

# مدل‌سازی سه بعدی تخلخل با استفاده از روش شبیه‌سازی گوسی متوالی در یکی از میادین نفتی خلیج فارس

سهله فرد لزر جانی<sup>۱</sup>، محمدرضا کمالی<sup>۲\*</sup>، علی کدخدایی<sup>۲</sup> و قربانعلی صبحی<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

۲- پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی نفت، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۲۸

## چکیده

پارامتر پتروفیزیکی تخلخل برای انجام مدل‌سازی سه بعدی مخزن و پیش‌بینی سناریوهای تولید برای تصمیم‌گیری‌های اقتصادی در خصوص مدیریت یک میدان یا یک مخزن نقش به‌سزایی دارد. در مطالعه حاضر، با استفاده از داده‌های حفاری ۳ چاه (لاگ‌ها) و همچنین برای تخمین پارامتر پتروفیزیکی تخلخل از روش زمین‌آماري شبیه‌سازی گوسی متوالی مورد استفاده قرار گرفته است. روش گوسی متوالی جهت ایجاد مدل تخلخل به‌کار می‌رود. تکنیک گوسی به خاطر آسانی کاربرد و انعطاف‌پذیری در ایجاد ناهمگنی‌های واقعی کاربرد گسترده‌ای دارد. در این روش زمین‌آماري، با استفاده از مقادیر و مختصات معلوم، مقدار همان پارامتر در نقاط نامعلوم به‌دست می‌آید. در روش گوسی متوالی از سلول‌هایی که دارای یک ارزش معین از انواع پارامترهای پتروفیزیکی می‌باشند استفاده می‌شود. سرانجام پس از ایجاد مدل ساختمانی مخزن و آنالیز داده‌های پتروفیزیکی، مدل‌های شبیه‌سازی شده برای ۵ زون مخزنی سروک و داریان (۱، ۲، ۳ و ۴) در میدان نفتی مربوطه با دقت بالا برای پارامتر تخلخل به‌دست آمد. بررسی و نتایج به‌دست آمده نشان داد که روش به کار رفته دقت بالایی داشته و می‌توان با تکیه بر روش‌های محاسباتی برای شناسایی مکان‌های مستعد مخزن در تولید از آن استفاده کرد. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که میزان تمرکز نفت در لایه ۱ داریان از سایر سازندها بیشتر بوده و پیشنهاد می‌گردد برای تولید اولیه این مخزن توسعه یابد.

**کلمات کلیدی:** پارامترهای پتروفیزیکی، تخلخل، روش زمین‌آماري، شبیه‌سازی گوسی متوالی

## مقدمه

به ماهیت داده‌های مخازن بر می‌گردد. داده‌های پتروفیزیکی مخازن مانند تخلخل و تراوایی داده‌هایی هستند که در فضای مخزن ارتباط و همبستگی فضایی و به زبان زمین‌آماري از خود ساختار فضایی نشان می‌دهند و این همان نوع متغیرهایی هستند که زمین‌آمار در مورد آنها عمل می‌کند.

صنعت نفت و گاز از صنایعی هستند که علم زمین‌آمار با سرعت بسیاری در آن همه‌گیر شده و رشد سریعی داشته است. یکی از علل این رشد سریع

همچون دوچ، هان، شیلیس و دلفیز و ... مشاهده می‌شود. مدل‌سازی استاتیک مخازن نفتی، توسط جورنل به صنعت نفت معرفی شد [۴]. از اواسط سال ۱۹۹۰ مدل‌های بر پایه شبیه‌سازی در صنعت نفت گسترش یافت. مدل‌های شبیه‌سازی شده ویژگی ناهمسان گردی مخازن نفتی را دارا می‌باشند [۴]. از اواسط دهه ۹۰ از داده‌های لرزه‌نگاری سه بعدی به‌عنوان پارامتر ثانویه در تخمین و شبیه‌سازی پارامترهای مخزن استفاده شد. داده‌های لرزه‌نگاری سه بعدی به کمک روش‌های تخمین و یا شبیه‌سازی متوالی به‌دست آمد و تا امروز نیز این روش‌ها مدل بهینه‌ای از پارامترهای استاتیک مخزن فراهم می‌سازند. طی ۳۰ سال گذشته توسعه روش‌های زمین آماری، همراه با توسعه نرم‌افزارهای گوناگون، سبب تحول در مهندسی مخزن و تخمین یا شبیه‌سازی پارامترهای مخزنی شده است [۵]. در مطالعه حاضر با استفاده از روش زمین آماری، به تخمین پارامتر پتروفیزیکی تخلخل با استفاده از روش شبیه‌سازی گوسی متوالی یکی از میداین نفتی خلیج فارس پرداخته شده است.

### داده‌های چاه، تعریف هندسه مخزن و شبکه‌بندی آن، آنالیز داده‌ها و واریوگرافی (روش کار) داده‌های رقومی شده چاه نگارها

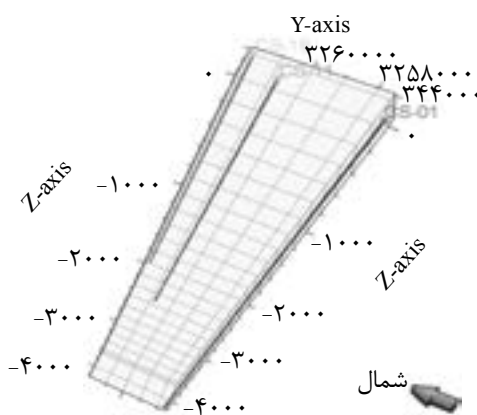
داده‌های چاه نگارها به همراه داده‌های لرزه‌ای در پژوهش‌های نفتی، به‌عنوان داده اولیه و پارامتر اصلی در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه داده‌های مربوط به ۳ چاه و قسمتی از داده‌ای لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل (۱) موقعیت مکانی چاه‌ها نسبت به موقعیت داده‌ها نشان داده شده است. در این مطالعه با استفاده از روش‌های آمار چند متغیره، از روی نگارهای نوترون و چگالی، مقدار تخلخل کل به‌دست آمده و از مقادیر تخلخل کل<sup>۱</sup> حاصل، به‌عنوان پارامتر چاه در روابط استفاده می‌شود.

از طرف دیگر با توجه به داده‌های کم مخازن در مقیاس با حجم مخزن همواره مهندسان مخازن را در پی یافتن روشی برای تخمین توزیع فضایی پارامترهای پتروفیزیکی در فضای مخزن بوده‌اند [۱]. در کنار تمام مزایای روش تخمین زمین آماری نسبت به روش‌های دیگر این واقعیت به چشم می‌خورد که روش‌های تخمین زمین آماری نیز مانند روش‌های دیگر تخمین متکی به نوع میانگین‌گیری هستند. این مهم مهندسان را بر آن داشت که به روش‌های نوین رو آورند. این روش‌ها بیان کمی از توزیع فضایی پارامترهای پتروفیزیکی در یک فضای احتمال‌پذیر دارند. بدین ترتیب که پس از بلوک‌بندی مخزن برای هر بلوک دامنه ای از داده‌ها ایجاد و برای هر پارامتر پتروفیزیکی چندین واقعیت محتمل شبیه‌سازی می‌شود [۲ و ۳].

ورود روش زمین آمار در عرصه مدل‌سازی مخازن نفتی، تحولی ایجاد نموده است. افراد بسیاری کاربرد زمین آمار را در مدل‌سازی مخازن بررسی کرده‌اند. یکی از افرادی که در استفاده از روش زمین آمار برای مدل‌سازی پیشگام می‌باشد، جرج ماترون است. اساس کار ایشان مدل‌سازی بر پایه واریوگرام است. مدل‌های بر پایه واریوگرام به دو دسته تقسیم می‌شود [۴].

دسته اول، مدل‌های قطعی می‌باشند که روش‌های تخمین نظیر کریجینگ و کریجینگ متوالی و ... را شامل می‌شود. این‌گونه روش‌های تخمین، زمین آماری می‌باشند که به ازای هر واریوگرافی، یک مدل به‌دست می‌آید، به‌دلیل روش‌های تخمین، به مدل‌های قطعی منتهی می‌شود.

دسته دوم، مدل‌های احتمالی نام دارند. اساس این مدل‌ها روش‌های شبیه‌سازی می‌باشد. در روش‌های شبیه‌سازی، با یک واریوگرافی چندین مدل به‌دست می‌آید، بدین دلیل از روش‌های شبیه‌سازی، مدل‌های احتمالی حاصل می‌شود. نتیجه مطالعات ماترون به‌عنوان پایه کارهای افرادی



شکل ۱ موقعیت چاه‌های میدان مورد مطالعه.

### آنالیز داده‌ها و واریوگرافی

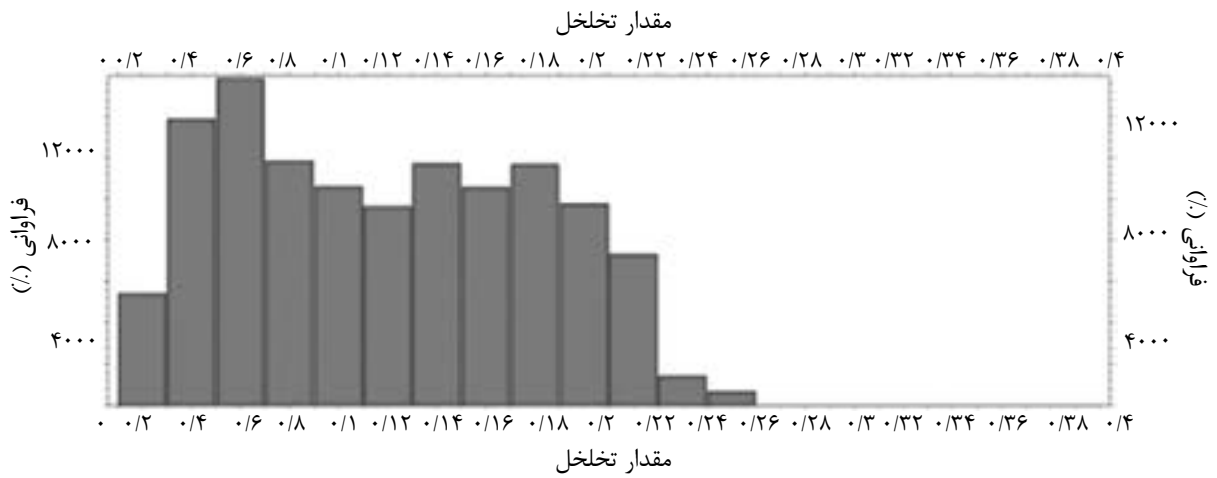
در مرحله سوم، داده‌های حاصل از نگاره‌های<sup>۲</sup> پتروفیزیکی با انجام بزرگ‌نمایی و آنالیز داده‌ها، واریوگرافی آماده تبدیل به یک مدل سه بعدی می‌گردند. بزرگ‌نمایی<sup>۳</sup>، عمل نسبت دادن مقادیر ثبت شده نگارها به سلول‌هایی از شبکه سه بعدی است که اطلاعات لاگ آن در دسترس است [۶]. درشت‌نمایی لاگ‌ها برای توزیع هر کدام در هر یک از سلول‌ها به منظور استفاده در مدل‌سازی و تعمیم این خواص به کل شبکه‌بندی شده، ضروری است. با توجه به اینکه هر سلول فقط می‌تواند یک مقدار داشته باشد، مقادیر لاگ باید میانگین‌گیری شود. تکنیک‌های زیادی جهت میانگین‌گیری وجود دارد [۷]. به این عمل درشت‌نمایی لاگ گفته می‌شود. داده‌ها در مرحله واریوگرافی پردازش شده و واریوگرام‌ها رسم می‌شوند (اشکال ۶ و ۷). مدل‌سازی خواص معمولاً برای توصیف خواص ذاتی یک پارامتر به کار می‌رود و واریوگرام ابزاری برای توصیف این خواص ذاتی است [۸]. به بیان دیگر، واریوگرام به عنوان روشی برای بررسی و توصیف تغییرات فضایی براساس این اصل که نمونه‌های نزدیک به هم تشابه بیشتری نسبت به نمونه‌های دور از هم دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (جدول ۱).

در شکل (۲) هیستوگرام حاصل از تخلخل کلی چاه‌ها منطقه مورد مطالعه مشهود است. در شکل (۳) تطابق چاه نگاره‌های مختلف در افق‌های مخزنی نشان داده شده است.

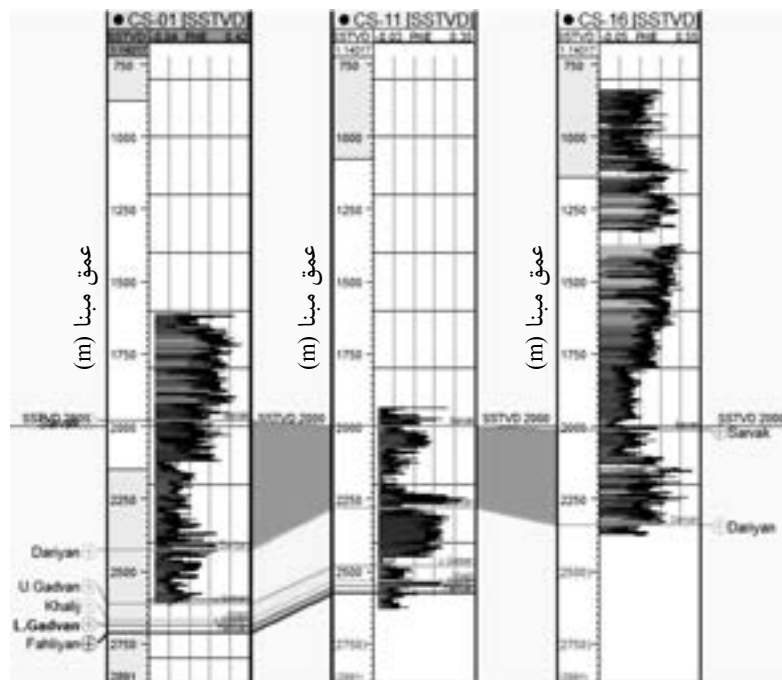
### تعریف هندسه مخزن و شبکه‌بندی آن

پس از ورود داده‌ها و ایجاد نقشه‌های هم‌ضخامت<sup>۱</sup>، در مرحله دوم نوبت به ساخت مدل ساختمانی می‌رسد که در این مرحله یک شبکه ژئوسلولی متناسب با ابعاد میدان ایجاد می‌گردد. این شبکه به عنوان قالب اصلی مدل، امکان بررسی و ادغام هم‌زمان داده‌های ساختمانی و خصوصیات پتروفیزیکی به جهت تولید مدل‌های واقع‌گرایانه به دست می‌دهد و هنگام ساخت مدل‌سازی پتروفیزیکی باعث می‌گردد که پارامترهای پتروفیزیکی تعریف شده برای هر چاه، به کل مخزن قابل تعمیم باشد. در این مرحله که مخزن به یک شبکه سلول‌بندی شده تقسیم می‌شود که تمامی خواص هر سلول از جمله خواص پتروفیزیکی و لیتولوژیکی در تمام حجم آن یکسان می‌باشد و با توجه به فاصله شبکه‌ها از یکدیگر و مقدار داده‌ها می‌توان خصوصیات مشابه واقع در سلول‌های بدون اطلاعات را تخمین زد. ابعاد شبکه ۵۰۰\*۵۰۰ و تعداد آن در مخزن ۱۶۲۰۰۶۰ می‌باشد که در راستای X و Y در نظر گرفته شده است (اشکال ۴ و ۵). بعد از ساخت افق‌ها در زمان لایه‌بندی، این بلوک‌ها در جهت عمق یا Z تفکیک می‌گردند.

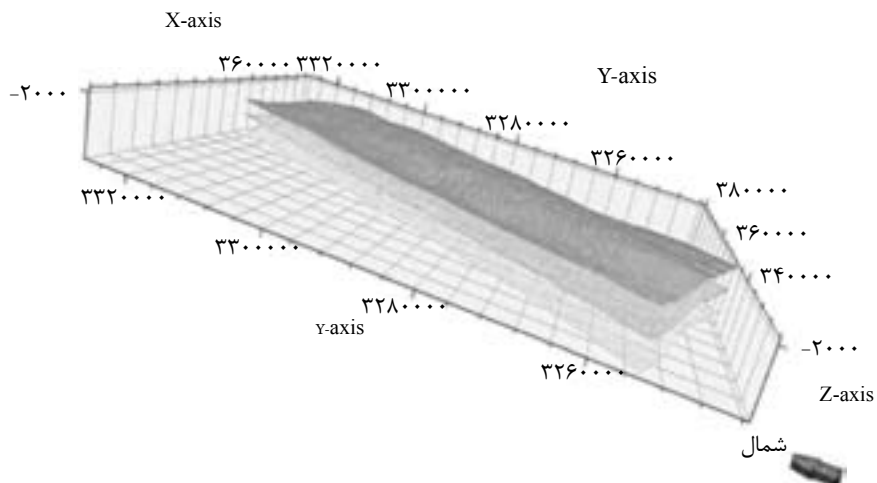
1. Ischore Map Log  
2. Scale Up



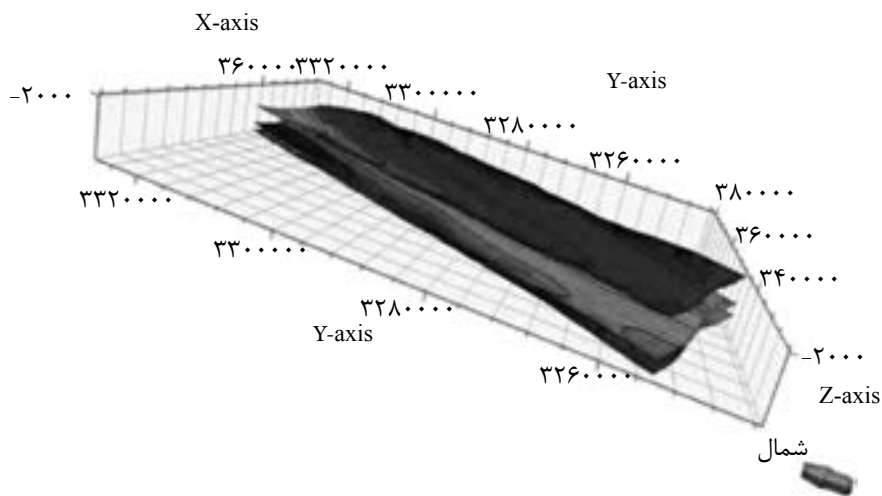
شکل ۲ هیستوگرام تجمعی مدل تخلخل حاصل از داده‌های چاه.



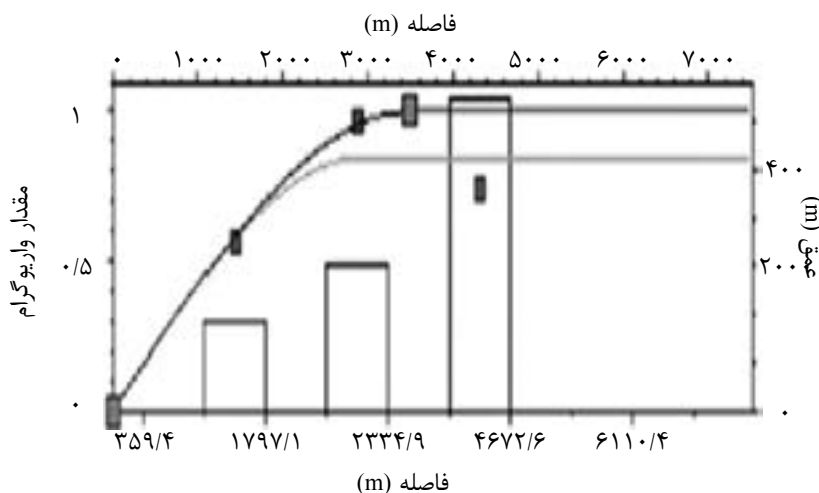
شکل ۳ تطابق عمقی سه چاه میدان مورد مطالعه در افق‌های مخزنی.



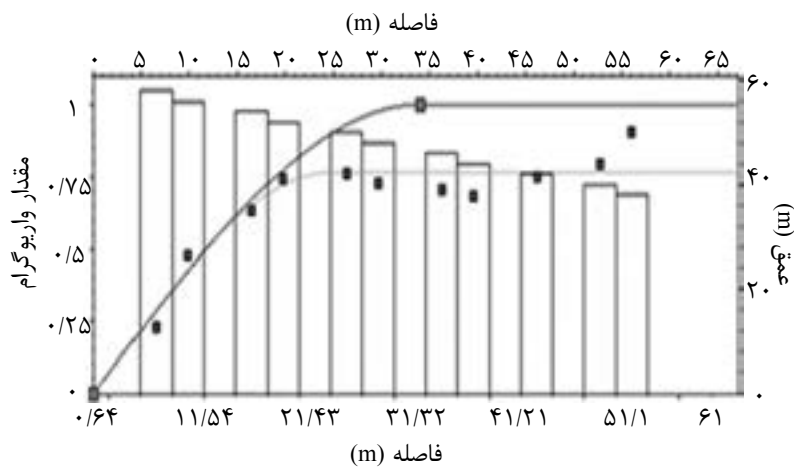
شکل ۴ نمایی از شبکه سلولی ایجاد شده.



شکل ۵ نمایی از افق‌های ساخته شده در شبکه سلولی.



شکل ۶ مدل واریوگرافی در جهت اصلی-افقی برای لاگ تخلخل برای زون ۱.



شکل ۷ مدل واریوگرافی در جهت اصلی- قائم برای لاگ تخلخل برای زون ۱-۳.

کند. بر خلاف همه روش‌های تخمینی مبتنی بر میانگین متحرک، شبیه‌سازی زمین آماری به‌عنوان الگوریتمی برای تعدیل اثر هموارسازی این روش‌ها در نظر گرفته می‌شود. زیرا روش‌های مبتنی بر میانگین متحرک به‌طور غیر واقع بینانه نوسانات را هموار می‌کند [۹].

در تخمین هدف محاسبه پارامترهای توزیع احتمال (نظیر میانگین) بر مبنای داده‌های حاصل از نمونه‌برداری و اندازه‌گیری است. در صورتی که هدف از شبیه‌سازی، تقریباً عکس آن است، یعنی بازسازی بعضی احتمالات براساس پارامترهای آماری تابع توزیع احتمال و کوواریوگرام 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 واریوگرام تجربی مقادیر شبیه‌سازی شده، مشابه واریوگرام داده‌های اصلی می‌شود. آنچه در مهندسی نفت به‌عنوان شبیه‌سازی مطرح می‌شود، در علم زمین آمار معادل با تخمین است. این تفاوت اغلب سبب بروز اشتباهاتی به‌خصوص در زمینه تجزیه و تحلیل نتایج برای کارشناسان در مهندسی نفت می‌گردد که باید با دقت بیشتری به آن پرداخت [۱۰].

در ادامه مدل‌سازی خواص مخزنی تخلخل با استفاده از خروجی مرحله واریوگرافی به روش شبیه‌سازی گوسی متوالی<sup>۱</sup> انجام شد. مقادیر تخلخل برای زون‌های مختلف در جدول (۲) آمده است

### بحث و نتایج

شبیه‌سازی گوسی متوالی به دلیل آسانی کاربرد و انعطاف‌پذیری در ایجاد ناهمگنی‌های واقعی در مدل‌سازی کاربرد گسترده‌ای دارد. مراحل انجام یک شبیه‌سازی متوالی شامل ۵ مرحله است. این مراحل شامل تبدیل داده‌های اصلی به یک فضای جدید، مدل‌سازی واریوگرام در فضای جدید، تعیین یک مسیر تصادفی<sup>۲</sup> به منظور داشتن دید تمامی مکان‌های فاقد نمونه، تخمین برای نقاط فاقد نمونه به‌صورت متناوب با به‌کار بردن تکنیک‌هایی بر مبنای کریجینگ و سرانجام تبدیل معکوس مقادیر شبیه‌سازی شده از تخمین می‌باشد (شکل ۸).

شبیه‌سازی زمین آماری تکنیکی برای تولید داده‌های سازگار با یک متغیر ناحیه‌ای است. ویژگی اصلی داده‌های حاصل از شبیه‌سازی به گونه‌ای است که می‌تواند هیستوگرام و تغییرپذیری فضای داده‌های واقعی را ایجاد

جدول ۱ مقادیر شعاع تاثیر هر یک از جهات سه گانه در مدل واریوگرام.

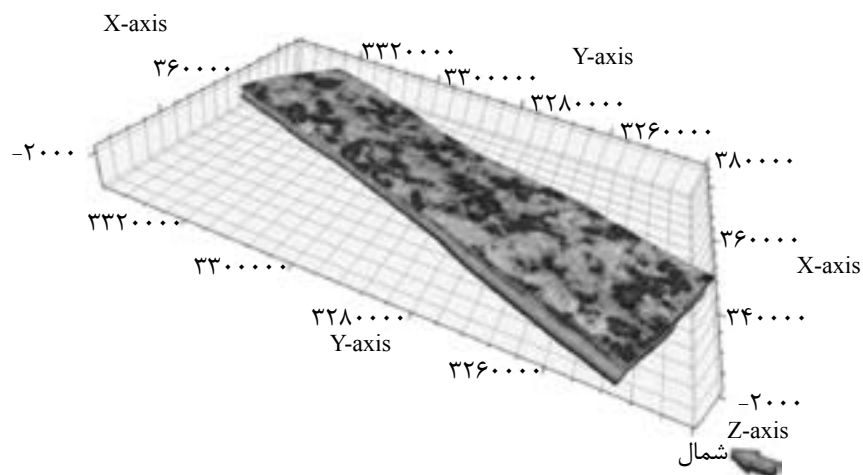
سازند	زون	آزموت (جهت از شمال) واریوگرام	شعاع تاثیر در جهت اصلی (m)	شعاع تاثیر در جهت فرعی (m)	شعاع تاثیر در جهت مسیر چاه‌ها (m)
سروک	زون ۱	۲۲	۳۴۸۷/۸	۳۳۰۵/۵	۳۵/۹
داریان	زون ۱-۳	۲۲	۳۱۷۳/۲	۱۵۰۰	۲۴/۸
	زون ۲-۳	۲۲	۳۱۷۰	۱۵۰۰	۱۰/۲
	زون ۳-۳	۲۲	۵۰۰	۵۰۰	۶/۱
	زون ۴-۳	۲۲	۵۰۰	۵۰۰	۵

1. Sequential Gaussian Simulation

2. Seed

جدول ۲ میزان تخلخل در همه زون‌های میدان مورد مطالعه.

تخلخل (سروک)	کم‌ترین مقدار	بیشترین مقدار (%)
لاگ اولیه	۰	۳۲
لاگ افزایش مقیاس داده شده	۰	۲۴/۵
مدل	۰	۲۴/۵
تخلخل (داریان ۱)	کم‌ترین مقدار	بیشترین مقدار (%)
لاگ اولیه	۰	۲۶
لاگ افزایش مقیاس داده شده	۰	۲۰/۸
مدل	۰	۲۰/۸
تخلخل (داریان ۲)	کم‌ترین مقدار	بیشترین مقدار (%)
لاگ اولیه	۰	۱۱
لاگ افزایش مقیاس داده شده	۰	۹
مدل	۰	۹
تخلخل (داریان ۳)	کم‌ترین مقدار	بیشترین مقدار (%)
لاگ اولیه	۰	۲۲
لاگ افزایش مقیاس داده شده	۰	۲۱
مدل	۰	۲۱
تخلخل (داریان ۴)	کم‌ترین مقدار	بیشترین مقدار (%)
لاگ اولیه	۰	۱۰
لاگ افزایش مقیاس یافته	۰	۸/۴
مدل	۰	۸/۴



شکل ۸- دید سه بعدی پتروفیزیکی مدل تخلخل در میدان مورد مطالعه

## نتیجه گیری

خصوصیات مخزنی بهتر است از چاه‌های بیشتر و یا با گسترش در تمام مخزن استفاده گردد. نتایج به دست آمده برای پارامتر تخلخل برای هر زون به صورت جداگانه در جدول (۲) آورده شده است. طبق این نتایج تمرکز نفت در لایه ۱ داریان از سایر سازندها بیشتر بوده و پیشنهاد می‌گردد برای تولید اولیه این مخزن توسعه یابد.

میانگین تخلخل در مخزن سروک حدود ۱۲٪، در مخزن داریان ۱ حدود ۱۲٪، داریان ۲ حدود ۴٪، داریان ۳ حدود ۱۴٪ و داریان ۴ حدود ۳٪ می‌باشد

## تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله در پایان بر خود لازم می‌دانیم از کلیه اساتید و همکاران عزیز در پژوهشکده مطالعات مخازن و توسعه میادین پژوهشگاه صنعت نفت مخصوصاً مسئول بخش مدل‌سازی (Modeling) که نهایت همکاری را در انجام این پژوهش داشته‌اند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

استفاده از روش شبیه‌سازی گوسی متوالی یا SGS یکی از روش‌های معمول در تعیین پارامترهای پتروفیزیکی می‌باشد. این روش نشان داد که روش‌های شبیه‌سازی در مواردی که داده‌های اولیه نسبت به فضای مخزن مقدار کمتری دارند، روش مناسبی برای ایجاد داده‌ها در فضای بین چاه‌ها می‌باشند. در شبیه‌سازی، براساس یک مدل شبیه‌سازی شده تصمیم‌گیری اتخاذ نمی‌گردد، بلکه بر طبق مجموع مقادیر شبیه‌سازی شده احتمال رخداد هر واقعیت تعیین می‌شود. البته باید به این امر توجه داشت که در برخی اوقات، هدف، تعیین ریسک عملیات در برنامه‌ریزی‌های استخراج نفت می‌باشد. در این مواقع ضروری است که از تمام مدل‌های شبیه‌سازی شده بهترین و بدترین حالت انتخاب گردد و مدل‌سازی مخزن براساس این دو مدل صورت گیرد تا دامنه ریسک عملیات کاهش یابد. در این مطالعه داده‌های فقط ۳ چاه مورد استفاده قرار گرفته است که برای مدل‌سازی بهتر

## مراجع

- [1]. Joa Feipe Costa A. and Zingano C., "Simulation- an approach to risk Analysis in coal mining," Exploration and Mining Geology, Vol. 9, No. 1, pp. 43-49, 2000.
- [2]. Sahin A. and Al- Salem A. A., "Stochastic modeling of porosity distribution in multi- zonal carbonate reservoir," SPE 68113, 2001.
- [3]. Deustch C. V., and Journel A. G. *GSLIB, "Geostatistical software library and user's guide,"* Oxford Univ. Press, New York, p. 340, 1992.
- [4]. Dubrule O. "Geostatistics fir seismic data integration in earth model," Society of Exploration Geophysics (SEG), European Association of Geoscientists & Engineers, 2003.
- [۵]. حسنی پاک ع., "زمین آمار (ژئواستاتیسٹیک)،" انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۱۳۸۹.
- [6]. Schumberger, Petrel Introduction course, "Schumberger information solutions," 2006.
- [7]. Schumberger, Seismic- to- Simulation Software, "Property Modeling Course," p. 503, 2009.
- [8]. Dean L., "Reservoir Engineering for Geologists," Part 3- Volumetric Estimation, Reservoir, Issue 11, p. 20, 2007.
- [۹]. روند جی. ام، "اصول زمین آماری،" ترجمه مهندس علی اصغر خدایاری، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشکده فنی تهران، ۱۳۷۱.
- [10]. Deutsch C. V. and Cockerman P. W., "Geostatistical modeling of permeability with annealing Co- simulation (ACS)," SPE 28413, 1994.