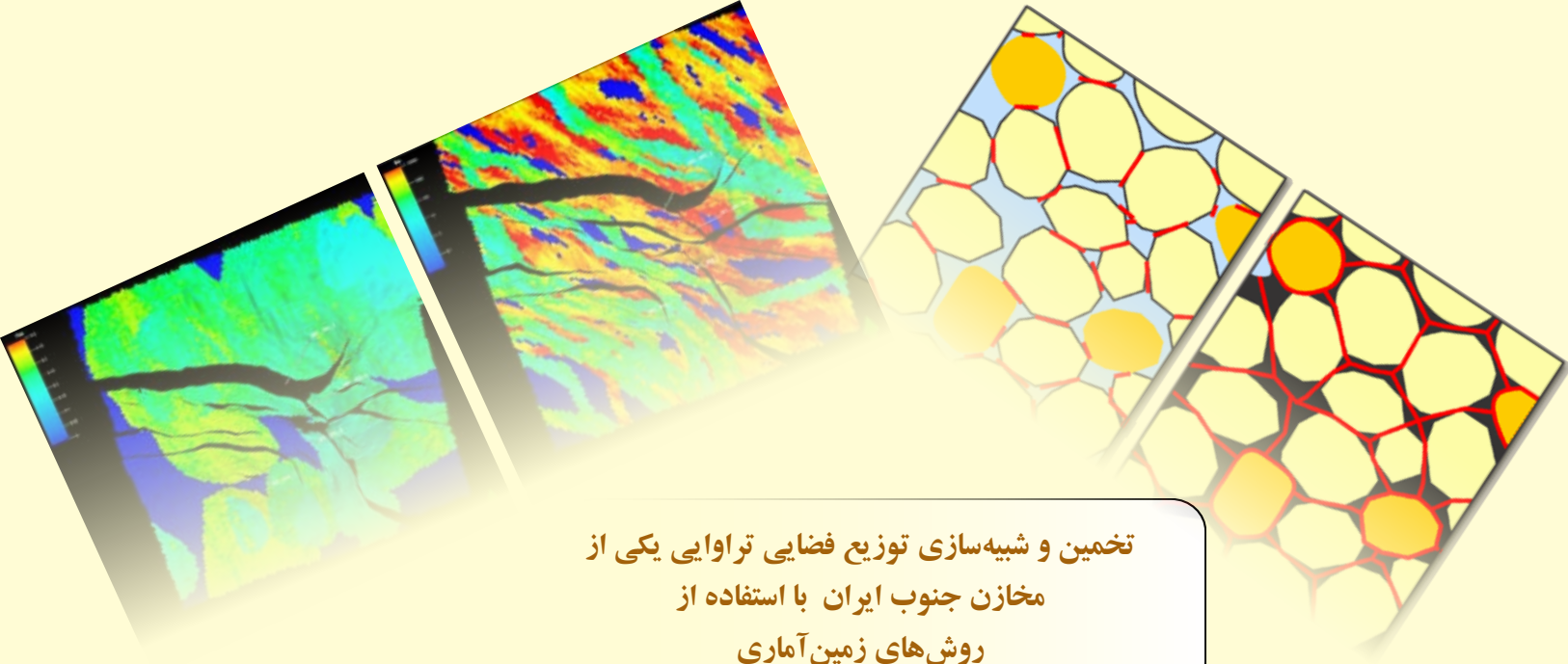


تخمین و شبیه‌سازی توزیع فضایی تراوایی یکی از مخازن جنوب ایران با استفاده از روش‌های زمین‌آماری

محمد مهدی خواجه[1]، محمد آقابیگی[2]

چکیده:

اطلاعات مربوط به داده‌های پتروفیزیکی مخزن همواره یکی از مهم‌ترین منابع اطلاعاتی برای بررسی عملکرد یک مخزن به‌شمار می‌آید و داده‌های به‌دست‌آمده محدود به تعداد چاه‌های حفرشده در مخزن می‌باشد، به‌دست‌آوردن داده‌های جدید جزء از طریق روش‌های تخمین و شبیه‌سازی امکان‌پذیر نیست.

یکی از این روش‌ها، استفاده از روش «زمین‌آماری» می‌باشد، که در حال حاضر در بسیاری ازکشورهای پیشرفته به عنوان یک روش قابل اعتماد مطرح است. امتیاز ویژه روش زمین‌آماری بر روش‌های آمار کلاسیک این است که در این روش، توزیع فضایی خطای تخمین درکل مخزن در کنار تخمین مخزن می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد که از طریق آن می‌توان دقت تخمین به‌دست‌آمده را سنجید. به کمک این روش می‌توان فقط در قسمت‌هایی که تخمین با خطای بالایی همراه است به جمع‌آوری داده‌های جدیدتر پرداخت، که این امر باتوجه به هزینه‌های بسیار بالای عملیات اکتشافی و حفاری اهمیت بسیاری دارد.

در این تحقیق با استفاده از داده‌های نفوذپذیری حاصل از چاه‌آزمایی ۲۷ چاه مخزن بنگستان در میدان منصوری و با استفاده از روش‌های زمین‌آماری ساختار فضایی، توزیع داده‌های نفوذپذیری و تابع توزیع خطای تخمین در کل مخزن به‌دست می‌آید، همچنین حالت‌های تحقق‌یافته ممکن در شبیه‌سازی توزیع داده‌های نفوذپذیری در مخزن به کمک نرم‌افزار WinGslib مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: نفوذپذیری، زمین‌آمار، واریوگرام، کریجینگ، شبیه‌سازی.

مقدمه

نظریه زمین‌آماری شاخه‌ای از آمار کاربردی است که به تشریح ریاضی و تجزیه و تحلیل مشاهدات زمین‌شناسی کمک می‌کند. در زمین آمار علاوه بر مقدار یک کمیت در یک نمونه، موقعیت فضایی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. بدین لحاظ می‌توان موقعیت فضایی نمونه‌ها را همراه با مقدار کمیت مورد نظر یک‌جا مورد تحلیل قرار داد. به عبارت دیگر باید بتوان بین مقادیر مختلف یک کمیت در جامعه نمونه‌ها و فاصله و جهت قرارگیری نمونه‌ها نسبت به هم ارتباطی برقرار کرد. این ارتباط فضایی بین مقدار یک کمیت در جامعه نمونه‌های برداشت‌شده ممکن است در قالب‌های ریاضی قابل بیان باشد. به این قالب‌های ریاضی «**ساختار فضایی**» گفته می‌شود و تابعی است از فاصله ولی مستقل از مختصات.

به‌طور کلی تخمین زمین‌آماری فرایندی است که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به‌دست آورد. این تخمین‌گر زمین‌آماری به افتخار یکی از پیشگامان علم زمین آمار به‌نام «**د.جی.کریگ**»، «**کریجینگ**» نام‌گذاری شده است. «**کریجینگ**» یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است که بهترین تخمینگر خطی نااریب است.

از مهمترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد. بنابراین برای هر مقدار تخمین‌زده‌شده می‌توان دامنه اطمینان آن تخمین را محاسبه کرد درحالی‌که در روش‌های کلاسیک معمولاً چنین نخواهد بود [۱].

مروری بر تحقیقات گذشته

نخستین تجربه‌های به‌کارگیری روش‌های آماری به مفهوم امروزی آن، در محاسبات تخمین ذخیره، از حدود ۷۰ سال پیش با شناسایی مقدماتی الگوهای توزیع طلا در معادن آفریقای جنوبی شروع شد.

پس از تحقیقات فراوان و گستردهٔ در نهایت توجه محققین به این نکته جلب شد که در یک منطقه معدنی معمولاً بخش‌های پرعیار

۱- کارشناس ارشد مهندسی نفت - دانشگاه صنعتی سهند تبریز
۲- کارشناس ارشد مهندسی نفت- شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب

شکل ۱: نقشه موقعیت میدان منصوری

و کم‌عیار در کنار یکدیگر قرار دارند و بایستی نوعی رابطه میان این بخش‌ها وجود داشته باشد. از این رو تلاش‌هایی برای یافتن ارتباط فضایی نمونه‌ها و موقعیت آنها شروع گردید که باید از کارهای «ویتن» در سال ۱۹۶۲ در ژئوشیمی، «کرومباین» و «گریفیت» در سال ۱۹۶۷ در تجزیه و تحلیل اطلاعات رسوب‌شناسی، «کوچ» و «لینک» در سال ۱۹۶۷ در بررسی‌های معدنی و «هاربو» در سال ۱۹۶۴ در زمین‌شناسی نفت نام برد[۲].

این کوشش‌ها در دهه ۱۹۶۰ منجر به ابداع و تکمیل روش تجزیه و تحلیل سطوح روند گردید و «ماترون» فرانسوی با انتشار مقاله‌ای در سال ۱۹۶۲ پایه‌های زمین‌آمار را بنا نهاد.

اگرچه عمده زمینه‌های رشد و توسعه زمین‌آمار تخمین ذخایر معدنی بوده ولی در زمینه‌های ژئوشیمی، زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، مکانیک سنگ و تخمین مخازن هیدروکربنی نیز تحقیقات کاربردی جالبی انجام شده است. صنعت نفت یکی از استفاده‌کنندگان اولیه زمین‌آمار بوده است. مدرن‌ترین کاربردهای این صنعت به‌وسیله «هاس» و «جوسیلن» عرضه شده است .کارهای این گروه به عرضه نرم‌افزاری به‌نام «کریگ۱» انجامید[۳].

J. Prieditis و همکارانش در سال ۱۹۹۸ میلادی روش‌هایی برای پیش‌بینی سیلاب‌زنی با گاز دی‌اکسیدکربن با ارزیابی روش‌های زمین‌آماری عرضه کردند[۴].

در سال ۲۰۰۲ میلادی A.E.Tawel و M.N.Bushara براساس روش‌های زمین‌آماری یک مدل ۳بعدی برای بررسی چگونگی توزیع تراوایی مطلق در شکاف‌ها در مخازن شکاف‌دار پیشنهاد نمودند [۵].

Jef Caers از دانشگاه استنفورد در سال ۲۰۰۵ یک تحقیق بر روی انواع روش‌های شبیه‌سازی مخزن به کمک روش‌های زمین‌آماری انجام داد و موفق شد با استفاده از روابط ارائه‌شده در آمار کلاسیک و همچنین علوم زمین‌شناسی به یک‌سری روابط جدید برای مختصات فضایی داده‌ها در زمین‌آمار دست پیدا کند و به بیان دیگر روش‌های شبیه‌سازی را که محدود به رسم واریوگرام و به‌کارگیری آن بود گسترش‌داد[۶].

معرفی میدان منصوری

میدان «منصوری» در ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی اهواز و در امتداد میادین «آب تیمور» و «سوسنگرد» قرار دارد. اولین چاه این میدان در سال ۱۹۶۳ حفر گردید. این میدان از دو مخزن آسماری (با ۱۳ حلقه چاه) و بنگستان (با ۳۸ حلقه چاه) تشکیل شده است.

شکل-۱ نقشه موقعیت میدان منصوری را نشان می‌دهد[۷].

۱- تخمین و شبیه‌سازی تراوایی (مطالعه موردی)

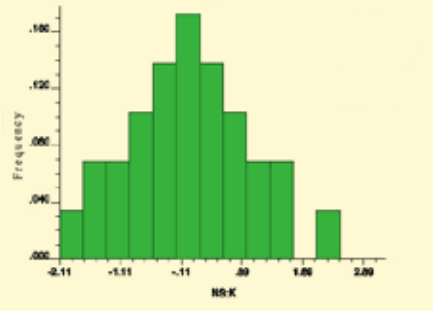
۱-۱- بررسی نرمال یا غیرنرمال‌بودن داده‌های نفوذپذیری

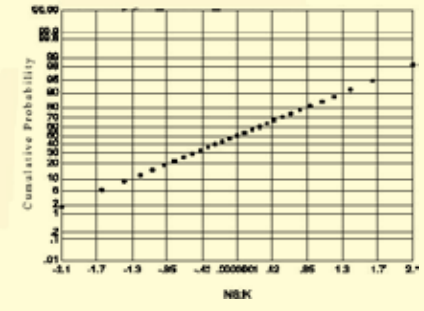
اکثر روش‌های آماری فرض نرمال‌بودن داده‌ها را یدک می‌کشند. لذا داشتن داده‌هایی که توزیع نرمال دارند، در حقیقت مجوز استفاده از روش‌های مورد نظر است. زیرا استفاده از داده‌های غیرنرمال در روش‌هایی که مختص داده‌های نرمال هستند، محاسبات زمین‌آماری را دچار خطای سیستماتیک می‌کند.

برای بررسی نرمال یا غیرنرمال‌بودن داده‌ها از دو روش «هیستوگرام فراوانی داده‌ها» و روش «تابع توزیع تجمعی داده‌ها» می‌توان استفاده کرد.

شکل-۲ نمودار فراوانی نما و نمودار نیمه‌لگاریتمی توزیع تجمعی داده‌ها برای داده‌های نرمال‌شده لایه سروک۲ را نشان می‌دهد[۸].

شکل -۲: نمودار فراوانی نما و نمودار نیمه‌لگاریتمی توزیع تجمعی داده‌ها برای داده‌های نرمال‌شده لایه سروک۲





جدول-۱: نتایج حاصل از انطباق داده‌های سازند «سروک» به‌وسیله روش کمترین مربعات وزنی (WLS)

سازند	نوع مدل	اثر قطعه‌ای	دامنه تأثیر	سقف واریوگرام	خطا
سروک۱	کروی	۰	۱۲/۸۲۷۰۰	۰/۰۹۲۸۸	۲۶/۸۵۷۹۳
	نمایی	–	–	–	–
	گوسی	۰/۰۸۱۸	۹/۸۲۴۶۸	۰/۰۸۳۳۱	۱۸/۴۵۴۲۴
	توانی	۰/۰۷۰۱۲	۲/۰۵۳۰۰	۰/۰۰۷۲۹	۱۴۱/۵۵۰۲۵
سروک۲	کروی	۰/۰۷۲۱۹	۱۰/۵۵۰۳۱	۱/۳۸۱۸۰	۱۳/۶۷۹۵۴
	نمایی	۰/۶۱۳۲	۹/۰۲۶۹۶	۲/۵۶۰۷۲	۱۵/۹۲۲۰۵
	گوسی	۰/۳۲۷۱۵	۱۰/۲۵۳۹۵	۱/۲۳۵۰۹	۱۳/۲۴۶۴۸
	توانی	۱/۱۴۴۹۷	۲/۱۹۰۰۰	۰/۲۵۹۴۹	۱۴۰/۸۷۳۵۰
سروک۳	کروی	۰/۵۸۷۷۹	۶/۳۹۶۵۰	۳/۲۳۷۸۸	۱۶/۳۹۷۴۶
	نمایی	۰/۳۶۹۲۳	۹/۵۱۴۸۴	۳/۸۳۱۸۳	۱۷/۱۲۸۸۱
	گوسی	۰/۸۱۱۱۰	۴/۶۶۲۹۲	۲/۹۳۲۴۱	۱۴/۶۴۴۰۶
	توانی	۳/۳۶۵۵۵	۲/۶۴۸۴۸	-۹۷/۴۱۵۲۳	۵۴/۶۵۷۸۴

۱-۲- به‌دست‌آوردن واریوگرام، بیضی ناهمسانگردی و تخمین داده‌های نفوذپذیری

واریوگرام برای تشریح ارتباط فضایی بین هرمشخصه در نقاط مختلف یک کانسار یا مخزن به‌کار می‌رود و یک ابزار اساسی در زمین‌آمار می‌باشد. واریوگرام برای مهندسان مخازن هیدروکربوری جذابیت خاصی دارد، زیرا به کمک آن می‌توان مشخصه‌های مهمی از میادین نفتی را که در ارزیابی ذخیره یا مطالعه میادین نفتی مؤثرند بررسی کرد. جدول-۱ اطلاعات مدل‌های مختلف برازش‌شده به واریوگرام‌ها را نشان می‌دهد [۱و۲].

در این مقاله برای به‌دست‌آوردن بیضی ناهمسانگردی با استفاده از نرم‌افزار WinGslib یک واریوگرام در جهت آزیموت صفر و با تلورانس ۹۰ درجه رسم می‌کنیم. به این واریوگرم، «**واریوگرم کلی**» می‌گویند.

مرحله بعد، انجام تخمین با استفاده از اطلاعات مربوط به واریوگرام کلی می‌باشد (شکل-۳). این تخمین، تخمین نهایی نیست، اما چون برای به‌دست‌آوردن بیضی ناهمسانگردی به اطلاعات حاصل از تخمین با استفاده از واریوگرام کلی نیازمندیم ناچار به انجام این مرحله هستیم.

در جدول-۲ مقادیر و جهات قطر بزرگ و قطر کوچک بیضی را برای لایه‌های سروک ۱ الی ۳ مشاهده می‌کنیم.

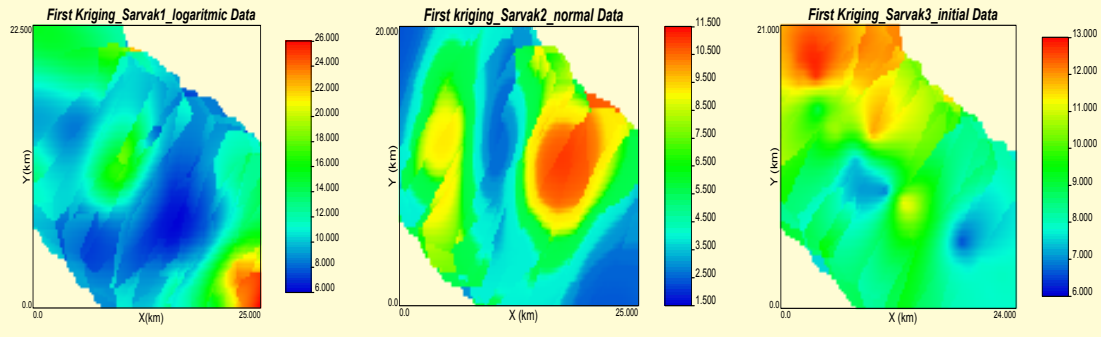
پس از رسم واریوگرام‌های مناسب برای این دو جهت کریجینگ نهایی را انجام می‌دهیم. در این مرحله در مقایسه با تخمینی که در مرحله قبل زده شد می‌بایست شعاع تأثیرهای به‌دست‌آمده از رسم واریوگرام‌های جدید و آزیموت‌های حاصل از بیضی ناهمسانگردی را در نرم‌افزار وارد کنیم. اما قبل از انجام کریجینگ لازم است صحت واریوگرام به‌کار گرفته شده را تعیین کنیم. برای این کار از روش آزمون متقابل استفاده می‌کنیم.

در این روش هر کدام از نقاط معین را حذف می‌کنیم و سپس به کمک واریوگرام حاصل شده مقدار آن را مجددا تخمین می‌زنیم. مقادیر تخمین زده شده را بر روی یک محور و مقادیر واقعی را بر روی محور دیگر رسم می‌کنیم. هر چه که شیب این نمودار به ۱ نزدیک‌تر باشد می‌تواند دلیلی برای صحت واریوگرام به‌کار گرفته تلقی شود.

۱-۳- شبیه‌سازی

شبیه‌سازی زمین‌آماری تکنیکی برای تولید داده‌هایی سازگار با یک متغیر ناحیه‌ای است. ویژگی اصلی داده‌های حاصل از شبیه‌سازی طوری است که می‌تواند هیستوگرام و تغییرپذیری فضایی داده‌های واقعی را ایجاد کند. برخلاف همه روش‌های تخمین مبتنی‌بر میانگین متحرک، شبیه‌سازی زمین‌آماری به‌عنوان الگوریتمی برای تعدیل اثر هموارسازی این نوع روش‌ها در نظر گرفته می‌شود زیرا روش‌های مبتنی‌بر میانگین متحرک به‌طور غیرواقع‌بینانه نوسانات را هموار می‌کند. علی‌رغم خاصیت ارزیابی خوب و دقیق به‌وسیله تخمین کریجنگ زمین‌آماری، این تخمین دارای خاصیت نرم‌کنندگی تغییرات کوچک است. در این

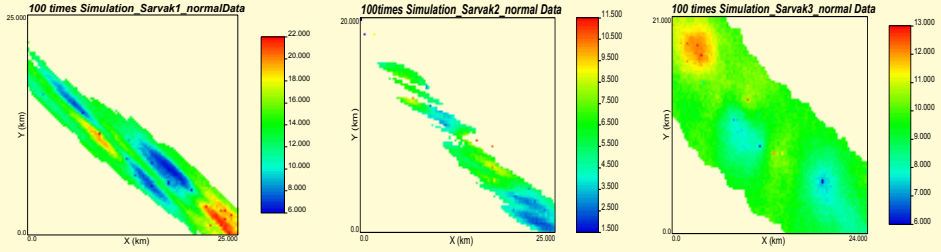
شکل-۳: تخمین اولیه داده‌های خام لایه سروک ۱،۲،۳ با استفاده ازواریوگرام کلی



جدول-۲: مشخصات بیضی ناهمسانگردی برای لایه‌های مختلف

لایه	اندازه قطر بزرگ	اندازه قطر کوچک	جهت قطر بزرگ	جهت قطر کوچک
سروک۱	۱۳	۷	۴۵درجه	۱۳۵درجه
سروک۲	۱۳/۶	۶/۸	۲۰درجه	۱۱۰درجه
سروک۳	۱۱/۵	۷/۵	۸۰ درجه	۱۷۰درجه

شکل- ۴: نقشه E-Type حاصل‌شده برای لایه سروک۳،۲،۱ پس از ۱۰۰ بار انجام شبیه‌سازی



مورد باید از روش‌های شبیه‌سازی زمین‌آماری سودجست[۸].
شکل -۴ نقشه E-Type حاصل‌شده برای لایه سروک۳،۲،۱را پس از ۱۰۰ بار انجام شبیه‌سازی نشان می‌دهد.

نقشه E-Type برآیند تعدادی حالت تحقق‌یافته برای داده‌های نفوذپذیری در مخزن است. به بیان دیگر با استفاده از نقشه E-Type می‌توان یک پل برای مقایسه نتایج حاصل از تخمین و نتایج حاصل از شبیه‌سازی ایجاد کرد و به کمک آن و با مقایسه نتایج حاصل از این دو، یک دید جامع‌تری از توزیع نفوذپذیری در مخزن پیدا کرد.

۲- تفاوت‌های شبیه‌سازی و کریجینگ

در تخمین، هدف محاسبه پارامترهای تابع توزیع احتمال (نظیر میانگین) براساس داده‌های حاصل از نمونه‌برداری یا اندازه‌گیری است. در صورتی‌که هدف از شبیه‌سازی، تقریباً عکس آن است، یعنی بازسازی بعضی حالات ممکنه براساس پارامترهای آماری تابع توزیع احتمال و کواریوگرام یا واریوگرام است. بنابراین با شبیه‌سازی روی یک‌سری داده 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 شبیه‌سازی‌شده، مشابه واریوگرام داده‌های اصلی شود.

آنچه در مهندسی نفت به عنوان شبیه‌سازی مطرح می‌شود در علم زمین‌آمار 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 [۹].

نتیجه‌گیری

بررسی و مطالعات‌انجام‌شده در این پژوهش و نتایج حاصل از شبیه‌سازی داده‌های چاه‌آزمایی و مدل‌نمودن توزیع فضایی تراوایی در مخزن منصوری بنگستان به‌صورت نقشه‌های تراوایی نشان می‌دهد:

- نتایج حاصل‌شده از تخمین و شبیه‌سازی در لایه سروک۱ هم خوانی خوبی با هم دارند. در ۲ ناحیه که یکی در مرکز و دیگری در منتهی‌الیه شرقی این لایه قرار دارد تراوایی بیشترین مقدار خود را داراست و در دو ناحیه دیگر این لایه که یکی در مرکز و دیگری در منتهی‌الیه غربی لایه قرار دارند تراوایی حداقل مقادیر خود را داراست. در سایر نواحی این لایه توزیع تراوایی تقریباً یکنواخت است و در محدوده بین ۱۲ تا ۱۶ میلی دارسی قرار دارد.
- به‌طور کلی هم تخمین و هم شبیه‌سازی انجام‌شده در لایه سروک ۲ نشان از تراوایی بسیار کم در این لایه دارد.
- نتایج حاصل از تخمین و شبیه‌سازی در لایه سروک ۳ نشان می‌دهد که در نقاط مختلف این لایه مقدار تراوایی تقریباً یکنواخت و در اکثر نقاط این لایه بین ۸ تا ۱۱ میلی دارسی است.
- خطای تخمین در هر ۳ لایه در مرزهای محدوده تخمین‌زده‌شده به مراتب بیش از نواحی دیگر می‌باشد زیرا در این نواحی از تعداد نقاط کمتری برای تخمین استفاده شده است که منجربه تولید خطای بالاتری نسبت به نواحی مرکزی خواهد شد. در هر ۳ لایه محدوده توزیع خطا در سایر نواحی مرکزی لایه بسیار اندک می‌باشد که نشان از تخمین خوب در هر ۳ لایه را دارد.

مراجع

[۱] مدنی، حسن- «مبانی زمین‌آمار»- انتشارات دانشگاه امیر کبیر واحد تفرش- ۱۳۷۳.

[۲] حسنی پاک، علی‌اصغر-«زمین‌آمار (ژئواستاتیستیک)»- انتشارات دانشگاه تهران ۱۳۷۷ .

[۳] حسنی پاک، علی‌اصغر و شرف‌الدین، محمد - «تحلیل داده‌های اکتشافی»- انتشارات دانشگاه تهران ۱۳۸۰.

[4] Prieditis, J., Yang, A.P., and Wilkins, M.D.: «Simulation of a CO2 Flood in the Slaughter Field with Geostatistical Reservoir Characterization», SPE 49168, 1998.

[5] Bushara M.N. and A.El Tawel,: «Effective Permeability Modeling :Geostatistical Integration of Permeability Indicators, offshore Abu Dhabi», SPE 78583, 2002.

[6] Jef Caers, «Geostatistical reservoir modelling using statistical pattern recognition,» Journal of Petroleum Science and Engineering 2005,188-177(2001)29.

[7] N.I.O.C by «Oil Reserves and Production Potential of the Mansouri Field, B.P. Reserch Center Report EPR/R8114/EPR/ R226 Volume 1:Oct 1974 IRAN.

[۸] رندو، جی. ام - ترجمه مهندس علی‌اصغر خدایاری- «اصول زمین‌آماری»- انتشارات جهاد دانشگاهی دانشکده فنی تهران ـ ۱۳۷۱.

[9] Deutch, C.V. and Cockerman, P.W. “Geostatistical Modeling of Permeability with Annealing Cosimulation (ACS)” ,SPE 28413, 1994.

[10] N.I.O.C Report,”Well Testing Data of the Bangestan Reservoir Mansouri Field,”.