

پیش بینی و بررسی اختصاصات مخزن با استفاده از مدل زمین آمار، مطالعه موردی: مخزن بنگستانی میدان زیلایی، جنوب غرب ایران

سمیه خرم آبادی^۱، بهمن سلیمانی^{۲*}، حسین شیخ زاده^۳

۱- کارشناسی ارشد نفت گروه زمین شناسی، واحد مرکز تحقیقات دانشگاه آزاد تهران، ایران

۲* - استاد گروه زمین شناسی نفت و حوضه های رسوبی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳- کارشناس ارشد مناطق نفتخیز جنوب، اهواز، ایران

*soleimani_b@scu.ac.ir

دریافت مهر ۱۴۰۲، پذیرش آبان ۱۴۰۲

چکیده

مدل زمین آمار ابزار مفیدی برای پیش بینی پتانسیل نفتی مخازن محسوب می شود. در مطالعه کنونی سعی بر این است که ضمن مروری بر اهمیت مدل زمین آمار در توصیف مخزن، تغییرات پارامترهای پتروفیزیکی مخزن بنگستانی میدان زیلایی را علیرغم تعداد محدود چاه های حفاری شده، مدل سازی و مورد بررسی قرار گیرد. این مخزن کربناته از سازندهای ایلام، سورگه و سروک تشکیل شده و به هشت زون تقسیم گردید. در فرایند مدل سازی، اطلاعات مورد نیاز جهت مدل سه بعدی شامل تفاسیر ژئوفیزیکی، اطلاعات توصیف چاه، و نقشه های دو بعدی همراه با کنترل کیفی آنها در نرم افزار RMS وارد گردید. تهیه مدل ساختمانی بر اساس سطوح سر سازندها و عمق ورود چاه ها به آنها صورت گرفت. این داده ها به طور غیر مستقیم و یا مستقیم در نرم افزار موجود با قابلیت گرید بندی بالا جهت ایجاد سطوح استفاده گردید. نقشه همتراز عمقی سر سازند ایلام به عنوان سطح تفسیری، رقومی سازی و به عنوان نقشه کنتوری پایه در نظر گرفته شد. نقشه های هم تراز عمقی سایر زون ها نیز تهیه شد. پیش بینی الگوی توزیع تغییرات اختصاصات پتروفیزیکی مخزن با تکیه به روش های زمین آمار، نقشه های میانگین تخلخل، و اشباع آب تهیه شد. با توجه به نتایج حاصل از مدل سازی آشکار گردید که میدان زیلایی دارای پیچیدگی ساختاری بوده، ناهمگنی مخزن را موجب شده و ریسک پیش بینی رفتار مخزن را بالا برده است. مقایسه زون های مخزنی نشان داد که زون ۳ دارای پتانسیل هیدروکربوری بهتری نسبت به سایر زون ها می باشد. یکی از عوامل مؤثر در بهبود کیفیت مخزنی آن، فرایند دولومیتیزاسیون است. بر اساس تغییرات مقادیر توزیعی اشباع آب و تخلخل خصوصیات مخزنی از جنوب شرق به طرف شمال غرب میدان بهبود می یابد.

کلید واژه: میدان زیلایی، مخزن بنگستان، مدل زمین آمار، تخلخل و اشباع آب، توصیف مخزن

۱- مقدمه

زمین آمار در طول تاریخچه کوتاه خود چندین مرحله تکاملی را با توجه به دامنه روش شناختی خود پشت سر گذاشته است و اساساً با ویژگی‌های حوزه‌های مختلف کاربردی در هم آمیخته است [۱۷]. نخستین تجربه‌ها جهت بکارگیری روش‌های آماري 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 [۱۶، ۵۰، ۵۶، ۷۱]. اگرچه عمده زمینه‌های رشد و توسعه زمین آمار مسئله تخمین ذخائر معدنی بوده ولی صنعت نفت نیز یکی از استفاده کنندگان اولیه زمین آمار بشمار می‌رود. در دو دهه اخیر نیز کتب و مقالات بسیاری از پژوهشگران برجسته این علم در زمینه‌های نظری و کاربردی آن منتشر شده است. موارد زیر قابل ذکر است: مدل ناهمگنی [۴۸، ۹۵]، تخمین کریجینگ، حجم سنجی و تهیه مدل و تعیین سطح تماس آب و نفت [۲۸]، توزیع فضایی ویژگی‌های مخزنی [۱۴، ۵۲، ۸۲، ۸۳]، مدل سه بعدی ساختمانی [۷۵]، مدل پتروفیزیکی [۴۲]، کنترل کیفی و درک صحیح اطلاعات زمین شناسی با استفاده از تکنیک 3D-Visualization [۷۳]، طبقه بندی مخازن توربیدیتیه و شبیه سازی جریان‌ی ماسه سنگ‌های جزر و مدی [۴۷، ۵۷] و استفاده از زمین آمار و داده لرزه‌ای در مدل مخزن [۱۸، ۳۰، ۵۳، ۶۶].

کاربرد مدل سازی زمین شناسی در ایران محدود به دو دهه گذشته است. از معروفترین نرم افزارهای مدل ساز، نرم افزار RMS (Reservoir Modeling System) متعلق به شرکت Roxar و یا نرم افزار Petrel متعلق به شرکت شلمبرژه نام برد که اولین بار در مطالعه زمین شناسی مخازن آسماری و بنگستان میدان منصور آباد و سپس در تهیه مدل سه بعدی مخزن خامی میدان مارون بکار رفت [۳]. برخی از موارد اهمیت توصیف مخازن کمک به کاهش خطرات مرتبط با فرآیندهای اکتشاف و بهره برداری است. فرآیند شناسایی مخزن یک فرایند پیوسته بوده و از اکتشاف، حفر چاه و حریم میدان هیدروکربنی تا آخرین مراحل توسعه و تولید را در بر می‌گیرد [۲۳، ۲۵].

مطالعه کنونی سعی بر این دارد که ضمن مروری بر کاربرد زمین آمار و اهمیت آن در توصیف مخازن، ویژگی‌های زمین شناسی و مدل زمین آمار مخزن بنگستان با استفاده از نرم افزار RMS و تعیین بهترین زون از نظر پتانسیل مخزنی مورد بررسی قرار دهد.

۲- کاربرد زمین آمار در مطالعات مخزنی

ناهمگونی مخازن یک مشکل کلیدی زمین‌شناسی است که اکتشاف نفت و گاز و توسعه سنگ‌های آواری از مراحل اولیه تا اواخر مدل‌سازی را محدود می‌کند. ناهمگونی مخزن موجود روش‌هایی مانند زمین‌آمار چند نقطه‌ای (MPS) می‌تواند به دقت مدل‌سازی دو بعدی را انجام دهند.

روش‌های سنتی مدل سازی زمین شناسی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: مبتنی بر پیکسل و زمین آماري دو نقطه‌ای (مانند شبیه سازی گاوسی کوتاه) [۷۲، ۷۰، ۵۹] و شبیه سازی نشانگر متوالی [۳۲، ۵۱] و روش‌های مبتنی بر شی [۳۳، ۳۹، ۴۰، ۴۴]، که شامل فرآیندهای نقطه علامت گذاری شده [۵۴] و روش‌های بولی Boolean [۵۸] می‌شود.

در آمار کلاسیک، اجزایی یا نمونه‌هایی که از کل جامعه داده‌ها به منظور شناخت آن جامعه برداشته می‌شوند فاقد اطلاعات موقعیتی در فضا است، در حالی که در زمین آمار موقعیت فضایی نمونه‌ها همواره با مقدار کمیت مورد نظر یک جا مورد تحلیل قرار می‌گیرد. این ارتباط فضایی (فاصله‌ای و جهتی) بین مقادیر یک کمیت در جامعه نمونه‌های برداشت شده ممکن است در قالب ریاضی بیان شود که به آن ساختار گفته می‌شود [۱۰۳].

تکنیک‌های زمین آمار، روش‌های آماری چند منظوره‌ای هستند که با ترکیب روش‌های قوی ابزاری و پیکسلی بر مبنای الگوریتم‌های رقومی داده‌های کامپیوتری می‌توانند درصد عدم اطمینان را منعکس کنند [۳۱، ۳۱، ۵۵، ۶۳، ۹۴]. در این میان می‌توان از مطالعات انجام شده از نظر شبیه سازی دینامیکی مخزن [۵۷]، توصیف سه بعدی و شبیه سازی جریان‌ی [۶۲، ۴۷]، مدل

ژئومتری مخزن [۳۷، ۶۰، ۸۲]، مدل رخساره‌ای [۳۶، ۶۸]، بررسی شکستگیهای بزرگ و غارهای درون مخزن [۶۴] و مدل ژئواستاتیکی تخلخل [۱۰۱] را نام برد. علاوه بر این موارد، دلایل خاصی برای ساخت مدل‌های سه بعدی با وضوح بالا وجود دارد [۷۷]. این دلایل عبارتند از:

- لزوم برآوردهای قابل اعتماد از حجم هیدروکربن اصلی موجود در مخزن [۷۸].
- بهینه سازی مکان چاه به روشی قوی و اقتصادی، با توجه به عدم قطعیت‌های مدل [۷۴].
- ادغام انواع مختلف داده‌ها (به عنوان مثال، داده‌های دو بعدی و سه بعدی لرزه‌ای، چاه، و تولید در بازه چندین سال) [۹۱].

- ارزیابی اتصال استاتیکی مخزن [۹۰، ۱۰۰، ۱۰۵].
- سناریوهای مختلف برای شبیه سازی پویا برای ارزیابی پیش بینی تولید [۶۱].
- تصمیمات مهم در مواجهه با ابهامات زیاد (از نقطه نظر زمین آماری) با در نظر گرفتن توزیع مکانی خواص مخزن می‌توانند با قدرت اخذ شوند [۷۷].

موفقیت زمین‌آمار در کاربردهای علوم زمین مدیون توصیف فضایی پدیده‌های زمین‌شناسی مانند پیوستگی‌های سنگ با استفاده از واریوگرام‌ها [۴۵، ۴۹، ۶۹] تا نمایش‌های سه‌بعدی (3D) پدیده‌های طبیعی [۱۰، ۳۱، ۶۵، ۸۰] است. مدل‌های مخزنی خواص پیوسته در ارزیابی منابع هیدروکربنی به طور کلی شامل تخلخل، اشباع سیال و نفوذپذیری است. این ویژگی‌ها هدف نهایی توصیف مخزن reservoir characterization است.

توصیف مخزن هیدروکربنی به همه ابزارهایی اطلاق می‌گردد که از نظر مقیاس و توزیع مکانی متفاوت بوده ولی مرتبط با اختصاصات مخزن است (مانند ردلرزه، نمودار چاه پیمایی و داده‌های پتروفیزیکی)، و با ادغام این داده‌ها می‌توان آنرا انجام داد [۱۱، ۱۲، ۱۳، ۷۶، ۸۸، ۸۹، ۹۳]. عبارت دیگر این روش به همه داده‌های مربوط به توانایی ذخیره سازی و تولید هیدروکربن مخزن مربوط می‌شود [۲۶، ۱۰۴]. با این حال، میزان موفقیت آمیز بودن توصیف مخزن بستگی به این دارد که چگونه ادغام داده‌های لرزه‌ای، گزارش چاه و زمین‌شناسی انجام شود [۹، ۲۶، ۸۰، ۸۸].

بطور کلی نرم افزارهای زمین آماری به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند [۵۲]. گروه اول قادر به تجزیه و تحلیل ساختار و همبستگی فضایی داده‌ها به همراه تهیه نقشه‌های دو یا سه بعدی با بکارگیری روش تخمین کریجینگ (Kriging) می‌باشد. در حالیکه گروه دوم فقط قادرند نقشه‌های دو یا سه بعدی تهیه نمایند. عبارت دیگر در روش‌های کلاسیک از آمار کلاسیک ولی در زمین آماری تخمین بر اساس ساختار فضائی موجود در محیط مورد مطالعه (سنگ مخزن هیدروکربوری) استفاده می‌گردد [۱۵، ۲۲، ۲۴]. به این معنی که تخمین زمین آماری فرآیندی است که در طی آن می‌توان مقدار یک کمیت مثلاً (تخلخل یا نفوذ پذیری سنگ مخزن) نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به دست آورد.

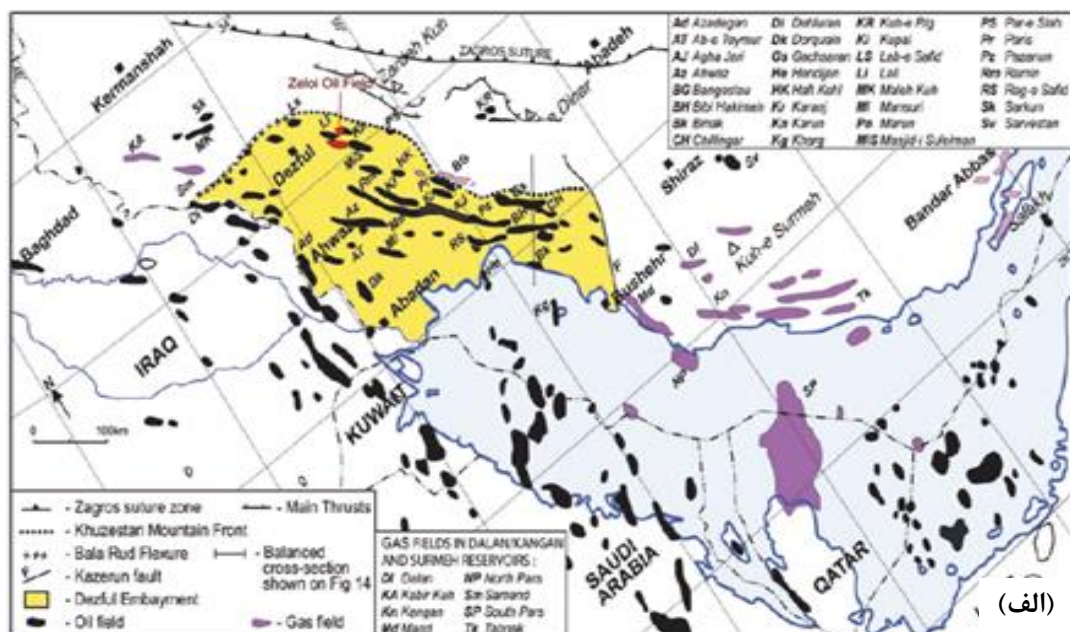
رده بندی‌های مختلفی برای مدل‌های زمین آماری پیشنهاد شده است [۳۵، ۳۸، ۴۳] شامل مدل‌های کیفی یا مفهومی (Conceptual, Qualitative)؛ فیزیکی یا تجربی (Physical, Experimental)؛ ریاضی و کامپیوتری است. براساس تغییرپذیری متغیرهای مستقل به استاتیک و دینامیک نیز رده بندی می‌گردد [۸۴]. مدل‌های ریاضی مورد استفاده در نرم افزارهای علوم زمین شامل قطعی و آماری است [۳۴]:

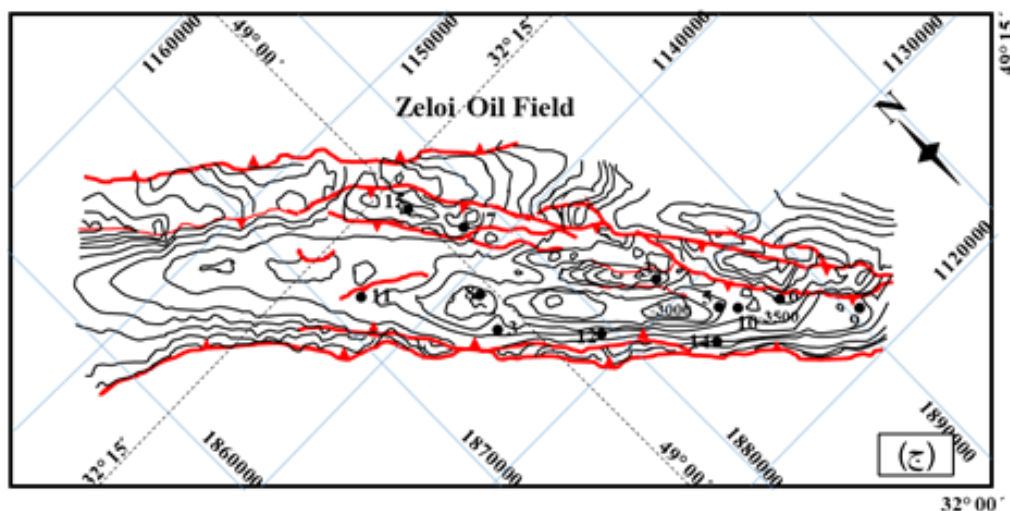
- مدل‌های قطعی (Deterministic): مجموعه‌ای از پارامترهای ورودی وجود دارند ولی حاصل آن یک خروجی یکسان است.

- مدل‌های احتمالی یا آماری (Probability/Statistic): در مدل‌های آماری پارامترهای ورودی متغیر خواهد بود و چندین خروجی بدست می‌آید. برای بدست آوردن نتیجه مطلوب با تکرار مدل و میانگین‌گیری حاصل می‌شود. سالیان متمادی تکنیک مدل سازی دو بعدی به عنوان یک روش در توصیف مخازن هیدروکربوری مورد استفاده قرار می‌گرفت ولی نتایج حاصل از آنها نشان داد که تکنیک فوق جوابگوی نیازمندی‌ها نمی‌باشد. علاوه بر آن عدم امکان تکرار، عدم لحاظ همه نا هماهنگی‌ها، مقیاس‌های مختلف در مدل سه بعدی، عدم اطمینان و زمان بر بودن فرایند از جمله معایب این روش‌ها می‌باشد.

۳- موقعیت زمین شناسی ناحیه مورد مطالعه

میدان زیلایی در قسمتی از زاگرس چین خورده در فرو افتادگی دزفول شمالی قرار دارد. این میدان یک تاقدیس نامتقارن و کشیده که در فرو افتادگی دزفول واقع شده است در این میدان دو مخزن آسماری و بنگستان کشف شده است، همچنین شیب یال جنوبی بیشتر از شیب یال شمالی می‌باشد. عمده نفت تولیدی از این میدان از سازند آسماری حاصل می‌گردد. ابعاد این میدان در افق آسماری ۳۹ کیلومتر طول و عرض متوسط ۶/۵ (حداکثر ۸/۵ کیلومتر) کیلومتر می‌باشد [۲]. مخزن بنگستان میدان زیلایی با حفر چاه شماره ۵ در سال ۱۳۵۴ شمسی کشف گردید. تاکنون ۱۹ حلقه چاه در این میدان علامت گذاری شده است [۴]. مطالعه مقدماتی زمین‌شناسی مخزن بنگستان میدان توسط [۱، ۷، ۸] انجام گردید. از لحاظ ساختاری میدان مطالعاتی توسط [۲، ۶، ۲۹، ۹۶] صورت گرفته است. بوردانوف و هگره نیز تاثیر تکنیک را بر تشکیل تله های نفتی در زاگرس بررسی نمودند [۲۰]. این مطالعات نشان دادند که میدان زیلایی از پیچیده‌گی زیادی برخوردار است. مخزن بنگستان میدان زیلایی دارای ۳ حلقه چاه اکتشافی شماره ۵ و ۸ و ۱۰ می‌باشد که فقط چاه شماره ۸، چاه تولیدی این مخزن می‌باشد و چاه شماره ۵ و ۱۰ بدلیل رسوب آسفالتین قادر به تولید نمی‌باشند و در نتیجه با تکیه بر اطلاعات هر سه چاه، عملیات مدل سازی این مخزن انجام گردید. مخزن بنگستان میدان زیلایی یک مخزن گاز میعانی می‌باشد و به هشت زون تقسیم گردیده که زون یک در سازند ایلام، زون دو در سازند معادل سورگاہ و زون های سه تا هشت در سازند سروک قرار دارند (جدول ۱). مختصات میدان عبارتست از: "۴۰' ۲۳" ۳۱° شمالی "۵۴' ۳۸" ۵۰° شرقی.





شکل ۱- موقعیت میدان نفتی زیلابی در (الف) فروافتادگی دزفول در کمربند چین خورده زاگرس [۲۰] و (ب) موقعیت میدان بر روی تصویر ماهواره ای لند ست، (ج) موقعیت چاه‌ها و نقشه UGC رأس افق آسماری [۹۶].

۴-مواد و روش کار

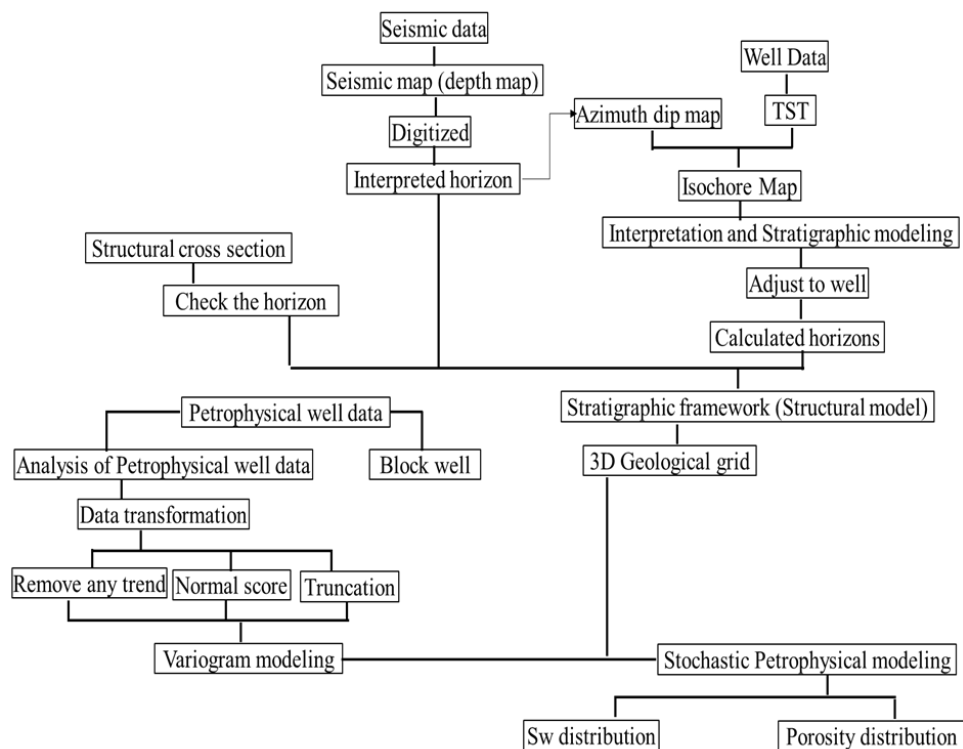
مدل سه بعدی در مطالعه جامع یک مخزن بسیار مفید بوده، این اجازه را می دهد که کنترل کیفی مناسبی از اطلاعات ورودی وجود داشته باشد. از آنجا که مدل دو بعدی از میانگین بخشهای موجود در چاه، درون یابی ساده‌ای را ارائه می دهد، و در نتیجه مدل سه بعدی نسبت به آن ارجحیت دارد [۸۷]. نرم افزار RMS مدل سازی را به دو روش قطعیت پذیر (یا جزمی و احتمالی) یا تصادفی انجام می دهد. روش اول یک مدل ساده و سریع بر اساس برون یابی داده‌های چاه است که با مشخص کردن شعاع جستجو در سه جهت X ، Y ، Z و همچنین امکان استفاده از نقشه روند تغییرات هر پارامتر تهیه می شود. روش احتمالی از روش‌های زمین آماری جدید که متفاوت از روش های کلاسیک است، بهره می گیرد.

نرم افزار RMS در زمینه مطالعه مخازن هیدروکربنی این توانایی را دارد که با استفاده از داده های پتروفیزیکی چاه ها مانند لاگ های صوتی، هسته ای و الکتریکی و با استفاده از روش های موقعیت یابی و آماری، پارامترهای مختلفی مانند میزان تخلخل، و اشباع آب در هر نقطه را اندازه گیری کند.

بمنظور ارائه مدل استاتیک مخزن به اطلاعات مختلفی نیاز است: (i) داده های به دست آمده از لاگ های پتروفیزیکی ۳ حلقه چاه؛ (ب) نقشه مسیر چاه و منحنی تراز زیرزمینی (UGC) در راس مخزن؛ (iii) داده های به دست آمده از مطالعات مغزه و توصیف سنگ شناسی. مدل سازی در چهار مرحله اصلی به شرح زیر انجام شد: (۱) بارگذاری داده ها و کنترل کیفیت داده ها (داده های ورودی)؛ (۲) مدل ساختمانی؛ (۳) مدل پتروفیزیکی اختصاصات مخزنی؛ (۴) تحلیل عدم قطعیت و محاسبات حجمی.

۴-۱- مراحل مختلف مدل سازی مخزن:

اطلاعات ورودی نرم افزار RMS و قابلیت های آن: این نرم افزار با استفاده از اطلاعات به دست آمده از نرم افزارهای مختلف از جمله Geoframe و یا اطلاعات ارائه شده توسط نرم افزار مفسر داده های لرزه ای از جمله Charisma و Jason و یا بطور کلی هرگونه اطلاعات با فرمت مناسب به عنوان مثال نقشه های زیر سطحی رقومی شده توسط نرم افزار Mapcard یا AutoCAD، مدل سازی مخزن مورد نظر را انجام می دهد. نرم افزار جهت مدل سازی لایه های مختلف به موازات نقشه عمقی ورودی جهت سازند مورد نظر عمل می کند و دیگر زون های مورد نظر را مدل سازی می کند. اطلاعات ورودی این نرم افزار (نتایج تفسیر داده های پتروفیزیکی، اطلاعات چاه، زمین شناسی، رسوب شناسی و نتایج تفسیر ژئوفیزیک) قابل تغییر و تصحیح هستند و می توان شبکه بندی استفاده شده در هر کدام از قسمتهای مختلف را تغییر داد. در شکل ۲ مراحل مختلف مدل سازی مخزن توسط نرم افزار RMS نشان داده شده است.

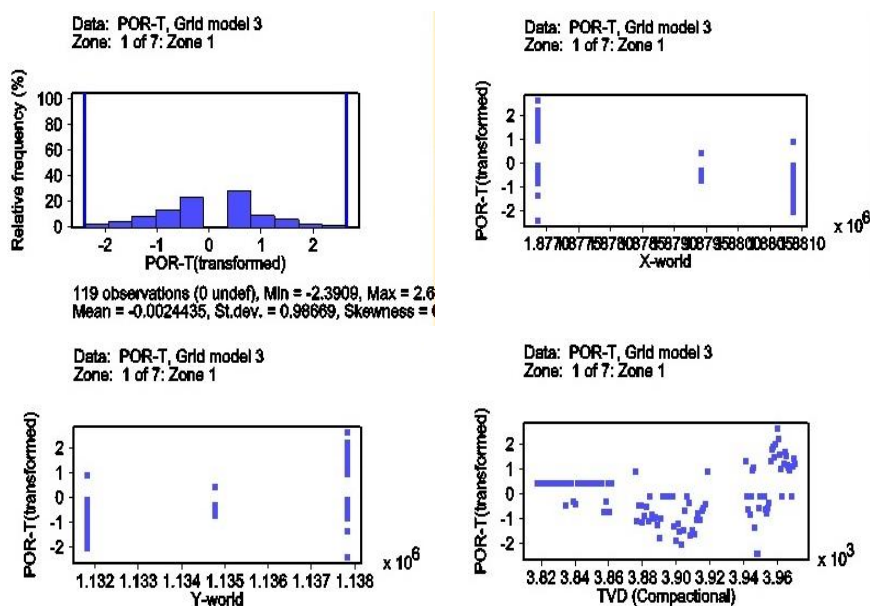


شکل ۲- نمایش شماتیک (فلوچارت) مراحل مدل سازی مخزن در میدان مورد مطالعه

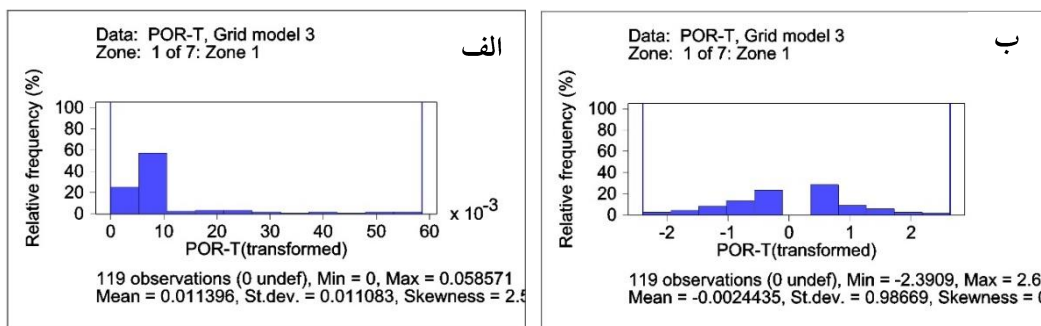
۲-۴- مراحل محاسبات آماری-

دامنه تغییرات یک پارامتر ممکن است در بعضی مواقع تعبیرهای نامناسبی از جامعه ارائه کند. در حالیکه اگر جامعه از دید آماری، جامعه متمرکزی باشد، به علت وجود مقادیر خیلی کوچک و یا خیلی زیاد دامنه تغییرات عدد خیلی بزرگ را نشان می‌دهد. در بعضی از روش‌های آماری یک دهم و حتی تا یک چهارم از داده‌های بالا و پایین را حذف می‌کنند و بعد از آن دامنه تغییرات داده‌های باقی مانده را محاسبه می‌کنند. آنالیز داده‌های پتروفیزیکی بر اساس نمودارهای هیستوگرام در این میان کمک فراوانی به حذف داده‌های پرت از جامعه آماری مورد نظر می‌کند [۶، ۱۰۶]. آماده سازی داده‌های ورودی شامل مراحل زیر است [۹۲]:

حذف روند- به طور کلی در زمین آمار باید از داده‌هایی استفاده کرد که فاقد روند باشند. در صورت وجود روند لازم است قبل از شروع عملیات اثر آن را خنثی کرد و سپس روی مقادیر باقی مانده محاسبات را انجام داد [۶، ۹۸]. محاسبه روند خطی داده‌ها به طور اتوماتیک بر اساس اطلاعات چاه طی سه مرحله می‌باشد که شامل: حذف روند در جهت ضخامت چاه، برای حذف پیوستگی داده‌ها و تغییرات دیاژنتیک سنگ، حذف روند در جهت عمود بر لایه‌ها جهت حذف روند ناشی از محیط رسوبی و نهایتاً حذف روند کلی میدان در جهت عمود بر محور تاقدیس جهت حذف تغییرات ناحیه‌ای داده‌ها صورت می‌گیرد (شکل ۳).



شکل ۷- آنالیز داده‌ها جهت محاسبه روند در جهت‌های مختلف مخزن

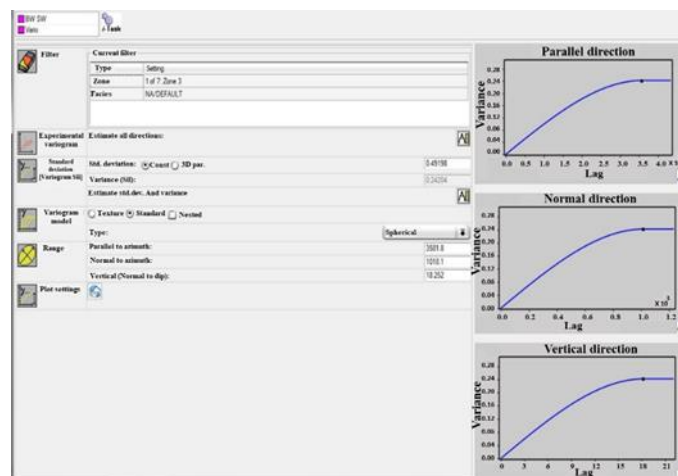


شکل ۴- نمودار هیستوگرام داده‌های تخلخل زون یک: (الف) قبل و (ب) بعد از نرمال سازی

انتقال داده‌ها- داشتن داده‌هایی که توزیع نرمال دارند در هر حقیقت مجوز استفاده از روش‌های آماری مورد نظر است [۴۶]، [۹۷]. نمودار توزیع نرمال به شکل یک منحنی زنگی شکل (Bell shape) کاملاً متقارن است که با پارامترهای آماری میانگین، واریانس که نشان دهنده میزان پراکندگی داده‌ها و در نتیجه گستردگی منحنی توزیع نرمال است، تعریف می‌شود. لذا به طور کیفی می‌توان نرمال بودن توزیع داده‌ها را از روی هیستوگرام داده‌ها (نزدیک به نرمال)، چولگی داده‌ها (نزدیک به صفر)، کشیدگی آنها نزدیک به سه باشد، تشخیص داد. بر این اساس توزیع نرمال داده‌ها برای تخلخل (شکل ۴) و اشباع آب صورت پذیرفت.

- تعیین ساختار فضایی داده‌ها- در زمین آمار با استفاده از داده‌های یک کمیت در مختصات معلوم مقدار همان کمیت را در نقطه‌های دیگر با مختصات معلوم واقع در درون دامنه‌ای که ساختار فضایی حاکم است، تخمین زد. در زمین آمار جهت بررسی وجود یا عدم وجود ساختار فضایی بین داده‌ها لازم است متوسط مربع اختلاف مقادیر داده‌ها به ازاء طول گام‌های مختلف محاسبه کرده و در نتیجه با استفاده از این میانگین مربع اختلاف‌ها به رسم واریوگرام پرداخت [۷۹، ۸۵].

واریانس (پراکندگی حول مقدار میانگین) وابسته به فاصله را واریوگرام می‌نامند. هدف اصلی از برقرار کردن تابع واریوگرام این است که بتوانیم ساختار تغییر پذیری را به خصوص نسبت به فاصله (مکانی یا زمانی) بشناسیم. از واریوگرام رسم شده می‌توان گسترش فضایی که درون آن وابستگی فضایی بین داده‌ها وجود دارد را مشخص کرد، به علاوه واریوگرام می‌تواند مقدار کل تغییر پذیری داده‌ها را به دو مولفه که یکی ساختار دار و تابع موقعیت فضایی (فاصله و جهت) و دیگری که تصادفی است، تقسیم کند (در آمار کلاسیک کل تغییر پذیری را یک مؤلفه تصادفی فرض می‌شود). در زمین آمار مؤلفه تصادفی واریانس را اصطلاحاً واریانس قطعه‌ای و مؤلفه ساختار دار آن را اصطلاحاً واریانس فاصله‌ای می‌خوانند [۹۹]. بدین ترتیب رفتار تغییرپذیری کمیت‌هایی نظیر تخلخل می‌تواند تصادفی و یا دارای ساختار (تابع فاصله و جهت) باشد [۴۱] (شکل ۵).

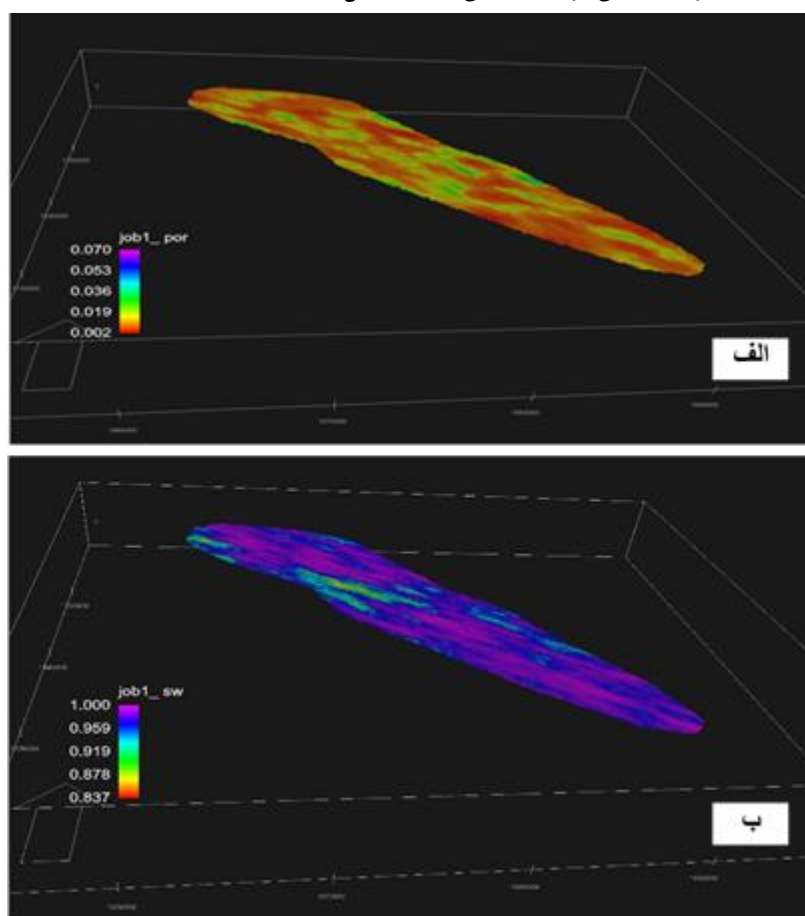


شکل ۵- نمونه واریوگرام تهیه شده توسط نرم افزار RMS

کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار می‌باشد و بهترین تخمینگر خطی نا اریب می‌باشد [۱۹]. از مهمترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازاء هر تخمین خطای مرتبط با آن تخمین را محاسبه می‌کند. بنابراین برای هر مقدار تخمین زده شده می‌توان دامنه اطمینان آن را محاسبه کرد. در نرم افزار RMS بخشی تحت عنوان کریجینگ گنجانده شده که به کاربر امکان انجام تخمین را می‌دهد. در این روش برای تخمین از تخمینگر کریجینگ استفاده می‌شود. در مورد آن می‌توان گفت که بهترین تخمینگر خطی نا اریب می‌باشد. از مهمترین ویژگی کریجینگ آن است که به ازاء هر تخمین خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد. بنابراین برای هر مقدار تخمین زده شده می‌توان دامنه اطمینان آن تخمین را محاسبه کرد. در کریجینگ حاصل، یک عدد بیشتر نیست. زیرا محاسبات از طریق وزن می‌باشد در نتیجه یک نقشه و یک مدل ارائه می‌دهد. روش SGS (Sequence Gaussian Simulation) مرحله به مرحله عملیات محاسباتی را انجام

می‌دهد و در هر بار یک نقشه تهیه می‌شود. کریجینگ و کوکریجینگ تکنیک‌های زمین آماری هستند که برای اهداف درون یابی (نقشه برداری و کانتوری) استفاده می‌شوند [۲۱، ۲۷، ۳۱، ۶۷، ۸۱، ۸۶، ۱۰۲]. هر دو روش، اشکال تعمیم یافته مدل‌های رگرسیون خطی تک متغیره و چند متغیره، برای تخمین در یک نقطه، در یک منطقه، یا در یک حجم هستند. آنها روش‌های میانگین‌گیری خطی هستند، مشابه سایر روش‌های درون‌یابی. با این حال، وزن آنها نه تنها به فاصله، بلکه به جهت و جهت گیری داده‌های مجاور به مکان نمونه برداری نشده بستگی دارد.

آخرین قدم این که از توزیع نرمال یک تابع استفاده می‌شود (میانگین = صفر و تغییر پذیری یک واحد یک واحد باشد). در این حالت به توابع نرمال تبدیل می‌شوند. در طی انجام مراحل پتروفیزیکی می‌توان تصویر سه بعدی از بخش‌های متخلخل و تراوای مخزن را تهیه کرد که با توجه به آن می‌توان گفت که کدام قسمت‌ها از ویژگی‌های مخزنی بهتری برخوردار است. نیز می‌توان تصویر سه بعدی از اشباع آب را تهیه کرد که با توجه به آن بخش‌هایی که اشباع آب کمتری دارند، از دیدگاه مخزنی بهتر بوده و از شرایط خوبی برخوردار می‌باشند (شکل ۶).



شکل ۶- تصویر سه بعدی از توزیع (الف) تخلخل و (ب) اشباع آب در زون یک مخزن بنگستان

۵- بحث

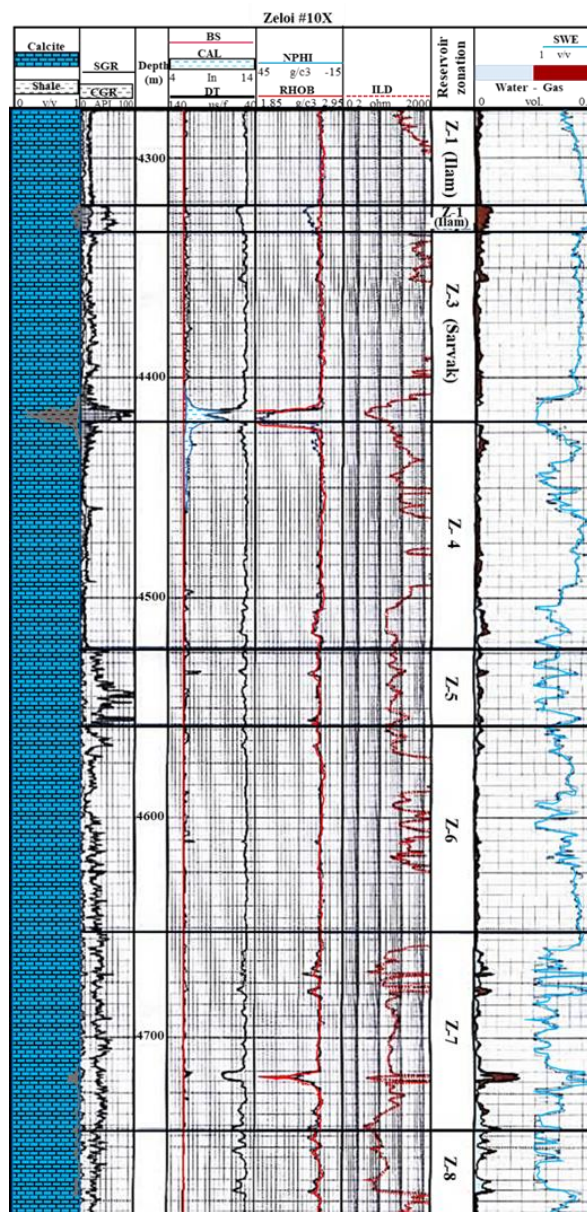
۵-۱- ویژگی‌های سنگ شناسی مخزن

مخزن بنگستانی در این میدان به ۸ زون تقسیم شده (شکل ۷) و ویژگی‌های هر زون به شرح زیر است. **زون یک** - این زون از ابتدای سازند ایلام شروع گردیده و ضخامت متوسط آن ۴۰ متر می‌باشد، لیتولوژی آن متشکل از سنگ‌های آهکی و آهک‌های دولومیتی از نوع I/III و I/II و I، به رنگ سفید تا خاکستری روشن و خاکستری تا قهوه‌ای

تشکیل شده است. با توجه به نقشه‌های هم ضخامت، می‌توان مشاهده نمود که به طرف شرق بیشترین ضخامت را دارد. در این زون میانگین تخلخل مفید ۶۳٪، اشباع آب مفید ۳۸/۸٪ می‌باشد.

زون دو- این زون در زیر سازند ایلام قرار دارد و ضخامت متوسط آن ۱۰ متر می‌باشد. لیتولوژی این زون از شیل‌های قهوه‌ای تا قهوه‌ای تیره و سیاه بیتومینه کمی آهک دار تشکیل شده است. با توجه به نقشه‌های هم ضخامت، در شرق میدان ضخامت این زون نسبت به غرب افزایش می‌یابد. میانگین تخلخل مفید ۶۴٪، اشباع آب مفید ۵۰/۲٪ می‌باشد.

زون سه- این زون بلافاصله در زیر بخش شیلی سورگاه قرار گرفته است و ضخامت متوسط این زون ۸۰ متر می‌باشد. لیتولوژی این زون از سنگ‌های آهکی از نوع I/III و I/II و I به رنگ سفید تا قهوه‌ای روشن و یا خاکستری کمی دولومیتی، آرژیلیتی همراه با آثاری از وجود نفت، پلیتیک، کمی انیدریتی می‌باشد. در بخش تحتانی آن یک لایه شیلی پیریت دار و حاوی فسیل‌های فراوان می‌باشد. در نقشه‌های هم ضخامت این زون دارای روند افزایش ضخامت از غرب میدان به طرف شرق می‌باشد. میانگین تخلخل مفید ۱۲/۲٪ و اشباع آب مفید پایین می‌باشد.



شکل ۷- ستون چینه‌ای مخزن بنگستان در یکی از چاه‌های مورد مطالعه در میدان زیلابی.

زون چهار- در زیر زون ۳ و بالای زون ۵ از سازند سروک قرار دارد. ضخامت این زون به طور متوسط به ۸۰ متر می‌رسد، از لحاظ لیتولوژی از سنگ آهک‌هایی از نوع II و I و II/III به رنگ سفید تا خاکستری و قهوه‌ای، مادستون تا پکستون، پیریتی، آرژیلیتی، همراه با آثاری از نفت، دولومیتی با تبلور دوباره و کمی ماسه‌ای و حاوی فسیل فراوان از نوع *Dicyclina sp - Dukhania sp - Prealveolina sp* می‌باشد. لایه شیلی به ضخامت یک متر که در قسمت بالایی این زون قرار دارد پیریتی و کمی آهکی است. در نقشه‌های هم ضخامت می‌توان مشاهده کرد که در چاه ۱۰ بیشترین ضخامت و به طرف چاه‌های ۵ و ۸ از ضخامت آن کاسته می‌گردد.

زون پنج- این زون در چاه ۸ بطور کامل حفاری نشده است. ضخامت متوسط این زون ۵۰ متر می‌باشد. از لحاظ لیتولوژی از سنگ‌های آهکی از نوع I/III و II و I به رنگ سفید تا خاکستری، کرم تا قهوه‌ای، مادستون تا پکستون، بیوکلاستیک، کمی رس دار، پلتی، دولومیتی، با تبلور دوباره کلسیت همراه با آثاری از نفت، کمی انیدریتی و با فسیل‌های شاخص *Dukhania sp - Dicyclina sp - Nezzazata sp - Trocholina sp* همراه است. در نقشه‌های هم ضخامت این زون، ضخامت در سمت شرق میدان کاهش می‌یابد و از سمت چاه ۱۰ به طرف چاه ۵ ضخامت زون افزایش می‌یابد (بطرف غرب میدان).

زون شش- ضخامت این زون به طور متوسط به ۱۰۰ متر می‌رسد. این زون در چاه ۸ حفاری نشده است. از لحاظ لیتولوژی از سنگ‌های آهکی از نوع III و II و I به رنگ خاکستری روشن تا قهوه‌ای، مادستون تا پکستون، با تبلور دوباره بلورهای کلسیت، دولومیتی، همراه با آثاری از نفت تشکیل شده است. در آهک‌های مادستونی استیلولیتی مشاهده شده و دارای میکرو فسیل‌های *Dukhania sp - Alveolinid sp - Heterohelix sp* می‌باشد. ضخامت این زون در چاه ۱۰ کاهش می‌یابد و به طرف چاه ۵ ضخامت این زون افزایش می‌یابد (بطرف غرب میدان).

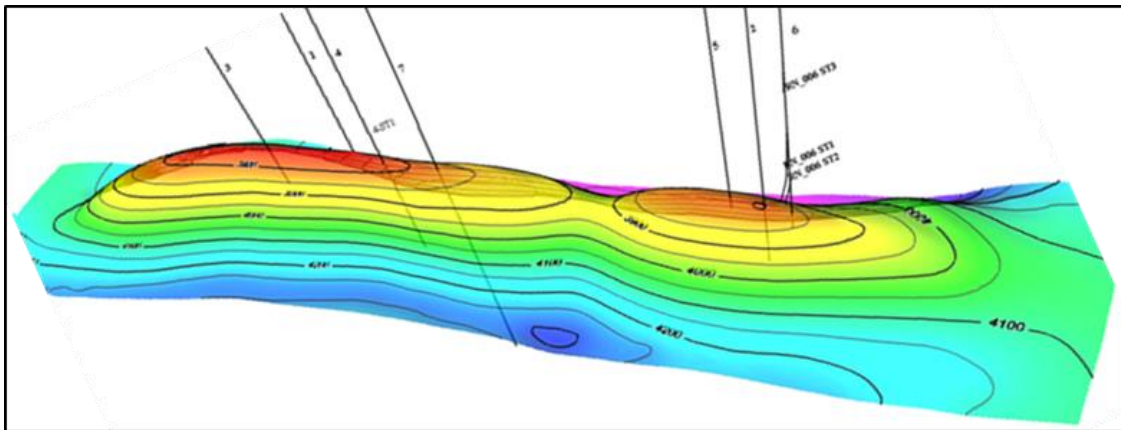
زون هفت- ضخامت این زون بطور متوسط به ۱۰۰ متر می‌رسد. از لحاظ لیتولوژی از سنگ‌های آهک‌هایی از نوع II و I به رنگ سفید تا خاکستری، مادستون دارای انیدریت با فسیل‌های *Dukhania sp - Nezzazata sp - Rudist debris* تشکیل شده است. ضخامت این زون در اطراف چاه ۱۰ کمترین و به طرف چاه ۵ افزایش می‌یابد (به طرف غرب میدان). میانگین تخلخل مفید ۹٪، اشباع آب مفید ۱۸٪ می‌باشد.

زون هشت- این زون در بالای سازند کژدمی قرار دارد. این زون بطور کامل در چاه ۵ و ۱۰ حفاری نگردیده است. از لحاظ لیتولوژی از سنگ‌های آهکی نوع II/I و II و I به رنگ خاکستری روشن تا کرم، با آثاری از نفت، مادستون تا وکستون، رس دار با تبلور دوباره بلورهای کلسیت می‌باشد. میکروفسیل‌های شاخص این زون *Nezzazata - Dukhania sp - Textularia* می‌باشد. میانگین تخلخل مفید ۹/۵٪، اشباع آب مفید ۳۶/۱٪ می‌باشد.

۲-۵- مدل ساختمانی

تهیه سطوح ساختمانی به طور معمول، نقطه آغازین شروع یک مدل مخزنی می‌باشد. سطوح ساختمانی را می‌توان به طور مستقیم از برنامه‌های دیگر مانند ژئوفوریم یا *Open work* به مدل وارد ساخت و یا اینکه از طریق ابزارهای کاربردی تهیه نقشه در نرم افزار موجود با قابلیت گرید بندی آن جهت ایجاد سطح استفاده نمود [۵]. در این بخش می‌توان انواع اطلاعات مربوط به سطوح را اضافه یا کم کرد. این اطلاعات شامل نقشه‌های هم تراز عمقی، اعماق ورود به مخزن بر اساس اطلاعات چاه، اطلاعات ژئوفیزیکی، و خط اثر گسل است. بخش‌های مختلفی در زیر مجموعه سطوح وجود دارد که شامل اداره کردن سطوح، تهیه نقشه‌های هم ضخامت قائم و مدل چینه‌ای است. بدین منظور نقشه هم‌تراز عمقی سر سازند ایلام که بر گرفته از نقشه‌ای ژئوفیزیکی تصحیح شده بود (بر اساس اطلاعات چاه‌های حفاری شده)، رقومی سازی و به عنوان نقشه کنترولی

پایه به مدل وارد گردید (شکل ۸). بر اساس اطلاعات فوق نقشه سطح ایلام به عنوان یک سطح تفسیری تهیه گردید. اعماق ورود به بخش‌های مختلف مخزن پس از محاسبه میزان انحراف چاه و بر اساس زون بندی مخزن به عنوان نقاط کنترل چاه جهت ایجاد مدل ساختمانی و تهیه نقشه‌های هم تراز عمقی بر روی دیگر زون‌های مخزن مورد استفاده قرار گرفت. سطوح تهیه شده بر اساس اطلاعات فوق و میزان شیب و آزمون سر سازند ایلام به عنوان سطوح محاسبه شده ایجاد گردید (شکل ۹). با در نظر گرفتن مسیر چاه میزان ضخامت واقعی هر زون در چاه‌های مختلف محاسبه و نقشه هم ضخامت چینه‌ای تهیه گردید (شکل ۱۰).



شکل ۸ - موقعیت بعضی از چاه‌های حفاری شده و وضعیت ساختاری سه بعدی میدان زیلایی.

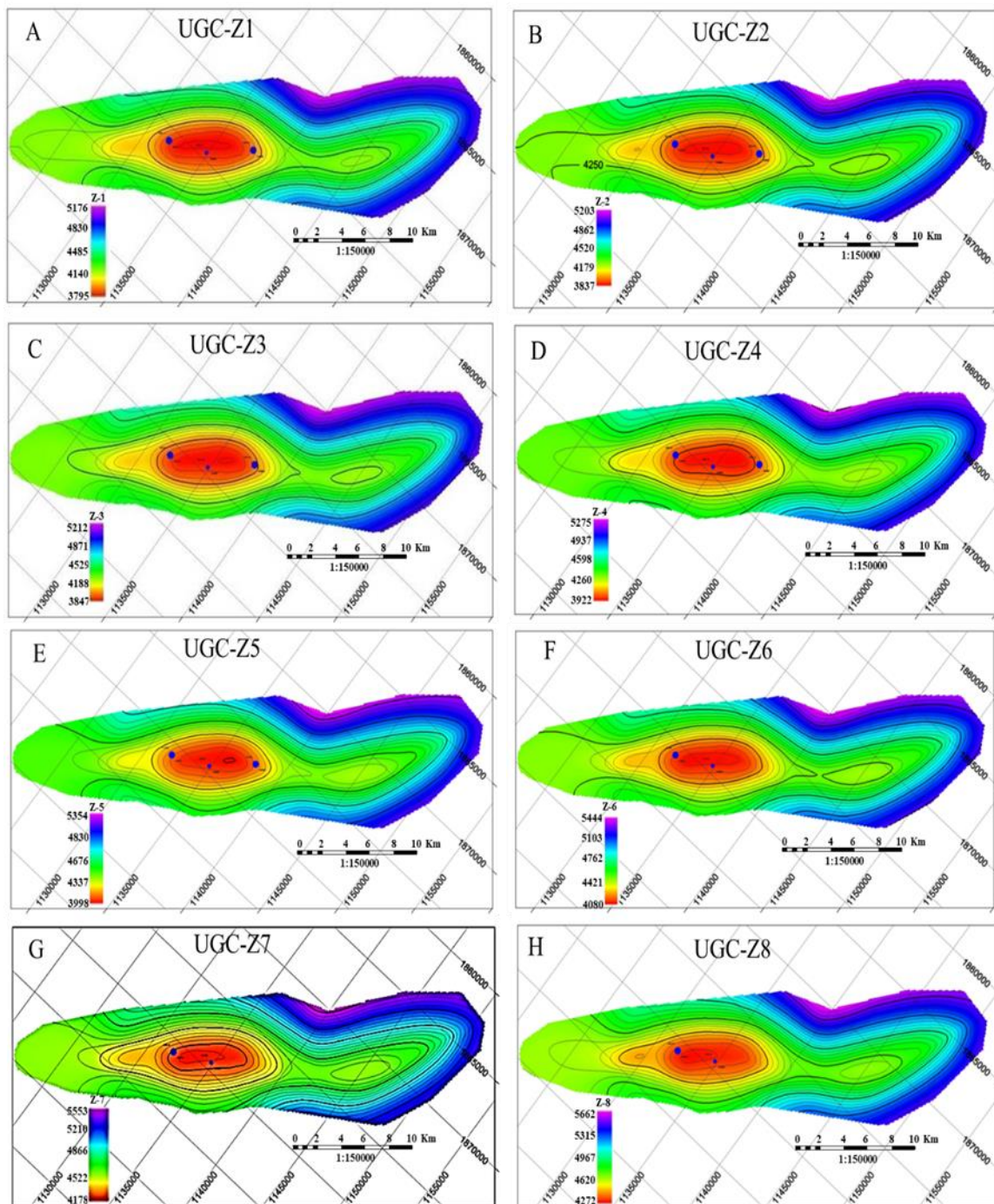
با توجه به نتایج حاصله در بخش مدل سازی ساختمانی، میدان زیلایی در منطقه دزفول شمالی واقع گردیده است. تاقدیس میدان زیلایی ساختاری نامتقارن و کشیده دارد. یال جنوبی شیب بیشتری نسبت به یال شمالی داشته و محور ساختمان در غرب به سمت جنوب متمایل شده است (شکل ۱۱). تاقدیس میدان زیلایی با تبعیت از روند کلی زاگرس دارای روند شمال غرب - جنوب شرق می باشد. در یال شمالی و جنوبی این میدان دو گسل معکوس وجود دارد، اما در چاه‌های حفاری شده آثار گسل خوردگی مشاهده نشده است (شکل ۱۲).

۳-۵- مدل پتروفیزیکی مخزن بنگستان

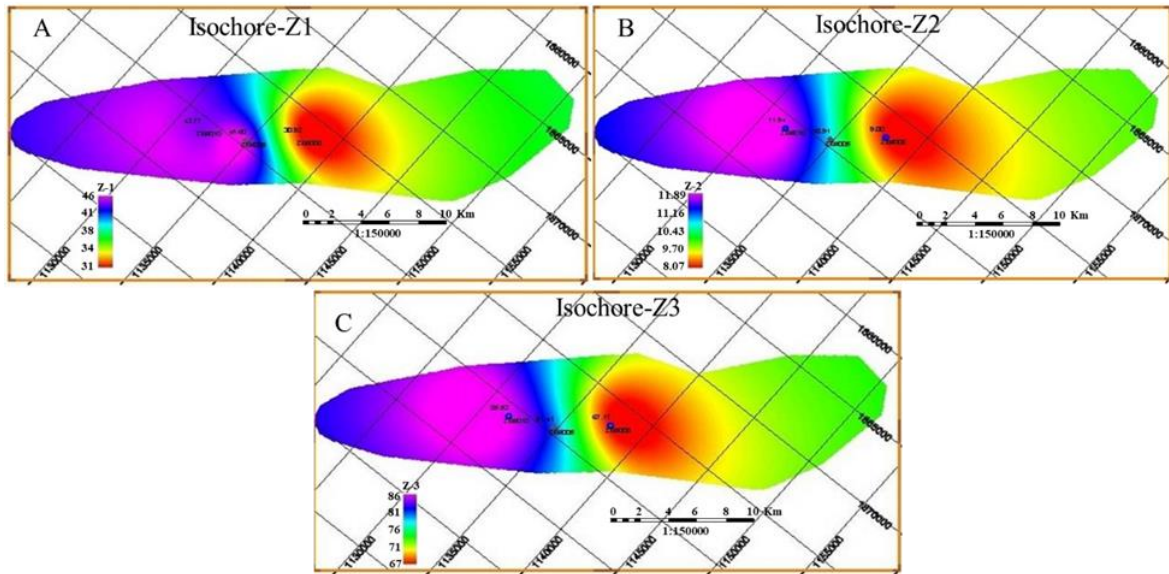
ایجاد مدل پتروفیزیکی شامل توزیع ویژگی‌های اصلی مخزن مانند میزان تخلخل و اشباع آب در سه بعد است. بمنظور تهیه نقشه‌های توزیع تخلخل و اشباع آب برای هر زون مخزنی، اطلاعات پتروفیزیکی مربوط به سه حلقه چاه تهیه و پس از ترکیب این داده‌ها با اطلاعات انحراف چاه جداول مربوط به هر چاه با فرمت LAS جهت مدل پتروفیزیکی تهیه و به عنوان ورودی اطلاعات چاه به مدل وارد شد (جدول ۱). جهت انجام امور فوق و همچنین محاسبات حجم سنجی مخزن در ابتدا نیاز به تهیه گریدبندی زمین شناسی بوده که بر اساس میزان تغییر پذیری پارامترهای پتروفیزیکی و الگوی زون بندی مخزن تهیه گردید. گرید فوق می‌تواند منفرد و شامل یک سطح در بالا و یک سطح در پایین و یا مولتی زون و شامل بیش از دو سطح باشد. گریدبندی شامل سطر و ستون در جهت افقی و تعدادی لایه‌ها در جهت قائم باشد. تعداد ۶۶۰۰۰۰ سلول و تعداد ۲۰۰ ستون، تعداد ۵۰ ردیف و نیز تعداد ۶۶۰ لایه می‌باشد (شکل ۱۲-الف).

از آنجا که اطلاعات روندی به صورت یکسری داده‌های پیوسته می‌باشد و سلول‌های ایجاد شده بر اساس گرید فوق بیش از یک مقدار خواهد بود، ابتدا داده‌های فوق به صورت منقطع و شامل متوسط هر سری از داده‌ها برای هر سلول تغییر خواهد

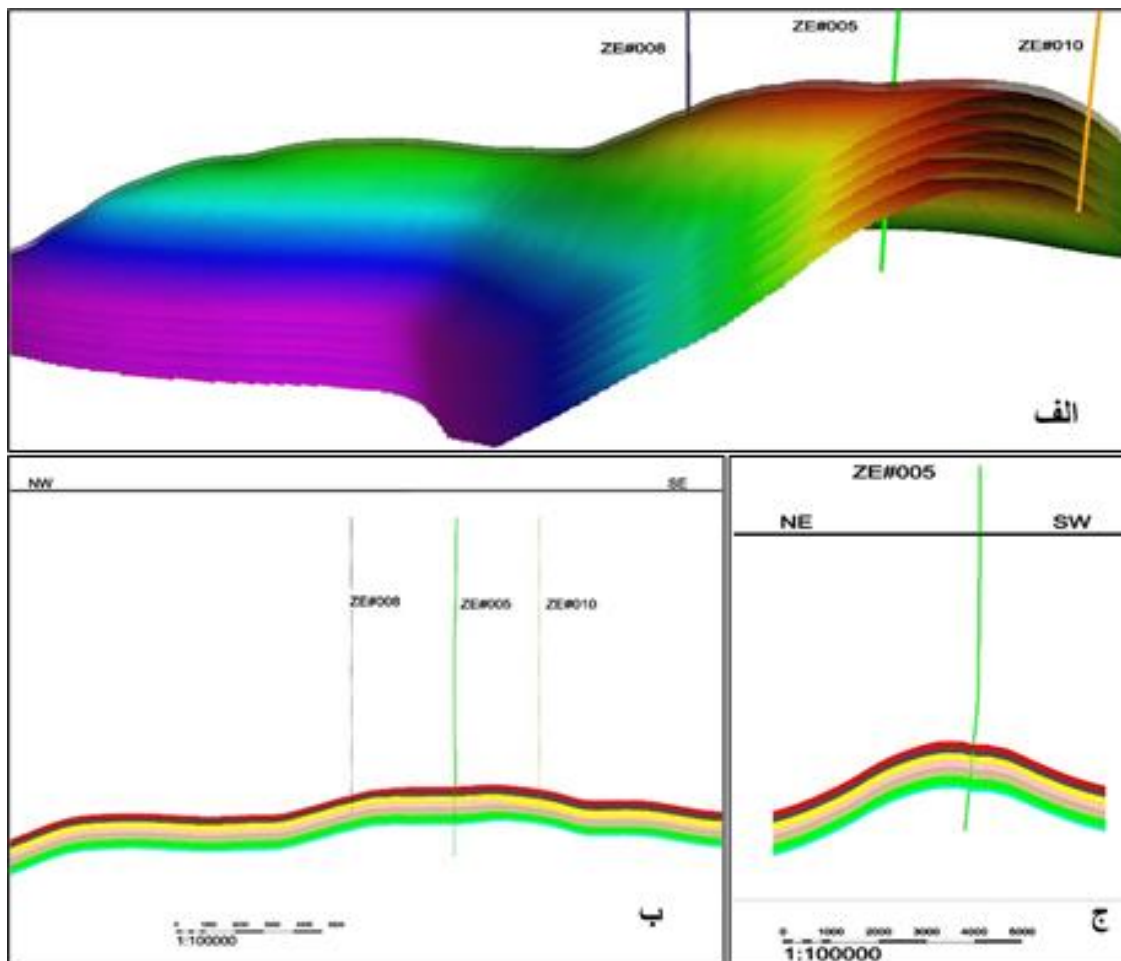
یافت که داده‌های بلوک شده نامیده می‌شوند. بدیهی است که مقایسه پارامترهای آماری همچون میانگین، انحراف معیار داده‌های خام و بلوک شده بیانگر میزان دقت در طی مراحل فوق و تهیه گرید زمین شناسی می‌باشد. با مدل سازی خواص پتروفیزیکی مخزن شامل تخلخل، اشباع آب و درصد لیتولوژی‌های مختلف حاصل از تفسیر پتروفیزیکی، تغییرات آنها را مشاهده کرد. بدیهی است که این خصوصیات تا شعاع خاصی می‌تواند در نرم افزار تعریف شود، تحت تأثیر هرچاه قرار دارد (شکل ۱۲-ب). با انجام مرحله Block well در مدل‌سازی خواص پتروفیزیکی برای نمایش توزیع پارامترهای آن در چاه‌های مختلف، مرحله درون یابی (Interpolation) انجام گردید.



شکل ۹-نقشه همتراز عمقی UGC سر زون های مختلف مخزن بنگستان میدان زیلائی.

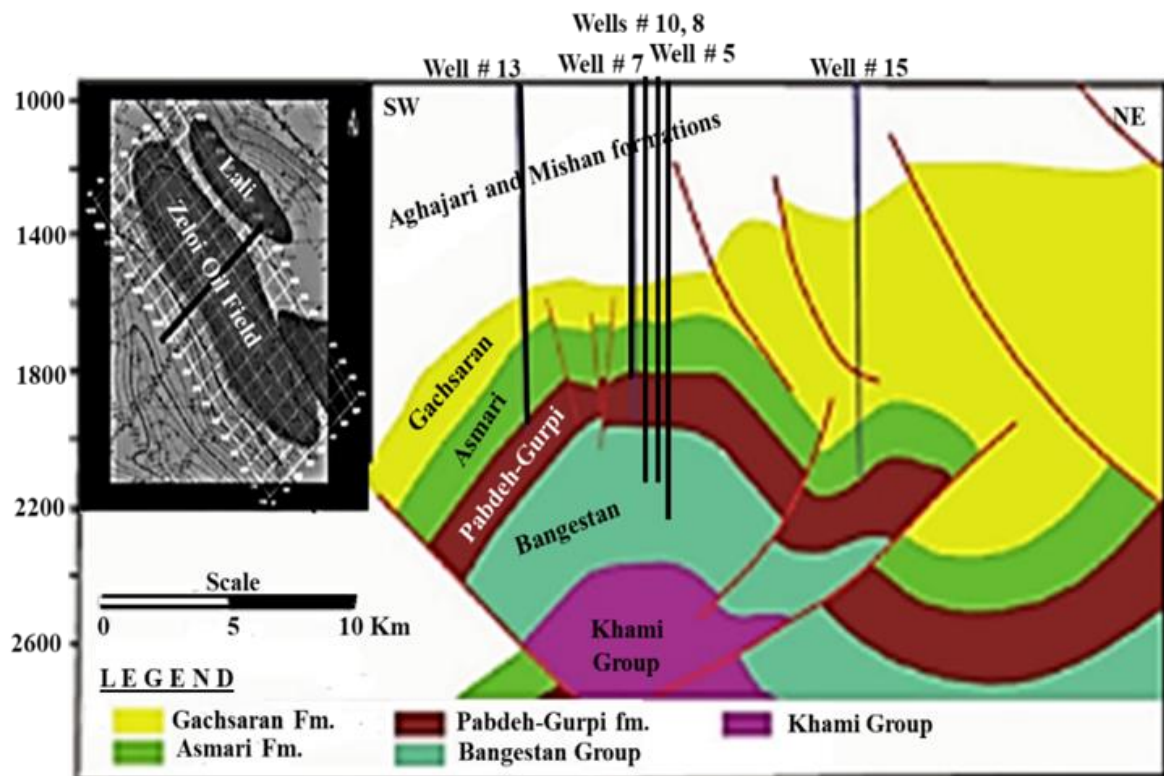


شکل ۱۰- نقشه هم ضخامت چینهای Isochore: A-زون ۱، B-زون ۲ و C-زون ۳

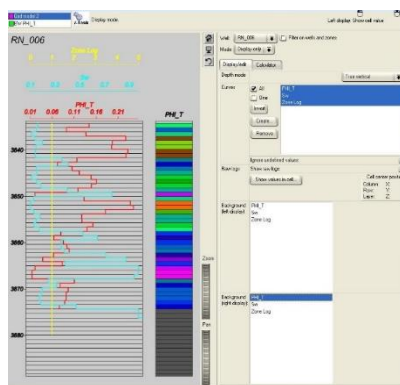


شکل ۱۱- مدل سه بعدی ساختمانی (الف) چینهای همراه با موقعیت چاههای بنگستانی و نیمرخهای (ب) طولی؛ و (ج) عرضی مخزن

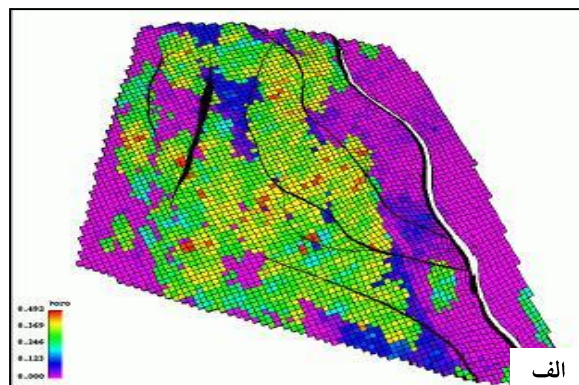
بنگستان.



شکل ۱۲- موقعیت چاه های مورد مطالعه و وضعیت ساختاری میدان زیلایی [۹۶].



ب



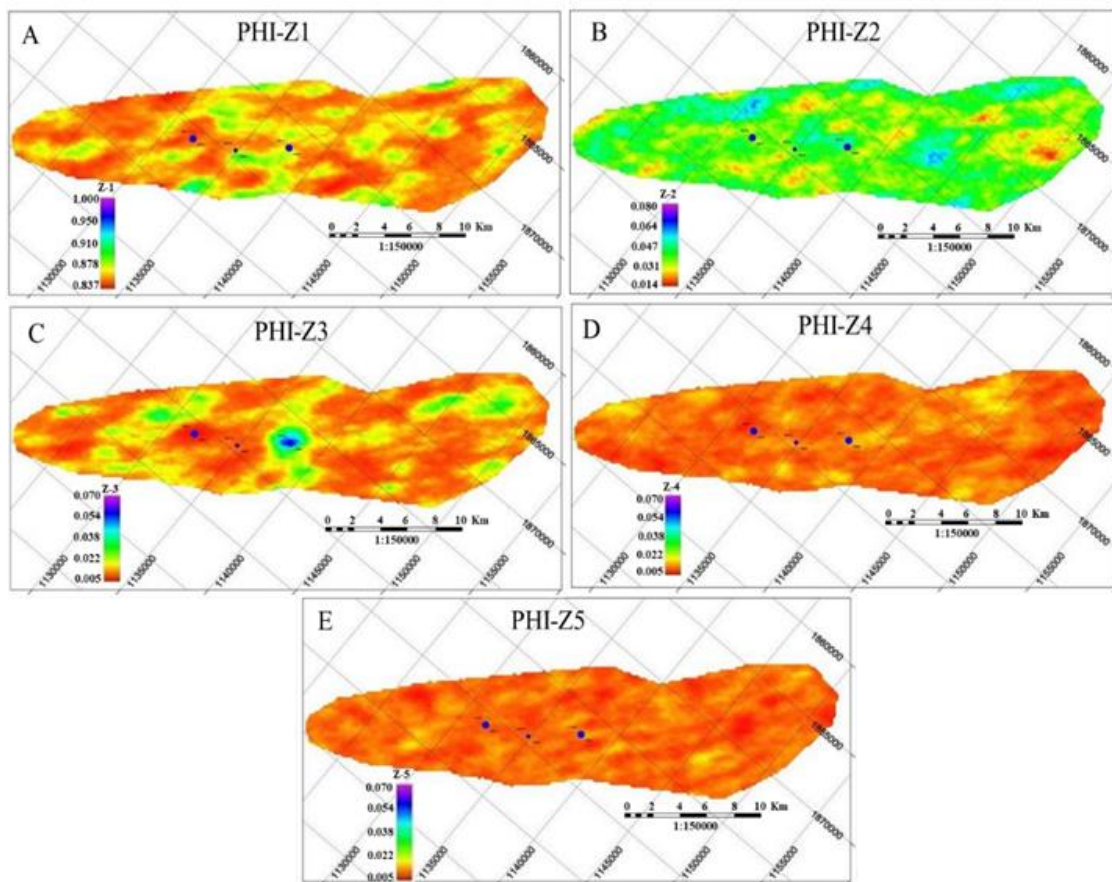
الف

شکل ۱۲- الف- شبکه ایجاد شده جهت مدل سازی خواص پتروفیزیکی؛ ب- مرحله Block well در مدل سازی خواص پتروفیزیکی برای نمایش توزیع پارامترهای مختلف پتروفیزیکی.

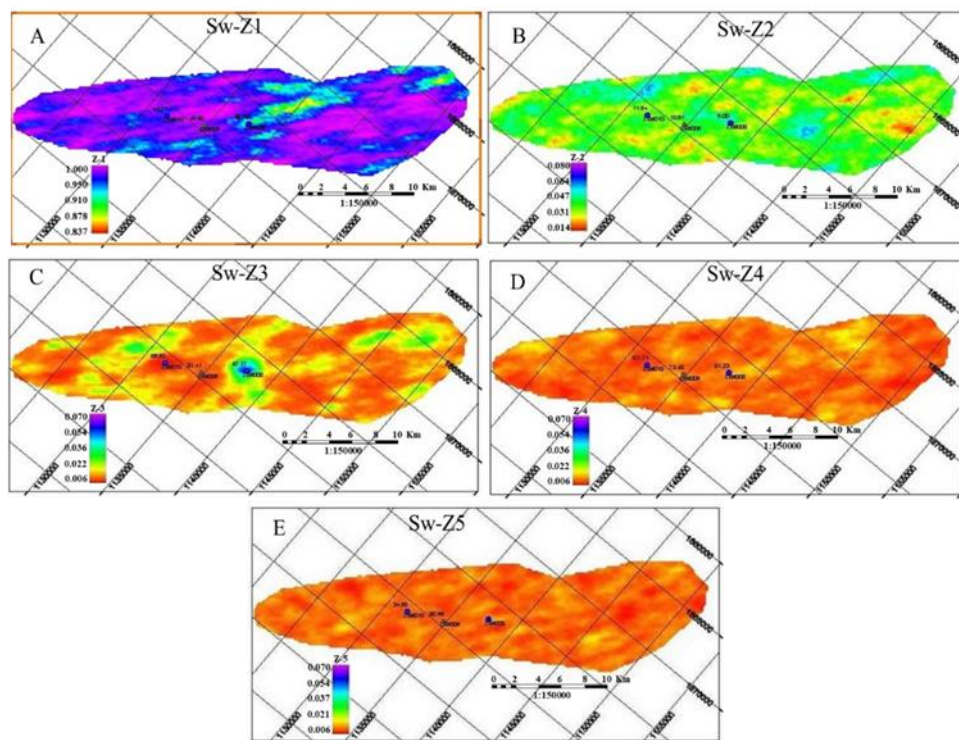
تخلخل یکی از مهم ترین متغیرهای پتروفیزیکی در توصیف منابع هیدروکربنی است، زیرا میزان منافذ موجود برای ذخیره سازی سیال نقش تعیین کننده در کیفیت مخزن دارد. روش های زمین آمار مورد استفاده در مدل سازی تخلخل شامل کریجینگ و شبیه سازی گاوسی متوالی (SGS) است. کریجینگ به طور کلی نتایج صاف تری ایجاد می کند، زیرا واریانس مدل کریجینگ معمولاً کوچکتر از واریانس داده های مورد استفاده در کریجینگ است. بر اساس روش فوق نقشه های توزیع تخلخل (شکل ۱۳) و اشباع آب (شکل ۱۴) برای زون های مختلف مخزن بنگستان تهیه گردید.

جدول ۱ - داده‌های میانگین تخلخل، اشباع آب و ضخامت خالص به ناخالص در سه چاه ۵، ۸ و ۱۰ میدان زیلایی. علائم عبارتست از: MD entry (mean depth entry); TVD entry (true vertical depth entry); TVT (true vertical thickness entry); MDT (mean depth thickness); TVDT (true vertical depth thickness); N/G (net to gross thickness); SW (water saturation).

Well no	MD entry (m)	Isochore	TVD entry	TVT-entry	MDT	TVDT	Ave. Porosity%	Ave. N/G	Ave. SW%
ZE5	4261	Ilam	3826.28	45.6	46	44.66	0	0	100
	4307	z-2	3874.94	10.91	11	10.69	3.3	0.1	40
	4318	z-3	3881.63	81.41	82	79.7	1	0	100
	4400	z-4	3961.33	73.48	74	71.96	1.2	0	100
	4474	z-5	4033.28	80.59	81	78.76	1	0	100
	4555	z-6	4112.04	106.53	107	104	1	0	100
	4662	z-7	4216.09	105.54	106	103.1	1	0	100
ZE8	4294	Ilam	3939.4	30.92	31	30.93	1.9	0	90
	4325	z-2	3970.32	9	9	8.98	3.9	0.1	70
	4334	z-3	3979.31	67.17	67	66.81	7.3	0	60
	4401	z-4	4046.12	81.23	81	80.77	-	-	-
ZE10	4278	Ilam	3867.71	43.77	44	43.94	0.5	0	100
	4322	z-2	3911.65	11.94	12	11.98	3	0.1	20
	4334	z-3	3923.64	85.52	86	85.88	0.6	0.1	100
	4420	z-4	4009.52	101.71	103	102.5	1	0	100
	4523	z-5	4112.03	34.58	35	34.84	0.9	0	100
	4558	z-6	4146.87	92.92	94	93.59	0.8	0	100
	4652	z-7	4240.46	89.02	90	89.63	1.9	0	90



شکل ۱۳- نقشه توزیع میانگین تخلخل در زون‌های ۱ الی ۵ مخزن بنگستان میدان زیلایی.



شکل ۱۴- نقشه توزیع میانگین اشباع آب در زون های ۱ الی ۵ مخزن بنگستان میدان زیلابی.

در مدل پتروفیزیکی به روش زمین آمار، بخش‌های تراوا و متخلخل در زون های مختلف مخزن مشخص گردید. درصد اشباع آب در زون‌های مختلف مخزن محاسبه گردید. نرم افزار RMS با دقت بالایی این فرآیند را انجام داده و بخش‌های مفید مخزنی را تعیین نمود. با توجه به آزمایشات سرچاهی انجام گرفته و مدل‌های تهیه شده، زون ۳ از ویژگی مخزنی بهتری نسبت به سایر زونها برخوردار بوده و با توجه به مدل ساختمانی و پتروفیزیکی و نقشه‌های میانگین تخلخل، اشباع آب و Net/Gross (NTG) تهیه شده چنین نتیجه گرفته می‌شود که کیفیت ویژگی‌های مخزنی مانند تخلخل در چاه شماره ۸ افزایش پیدا کرده و چاه شماره ۵ و ۱۰ فاقد شرایط مخزنی می‌باشند. مقایسه ویژگی‌های لیتولوژی زون‌ها نشان داد که زون ۳ متحمل دولومیتیزاسیون شده است. این فرآیند یکی از عوامل افزایش کیفیت مخزنی محسوب می‌شود. داده‌های خروجی نرم افزار از تمام زون‌ها با در نظر گرفتن میزان ضخامت واقعی آنها همراه با مقادیر تخلخل و اشباع آب و Net/Gross توسط نرم افزار RMS در جدول ۱ ارائه شده است. بررسی داده‌های پتروفیزیکی مخزن بنگستان نتایج زیر را آشکار می‌سازد:

سازند ایلام: در چاه شماره ۵ و ۱۰ فاقد ضخامت مفید و تخلخل می‌باشد و اشباع آب به میزان ۱۰۰-۹۰ درصد را نشان می‌دهد. در حالیکه میزان تخلخل در چاه ۸ در حد ۶ درصد و میزان اشباع آب ۳۸ درصد می‌باشد و با توجه به میانگین NTG که خیلی کم می‌باشد از نظر هیدروکربور ضعیف بنظر می‌رسد.

سازند سورگاه: در چاه ۵ و ۱۰ فاقد تخلخل می‌باشد، اما در چاه ۸، تخلخل ۶٪ و اشباع آب ۷۲٪ می‌باشد. میزان تخلخل در این چاه بهتر از چاه ۵ و ۸ بوده، اما بدلیل اشباع آب بالا و نداشتن ستون هیدروکربوری فاقد ارزش مخزنی می‌باشد.

سازند سروک: این سازند متشکل از زون‌های ۳ تا ۸ می‌باشد، سازند سروک قسمت اصلی سنگ مخزن بنگستان را در میدان زیلابی تشکیل می‌دهد. زون ۳ در چاه شماره ۵ و ۱۰ فاقد تخلخل و اشباع آب می‌باشد. اما در چاه ۸ تخلخل در حد ۱۲٪ و آب اشباع شدگی آن پایین بوده، همچنین با توجه به آزمایشات جریانی تولید و آزمایش ساق مته زون ۳، زون خوبی جهت تولید هیدروکربور ارزیابی شده است. مخزن بنگستان حاوی گاز میعانی است. زون ۴ با توجه به آزمایشات ساق مته و جریان

تولید، و بدلیل تخلخل پائین، فاقد ارزش مخزنی می باشد. چاه ۸ فقط تا زون ۴ حفاری شده و کمترین ضخامت در چاه‌های بنگستانی را دارا می باشد. چاه ۵ و ۱۰ در زون ۵ و ۶ فاقد تخلخل می باشند و اشباع آب ۹۰-۱۰۰٪ می باشد. در زون ۷ چاه شماره ۱۰، میزان تخلخل ۹٪ و اشباع آب ۱۸٪ را نشان می دهد ولی با توجه به آزمایش ساق مته و ضخامت کم هیدروکربور فاقد پتانسیل مخزنی می باشد. زون ۸ با توجه به نتایج آزمایش ساق مته و تولید آب سازندی از شرایط مخزنی پایینی برخوردار است.

۶- نتیجه گیری

میدان زیلایی یک تاق‌دیس نامتقارن و کشیده و مانند اکثر میداین جنوب غرب ایران و فرو افتادگی دزفول دارای راستای شمال غرب - جنوب شرق می باشد. یال جنوبی دارای شیب بیشتری نسبت به یال شمالی می باشد. مخزن بنگستان از جمله مخازن کربناته رده بندی شده و از لحاظ چینه شناسی متشکل از سازندهای ایلام، سورگه و سروک است. این مخزن به هشت زون تقسیم گردید. مقایسه ویژگی‌های پتروفیزیکی زون ها نشان داد که زون ۳ تنها زون مخزنی بوده، و یکی از عوامل بهبود کیفیت مخزنی آن نسبت به سایر زون‌ها، فرایند دولومیتیزاسیون است.

با استفاده از تکنیک‌های زمین آمار، دانش مربوط به مخزن کربناته بنگستانی میدان زیلایی در زمینه درصد اطمینان و همچنین شناخت ناهمگونی مخزن را افزایش داد. بنابراین مدل زمین آمار توانایی پیش بینی تغییرات پارامترهای پتروفیزیکی مخازن نفتی را افزایش می دهد.

مدل سه بعدی ساختمانی (شامل مدل چینه‌شناسی و ساختاری)، نشان داد که میدان زیلایی یک ساختمان دو کوهانه با شیب آرام است. نقشه‌های همتراز زیرزمینی (UGC) مربوط به سرسازندهای مخزنی، و نقشه‌های هم‌ضخامت (ایزوکور) برای زون‌های مختلف مخزن تهیه گردید. مدل ساختمانی بی شک ما را به شناخت الگوی ساختاری مخزن راهنمایی کرده و می توان گسل و شکستگی‌هایی که ساختار مخزنی را تحت تاثیر خود قرار داده، را شناسایی نمود.

علیرغم وجود دو گسل معکوس در یال شمالی و جنوبی و پیچیدگی ساختاری میدان، توالی طبقات در چاه‌های حفاری شده طبیعی بوده و فاقد آثار گسل خوردگی هستند. با توجه به نقشه‌های میانگین تخلخل، اشباع آب و ضخامت خالص به کل، چنین نتیجه گرفته می شود که زون ۳ دارای هیدروکربور بوده و از ویژگی مخزنی بهتری برخوردار می باشد. زون‌های دیگر به علت پایین بودن درصد تخلخل و بالا بودن اشباع آب، فاقد پتانسیل مخزنی می باشند. مخزن بنگستان حاوی گاز میعانی است.

تشکر و قدردانی

مؤلفین لازم می دانند که از همکاری و حمایت‌های بخش پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز، مدیریت محترم ارتباط صنعت با دانشگاه شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب و نیز از داوران مقاله آقایان دکتر علیرضا بشری (رئیس انجمن زمین شناسی نفت ایران) و دکتر علی بهداد (شرکت ملی نفت ایران) تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

- [۱] پیرامون، ا.، بهمنی، د.، ۱۳۷۷، مطالعه مخزن بنگستان میدان زیلایی، گزارش شماره پ-۴۷۷۵، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب ایران
- [۲] سراج، م.، ۱۳۸۴، تحلیل ساختاری مقدماتی میداین نفتی مناطق نفت خیز جنوب، گزارش پ-۵۶۱۳، اهواز.
- [۳] شیخ زاده، ح.، ۱۳۸۹، مطالعه زمین شناسی و تهیه مدل سه بعدی مخزن خامی میدان مارون، گزارش شماره م-۶۹۱۱، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب ایران

- [۴] قربانی قشقایی، ا.، ۱۳۸۵، مطالعه زمین شناسی مخزن بنگستان میدان زیلابی، گزارش شماره پ-۵۷۷۷، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب ایران.
- [۵] فتواتی، ک.، حق پرست، ق.، ۱۳۸۵، مطالعه جامع مخزن بنگستان میدان منصوری، فاز تعیین مشخصات مخزن، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب ایران.
- [۶] گللال زاده، ع.، و ارزانی، ع.، ۱۳۸۹، نتایج حاصل از برداشت پردازش و تفسیر داده های سه بعدی لرزه ای میدان زیلابی، گزارش پ-۷۰۳۳، اداره مطالعات شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، اهواز.
- [۷] موازی، غ.، زیدونی، م.، پورقاسم، ب.، ۱۳۸۳، مطالعه مخزن بنگستان میدان زیلابی به روشهای محاسبات حجمی، شبیه سازی سیال، موازنه مواد. گزارش داخلی مناطق نفت خیز جنوب-گ پ-۵۵۹۹
- [۸] نورالدینی، م.ع.، ۱۳۶۳، مطالعه مقدماتی زمین شناسی مخزن بنگستان میدان زیلابی، گزارش پ-۳۸۹۳، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب ایران.
- [9] ADAGUNODO, T.A., SUNMONU, L.A., ADABANIJA, M.A., 2017, Reservoir characterization and seal integrity of Jemir field in Niger Delta, Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*, **129**, 779-791. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.02.015>
- [10] ADELU, A.O., ADEREMI, A.A., AKANJI, A.O., SANUADE, O.A., KAKA, S.L.I., AFOLABI, O., OLUGBEMIGA, S., OKE, R., 2019, Application of 3D static modeling for optimal reservoir characterization. *Journal of African Earth Sciences*, **152**, 184-196.
- [11] ADELU, A.O., SANUADE, O.A., OBOH, E.G., OFFEH, E.O., ADEWALE, T., MUMUNI, O.S., OLADAPO, M.I., OMOLAIYE, E.G., 2016, Hydrocarbon field evaluation: case study of Tadelu' field shallow offshore Western Niger Delta, Nigeria. *Arab J Geosci*, **9**, 116-
- [12] AIZEBOKHAI, A.P., and OLAYINKA, I., 2011, Structural and stratigraphic mapping of Emi Field, Offshore Niger Delta," *Journal of Geology and Mining Research*, **3 (2)**, 25-38.
- [13] AKANJI, A.O., SANUADE, O.A., KAKA, S.I., BALOGUN, I.D., 2018, Integration of 3D seismic and well log data for the exploration of Kini Field, Offshore Niger Delta. *Pet Coal*, **60**, 752-761.
- [14] AL-KHALIFEH M., AND MAKKAWI M., 2002, The import of data integration on geostatistical porosity modeling: A case study from the Berri field, Saudi Arabia. *Journal of Petroleum Geology*, **25 (4)**, 485-498. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2002.tb00096.x>
- [15] AMANIPOOR, H., 2017, Productivity index modeling of Asmari reservoir rock using geostatistical and neural networks methods (SW Iran). *Geodesy and Cartography*, **43(4)**, 125-130. <https://doi.org/10.3846/20296991.2017.1371649>.
- [16] ARMSTRONG, M., 1998, Basic linear geostatistics. Berlin: Springer-Verlag, 1998P. 153.
- [17] AZEVEDO, L., SOARES, A., 2014, Geostatistical joint inversion of seismic and electromagnetic data. *Geosciencias Aplicadas Latino America* 1:45-52.
- [18] BASHORE, W.M., ARAKTINGI, U.G., LEVY, M., and SCHWELLER, W.J., 1994, Importance of a geological framework and seismic data integration for reservoir modeling and subsequent fluid-flow predictions. *Stochastic Modeling and Geostatistics*. Yarus, J.M. and Chambers, R.L. (eds.). American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK. pp. 159-175.
- [19] BIERNACIK, P., KAZIMIERSKI, W., WŁODARCZYK-SIELICKA, M., 2023, Comparative analysis of selected geostatistical methods for bottom surface modeling. *Sensors*, **23**, 3941. <https://doi.org/10.3390/s23083941>.
- [20] BORDENAVE, M.L., AND HEGRE, J.A., 2006, The influence of tectonics on the entrapment of oil in the Dezful embayment, Zagros fold belt, Iran. *J. of petroleum Geology*, **28 (4)**, 339-368. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2005.tb00087.x>.
- [21] CAO, R., ZEE MA, Y., GOMEZ, E., 2014, Geostatistical applications in petroleum reservoir modelling. *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.*, **114 (8)**, 625-631.
- [22] CELLMER, R., 2014, The possibilities and limitations of geostatistical methods in real estate market analyses. *Real Estate Management and Valuation*, **22 (3)**, 54-62.

- [23] CHAMBERS, R.L., YARUS, J.M., 2010, Practical geostatistics—An armchair overview for petroleum reservoir engineers, SPE 103357. *J Petrol Technol* 2006:78–86.
- [24] CHAMBERS, R.L., YARUS, J.M., AND HIRD, K.B., 2000, Petroleum geostatistics for nongeostatisticians. *The Leading Edge*, **19** (5), 449-560.
- [25] CHOPRA, S., MARFURT, K., 2007, Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization: Geophysical Development Series No. 11, *SEG*, 123–151.
- [26] CHOPRA, S., MICHELENA, R.J., 2011, Introduction to this special section: Reservoir characterization. *The Leading Edge*, **30**(1), 35-37. DOI: 10.1190/1.3535430.
- [27] DELFINER, P., 2007. Three pitfalls of phi-K transforms. *SPE Formation Evaluation and Engineering*, Dec. 2007. pp. 609-617.
- [28] DERAISME, J., ALLEN, O., and RENARD, D., 2000, Multi-layer reservoir modeling.
- [29] DERIKVAND, B., ALAVI, S.A., ABDOLLAHIE FARD, I., JALALI, L., 2019, Changing in fold geometry from faulted detachment fold to fault-bend fold, a case study: The Zeloi anticline in the Dezful embayment, southwest of Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **173**, 381-4012018. 10.033.
- [30] DEUTSCH, C.V, 2002, Geostatistical reservoir modeling, Oxford Univeasity Press, 367p.
- [31] DEUTSCH, C.V. and JOURNEL, A.G., 1992, Geostatistical software library and user's guide. Oxford University Press. 340 pp.
- [32] DEUTSCH, C.V., JOURNEL, A.G., 1998, GSLIB: Geostatistical software library and users guide; Oxford University Press: New York, NY, USA, 369p.
- [33] DEUTSCH, C.V., TRAN, T.T. FLUVSIM, 2002, A program for object-based stochastic modeling of fluvial depositional system. *Comput. Geosci.*, **28**, 525–535.
- [34] DEVKOTA, J.U., and SINGH, R.S., 2010, Deterministic and probabilistic models with applications to modeling fertility data. *Journal of Applied Statistical Science*, **18**(2), 161-176.
- [35] EMSHOFF, J.R., and SISSON, R.L., 1970, Design and use of computer simulation models. New York: The Macmillan Company, p. 6.
- [36] FALIVENE, O., ARBUES, P., GARDINER, A., PICKUP, G., MUNOZ, J.A., and CABRERA, L., 2006. Best practice stochastic facies modeling from a channel-fill turbidite sandstone analog. *AAPG Bulletin*, **90** (7), 1003-1029.
- [37] FERNANDEZ, O., MUNOZ, J.A., ARBUES, P., FALIVENE, O., and MARZO, M., 2004, Three dimensional reconstruction of geological surfaces: AN example of growth strata and turbidite systems from the Ainsa Basin (Pyrenees, Spain). *AAPG Bull.*, **88**, 1049-1068.
- [38] GORDON, G., 1969, System Simulation. New York: Prentice-Hall, Inc. p. 7.
- [39] HALDORSEN, H.H.; DAMSLETH, E., 1990, Stochastic Modeling. *J. Pet.Technol.*, **42**, 404–412.
- [40] HALDORSEN, H.H.; MACDONALD, C.J., 1987, Stochastic modelling of underground reservoir facies (SMURF). In Proceedings of the 62nd SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, TX, USA, 27–30. September 1987; SPE (7: 16751). Society of Petroleum Engineers: Richardson, TX, USA.
- [41] HAO, T., ZHONG, L., ZHU, T., ZHANG, X., WANG, X., AND ZHANG, L., 2020, A new prediction method of reservoir porosity based on improved Kriging interpolation. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1707 012018. 2020 International Conference on Physics, *Mechanics and Mathematical Science*. doi:10.1088/1742-6596/1707/1/012018.
- [42] HAUGE, R., SYVERSVEEN, A.R., and MACDONALD, 2003, Modeling facies bodies and petrophysical trends in turbidite reservoir, SPE 84053, 7P.
- [43] HIGHLAND, H.J., 1970, A taxonomy of models. 8p., ACM Digital Library.
- [44] HJORT, N.L., 1994, Topics in spatial statistics [with discussion, comments and rejoinder]. *Scand. J. Stat.*, **21**, 289–357.
- [45] HOLMES, A.J., STRATTON, M.T., BAILLY, A.R., GOTTSCHALL, J.S., FEITO, Y., HA, P.L., LAVIGNE, A., PERSAUD, K., GAGNON, H.L., KRUEGER, A., MODJESKI, A., ESMAT, T.A., HARPER, L.N., VAN DUSSELDORP, T.A., and HESTER, G.M., 2018, Effects of plyometric- and cycle-based high-intensity interval training on body composition, aerobic capacity, and muscle function in young females: a field-based group fitness assessment. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **55** (7).

- [46] HOSSEINI, E., GHOLAMI, R. and HAJIVAND, F., 2019, Geostatistical modeling and spatial distribution analysis of porosity and permeability in the Shurijeh-B reservoir of Khangiran gas field in Iran. *J. Petrol. Explor. Prod. Technol*, **9**, 1051–1073. <https://doi.org/10.1007/s13202-018-0587-4>.
- [47] JACKSON, P.L., MELTZOFF, A.N., DECETY, J., 2005, How do we perceive the pain of others? A window into the neural processes involved in empathy. *NeuroImage*, **24(3)**, 771–9. doi: 10.1016/j.neuroimage.2004.09.006.
- [48] JENNINGS, A.L., DAVIES, A.N., HIGGINS, J.P.T., GIBBS, J.S.R., BROADLEY, K.E., 2002, A systematic review of the use of opioids in the management of dyspnoea FREE. *Thorax*, **57(11)**.
- [49] JONES, T.A., AND MA, Y.Z., 2001, Geologic characteristics of hole-effect variograms calculated from lithology-indicator variables. *Mathematical Geology*, **33**, 615-629.
- [50] JOURNAL, A.G., AND HUIJBREGTS, C.J., 1978, Mining geostatistics. Academic Press, New York. 600 pp.
- [51] JOURNAL, A.G., ISAAKS, E.H., 1984, Conditional indicator simulation: Application to a Saskatchewan uranium deposit. *J. Int. Assoc. Math. Geol.*, **16**, 685–718.
- [52] KAMALI, M.R., OMIDVAR, A., and KAZEMZADEH, E., 2013, 3D Geostatistical modeling and uncertainty analysis in a carbonate reservoir, SW Iran. *J. of geological Research*, 2013, Article ID 687947.
- [53] KELLKER, M., AND PEREZ, G., 2002, Applied geostatistics for reservoir characterization, Society of Petroleum Engineers Inc., 264p.
- [54] KLEINGELD, W.J., LANTUEJOUL, C., PRINS, C.F., THURSTON, M.L., 1997, The conditional simulation of a Cox process with application to deposits with discrete particles. In *Geostatistics Wollongong '96*; Baafi, E.Y., Schofield, N.A., Eds.; Kluwer Academic. Dordrecht, The Netherlands, 683–694.
- [55] KOK, M.V., and ULKER, B., 2007, Reserve estimation using geostatistics. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, **30(2)**, 93-100.
- [56] KRIGE, D.G., 1951, A statistical approach to some basic mine valuation problems in the Witwatersrand. *Journal of the Chemical, Metallurgy, and Mining Society of South Africa*, **52**, 119-139.
- [57] LABOURDETTE, R., PONCET, J., SEGUIN, J., TEMPLE, F., HEGER, J. and IRVING, A., 2006, Three –dimensional modeling of stacked turbidite channels in West Africa: impact on dynamic reservoir simulation. *Petroleum Geoscience*, **12**, 335-345.
- [58] LANTUEJOUL, C., 1987, Geostatistical simulation: Models and algorithms. *Minerva Ginecol*. **39**, 503–510.
- [59] Le Loc'h, G., Galli, A., 1997, Truncated Plurigaussian method: Theoretical and practical points of view. In *Geostatistics Wollongong*; Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 211–233.
- [60] LI, H., and WHITE, C.D., 2003, Geostatistical shale models for a deltaic reservoir analog from 3D GPR data to 3D flow modeling, AAPG Annual Convention Salt Lake City, Utah, May 11-14, 6P.
- [61] LIM, J., SON, C.B., and KIM, S., 2023, Scenario-based 4D dynamic simulation model for in-situ production and yard stock of precast concrete members. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, **22(4)**, 2320-2334. <https://doi.org/10.1080/13467581.2022.2145214>.
- [62] LIU, Y., SPENCER, S., 2004, Dynamic simulation of grinding circuits. *Minerals Engineering*, **17(11-12)**, 1189-1198.
- [63] LIU, Y.Z., 2003, Algorithm Research for Text Information Extraction Based on Hidden Markov Model. Master's Thesis, Hunan University, Changsha.
- [64] LOUCKS, R.G., MESCHER, P. K., and MCMECHAN, G.A., 2004, Three dimensional architecture of a coalesced paleocave system in the Lower Ordovician Ellenberger Group, central Texas, *AAPG Bull.*, **88**, 545-564.
- [65] MA, Y.Z., 2009, Propensity and probability in depositional facies analysis and modeling. *Mathematical Geosciences*, **41**. 737-760. doi: 10.1007/s11004-009-9239-z.

- [66] MA, Y.Z., GOMEZ, E., YOUNG, T.L., COX, D.L., LUNEAU, B., and IWERE, F., 2011, Integrated reservoir modeling of a Pinedale tight-gas reservoir in the Greater Green River Basin, Wyoming. Uncertainty Analysis and Reservoir Modeling. In: Ma, Y.Z., and La Pointe, P., (eds.). AAPG Memoir 96. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK.
- [67] MA, Y.Z., SETO A., and GOMEZ, E., 2008, Frequentist meets spatialist: a marriage made in reservoir characterization and modeling. SPE 115836, Society of Petroleum Engineers, Annual Technical Conference and Exhibition. SPE, Denver, CO.
- [68] MA, Y.Z., SETO, A., and GOMEZ, E., 2009, Depositional facies analysis and modeling of Judy Creek reef complex of the Late Devonian Swan Hills, Alberta, Canada. *AAPG Bulletin*, **93 (9)**, 1235-1256. doi: 10.1306/05220908103.
- [69] MALEKI, M.; EMERY, X.; MERY, N., 2017, Indicator variograms as an aid for geological interpretation and modeling of ore deposits. *Minerals*, **7**, 241.
- [70] MARINI, M.; FELLETTI, F.; BERETTA, G.P.; TERRENGHI, J., 2018, Three geostatistical methods for hydrofacies simulation ranked using a large borehole lithology dataset from the Venice Hinterland (NE Italy). *Water*, **10**, 844.
- [71] MATHERON, G., 1963, Principles of geostatistics. *Economic Geology*, **58**, 1246-1266.
- [72] MATHERON, G., BEUCHER, H., DE FOUQUET, C., GALLI, A., GUERILLOT, D., RAVENNE, C., 1987, Conditional simulation of the geometry of fluvio-deltaic reservoirs. In Proceedings of the 62nd SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, TX, USA, 27–30 September 1987; SPE Paper No. 167563. Formulation Evaluation and Reservoir Geology Society of Petroleum Engineers: Richardson, TX, USA, 591–599.
- [73] MING-LI, B., XIAO-GANG, X., CAI-HONG, L., & GUO-QIANG, C., 2019, Discussion on 3D visualization model of geological structure. *Journal of Physics: Conference Series*, **1345(5)**, 052014. doi:10.1088/1742-6596/1345/5/052014.
- [74] MIRZAEI-PAIAMAN, A., SANTOS, S.M.G., SCHIOZER, D.J., 2022, Iterative sequential robust optimization of quantity and location of wells in field development under subsurface, operational and economic uncertainty. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **218**, 111005 <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.111005>.
- [75] MITRA, S., and LESLIE, W., 2003, Three dimensional structural model of the Rhourde el Baguel field, Algeria, *AAPG Bull.*, **87**, 231-250.
- [76] MODE, A.W., AND ANYIAM, A.O., 2007, Reservoir characterization: Implications from petrophysical data of the “Paradise-Field”, Niger Delta, Nigeria. *Pacific Journal of Science and Technology*, **8**, 194-202.
- [77] NORMANDO., M.N., DO NASCIMENTO JR., D.R., FILHO, F.N., BATEZALLI, A., DOS SANTOS, F.H., OLIVEIRA, K.M.L., DE ALMEIDA, N.M., 2022, A proposal for reservoir geostatistical modeling and uncertainty analysis of the Curimã Field, Mundaú Sub-Basin, Ceará Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. **114**, 103716.
- [78] NWANKWO, C.N., OHAKWERE-EZE, M., AND EBENIRO, J.O., 2015, Hydrocarbon reservoir volume estimation using 3-D seismic and well log data over an X-field, Niger Delta Nigeria. *J. Petrol. Explor. Prod. Technol.*, **5**, 453–462.
- [79] OLIVER, M.A., AND WEBSTER, R., 2014, A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *CATENA*, **113**, 56-69.
- [80] OSINOWO, O.O., AYORINDE, J.O., NWANKWO, C.P., EKENG, O.M., TAIWO, O.B., 2018, Reservoir description and characterization of Eni field Offshore Niger Delta, southern Nigeria. *J Petrol Explor Prod Technol*, **8**, 381–397 (2018)..
- [81] PAPOULIS, A., 1965, Probability, random variables and stochastic processes. McGraw-Hill, New York. 583 pp.
- [82] PYRCZ, M.J., CATUNEANU, O., DEUTSCH, C.V., 2005, Stochastic surface-based modeling of turbidite lobes. *AAPG Bulletin*, **89 (2)**, 177-191.
- [83] PYRCZ, M.J., DEUTSCH, C. V., 2014, Geostatistical reservoir modeling, 2nd ed. Oxford University Press, 433p.
- [84] QUINN, N.W.T., TANSEY, M.K., LU, J., 2021, Comparison of deterministic and statistical models for Water Quality Compliance Forecasting in the San Joaquin River Basin, *California. Water*, **13**, 2661.

- [85] REZVANDEHY, M., and DEUTSCH, C.V., 2017, Horizontal variogram inference in the presence of widely spaced well data. *Petroleum Geoscience*, **24**, 219 – 235. <https://orcid.org/0000-0002-1252-3234>.
- [86] Rivoirard, J. 2001, Which models for collocated cokriging? *Mathematical Geology*, **33**, 117-131.
- [87] ROXAR SOFTWARE SOLUTION, 2003, RMS user guide release 7.0.
- [88] SANUADE, O.A., AKANJI, A.O., OLADUNJOYE, M.A., OLAOJO, A.A., FATOBA, J.O., 2017a, Hydrocarbon reservoir characterization of “AY” field, deep-water Niger Delta using 3D seismic and well logs. *Arabian J. Geoscience*, **10**, 1-17.
- [89] SANUADE, O.A., AKANJI, A.O., OLAOJO, A.A., OYEWEMI, K.D., 2017b, Seismic interpretation and petrophysical evaluation of SH field, Niger Delta. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, **8** (1), 51-60.
- [90] SCOTT, J.A., PUJOL, M., GYÖRE, D., STUART, F.M., GILFILLAN, S.M.V., 2021, Determining static reservoir connectivity using noble gases. *Chemical Geology*, **582**, 120410.
- [91] SIDDIQUI, N.A., MATHEW, M.J., MENIER, D., HASSAAN, M., 2017, 2D and 3D seismic simulation for fault modeling: exploratory revision from the Gullfaks field. *J Petrol Explor Prod Technol* **7**, 417–432. <https://doi.org/10.1007/s13202-016-0301-3>.
- [92] SOLEIMANI, B., NAZARI, K., BAKHTIAR, H.A., HAGHPARAST, G., and ZANDKARIMI, G., 2008, Three-Dimensional geostatistical modeling of oil reservoirs: A case study from the Ramin oil field in Iran. *Journal of Applied Sciences*, **8**, 4523-4532.
- [93] SRIVASTAVA, R.M., 1994, An overview of stochastic methods for reservoir characterization. In: Stochastic modeling and geostatistics: Principles, methods and case studies. In: Yarus, J.M., and Chambers, R.L., (edt.), Computer application in geology, *AAPG*, **3**, Tulsa, Oklahoma, USA, 379P.
- [94] STREBELLE, S., and JOURNAL, A., 2001, Reservoir modeling using multiple point statistics: Presented at the Society of Petroleum Engineers Annual Technical Conferences and Exhibition, SPE Paper 71324, 10p.
- [95] SWEET, M. L., BLEWDEN, C. J., CARTER, A. M. & MILLS, C. A., 1996, Modeling heterogeneity in a low-permeability gas reservoir using geostatistical techniques, Hyde Field, southern North Sea. *AAPG Bulletin*, **80**, 1735-1719.
- [96] TALEBI, H., ALAVI, S.A., SHERKATI, SH., GHASSEMI, M.R., and GOLALZADEH, A.R., 2018, In-situ stress regime in the Asmari reservoir of the Zeloi and Lali oil fields, northwest of the Dezful embayment in Zagros fold-thrust belt, Iran. *Geosciences*, **106**, 53-68.
- [97] VAROUCHAKIS, E.A., 2021, Gaussian Transformation Methods for Spatial Data. *Geosciences*, **11**, 196. <https://doi.org/10.3390/geosciences11050196>.
- [98] WADA, K., 2020, Outliers in official statistics. *Jpn J Stat Data Sci* **3**, 669–691. <https://doi.org/10.1007/s42081-020-00091-y>.
- [99] WANG, L., HE, J., ZHANG, T., and ZHU, P., 2014, Research on geostatistical analysis approaches. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, **6**(6), 1796-1799.
- [100] WANG, Z., LI, R., DING, Y., and WU, J., 2019, Reservoir Classification and Evaluation Method Based on Storage-permeate and Degree of Heterogeneity. 5th Annual International Workshop on Materials Science and Engineering, IOP Conf. Series. *Materials Science and Engineering*, **585**, 012094. doi:10.1088/1757-899X/585/1/012094.
- [101] WU ET AL., 2006, 3D Stochastic Modelling of Heterogeneous Porous Media-Applications to Reservoir Rocks. *Transport in Porous Media*, **65**, 443-467.
- [102] XU, W., TRAN, T.T., SRIVASTAVA, R.M., and JOURNAL, A.G., 1992, Integrating seismic data in reservoir modeling: the collocated cokriging alternative. SPE 24742. Society of Petroleum Engineers, 67th Annual Technical Conference and Exhibition. SPE, Denver, CO. pp. 833-842.
- [103] YAN, Y., ZHANG, L., and LUO, X., 2020, Modeling three-dimensional anisotropic structures of reservoir lithofacies using two-dimensional digital outcrops. *Energies*, **13**, 4082. doi:10.3390/en13164082.
- [104] YU, X., MA, Y.Z., GOMEZ, E., PSAILA, D., LA POINTE, P.R., LI, S., 2011, Reservoir Characterization and Modeling: A Look Back to See the Way Forward. In: Uncertainty Analysis

- and Reservoir Modeling: Developing and Managing Assets in an Uncertain World, Ma, Y.Z., La Pointe, P.R, (edt.), *AAPG MEMOIR*. <https://doi.org/10.1306/13301421M963458>.
- [105] ZHANG, Z., LIU, C., LIU, G., 2019, Dynamic and static comprehensive evaluation method for reservoir connectivity of low-permeability oilfield [J]. *Lithologic Reservoirs*, **31(5)**, 108-113. doi: 10.12108/xyqc.20190512.
- [106] ZHAO, X., ZHANG, Y., XIE, S., QIN, Q., WU, S., LUO, B., 2020, Outlier Detection Based on Residual Histogram Preference for Geometric Multi-Model Fitting. *Sensors*, **20**, 3037.

Reservoir characteristics prediction using the geostatistical model. Case study: Bangestan reservoir, Ziloi Field, SW Iran

Khoram abadi, S. ¹, Soleimani, B. ^{2*}, Sheikhzadeh, H. ³

1-MSc student of Geology Dept., of Research Center, Azad University, Tehran, Iran

2*-Prof., Dept. Of Petroleum Geology and Sedimentary Basins, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

3-NISOC, Ahvaz, Iran

*soleimani_b@scu.ac.ir

Received: October 2023, Accepted: November 2023

Abstract

The geostatistical model is considered as a useful tool for predicting the oil potential of reservoirs. In the present study, an attempt is made to review the importance of the geostatistical model in the reservoir characteristics, to model and examine the changes in the petrophysical parameters of the Bangestan reservoir in the Ziloi field despite the limited number of boreholes. This carbonate reservoir consists of Ilam, Surgah and Sarvak formations and was divided into eight zones. In the modeling process, the information required for the 3D model, including geophysical interpretations, well description information, and 2D maps along with their quality control (QC), were entered into the RMS software. The construction model was prepared based on the top levels of the structures and the depth information of the wells entering the reservoir.

These data were used indirectly or directly in software with high grading capability to create levels. The depth level map of the top of Ilam Formation was entered into the model as an interpretation level, digitalization and as a base contour map. Isochore maps of other zones were prepared using the depths of wells entering different parts of the reservoir. The prediction of the distribution pattern of changes in the petrophysical features of the reservoir was prepared based on geostatistical methods, average porosity maps, and water saturation. According to the results of the modeling, it was revealed that the Ziloi field has a structural complexity, caused the heterogeneity of the reservoir and increased the risk of predicting the behavior of the reservoir. Comparison of reservoir zones showed that zone 3 has better hydrocarbon potential than other zones. One of the effective factors to improve its reservoir quality is the dolomitization process. Changes in the distribution values of water saturation and porosity showed that the reservoir properties improve from the southeast to the northwest of the field.

Key words: Ziloi field, Bangestan reservoir, Geostatistic model, Porosity, Reservoir characterization