواحی مخزنی سازندهای ایلام و سروک، تعیین نواحی با اهمیت از نظر خواص مخزنی جهت حفاری چاههای جدید و ارائه مدل سه بعدی از ویژگیهای ساختمانی، چینه شناسی و پتروفیزیکی میدان نفتی مورد مطالعه است. جهت بررسی مدل ساختمانی سازندهای ایلام و سروک دادههای مربوط به چهار حلقه چاه حفر شده در این میدان پس از آماده سازی به صورت رقومی وارد محیط نرم افزار پترل شده و با استفاده از تجزیه و تحلیل لاگهای پتروفیزیکی حاصل از چاهها خصوصیات استاتیکی مخازن مشخص شد. در این مطالعه متغیرهای پتروفیزیکی مخازن ایلام و سروک (گروه بنگستان) شامل تخلخل مفید، درصد اشباع آب و حجم شیل بر اساس دادههای زمین شناسی، نمودارهای چاه پیمایی و دادههای لرزه ای سه بعدی موجود از میدان با استفاده از روشهای زمین آماری مدل سازی شده است. مخزن مورد مطالعه با ابعاد $150 \times 150 \times 1$ متر شبکه بندی شده و مدل چینه ای و ساختمانی میدان ساخته شد. در مدل سازی این میدان با توجه به اینکه مخازن میدان را سازندهای ایلام و سروک تشکیل داده اند، این سازندها به ضخامت یک متری تقسیم شده اند. در انتهای مرحله ی لایه بندی، شبکه ی بلوکی در جهات طول، عرض و ارتفاع تکمیل می گردد. همچنین برای پی بردن به نقش عوامل ساختمانی در توسعه ی تخلخل، داده های مربوط به گسل های میدان نیز به مدل ارائه گردید. مبنای اولیه ی شبیه سازی، نقشه ی UGC میدان بوده که با استفاده از نرم افزار مپ کارد آماده و وارد محیط تترل گردید. تعمیم داده های مربوط به چاههایی که داده های پتروفیزیکی آنها بیشتر مشخص شده، به کل میدان، نتایج قابل قبولی به دست داده است. بعد از مدل سازی سه بعدی مخزن و توزیع متغیرهای مخزنی، محاسبات حجمی تخمین سیالات انجام شده است. برای مشخص شدن هم بستگی فضایی، واریوگرامها برای تمامی نواحی بر اساس متغیرهای اشباع آب و تخلخل مفید رسم شدند و مدل سه بعدی متغیرهای پتروفیزیکی تخلخل، اشباع آب و نسبت خالص به ناخالص (NTG) ساخته شد. در نهایت با استفاده از روش شبیه سازی پی در پی گوسی (SGS) توسط نرم افزار پترل و انجام محاسبات حجمی، ناحیه ی سروک - (به عنوان بهترین ناحیه ی تولیدی انتخاب شد.

واژگان کلیدی:

زمین آمار، متغیرهای پتروفیزیکی، مدل سازی سه بعدی، پترل، تخلخل

مقدمه

بزرگ نفتی برای توسعه ی نرم افزارها در مراکز تحقیقاتی خود تلاش می کنند. به طور کلی فعالیت های مهم در مدل سازی سه بعدی با شروع قرن جدید و به همراه ظاهر و تکمیل شدن نرم افزارهای محاسباتی با سرعت زیاد آغاز شد [۱]. به طور کلی مدل سازی سه بعدی زمین شناسی به دو روش قطعی^۱ و احتمالی^۲ انجام می شود. در زمانی که اطلاعات ورودی طیف گسترده ای از داده ها را شامل گردد از روش قطعی استفاده می شود و این روش تنها یک جواب خواهد داشت. زمانی که اطلاعات موجود میدان کم و پراکنده باشد برای مدل سازی از روش های احتمالی استفاده می شود. یکی از روش های قطعی مشهور روش کریجینگ^۳ است و از روش های احتمالی موجود در نرم افزار پترل نیز می توان به روش شبیه سازی متوالی گوسی^۴ اشاره کرد [۲]. روش شبیه سازی متوالی

امروزه در شرکت های نفتی دنیا ساخت مدل های سه بعدی زمین شناسی به فرآیندی معمول تبدیل شده است. این مدل های سه بعدی تصویری رقومی را از پراکنندگی خواص مخزنی (رخساره ها، تخلخل، اشباع آب، حجم شیل و ...) در اختیار قرار می دهند که با استفاده از آنها می توان به بسیاری از مسائل از جمله ارزیابی حجم هیدروکربن در جای مخازن، طراحی چاه های جدید، ایجاد تطابق چینه شناسی در بین چاه های حفر شده، آنالیز عدم قطعیت نتایج حاصل، برآورد هزینه ها، شبیه سازی دینامیک مخزن، شناسایی درز و شکاف مخزن و ... پاسخ داد [۱]. مدل های شبیه سازی معمولاً برای دست یافتن به خصوصیات مخزن طراحی می شوند. امروزه در مراکز تحقیقاتی دنیا، مدل سازی سه بعدی زمین شناسی به سرعت در حال رشد و پیشرفت است و شرکت های

* نویسنده ی عهده دار مکاتبات (hemmatihamidreza89@gmail.com)

۲-۱- چاه‌ها

ورود اطلاعات به نرم‌افزار پترل با معرفی چاه‌ها آغاز می‌شود. ابتدا باید مختصات، ارتفاع میز دوار دکل حفاری از سطح زمین و عمق نهایی چاه‌ها در نرم‌افزار وارد شود. پس از اتمام این مرحله چاه‌ها و عمق آنها مشخص می‌شود.

۳-۱- مدل‌سازی ساختمانی

مدل ساختمانی یک مخزن، مدل متداولی برای افق‌های زمین‌شناسی و گسل‌هاست که چهارچوب هندسی شبکه‌ی سه‌بعدی را شکل داده و مرز مدل‌های رخساره‌ای و پتروفیزیکی که معرف خواص سنگ هستند را ایجاد می‌کند. به‌علاوه مبنای محاسبات سنجش حجم، طراحی چاه و شبکه‌ی شبیه‌سازی سیال مخزن را شکل می‌دهد [۸]. تهیه‌ی مدل ساختمانی مخزن به‌طور معمول، نقطه‌ی شروع یک مدل مخزنی است [۹]. مدل‌سازی زمین‌شناسی در نرم‌افزار با ساخت یک داده‌ی پیش‌فرض اولیه آغاز می‌شود و مدل‌سازی ساختمانی، رخساره‌ای و خواص مخزنی در این پایگاه داده ساخته خواهد شد. برای تهیه‌ی مدل ساختمانی باید ابتدا آثار گسلش در میدان نفتی بررسی شود. به‌همین منظور ابتدا اطلاعات لرزه‌نگاری این میدان استفاده شد و به کمک نرم‌افزارهای ژئوفیزیکی موجود در اداره‌ی زمین‌شناسی، چند برش لرزه‌ای در جهات مختلف از میدان تهیه شد. بررسی این برش‌ها نشان می‌دهد که میدان از یک تاقدیس متقارن با روند شرقی-غربی تشکیل شده است. با ساخت مدل ساختمانی میدان و اصلاح سرسازند معلوم شد که در بخش شمالی و جنوبی، لایه‌ها بیشترین شیب را دارند و هرچه به سمت عمق پیش می‌رویم به هم خوردگی و شیب لایه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به این روند، گسل‌ها نقش بسیار مهمی در به هم ریختگی نظم بلوک‌ها و تغییر شکل آنها دارند. از این رو بلوک‌بندی میدان با توجه به روند گسل‌ها انجام شد و جهات I (طولی) و J (عرضی) گسل‌ها معرفی شدند و شبکه‌بندی میدان بر این اساس انجام شد. در انتهای این مرحله شبکه‌ی بلوکی در جهت Z (ارتفاع) تکمیل می‌گردد و کار بلوک‌بندی میدان به پایان می‌رسد. در این مطالعه تمامی نواحی سازندهای ایلام و سروک به ضخامت یک متر با استفاده از روش Make/Edit surface لایه‌بندی شدند. همچنین سطح تماس آب با نفت در عمق ۱۴۹۶- متری (زیر سطح دریا) و سطح تماس نفت و گاز در عمق ۱۲۳۰- متری (زیر سطح دریا) با استفاده از ماژول Make contacts وارد نرم‌افزار شد.

۴-۱- مدل‌سازی متغیرهای پتروفیزیکی

پس از انجام اصلاحات لازم، داده‌ی ژئوفیزیک (از نوع تخلخل مفید) برای ورود به محیط مدل آماده است. جهت این کار با انتخاب روش درون‌یابی، داده‌ی ژئوفیزیک وارد مدل می‌شود. روش‌های درون‌یابی مورد استفاده جهت یافتن خواص متغیرهای پتروفیزیکی در فضای بین

گوسی که به اختصار به آن SGS گفته می‌شود الگوریتمی مناسب و مشهوری جهت شبیه‌سازی متغیرهای پیوسته به حساب می‌آید [۳] و از این رو در مطالعه‌ی حاضر، برای مدل‌سازی تخلخل، اشباع آب و حجم شیل از همین روش استفاده شده است. این الگوریتم جهت انجام شبیه‌سازی نیاز به داده‌های استاندارد نرمال دارد [۳]. اساس این روش نیز روش کریجینگ است؛ با این تفاوت که با استفاده از مقدار تخمینی حاصل از روش کریجینگ و واریانس خطای حاصل از آن، توزیعی نرمال رسم شده و پس از تبدیل این توزیع به نمودار تجمعی شرطی (CCDF)، مقادیر تصادفی از این نمودار دریافت می‌شود و به‌عنوان مقدار نقطه‌ی مجهول معرفی می‌گردد.

توصیف مخزن شامل توصیف فضای خالی و اندازه‌ی دانه‌ها، ضخامت مخزن، تخلخل و تراوایی مخزن و تشخیص رخساره و محیط رسوبی است [۴]. نرم‌افزارهای پیچیده‌ی کنونی، مدل‌سازی، ساختمان‌های پیچیده و نامنظم زمین‌شناسی در سه‌بعد را ممکن می‌کنند که این عمل با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و اطلاعات ساختمانی جهت دسترسی به مدلی صحیح انجام می‌شود [۵]. مدل سه‌بعدی، بهترین مکانیزم را برای لحاظ کردن همه‌ی داده‌های موجود فراهم می‌کند [۶]. مهم‌ترین مسأله در خصوص مدل‌سازی، امکان تلفیق داده‌ها از منابع مختلف و استفاده از نتایج هر یک از آنها برای یک مدل‌سازی مطلوب است. با یک مدل دقیق و واقع‌گرایانه می‌توان تخمین نسبتاً کاملی از کل مخزن (حتی مکان‌هایی که اطلاعات قابل‌دسترس جهت حفاری چاه وجود ندارد) به دست آورد و مقدار ذخیره‌ی درجا و نفت قابل‌باز یافت از مخزن را محاسبه کرد.

به دلیل امکان ارائه‌ی کمیت خطا، عدم قطعیت و نتایج مطلوب زیرسطحی و در نهایت ایجاد مدلی دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تر توسط روش مدل‌سازی زمین آماری مخازن، این روش در مدل‌سازی مخازن به‌عنوان بهترین گزینه مطرح است. البته بهره‌گیری از این روش، نیازمند تبحر لازم در علم زمین‌آمار و تطبیق دقیق اطلاعات حاصل مانند واریوگرام با اطلاعات زمین‌شناسی است. اساسی‌ترین مسأله در استفاده از این روش، انتخاب دقیق نوع همبستگی فضایی است. نتیجه‌گیری مطلوب، با انتخاب دقیق همبستگی حاصل می‌شود و در غیر این صورت مدل‌سازی می‌تواند مخاطره‌آمیز باشد [۷]. مطالعه‌ی حاضر با هدف تهیه‌ی مدل سه‌بعدی زمین‌شناسی (مدل پترو فیزیکی) برای سازندهای ایلام و سروک در یکی از میدادین نفتی ایران برای نخستین بار انجام می‌شود.

۱- ساخت مدل سه‌بعدی زمین‌شناسی

۱-۱- سرسازندها

برای این کار تمامی عمق‌ها به همراه نام سازند، ناحیه و شماره‌ی چاه در نرم‌افزار اکسل وارد و ذخیره شده، سپس وارد نرم‌افزار پترل می‌گردد و پس از آن نسبت به عمق نفوذ چاه‌ها به سرسازندها اصلاح می‌شود.

۱-۴-۱- شبیه‌سازی گوسی متوالی

روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی وجود دارد که هر کدام از آنها مبتنی بر الگوریتم‌های خاصی هستند. بهترین روش شناخته شده، شبیه‌سازی گوسی متوالی است که از اوایل دهه ۹۰ برای شبیه‌سازی استفاده شد. این روش به علت کاهش زمان انجام عملیات و سادگی کاربرد زیادی دارد.

در این روش باید داده‌ها نرمال شده و در پایان، عکس تبدیل نرمال روی نتایج اعمال گردد. روش شبیه‌سازی گوسی متوالی، یک روش شبیه‌سازی تصادفی است که برای داده‌های پیوسته به کار می‌رود. بر اساس داده‌های ورودی مشابه و با تغییر در مسیر شبیه‌سازی سلول‌ها، تعداد زیادی شبیه‌سازی می‌تواند انجام شود.

در این روش ابتدا شبکه‌بندی انجام شده و داده‌ها در محل صحیح خود قرار می‌گیرند. سپس توسط تولید کننده عدد تصادفی، نقطه‌ای انتخاب می‌شود و مقدار کمیت مجهول در آن نقطه، به کمک روش کریجینگ یا کوکریجینگ هم مختصات تخمین زده می‌شود. تخمین در نقطه‌ی مورد نظر شامل یک مقدار و یک خطای تخمین استاندارد است. حال مقدار تخمینی در محل شبکه قرار می‌گیرد. در این مرحله دوباره توسط تولید کننده عدد تصادفی، نقطه‌ای جدید از شبکه انتخاب می‌شود و مقدار کمیت، مطابق مراحل قبل در این نقطه تخمین زده می‌شود. شایان ذکر است که نقاط تخمینی قبلی نیز در تخمین مقدار نقطه‌ی جدید شبکه به کار می‌روند. پس از پر شدن تمامی نقاط شبکه با مقادیر، نقشه کامل می‌شود و می‌توان نقشه‌ی جدیدی را آغاز کرد [۱۰].

در این حالت نسبت به حالت قبل، به دلیل تفاوت در نحوه‌ی انتخاب سلول‌های شبکه، نقشه‌ی جدید با نقشه‌ی قبلی متفاوت خواهد بود. برای نمایش نتایج شبیه‌سازی روش‌های مختلفی وجود دارد. مثلاً می‌توان نقشه‌ها را به صورت نقشه‌ی شاخص نشان داد. این کار امکان می‌دهد که مقادیر نمایش داده شده در محدوده‌ای مشخص قرار گیرد. در روش دیگر نقشه‌های شبیه‌سازی شده میانگین گیری می‌شود که به آن نقشه‌ی میانگین یا E-type گویند. در شبیه‌سازی اثر هموارشدگی حاصل از تخمین، دیده نمی‌شود. در نتیجه، نقشه‌ی حاصل، تمامی تغییرات متغیر موجود در منطقه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱-، الگوریتم روش شبیه‌سازی گوسی متوالی، به چهار مرحله تقسیم می‌شود.

۱-۴-۲- محاسبات حجمی

جهت انجام محاسبات حجمی نیازمند مدل اشباع آب، تخلخل، نسبت خالص به ناخالص، ضریب حجمی نفت و گاز، عمق سطح تماس آب و نفت و عمق سطح تماس نفت و گاز خواهیم بود [۲]. روابط محاسباتی به قرار زیر است:

$$\text{Bulk Volume} = \text{Total}$$

حجم کل سنگ مخزن

$$\text{Rock Volume}$$

$$\text{Net Volume} = \text{Bulk Volume}$$

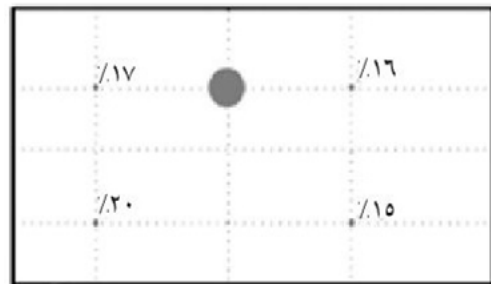
حجم مفید مخزن

$$* \text{Net/Gross}$$

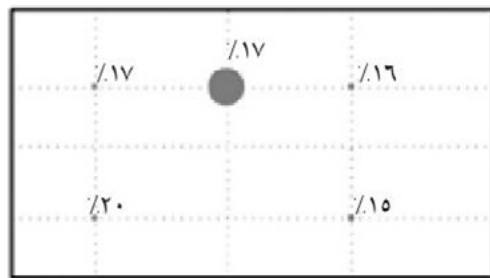
$$\text{Pore Volume} = \text{Bulk Volume}$$

حجم فضای متخلخل مخزن

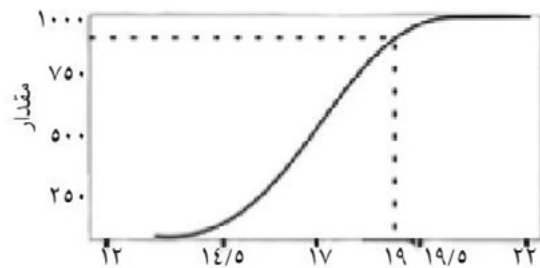
چاه‌ها از روش‌های مدل‌سازی قطعیت‌پذیر تلقی می‌شوند. در این روش، بر اساس نمودار پتروفیزیکی در موقعیت چاه‌ها، به کمک الگوریتمی به نام تابع درون‌یاب، یک مقدار از متغیر مخزن به فضای بین چاه‌ها اختصاص می‌یابد. روش مورد نظر بر اساس نوع کاربرد در این مطالعه و با در نظر داشتن امکانات سخت‌افزاری کامپیوتری انجام شد.



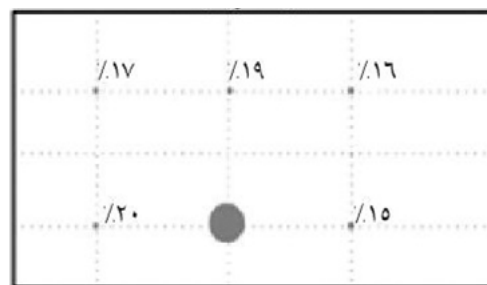
الف- کشیدن موقعیت تصادفی بین چاه‌ها



ب- تخمین مقدار و انحراف معیار با استفاده از روابط کریجینگ



ج- توزیع تجمعی گوسین



د- ترکیب کردن مقادیر و انحراف معیار به دست آمده انتخاب موقعیت تصادفی جدید



آماري داده‌های ورودی معلوم شد که هیچکدام از داده‌های ورودی توزیع نرمال ندارند. از این رو در بخش آنالیز داده‌ها در نرم افزار پترل، توزیع داده‌های ورودی، به توزیع نرمال تبدیل شد [۱۱]. در مرحله آنالیز داده‌ها روند داده‌های مدل برداشته و واریوگرام برای سایر داده‌ها

حجم نفت در جابجایی خالی اشباع شده از هیدروکربور

$$\text{Net/Gross} * \text{Porosity} *$$

$$\text{HCPV oil} = \text{Bulk Volume} * \text{Net/Gross} * \text{Porosity} * \text{So}$$

حجم نفت اولیه در شرایط تانک ذخیره

$$\text{STOOIP} = \text{HCPV oil} / \text{Bo} + (\text{HCPV gas/Bg}) * \text{OGR gas}$$

$$\text{HCPV gas} = \text{Bulk Volume} * \text{Net/Gross} * \text{Porosity} * \text{Sg}$$

$$\text{GIIP} = \text{HCPV gas/Bg} + (\text{HCPV oil/Bo}) * \text{GOR oil}$$

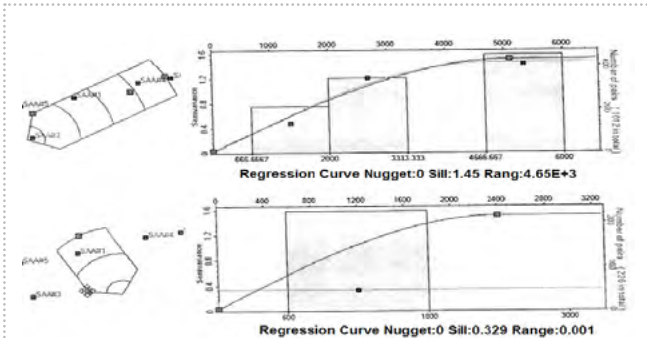
$$\text{Recoverable Gas} = \text{GIIP} * \text{RF gas}$$

$$\text{Recoverable Oil} = \text{STOOIP} * \text{RF oil}$$

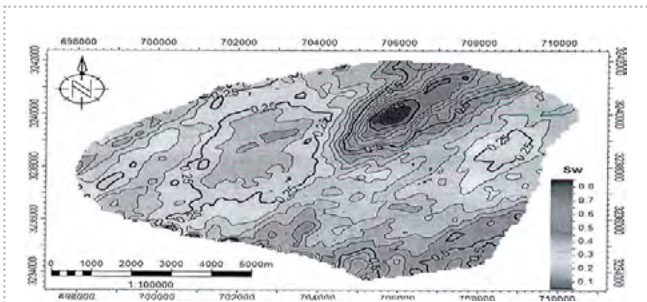
۲- روش کار

در این مطالعه ابتدا اطلاعات کلی میدان مورد مطالعه، نمودارهای چاه‌نگاری و نگاره‌های سرچاهی جمع‌آوری شد. مختصات چاه‌های میدان مورد بررسی در سیستم UTM، اطلاعات لرزه‌نگاری تفسیر شده (تخلخل مفید)، سطح تماس سیالات درون مخزن، گزارش‌های تکمیلی زمین‌شناسی شش چاه این میدان، عمق ورود چاه‌ها به سرسازندها و نواحی سازندهای ایلام، سروک و کزدمی، نمودارهای پتروفیزیکی خام برای شش چاه و تفسیر شده برای پنج چاه این میدان و نقشه‌ی UGC و اطلاعات مربوط به گسل‌های میدان دریافت شد. در مرحله بعد ورود اطلاعات به نرم‌افزار پترل با معرفی چاه‌ها آغاز شد. در ابتدا مختصات، ارتفاع KB (ارتفاع میز دوار دکل حفاری از سطح زمین)، عمق نهایی چاه‌ها مشخص و در نرم‌افزار وارد شد. پس از بارگذاری شش چاه میدان، نمودارهای پتروفیزیکی مربوط به این چاه‌ها با فرمت‌های LAS3 و ASCII وارد نرم‌افزار گردید. تصمیم گرفته شد که میدان هم در جهت طولی و هم در جهت عرضی در فواصل ۱۵۰ متری بلوک‌بندی شود. ساخت مدل زمین‌شناسی نیازمند معرفی سرسازندها و قاعده‌ی مخزن است. سرسازندهای ایلام و سروک (سازندهای مخزنی) و همچنین سرسازند کزدمی جهت قاعده‌ی مخزن در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه نمودارهای پتروفیزیکی در اندازه‌های حدود ۱۵ سانتی‌متر برداشت و لایه‌بندی سازندها به‌طور معمول در اندازه‌ی بزرگ‌تر ساخته می‌شوند باید با استفاده از روش میانگین‌گیری مقادیر موجود در نمودارها به درون بلوک‌ها انتقال پیدا کنند. در نتیجه جهت درشت‌نمایی^۵ نمودارهای پتروفیزیکی تخلخل، حجم شیل، اشباع آب جهت ورود آنها به دورن شبکه‌ی بلوکی از روش میانگین‌گیری حسابی استفاده شد.

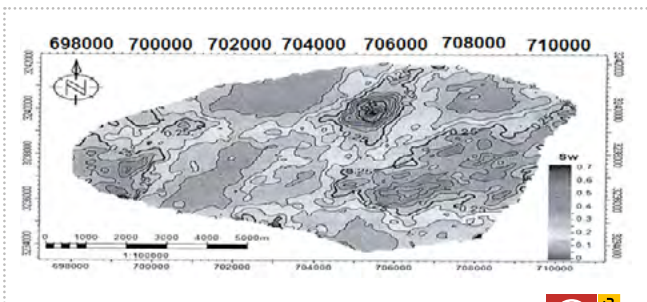
از آنجا که پایه و اساس بیشتر محاسبات روش‌های تخمینی زمین آماری، همبستگی داده‌هاست (وجود ساختار فضایی میان داده‌ها) جهت مشخص شدن همبستگی فضایی، واریوگرام‌ها برای تمامی نواحی سازندهای ایلام و سروک برای نمودارهای اشباع آب، تخلخل مفید و حجم شیل رسم گردید. البته قبل از استفاده از واریوگرام‌ها باید مشخص شود که آیا توزیع داده‌های ورودی نرمال است یا خیر؟ با رسم توزیع



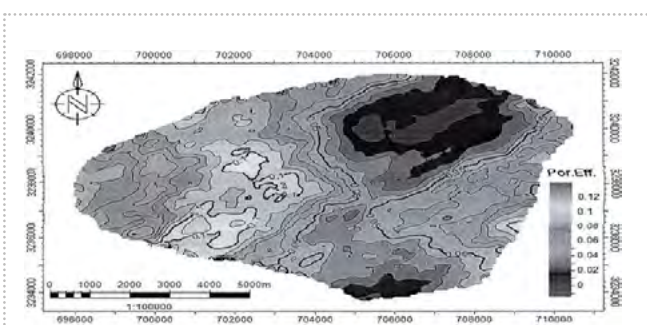
شکل ۲ | واریوگرام‌های رسم شده برای ناحیه‌ی ۱ سازند ایلام-تخلخل مفید



شکل ۳ | نقشه‌ی میانگین اشباع آب در سازند ایلام



شکل ۴ | نقشه‌ی میانگین اشباع آب در ناحیه‌ی سروک-۱

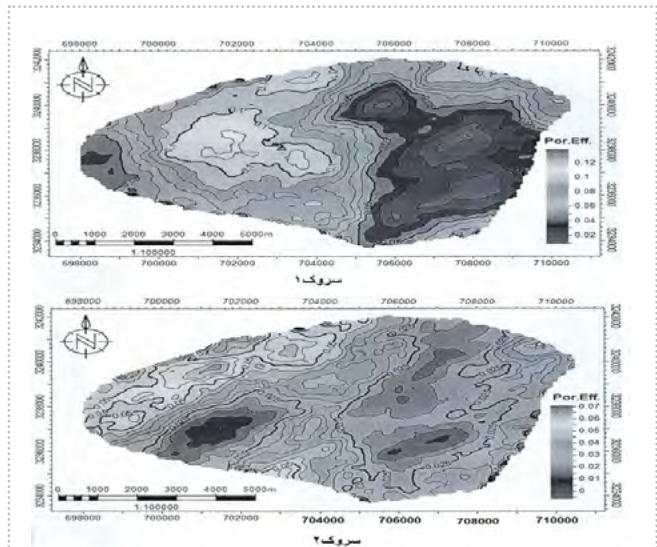


شکل ۵ | نقشه‌ی میانگین تخلخل مفید در سازند ایلام

محاسبه گردید [۱۲]. همچنین در ناحیه‌هایی که روند قابل ملاحظه‌ای مشاهده شد روندها حذف گردید تا شرط پایایی سیستم برقرار باشد. پس از آنکه توزیع داده‌های اولیه به توزیع نرمال تبدیل شد و روندهای قابل ملاحظه حذف گردید، نوبت به رسم واریوگرام‌ها می‌رسد. واریوگرام‌ها برای تمامی ناحیه‌ها و بر اساس متغیرهای اشباع آب، تخلخل مفید و حجم شیل رسم شد و متغیرهای مربوط به واریوگرام‌ها (شاخص‌های هم‌بستگی فضایی) مشخص گردید. واریوگرام‌ها بر اساس دانش زمین‌شناسی و اطلاعات در دسترس از میدان تهیه شده و متغیرهای پتروفیزیکی در سه بعد مخزن بر اساس این واریوگرام‌ها تخمین زده شد. در مرحله‌ی آخر مدل‌سازی، به کمک مدل‌های ایجاد شده بر آوردی از حجم مخزن و نفت در جای نواحی مورد مطالعه در میدان انجام گرفت. پس از تهیه‌ی مدل پتروفیزیکی (مدل‌های تخلخل مفید، اشباع آب، مدل نسبت خالص به ناخالص) و با در اختیار داشتن ضریب حجمی نفت و گاز و سطح تماس سیالات درون مخزن، محاسبات متغیرهای حجمی انجام شد [۲].

۳- بحث و نتایج

در این مطالعه با توجه به کمبود اطلاعات در میدان (از تنها شش چاه) و همچنین وجود داده‌های لرزه‌نگاری، تصمیم گرفته شد از روش غیرقطعی SGS جهت مدل‌سازی استفاده گردد. در مبحث مدل‌سازی پتروفیزیکی بر اساس مدل‌سازی تجربی (شکل‌های ۲- تا ۶ و جداول ۱- تا ۵)، با استفاده از مدل‌های ساخته شده و با بررسی میانگین حاصل برای هر متغیر مخزنی می‌توان ناحیه‌ی مخزنی برتر در میدان را تعیین کرد. بر این اساس ناحیه‌ی سروک-۱ با داشتن بیشترین میانگین تخلخل مفید، کمترین میانگین اشباع آب، میانگین حجم شیل کم و بیشترین میانگین نسبت خالص به ناخالص به‌عنوان ناحیه‌ی مخزنی میدان معرفی می‌گردد. همچنین نتایج نشان داد که بهترین زاویه جهت دریافت هم‌بستگی فضایی برای نمودارهای تخلخل مفید زاویه‌ی ۶۰ درجه بوده و تمامی واریوگرام‌های برازش



۶ | نقشه‌ی میانگین تخلخل مفید در نواحی سروک-۱ و ۲

۱ | متغیرهای واریوگرام‌های برازش شده برای نمودار تخلخل مفید

نام ناحیه	زاویه	مدل واریوگرام	Major Range	Minor Range	Vertical Range	Nugget	SILL
ایلام	۶۰	کروی	۵۲۶۳/۸	۲۴۰۵/۶	۱۰/۸	۰/۰۲۸	۱
سروک-۱	۶۰	کروی	۴۴۷۴/۹	۲۷۵۴/۸	۱۴/۹	۰/۱۰۸	۱
سروک-۲	۶۰	کروی	۴۴۳۲	۲۲۱۲/۲	۱۴/۹	۰	۱
سروک-۳	۶۰	کروی	۵۴۲۰/۶	۳۰۰۶	۸/۸	۰/۰۴	۱
سروک-۴	۶۰	کروی	۵۴۷۴	۳۱۰۲/۴	۱۴/۲	۰	۱
سروک-۵	۶۰	کروی	۵۴۰۰	۳۰۰۰	۱۴/۸	۰	۱
سروک-۶	۶۰	کروی	۵۴۰۰	۳۰۰۰	۱۴/۴	۰	۱

۲ | متغیرهای واریوگرام‌های برازش شده برای نمودار اشباع آب

نام ناحیه	زاویه	مدل واریوگرام	Major Range	Minor Range	Vertical Range	Nugget	SILL
ایلام	۵۰	کروی	۶۳۷۹/۹	۲۵۰۰	۵	۰/۰۱	۱
سروک-۱	۵۰	کروی	۴۷۱۸/۲	۲۵۰۰	۸/۴	۰	۱
سروک-۲	۵۰	کروی	۴۷۴۰/۵	۲۵۰۰	۷/۷	۰	۱
سروک-۳	۵۰	کروی	۴۶۹۶	۲۵۰۰	۷/۳	۰	۱
سروک-۴	۵۰	کروی	۶۳۹۲/۱	۲۵۰۰	۸/۷	۰	۱
سروک-۵	۵۰	کروی	۶۳۰۰	۲۵۰۰	۹/۷	۰	۱
سروک-۶	۵۰	کروی	۶۳۰۰	۲۵۰۰	۱۶/۶	۰	۱

۳ | متغیرهای واریوگرام‌های برازش شده برای نمودار حجم شیل

نام ناحیه	زاویه	مدل واریوگرام	Major Range	Minor Range	Vertical Range	Nugget	SILL
ایلام	۶۰	کروی	۵۴۷۳/۹	۲۵۰۰	۳/۹	۰	۱
سروک-۱	۶۰	کروی	۵۵۸۸/۷	۲۵۰۰	۱۳/۸	۰	۱
سروک-۲	۶۰	کروی	۵۶۳۳/۳	۲۵۰۰	۱۹	۰	۱
سروک-۳	۶۰	کروی	۵۵۶۶/۳	۲۵۰۰	۱۰/۶	۰	۱
سروک-۴	۶۰	کروی	۵۶۵۵/۷	۲۵۰۰	۱۱	۰	۱
سروک-۵	۶۰	کروی	۶۰۰۰	۲۵۰۰	۱۲/۸	۰	۱
سروک-۶	۶۰	کروی	۶۰۰۰	۲۵۰۰	۱۴/۴	۰	۱

متغیرهای حجمی گوناگون به دست آورد [۲]. پس از انجام محاسبات حجمی در نرم افزار یک مورد از محاسبات حجمی ساخته خواهد شد که در جدول ۵- نتایج آن ارائه شده است.

علم زمین آمار می تواند یک روش کاربردی ریاضی را بر اساس علم آمار در آنالیز، یکپارچه سازی، تفسیر و توزیع اطلاعات زمین شناسی، پتروفیزیک یا هر اطلاعات دیگر مورد نیاز در مدل سازی زمین شناسی تشریح کند [۱۳]. به طور کلی تخمین ذخیره به روش زمین آمار شامل دو مرحله ی اساسی است. در مرحله ی نخست ابتدا باید ساختار فضایی و ارتباطی فضایی (پیوستگی، همگنی، ناهمگنی) موجود بین نمونه ها شناسایی شود و با استفاده از ابزاری به نام واریوگرام، این ارتباط فضایی مشخص گردد. سپس در مرحله ی دوم با استفاده از روش کریجینگ یا شبیه سازی شرطی که به مشخصات مدل واریوگرام پردازش شده در مرحله ی اول وابسته است، تخمین ذخیره انجام می شود [۱۴]. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار

شده از نوع کروی هستند. همچنین نواحی سروک-۵، ۴، ۲ و ۶ کمترین مقدار Nugget را دارند، بهترین زاویه جهت دریافت هم بستگی فضایی برای نمودارهای اشباع آب زاویه ای بین ۵۰ تا ۶۰ درجه بوده و تمامی واریوگرام ها برآزش شده از نوع کروی هستند. در نمودارهای اشباع نسبت به نمودارهای تخلخل مفید، مقدار Nugget کمتری وجود دارد و بهترین زاویه جهت دریافت هم بستگی فضایی برای نمودارهای حجم شیل زاویه ای ۶۰ درجه بوده که نسبت به نمودارهای تخلخل مفید و اشباع آب، اختلاف کوچکی را نشان می دهد. همچنین تمامی واریوگرام های برآزش شده از نوع کروی بوده و سازند ایلام و تمامی نواحی سازند سروک کمترین مقدار Nugget را دارند.

برای محاسبه ی متغیرهای حجمی نیازمند مدل های تخلخل مفید، اشباع آب، مدل نسبت خالص به ناخالص، ضریب حجمی نفت و گاز، سطح تماس سیالات درون مخزن هستیم. با استفاده از نرم افزار پترل می توان

۴ | میانگین تخلخل، اشباع آب، حجم شیل و NTG

نام ناحیه	زاویه	مدل واریوگرام	نام زون	میانگین تخلخل	میانگین اشباع آب	میانگین حجم شیل	میانگین NTG
ایلام	۶۰	کروی	ایلام	۰/۰۶	۰/۵۰	۴/۶۱	۰/۰۲
سروک-۱	۶۰	کروی	سروک-۱	۰/۰۷	۰/۴۳	۳/۲۷	۰/۱۲
سروک-۲	۶۰	کروی	سروک-۲	۰/۰۳	۰/۶۵	۲/۵۱	۰/۰۲
سروک-۳	۶۰	کروی	سروک-۳	۰/۰۱	۰/۸۶	۳۰/۵	۰
سروک-۴	۶۰	کروی	سروک-۴	۰/۰۱	۰/۹۶	۲/۴۹	۰/۰۰۰۶
سروک-۵	۶۰	کروی	سروک-۵	۰/۰۱	۰/۹۹	۶/۶۸	۰
سروک-۶	۶۰	کروی	سروک-۶	۰/۰۱	۰/۹۷	۶/۴۳	۰

۵ | نتایج حاصل از محاسبات حجمی نواحی مورد مطالعه ی میدان

نام ناحیه	Bulk volume [*10 ⁶ m ³]	Net volume [*10 ⁶ m ³]	Pore volume [*10 ⁶ m ³]	HCPV oil [10 ⁶ m ³]	HCPV gas [*10 ⁶ m ³]	STOIP [*10 ⁶ m ³]	GIIP [*10 ⁶ m ³]
ایلام	۱۸۳۲	۶۹	۸	۴	۲	۲	۳
سروک-۱	۱۴۵۴	۲۵۲	۲۴	۱۷	۴	۱۰	۶
سروک-۲	۱۶۶۸	۵۶	۴	۲	۱	۱	۲
سروک-۳	۹۷۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
سروک-۴	۱۷۳۲	۲	۰	۰	۰	۰	۰
سروک-۵	۱۵۵۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
سروک-۶	۱۳۰۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰

Bg:0.68[rms/sm3] Bo:1.67[rms/sm3]

است. می توان خطای مربوط به هر تخمینی را محاسبه کرد [۱۴]. مهم ترین روش احتمالی که در مدل سازی پتروفیزیکی به کار می رود روش شبیه سازی گوسی ترتیبی است که در این مطالعه نیز استفاده گردید.

بعد از ساخته شدن مدل اشباع آب (شکل-۷)، با توجه به سطح آب و نفت در میدان، با ارائه ی رابطه ی ۱- در محیط Calculator

$$\text{SWE} - \text{FINAL} = \text{IF}(z \leq -1496, 1, \text{SWE}) \quad (1)$$

جهت تهیه ی مدل نسبت خالص به ناخالص ۷ رابطه ی ۱- در بخش Cal-culator نرم افزار نوشته شده و مدل نسبت خالص به ناخالص بر اساس مدل های تخلخل مفید و حجم شیل به دست آمد (اشکال-۸ تا ۱۰). این رابطه معرف آنست که اگر شرط زیر مورد قبول باشد بلوک از لحاظ مخزنی بازده دارد و در غیر این صورت بلوک غیربازده است [۱۵].

$$\text{NTG} - \text{FINAL} = \text{IF}(\text{VOL} - \text{ILLITE} \leq 0.5, \text{IF}(\text{PHIE} \geq 0.045, \text{IF}(\text{FinalSWE} \leq 0.5, 1, 0), 0), 0) \quad (2)$$

نتیجه گیری

نتایج نشان می دهد که شبیه سازی و مدل سازی یک مخزن هیدروکربونی پیچیده تا چه حد می تواند در ارزیابی و مدیریت مخزن مفید باشد. در واقع با استفاده از این ابزار و شناخت مشخصه های مخزن و تعریف مناسب آنها در مدل، می توان به نتایج دلخواه و مطلوب رسید که استفاده از آن در مدیریت تولید مخزن و صرفه جویی های اقتصادی نقش موثری خواهد داشت.

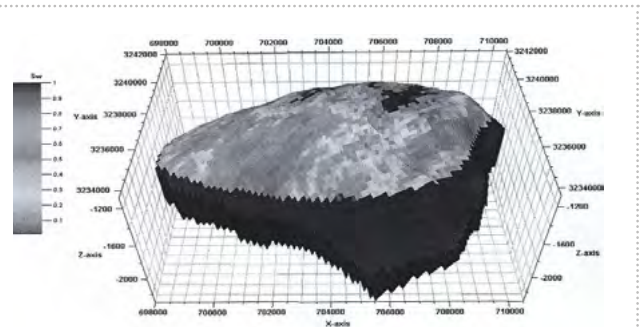
با استفاده از مدل های ساخته شده بررسی میانگین حاصل برای هر متغیر مخزنی می توان ناحیه ی مخزنی برتر در میدان را تعیین کرد. بر این اساس ناحیه ی سروک-۱ با داشتن بیشترین میانگین تخلخل مفید، کمترین میانگین اشباع آب، میانگین حجم شیل کم و داشتن بیشترین میانگین نسبت خالص به ناخالص به عنوان ناحیه ی مخزنی میدان معرفی می گردد. در این مطالعه نقش گسل ها در جابجایی طبقات بررسی شد و بخش هایی از میدان که در اثر گسل خوردگی جابجایی دارند مشخص شد.

بر اساس بررسی ها معلوم شد که داده ی لرزه نگاری تخلخل مفید میدان مورد مطالعه باید با استفاده از چاه های جدید در این میدان بازنگری گردد.

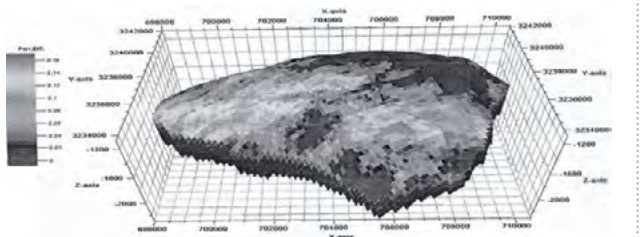
مدل سازی خواص مخزنی (مدل سازی پتروفیزیکی) با استفاده از روش شبیه سازی متوالی گوسی انجام شد و معلوم گردید که این روش یکی از بهترین روش ها در مدل سازی متغیرهای پتروفیزیکی محسوب می شود.

انجام محاسبات حجمی و بررسی خصوصیات حجمی میدان با در دسترس بودن مدل های تخلخل مفید، حجم شیل، اشباع آب، نسبت خالص به ناخالص انجام و نتایج آنها بررسی شد.

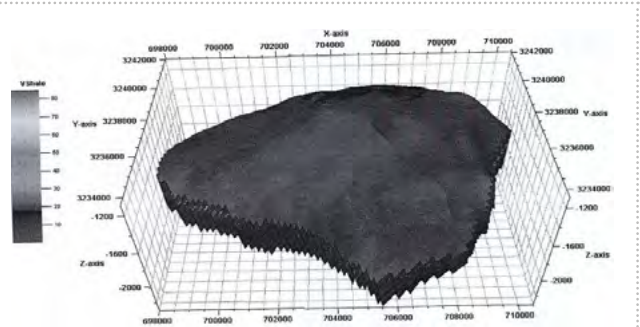
با ساخت مدل ساختمانی میدان و اصلاح سرسازند معلوم گردید که در بخش شمالی و جنوبی، لایه ها بیشترین شیب را دارند و هرچه به سمت عمق پیش می رویم به هم خوردگی و شیب لایه ها افزایش



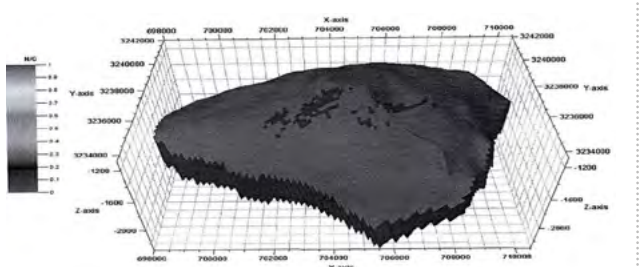
شکل ۷ | مدل نهایی اشباع آب در میدان نفتی مورد مطالعه



شکل ۸ | مدل تخلخل مفید میدان



شکل ۹ | مدل حجم شیل در میدان



شکل ۱۰ | مدل نسبت خالص به ناخالص (NTG) در میدان نفتی مورد مطالعه

شدن مکانیزم تولید و وضعیت شکستگی‌ها، نمودارهای تصویری FMI/FMS تهیه و مدل‌سازی درز و شکاف‌ها^۴ در میدان انجام شود.

- پیشنهاد می‌گردد جهت مشخص شدن خواص دقیق مخزنی میدان، در برنامه‌ی چاه‌های جدید، مغزه‌گیری از سازندهای ایلام و سروک لحاظ شود.
- با توجه به مشکلات مشاهده شده در اطلاعات گسل‌های میدان پیشنهاد می‌شود که گسل‌های جدید بعد از ارزیابی مجدد اطلاعات پتروفیزیک تولید و استفاده شوند.
- باتوجه به عدم مطابقت سطوح حاصل سازندها از لرزه‌نگاری، با اطلاعات حاصل از چاه‌ها، پیشنهاد می‌گردد که در چاه‌های جدید برای اصلاح ژئوفیزیک حتماً نمودار سرعتی اخذ شود.
- باتوجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی خواص مخزنی، پیشنهاد می‌شود که چاه‌های جدید حفر شده در میدان در ناحیه‌ی سروک-۱ آزمایش شوند. زیرا در تمامی چاه‌های این میدان سازند سروک توسط لوله‌ی جداری پوشیده شده و سپس ناحیه‌ی سروک-۲ مشبک کاری می‌گردد.

می‌یابد. با استفاده از مدل ساختمانی می‌توان به محل تقریبی گسل‌ها که به صورت اختلاف شیب ناگهانی مشخص می‌شوند نیز دست یافت.

پیشنهادها

- باتوجه به اینکه لاگ‌ها نقش مهمی در تشخیص خصوصیات سازندها ایفا می‌کنند بهتر است توسط شرکت‌های معتبر گرفته شده و سعی گردد در نواحی مخزنی، لاگ‌ها به صورت کامل برداشت گردند. ضمن اینکه بهتر است لاگ‌های سونیک و گاما از ابتدای چاه اخذ گردد تا واحدهای شیلی و مرزهای سکانسی دقیقاً مشخص شوند.
- به دلیل آنکه داده‌های لرزه‌های تداخل مفید، همبستگی بسیار کمی با داده‌های تداخل مفید نمودارهای پتروفیزیکی دارند پیشنهاد می‌گردد که داده‌های لرزه‌های تفسیر شده‌ی میدان مورد بازبینی قرار گرفته و داده‌های لرزه‌ای باتوجه به ارزیابی جدید نمودارهای پتروفیزیکی که در بالا اشاره شد بررسی گردند.
- با توجه به مخازن کربناته‌ی میدان، پیشنهاد می‌شود جهت مشخص

پانویس‌ها

- | | | |
|------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 1. Deterministic | 4. Sequential Gaussian Simulation | 7. Net To Gross |
| 2. Stochastic | 5. Scale Up | 8. Fructure Modeling |
| 3. Kriging | 6. Data Analysis | |

منابع

- [1] Zakrevsky, K.E., 2011, Geological 3D Modeling, EAGE publication bv.
- [2] SCHLUMBERGER, 2009, Petrel Software Help.
- [3] OLIVER, M.A., 2010, Geostatistical Applications for Precision Agriculture, Springer.
- [4] Yeten B. and Gumrah F., "The use of fractal geostatistics and artificial neural networks for carbonate reservoir characterization", transport in porous media, Vol. 41, pp. 173, 195, 2000.
- [5] Kaufmann o. and Martin T., "3D geological modeling from boreholes, cross sections and geological maps, application over former natural gas storages in coal mines", J, computers & Geoscience, Vol. 34, pp. 278-290, 2008.
- [6] Valcarce G. Z., Zapata T., Ansa A. and Selva G., "Three-dimensional structural modeling and its application for development of the El Porto 'n field", Argentina, AAPG Bulletin, Vol. 90, 307-319, 2006.
- [7] آقابائی ح., مدل‌سازی زمین آماری مخازن هیدروکربوری، رساله‌ی دکتری، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، ارومیه ۱۳۸۸
- [8] Holden L., Mostad P., Nielsen B. F., Gjerd J., Townsend C. and Ottesen, S., "Stochastic Structural Modeling", J. Mathematical Geology, Vol. 35, No. 8, pp. 899-914, 2003
- [9] Peter J.D., Paulo J.R., Model-based Geostatistics, Springer Science, Library of Congress, 2007.
- [10] Deutsch C. V., Geostatistical Reservoir Modeling, Oxford University Press, New York. 2002 [10
- [11] 2009, Workflow Editor and Uncertainty Analysis Course, Schlumberger
- [12] LI, H., and WHITE, C.D., 2003, Geostatistical models for shales in distributary channel point bars (Ferron Sandstone, Utah): From ground-penetrating radar data to three-dimensional flow modeling: AAPG Bulletin, 87, 1851-1868.
- [13] BOHLING, G., 2005, Stochastic Simulation and Reservoir Modeling Workflow Analysis.
- [۱۴] حسینی پاک، ع.ا.، زمین آمار (ژئواستاتستیک)، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۶
- [۱۵] امین زاده، ع.، میرجدوی، ن.، ونوری طالقانی، م.، مدل‌سازی استاتیک مخازن نفت و گاز و تفسیر سائز میک با استفاده از نرم افزار پترل، انتشارات آزاده