

شبیه‌سازی سه بعدی استاتیکی و تخمین پارامترهای مخزنی با به کارگیری روش‌های زمین آماری در یکی از مخازن ایران

پژوهش‌نفت

سال بیست و سوم

شماره ۷۵

صفحه ۴۹-۵۷

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۲/۳۰

آزاده امیدوار^{۱*}، محمدرضا کمالی^۲ و عزت‌اله کاظم‌زاده^۲

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲ پژوهشگاه صنعت نفت، پردیس پژوهش توسعه صنایع بالادستی

omidvar.azadeh@yahoo.com

و پارامترهای مخزنی نظیر تخلخل و آب اشباع‌شدگی تعیین شده است. میزان متوسط تخلخل ۰.۲۱، آب اشباع‌شدگی ۰.۵۲٪ و میزان ذخیره در جای مخزن ۲۷۰ میلیون بشکه تعیین شده است.

واژه‌های کلیدی: مدل سه بعدی، روش‌های زمین آماری، ذخیره درجا، پارامترهای مخزنی، روش گوسی متوالی

مقدمه

در دو دهه اخیر پیشرفت‌های روز افزون سخت‌افزاری منتج به طراحی و ارائه نرم‌افزارهای پیشرفته‌ای شده است که خود پشتیبان تولید و ساخت خودکار مدل‌های سه بعدی از مخزن هستند. به طوری که استفاده از این نرم‌افزارها و مدل‌سازی‌های حاصل به‌ویژه مدل‌سازی زمین آماری، امکان جمع‌آوری داده‌های موجود برای یک پروژه معین در یک مدل را فراهم ساخته و به دنبال آن انجام هرگونه تحلیلی بر روی داده‌ها در محیط نرم‌افزاری ممکن می‌شود [۱].

مدل‌سازی زمین آماری یکی از روش‌های پیچیده در مخازن است که به دلیل تمایل برای درک بهتر از ساختار

چکیده

هنگامی که سخن از تصمیم‌گیری‌های اقتصادی درخصوص مدیریت یک میدان یا یک مخزن اکتشافی به میان می‌آید، وجود یک درک صحیح و توصیف واقع‌گرایانه از مخزن می‌تواند بسترساز اتخاذ یک تصمیم صحیح و انتخاب طرح مناسب در جهت بهبود مدیریت مخزن و طرح توسعه میدان شود. میزان نفت در جای قابل برداشت مؤثرترین پارامتر در اتخاذ این تصمیمات و تهیه طرح توسعه میدان می‌باشد. در این راستا به کارگیری روش‌های شبیه‌سازی سه بعدی با استفاده از روش‌های زمین آماری که علاوه بر تخمین پارامترهای مخزنی مقدار خطای تخمین را نیز تعیین می‌کند، بهترین گزینه است. در این مطالعه، هدف ارائه یک مدل استاتیکی سه بعدی از ویژگی‌های ساختمانی، چینه‌شناسی و پتروفیزیکی یکی از مخازن جنوب ایران می‌باشد که در آن اطلاعات حاصل از نگارهای ثبت شده در ۹ چاه موجود و آنالیزهای پتروگرافی و مغزه با به کارگیری روش‌های زمین آماری هم چون تخمین کریجنگ و شبیه‌سازی گوسی متوالی، مدل‌های سه بعدی از مخزن را ایجاد کرده‌اند. پس از مقایسه نتایج حاصل از اعمال تکنیک‌های زمین آماری مشاهده شد که نتایج حاصل از روش گوسی متوالی نسبت به کریجنگ قابل قبول‌تر است. در نهایت با استفاده از خروجی‌های مدل بهینه، محاسبات حجمی انجام

مدل دقیق و واقع‌گرایانه می‌توان تخمین نسبتاً کاملی از کل مخزن، حتی مکان‌هایی که اطلاعات قابل دسترس (چاه حفاری) وجود ندارد به دست آورد و همچنین میزان ذخیره درجا و نفت قابل بازیافت از مخزن را (البته با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی دینامیکی که در اینجا به آن اشاره نخواهد شد) محاسبه نمود. مدل کردن تمامی جزئیات زیرسطحی با اطلاعات محدود به سختی امکان‌پذیر است. مدل‌های مخزنی فقط می‌توانند بخشی از اسرار زیرسطحی را با اطمینان مشخصی تفسیر کنند. پیچیدگی زمین، ناهمگنی و اطلاعات غیرمستقیم و غیرکامل به دست آمده از ابزارهای اندازه‌گیری به ندرت می‌تواند یک درک و فهم کامل و واقع‌گرایانه از ناهمگنی زیرسطحی را ارائه دهند. بنابراین در مدل‌سازی، دستیابی به یک مدل کامل و بدون نقص، امکان‌پذیر نیست. با توجه به موارد ذکر شده، کاربرد روش مدل‌سازی زمین آماری مخازن به دلیل این که امکان ارائه کمیت خطا، عدم قطعیت و نتایج مطلوب زیرسطحی و در نهایت ایجاد یک مدل دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تر را دارد، به عنوان بهترین گزینه در مدل‌سازی مخازن مطرح است. البته لازم به ذکر است که بهره‌گیری از این روش، نیازمند تبحر لازم در علم زمین آمار و تطبیق دقیق اطلاعات حاصل مانند واریوگرام با اطلاعات زمین‌شناسی می‌باشد. اساسی‌ترین مسأله در استفاده از این روش، انتخاب دقیق نوع هم‌بستگی فضایی است. در صورت انتخاب دقیق هم‌بستگی، نتیجه‌گیری مطلوب حاصل می‌شود و در غیر این صورت مدل‌سازی می‌تواند مخاطره‌آمیز باشد [۶].

موقعیت زمین‌شناسی مخزن مورد مطالعه

مخزن مورد مطالعه واقع در رسوبات سازند سروک و متعلق به حوضه نفتی زاگرس می‌باشد. نام سروک از تنگ سروک در کوه بنگستان در منطقه خوزستان گرفته شده و مقطع نمونه آن در جنوب غرب کوه بنگستان واقع است. این سازند در برش نمونه به سه قسمت آهک‌های قاعده‌ای، میانی و بالایی تقسیم می‌شود.

مخزنی، ایجاد مدل‌های واقع بینانه‌تر و نهایتاً بهبود مدیریت سرمایه و طرح توسعه میدان، به عنوان یک گزینه مطلوب مورد استفاده کمپانی‌های قرار گرفته است. صنعت نفت و گاز از منابعی است که علم زمین آمار با سرعت بسیاری در آن همه‌گیر شده و رشد وسیعی داشته است. یکی از علل رشد وسیع به ماهیت داده‌های مخزن برمی‌گردد. داده‌های پتروفیزیکی مانند تخلخل و تراوایی، داده‌هایی هستند که در فضای مخزن ارتباط و هم‌بستگی فضایی و به زبان زمین‌آماری از خود ساختار فضایی نشان می‌دهند و این نوع متغیرها در زمین آمار کاربرد دارند. از طرف دیگر با توجه به داده‌های کم مخزن، همواره مهندسان مخازن در پی یافتن روشی برای تخمین توزیع پارامترهای پتروفیزیکی در مخزن بوده‌اند [۲].

توصیف مخزن شامل توصیف فضای خالی و اندازه دانه‌ها، ضخامت مخزن، تخلخل و تراوایی مخزن و تشخیص رخساره و محیط رسوبی است [۳]. نرم‌افزارهای پیچیده کنونی، مدل‌سازی، ساختمان‌های پیچیده و نامنظم زمین‌شناسی را در سه بعد ممکن می‌سازند که این عمل با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و اطلاعات ساختمانی به منظور دسترسی به یک مدل صحیح صورت می‌پذیرد [۴]. مدل سه بعدی، بهترین مکانیزم را برای لحاظ کردن همه داده‌های موجود فراهم می‌کند [۵].

یک مدل استاتیکی شامل دو بخش است: ۱- مدل ساختمانی که خود در برگیرنده دو مدل چینه‌ای و مدل گسلی است و ۲- ویژگی‌های مخزنی که درون فضای هندسی مدل شده در قسمت اول به کمک ابزارهای زمین آماری توزیع می‌شود. رخساره‌ها و خواص پتروفیزیکی هم چون تخلخل، تراوایی و اشباع آب از این جمله‌اند.

برای ایجاد مدل استاتیک از روش‌های دترمینیستیک^۱ (یا قطعیت‌گرا همچون کریجینگ) و استوکستیک^۲ (احتمال‌گرا همچون گوسی متوالی) استفاده می‌شود. هر یک از این روش‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارد که در ادامه به آن اشاره می‌گردد. مهمترین مسأله در رابطه با مدل‌سازی، امکان تلفیق داده‌ها از منابع مختلف و استفاده از نتایج هر یک از آنها برای یک مدل‌سازی مطلوب است. با یک

1. Deterministic
2. Stochastic

هم ضخامت^۷، زمینه برای ورود به مرحله دوم فراهم می‌شود. در مرحله دوم و در زمان ساخت یک مدل ساختاری، اطلاعات بارگذاری شده مربوط به گسل‌ها، به یک مدل گسلی منسجم و متناسب با Z (ارتفاع) نقشه موجود تبدیل می‌شود.

سپس یک شبکه سلول‌بندی شده (گرید سه بعدی) متناسب با ابعاد میدان ایجاد می‌گردد. این شبکه به‌عنوان قالب اصلی مدل، امکان تلفیق و بررسی هم زمان داده‌های ساختمانی و خصوصیات پتروفیزیکی را به منظور ساخت مدل‌های واقع‌گرایانه به‌دست می‌دهد و در زمان ساخت مدل پتروفیزیکی موجب می‌شود که پارامترهای پتروفیزیکی تعریف شده برای هر چاه، به کل مخزن قابل تعمیم باشند (شکل ۱- الف).

در این مرحله مخزن به یک شبکه سلول‌بندی شده تقسیم می‌شود که تمامی خواص هر سلول مانند خواص پتروفیزیکی و لیتولوژیکی در تمام حجم آن یکسان است و با توجه به فاصله شبکه‌ها از یکدیگر و میزان داده‌ها، می‌توان خواص مشابه موجود در سلول‌های فاقد اطلاعات را تخمین زد. بدیهی است که هر چه میزان این اطلاعات بیشتر باشد، تخمین‌ها به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. ابعاد سلول‌های این شبکه در راستای X و Y میدان ۱۰۰*۱۰۰ متر در نظر گرفته شده و بعد از ساخت افق‌ها (شکل ۱- ب) و در زمان لایه‌بندی این بلوک‌ها در جهت Z و عمود، در زون مخزنی با فواصل یک متری و در زون‌های غیرمخزنی با فواصل ۲ متری تفکیک می‌شوند.

در مرحله سوم، اطلاعات حاصل از نگارهای^۸ پتروفیزیکی با انجام بزرگ‌نمایی و آنالیز داده‌ها، (واریوگرافی) آماده تبدیل به یک مدل سه بعدی می‌گردند. بزرگ‌نمایی^۹، عمل نسبت دادن مقادیر ثبت شده نگارها به سلول‌هایی از شبکه سه بعدی است که اطلاعات لاگ آن در دسترس است [۱۰].

1. Input Data
2. Structural Modeling
3. Property Modeling
4. Well Head
5. Well Path Deviation
6. Well Top
7. Isochore Map
8. Log
9. Scale up

حد پایینی آن با مارن‌ها و شیل‌های گورپی به صورت قاطع است. سازند آهکی سروک در زاگرس معمولاً با دو رخساره کم عمق و عمیق مشخص می‌شود و به لحاظ سنی سازند سروک از زمان آلبین تا زمان تورونین گسترش دارد [۷].

سازند سروک به‌وسیله سازند سورگاه از سازند مخزنی ایلام جدا می‌شود. سازند سورگاه از شیل تشکیل شده و معادل آن از فارس ساحلی به‌نام لافان خوانده می‌شود. سازند سروک یکی از مخازن اصلی نفتی بعد از آسماری می‌باشد که میدان‌های مهمی را تشکیل داده و دارای تولید بسیار خوبی است.

روش کار

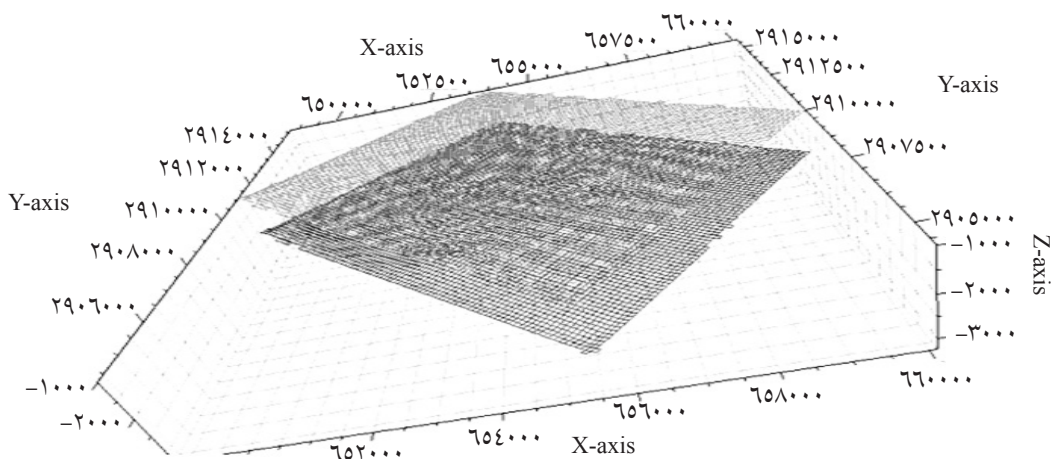
مدل ساختمانی یک مخزن، مدل متداولی برای افق‌های زمین‌شناسی و گسل‌ها می‌باشد که چهارچوب هندسی شبکه سه‌بعدی را شکل داده و مرز مدل‌های رخساره‌ای و پتروفیزیکی که معرف خواص سنگ هستند را ایجاد می‌کند. به علاوه مبنای محاسبات حجم سنجی، طراحی چاه و شبکه شبیه‌سازی سیال مخزن را شکل می‌دهد [۸]. نرم‌افزار شبیه‌ساز پترل محصول شرکت شلمبرژه یکی از رایج‌ترین نرم‌افزارهای مورد استفاده برای مدل‌سازی سه بعدی می‌باشد که امکان تلفیق داده‌های حاصل از نگارهای پتروفیزیکی، برداشت‌های لرزه‌ای و مطالعات مغزه را در یک مطالعه فراهم ساخته و یک مدل جامع و بهینه را ارائه می‌نماید [۹].

فرآیند مدل‌سازی با پترل را می‌توان در چهار مرحله اصلی خلاصه نمود که عبارتند از: بارگذاری پارامترهای ورودی و کنترل کیفیت آنها، مدل‌سازی ساختاری^۱، مدل‌سازی خواص پتروفیزیکی^۲، آنالیز عدم قطعیت و محاسبات حجمی.

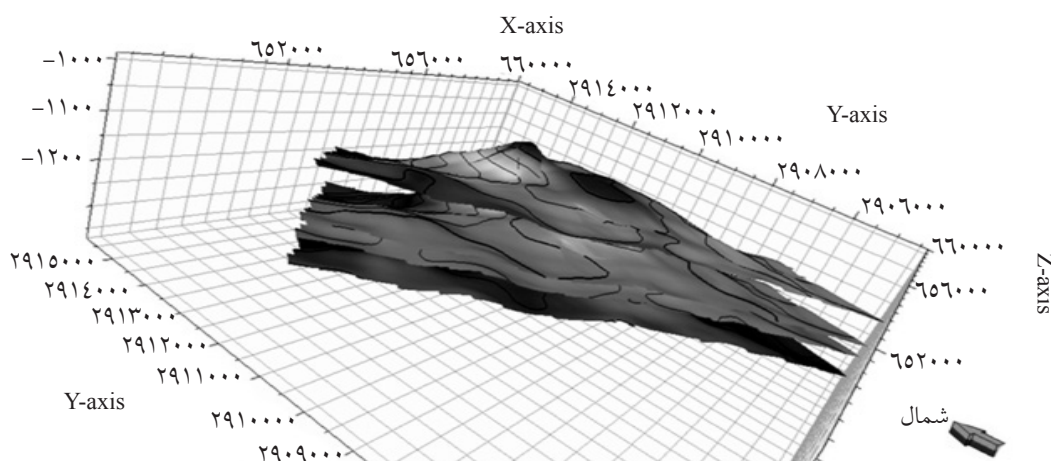
بارگذاری داده‌ها نخستین گام در ایجاد یک مدل سه بعدی از مخزن می‌باشد. این داده‌ها عبارتند از:

اطلاعات مربوط به چاه‌های مخزن شامل سربرگ چاه^۳، داده مسیر و انحراف چاه^۴، نگارهای پتروفیزیکی، نقشه UGC مخزن، داده‌های مربوط به سرسازندها^۵ و گسل‌های موجود در منطقه.

بعد از ورود داده‌ها به محیط نرم‌افزاری با ایجاد نقشه‌های



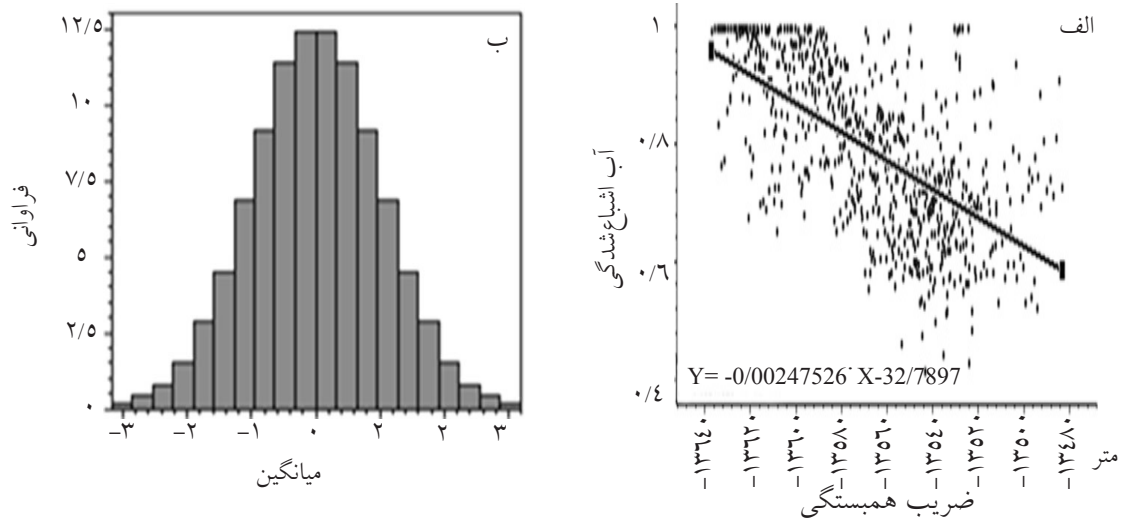
شکل ۱- (الف) نمایی از شبکه سلولی ایجاد شده



شکل ۱- (ب) افق‌های ساخته شده در قالب شبکه سلولی

داشتن داده‌هایی که توزیع نرمال دارند، در حقیقت مجوز کاربرد روش‌های مورد نظر است. زیرا استفاده از داده‌های غیرنرمال در روش‌های مختص داده‌های نرمال، محاسبات زمین آماری را دچار خطای سیستماتیک می‌کند. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از دو روش هیستوگرام فراوانی داده‌ها و روش تابع توزیع تجمعی داده‌ها استفاده نمود میانگین داده‌های نرمال صفر و انحراف معیار آنها برابر ۱ می‌باشد [۱۲] (شکل ۲-ب). داده‌ها در مرحله واریوگرافی پردازش شده و واریوگرام‌ها رسم می‌شوند (شکل ۳). مدل‌سازی خواص معمولاً برای توصیف خواص ذاتی یک پارامتر به کار می‌رود و واریوگرام ابزاری برای توصیف این خواص ذاتی است [۱۳]. به عبارت دیگر، واریوگرام به عنوان روشی برای تحلیل و توصیف تغییرات فضایی بر مبنای این اصل که نمونه‌های نزدیک به هم تشابه بیشتری نسبت به نمونه‌های دور از هم دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (جداول ۱ و ۲).

از آنجایی که قرائت‌های لاگ در فواصل ۱۵ سانتی‌متری صورت می‌پذیرد، لذا درشت‌نمایی آن‌ها برای توزیع هر کدام در هریک از سلول‌ها به منظور استفاده در مدل‌سازی و تعمیم این خواص به کل شبکه سلول‌بندی شده، لازم می‌باشد. نظر به اینکه هر سلول تنها یک مقدار می‌تواند داشته باشد، مقادیر لاگ باید میانگین‌گیری شود. تکنیک‌های زیادی جهت میانگین‌گیری ارائه شده است [۱۱]. در این حالت گفته می‌شود که لاگ‌ها درشت‌نما شده‌اند. این اطلاعات درشت‌نما شده برای انجام واریوگرافی از نظر داشتن دو ویژگی توزیع نرمال و پایایی مورد بررسی قرار می‌گیرند. پایایی یعنی عدم وجود روندهای احتمالی در داده‌ها که به زبان زمین‌شناسی بدین معناست که اثر تمامی گسل‌ها حذف شده و لایه‌ها به حالت قبل از چین‌خوردگی بر می‌گردند و اثرات دیاژنز کنار گذاشته می‌شوند. در این صورت داده‌ها پایایی خواهند داشت (شکل ۲-الف). اکثر روش‌های زمین آماری بر فرض نرمال بودن داده تأکید دارند. لذا



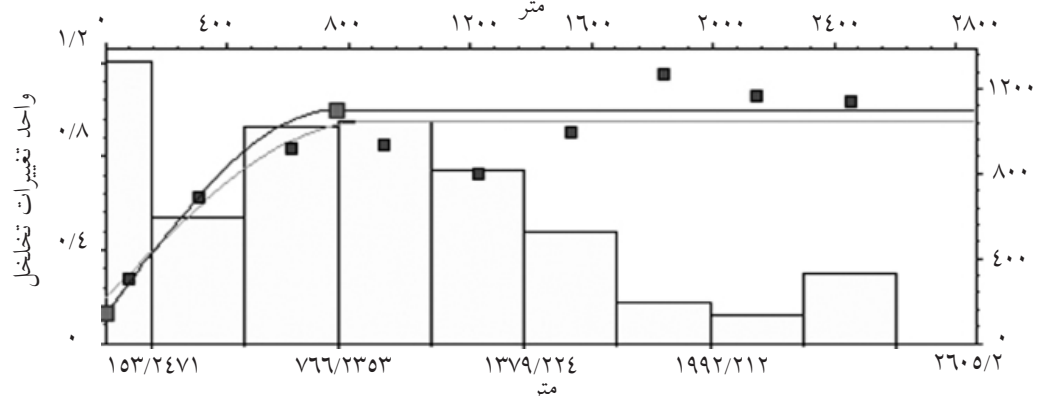
شکل ۲ - (الف) حذف روند موجود در داده‌های اشباع‌شدگی در لایه شماره یک و (ب) هیستوگرام داده‌های نرمال شده اشباع‌شدگی در لایه شماره یک

جدول ۱- پارامترهای مربوط به واریوگرام‌های ترسیم شده در هر لایه برای داده‌های تخلخل و اشباع‌شدگی

پارامتر مربوطه	لایه	مدل واریوگرام	دامنه تأثیر	سقف واریوگرام	اثر قطعه‌ای
تخلخل	لایه شماره ۱	کروی	۲۶۰۵/۲	۱	۰/۱۲۶
	لایه شماره ۲	کروی	۲۸۴۰/۱	۱	۰/۰۹۲
	لایه شماره ۳	کروی	۳۸۰۰	۱	۰/۲۷۷
اشباع‌شدگی	لایه شماره ۱	کروی	۳۵۲۹/۵	۱	۰/۲۰۹
	لایه شماره ۲	کروی	۴۰۴۷/۸	۱	۰/۰۹۵
	لایه شماره ۳	کروی	۳۸۴۳/۲	۱	۰/۰۳۲

جدول ۲- مشخصات بیضی ناهمسان‌گردی در لایه‌های مختلف

پارامتر مربوطه	لایه	اندازه قطر بزرگ (متر)	اندازه قطر کوچک (متر)	جهت قطر بزرگ (درجه)	جهت قطر کوچک (درجه)
تخلخل	لایه شماره ۱	۶۹۷/۲	۶۶۸/۴	۳۳۰	۲۴۰
	لایه شماره ۲	۱۰۳۵/۲	۹۳۴/۴	۱۷۳	۸۳
	لایه شماره ۳	۱۳۴۵/۱	۱۲۹۱/۱	۰	۲۷۰
اشباع‌شدگی	لایه شماره ۱	۸۴۷/۲	۷۷۳/۹	۳۳۳	۲۴۳
	لایه شماره ۲	۱۷۸۸/۶	۱۴۹۰/۱	۱۷۳	۸۳
	لایه شماره ۳	۱۰۷۴/۷	۹۷۸/۹	۰	۲۷۰



شکل ۳- نمونه واریوگرام مورد استفاده در مدل ساخته شده به روش گوس متوالی برای داده‌های تخلخل در لایه شماره یک (Nugget=0.126 و Sill=1)

می‌شود. زیرا روش‌های مبتنی بر میانگین متحرک به طور غیر واقع‌بینانه نوسانات را هموار می‌کند. علی‌رغم خاصیت ارزیابی خوب و دقیق به وسیله تخمین کریجینگ زمین آماری، این تخمین دارای خاصیت نرم‌کنندگی تغییرات کوچک است. در این مورد باید از روش‌های زمین آماری شبیه‌سازی سود جست [۱۵].

در تخمین، هدف محاسبه پارامترهای تابع توزیع احتمال (نظیر میانگین) بر اساس داده‌های حاصل از نمونه‌برداری یا اندازه‌گیری است. در صورتی که هدف از شبیه‌سازی، تقریباً عکس آن است، یعنی بازسازی بعضی احتمالات بر اساس پارامترهای آماری تابع توزیع احتمال و کواریوگرام یا کواریوگرام است. بنابراین با شبیه‌سازی روی یک سری داده‌ها با ساختار فضایی معلوم، می‌توان به مجموعه‌های عددی رسید که در صورت تکرار، به‌طور متوسط همان ساختار آماری داده‌های اصلی را تولید کند و کواریوگرام تجربی مقادیر شبیه‌سازی شده، مشابه کواریوگرام داده‌های اصلی شود. آنچه در مهندسی نفت به‌عنوان شبیه‌سازی مطرح می‌شود، در علم زمین آمار معادل با تخمین است. این تفاوت اغلب باعث بروز اشتباهاتی به‌ویژه در مقوله تجزیه و تحلیل نتایج برای کارشناسان در مهندسی نفت می‌شود که باید با دقت بیشتری به آن پرداخت [۱۶]. بنابر موارد فوق، نتایج حاصل از شبیه‌سازی گوسی متوالی بر تخمین کریجینگ ترجیح داده شد. در زمان شبیه‌سازی و بررسی عدم قطعیت خواص مخزنی، تعداد ۳۰۰ تحقق^۴ برای هر یک از خواص تخلخل و اشباع آب ایجاد شده و محاسبات حجمی بر مبنای هر یک از این تحقق‌ها انجام پذیرفت. هیستوگرام و CDF حاصل از نتایج محاسبات مقدار نفت درجا ترسیم گردید. در این هیستوگرام حالت بدبینانه (معادل سطح احتمال ۱۰)، حالت واقع‌گرایانه (سطح احتمال ۵۰) و حالت خوش‌بینانه (سطح احتمال ۹۰) معین شده است. بدیهی است که نزدیک‌ترین تحقق به سطح احتمال ۵۰٪ مدل بهینه ایجاد شده برای شرایط مخزن می‌باشد و نتایج حاصل از آن به عنوان برآوردهای نهایی گزارش می‌شود [۱۷] (شکل ۵).

در ادامه مدل‌سازی خواص مخزنی هم‌چون تخلخل و اشباع‌شدگی با استفاده از خروجی مرحله کواریوگرافی به دو روش تخمین کریجینگ^۱ (روش قطعیت‌گرا) و شبیه‌سازی گوسی متوالی^۲ (روش احتمال‌گرا) انجام می‌شود. ایجاد مدل سه بعدی از اشباع‌شدگی آب بر اساس رابطه مقادیر ثبت شده با عمق و به‌صورت تلفیقی از کاربرد روش دترمینیستیک (برای ایجاد مدل در زمان وجود روندهای مشخص) و نیز روش استوکستیک (برای مدل‌سازی تغییرات تصادفی) صورت گرفته است.

مقایسه کریجینگ و شبیه‌سازی متوالی گوسی

کریجینگ یک میانگین متحرک وزن‌دار است و بهترین تخمین گر خطی نااریب می‌باشد. لذا باید اولاً عاری از خطای سیستماتیک باشد و ثانیاً واریانس تخمین آن حداقل باشد. کریجینگ میانگین تصادفی همه اطلاعات مخزن است. در این روش یک متوسط از همه معیارها رد می‌شود تا حداقل خطای ممکن را داشته باشد به عبارتی این روش، میانگین‌گیری را با حداقل خطا انجام می‌دهد [۱۴] (شکل ۴-الف).

شبیه‌سازی گوسی متوالی پرکاربردترین روش زمین آماری در مدل‌سازی‌های اخیر است. این روش بسیار ساده و انعطاف‌پذیر است. مراحل انجام یک شبیه‌سازی متوالی برای یک متغیر شامل پنج مرحله می‌باشد. این مراحل شامل تبدیل داده‌های اصلی به یک فضای جدید، مدل‌سازی کواریوگرام در فضای جدید، تعیین یک مسیر تصادفی^۳ به منظور بازدید تمامی مکان‌های فاقد نمونه، تخمین برای نقاط فاقد نمونه به صورت متناوب با به کار بردن تکنیک‌هایی بر مبنای کریجینگ و در انتها تبدیل معکوس مقادیر شبیه‌سازی شده از تخمین می‌باشد (شکل ۴-ب).

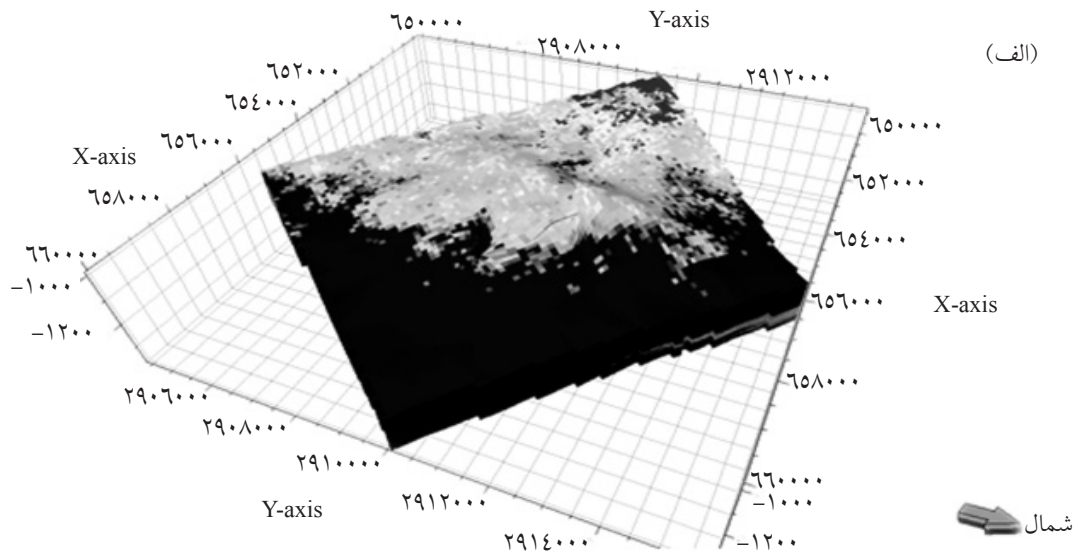
شبیه‌سازی زمین آماری تکنیکی برای تولید داده‌هایی سازگار با یک متغیر ناحیه‌ای است. ویژگی اصلی داده‌های حاصل از شبیه‌سازی به گونه‌ای است که می‌تواند هیستوگرام و تغییرپذیری فضایی داده‌های واقعی را ایجاد کند. برخلاف همه روش‌های تخمین مبتنی بر میانگین متحرک، شبیه‌سازی زمین آماری به عنوان الگوریتمی برای تعدیل اثر هموارسازی این روش‌ها در نظر گرفته

1. Kriging

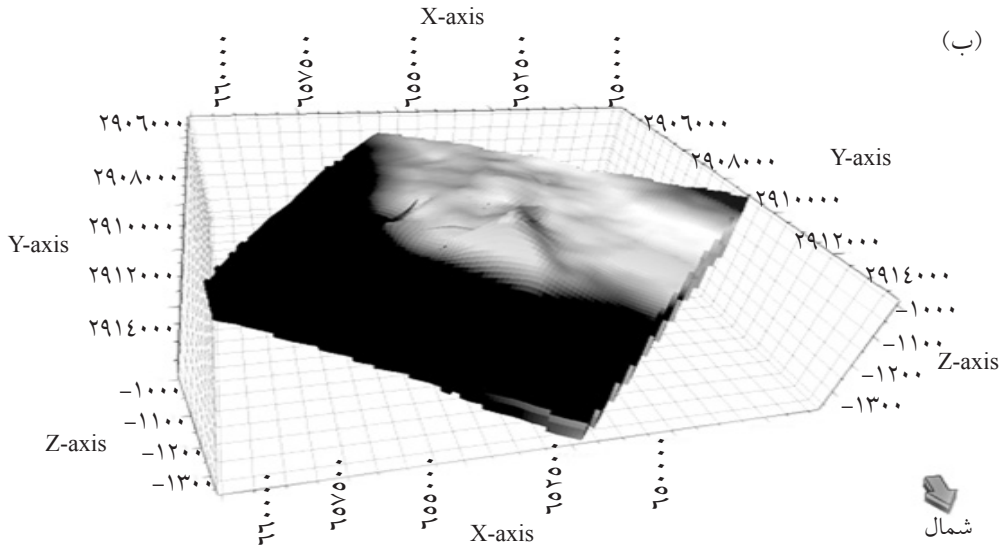
2. Sequential Gaussian Simulation

3. Seed

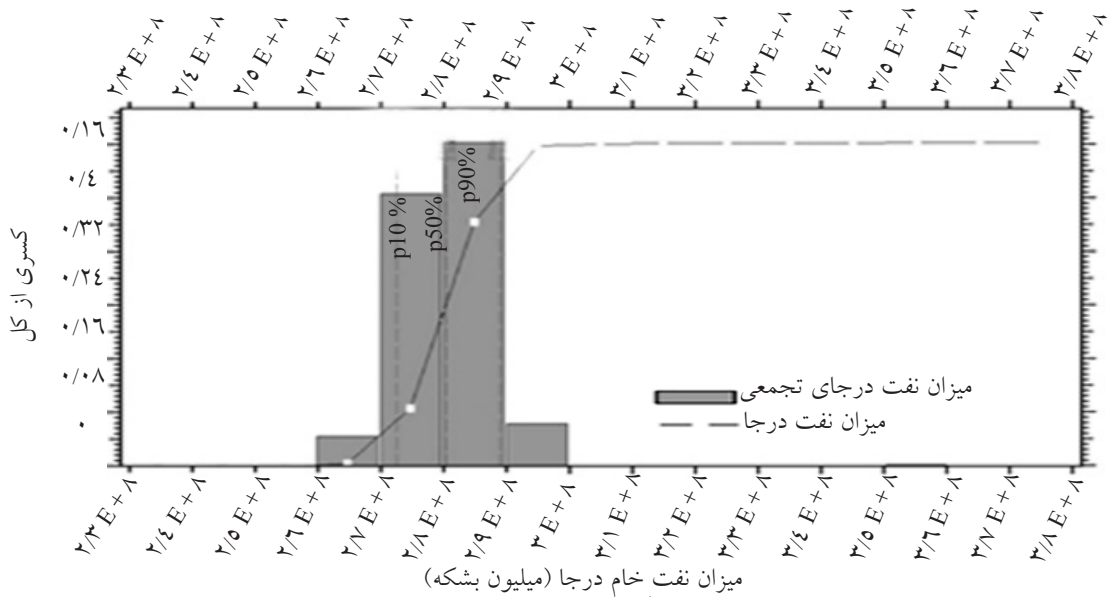
4. Realization



شکل ۴- (الف) مدل سه بعدی اشباع‌شدگی به روش کریجینگ



شکل ۴- (ب) مدل سه بعدی اشباع‌شدگی به روش گوسی متوالی



شکل ۵- هیستوگرام و CDF برای مقادیر نفت درجای برآورد شده از ایجاد ۳۰۰ تحقق به روش گوسی متوالی در لایه شماره یک

محاسبات حجمی

در اولین مراحل توسعه، ذخایر به واسطه فرآیند شبیه‌سازی و محاسبات حجمی تخمین زده می‌شود. برآوردهای حجمی به معنی هیدروکربن‌های قابل شناسایی درجا قبل از کسب اطلاعات فشار مناسب و اطلاعات تولید برای کاربرد تکنیک‌های اصولی است. اساس کار یک سری معادلات خطی است که ورودی‌های آن محصول فرآیند شبیه‌سازی (خروجی مدل بهینه معادل سطح احتمال ۵۰) و داده‌های عملیاتی و آزمایشگاهی است. معادله خطی به کار رفته در محاسبه تخمین نفت درجا (رابطه ۱) به صورت زیر است:

$$\text{STOOIP} = B_v \times \text{PIGE} \times \text{NTG} \times (1 - \text{SW}_i) / E \quad (1)$$

STOOIP (Standard Tanks initial oil in place): نفت درجای اولیه

(B): ضریب حجمی نفت (نسبت حجم نفت در دما و فشار اولیه مخزن به حجم نفت در شرایط استاندارد)
(B_v): حجم کل سنگ مخزن

(1 - SW_i): میزان اشباع‌شدگی نفت در مخزن
NTG: نسبت زون خالص به ناخالص (Net/Grass)
برای کاربرد این معادله مقدار Bo در آزمایشگاه ۲ و ۱ و عمق سطح برخورد آب و نفت در محاسبات ۱۰۷۴- تعیین شده است. نتایج محاسبات در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- نتیجه کلی محاسبات حجمی در مخزن مورد مطالعه

مقدار نفت خام درجای اولیه مخزن	۲۷۰ میلیون بشکه
میانگین آب اشباع‌شدگی مخزن	۵۲٪
میانگین تخلخل مخزن	۲۰٪

نتیجه‌گیری

بررسی و مطالعات انجام شده در این تحقیق و نتایج

مراجع

- [1]. Jones R. R., McCaffrey K. J. W., Clegg P., Wilson R. W., Holliman N. S., Holdsworth R. E., Imber J. and Waggoner S., 2009. "Intergration of regional to outcrop digital data: 3D visualization of multi-scale geological models", J. Computers & Geosciences, Vol. 35.
- [2]. Deutsch C. V. and Journel A. G., *GSLIB: Geostatistical Software Library and user's guide*, Oxford University Press, New York, 1992.
- [3]. 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.

حاصل از شبیه‌سازی سه بعدی داده‌های چاه‌نگاری و مدل نمودن توزیع خواص پتروفیزیکی مخزن مورد مطالعه نشان داد که:

- شبیه‌سازی سه بعدی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری به لحاظ امکان ایجاد تحقق‌های متعدد از مخزن که در آنها ناهمگونی‌ها و دامنه تغییرات متغیرها به خوبی نمایش داده می‌شود، یکی از کارآمدترین روش‌ها برای توصیف مخزن و تهیه مدل سه بعدی از آن می‌باشد و نتایج حاصل به دلیل دقت زیاد و عدم وجود اثر هموارسازی در تغییرات کوچک، نسبت به نتایج حاصل از تخمین کریجینگ به عنوان نتایج قابل استفاده در محاسبات پذیرفته شده است.

- نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که لایه شماره یک بیشترین حجم نفت را در خود جای داده و عملاً زون نفتی مخزن مورد مطالعه را تشکیل داده است.

- در نتایج حاصل از شبیه‌سازی متوسط اشباع‌شدگی در مخزن (در ستون نفتی) ۵۲٪ و متوسط تخلخل آن ۲۰٪ تعیین گردید که رابطه مستقیمی با تراوایی مخزن دارد. همچنین با افزایش تخلخل، تراوایی نیز زیاد می‌شود.

- در مدل‌سازی‌های انجام شده حجم کل سنگ مخزن ۱۰^۶ × ۱۵۶۵ متر مکعب و میزان نفت در جای آن ۲۷۰ میلیون بشکه برآورد شد.

- [4] 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.
- [5] 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.
- [۶]. آقابابائی ح., مدل‌سازی زمین آماری مخازن هیدروکربوری، رساله دکتری، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند ارومیه، ۱۳۸۸.
- [۷]. مطیعی ه., زمین‌شناسی ایران، زمین‌شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۵۳۶، ۱۳۸۸.
- [8]. Holden L., Mostad P., Nielsen B. F., Gjered J., Townsend C. and Ottesen, S., "Stochastic Structural Modeling", J. Mathematical Geology, Vol.35, No. 8, pp. 899-914, 2003.
- [9]. Schlumberger, *Petrel Introduction course*, Petrel, pp. 555, 2008
- [10]. Schlumberger, *Petrel introduction course*, Schlumberger information solutions, 2006.
- [11]. Schlumberger, *Seismic-to-Simulation Software*, Property Modeling Course, pp. 503, 2009.
- [12]. Dean L., "Reservoir Engineering for Geologists", Part3-Volumetric Estimation, Reservoir Issue11, pp. 20, 2007.
- [13]. Schlumberger, "Property modeling course", Schlumberger information solutions, 2004.
- [۱۴] حسنی پاک ع، زمین آمار (ژئواستاتیستیک)، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.
- [۱۵] رندو جی. ام، اصول زمین آماری، ترجمه مهندس علی اصغر خدایاری، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشکده فنی تهران، ۱۳۷۱.
- [16]. Deutsch C. V. and Cockerman P. W., "Geostatistical Modeling of Permeability with Annealing Co-simulation (ACS)", SPE28413, 1994.
- [17]. Kamali M. R., Omidvar A. and Kazemzadeh E., "3D Geostatistical Modeling and Uncertainty Analysis in a Carbonate Reservoir", SW Iran, Journal of Geological Research, Hindawi Publishing Corporation, Vol. 2013, pp. 7, 2013.