

اعتبارسنجی استفاده از الگوریتم‌های زمین‌آماری تصادفی در مدل‌سازی رخساره الکتريکی در مخزن سروک یکی از میادین نفتی ایران

ولی مهدی پور^۱، احمدرضا ربانی*^۲، علی کدخدائی^۳، هومن کرکوتی^۴ و محسن شوراب^۵

۱- دانشجوی دکترا مهندسی اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

۲- استاد گروه مهندسی اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

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

۴ و ۵- شرکت مهندسی و توسعه سروک آذر، تهران، ایران

نویسنده مسئول: rabbani@aut.ac.ir

چکیده:

ساخت انواع مدل‌های رخساره‌ای جهت اعمال تاثیر زمین‌شناسی و رسوب‌شناسی و کنترل توزیع خواص پتروفیزیکی در توزیع زمین‌آماری خواص مخزنی در مدل‌سازی استاتیک ضروری می‌باشد. در این مطالعه، به منظور استفاده از مدل رخساره‌ای در مدل‌سازی استاتیک، نخست رخساره الکتريکی با استفاده از روش خوشه‌سازی چند تفکیکی بر پایه گراف MRGC تهیه گردید. رخساره‌های حاصل، با استفاده از الگوریتم‌های زمین‌آماری مختلف در نرم افزار پترل، به صورت سه‌بعدی مدل‌سازی و سپس نتایج حاصل از استفاده از روش‌های مختلف توزیع، مورد مقایسه قرار گرفتند. براساس آنالیز رخساره‌های الکتريکی، نخست پنج رخساره الکتريکی (مشمول بر دو رخساره غیرمخزنی و سه رخساره مخزنی) تشخیص داده شدند. به منظور مقایسه تاثیر الگوریتم‌های مختلف توزیع رخساره‌ای، سه رخساره مخزنی باهم و دو رخساره غیرمخزنی با همدیگر تلفیق شده و به صورت دو رخساره کلی مخزنی و غیرمخزنی در مدل‌سازی رخساره‌ای توزیع گشتند. همچنین از داده‌های لرزه‌ای جهت ساخت نقشه‌های روندی برای توزیع بهتر رخساره‌ها و ساخت رخساره لرزه‌ای استفاده گردید. به منظور بررسی میزان تاثیر الگوریتم‌های متعدد به کار گرفته شده در مدل‌سازی رخساره‌ای بر روی توزیع تخلخل، پس از ساخت پنج نوع مدل رخساره‌ای با الگوریتم‌های مختلف، از آنها در توزیع تخلخل استفاده گردید. براساس این مطالعه، در صورتی که داده‌های رخساره الکتريکی بدون استفاده از داده‌های لرزه‌ای توزیع شوند، عدم قطعیت بالایی داشته و ممکن است از دقت توزیع مدل‌های تخلخل وابسته کاسته شود. در این مطالعه مشخص شد که در مدل‌سازی رخساره‌ای با استفاده از روش شبیه‌سازی شاخص ترتیبی (SIS)، در نظر گرفتن نقشه‌های روندی تهیه شده براساس داده‌های لرزه‌ای باعث افزایش دقت آن می‌شود. همچنین ساخت رخساره لرزه‌ای و استفاده از آن در توزیع تخلخل به دلیل ارتباط بالای داده‌های مقاومت صوتی با تغییرات تخلخل، به عنوان بهترین روش رخساره‌ای جهت کنترل توزیع تخلخل پیشنهاد می‌گردد.

کلید واژه‌ها: مخزن سروک، مدل استاتیک، رخساره لرزه‌ای، تخلخل، MRGC

۱- پیشگفتار

یک رخساره رسوبی به مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی گفته می‌شود که دارای فرم هندسی (ژئومتری)، سنگ‌شناسی (لیتولوژی)، ساخت‌های رسوبی، طرح جریان دیرینه و سنگواره‌های معینی است که توسط همین مشخصه‌ها از سنگ‌های دیگر قابل تمایز است (سلی، ۱۹۹۴). ویژگی‌های مورد استفاده در تمایز رخساره‌ها مربوط به خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی سنگ‌ها در زمان ته‌نشست رسوب و یا فرایندهای دیاژنزی بعدی هستند. بطور کلی، برحسب مقیاس مطالعه، سنگ‌شناسی، نوع داده‌های موجود و سایر ویژگی‌های مورد توجه از دیدگاه صنعت نفت، انواع رخساره‌های رسوبی در زمین‌شناسی نفت و رسوب‌شناسی رایج شده است که برخی از آنها شامل رخساره سنگ‌شناسی (لیتوفاسیس)، رخساره فسیل‌شناسی (بیوفاسیس)، رخساره میکروسکوپی (میکروفاسیس)، رخساره پتروفاسیس، رخساره نگاره‌های الکتريکی (الکتروفاسیس یا رخساره الکتريکی)، رخساره لرزه‌ای می‌باشند. استفاده از این داده‌ها در مدل‌سازی مخزنی توسط محققین زیادی مورد بررسی قرار گرفته‌است (گوجه بیگلو، ۲۰۲۱؛ ایوانز انان، ۲۰۱۹). نگاره‌های پتروفیزیکی منبع اصلی اطلاعات زمین‌شناسی زیر سطحی هستند که اطلاعات با ارزشی از قبیل سنگ‌شناسی، بافت، ساختارهای رسوبی و همچنین خصوصیات مخزنی نظیر تخلخل، اشباع آب و تراوایی را فراهم می‌کنند (سفیداری و

همکاران، ۲۰۱۲). با استفاده از این نگارها می‌توان واحدهای رسوبی مختلف را با مقایسه خصوصیات نگار^۱ از همدیگر تفکیک نمود. رخساره نگار یا الکتریکی^۲ عبارت از مجموعه‌ای از پاسخ‌های نگار است که مشخص کننده یک لایه و یا به عبارت بهتر چینه بوده و باعث تشخیص آن از لایه‌های دیگر می‌گردد. از دیدگاه سرا و آبوت، رخساره الکتریکی مجموعه‌ای از پاسخ‌های نگار است که به طور منحصر به فردی یک واحد سنگی را مشخص می‌کند (سرا و آبوت، ۱۹۸۲). به عبارت دیگر، از دیدگاه آنها، رخساره نگار یا رخساره الکتریکی عبارت از "مجموعه پاسخ نگارهای پتروفیزیکی است که علاوه بر تعیین مشخصات چینه‌ها، اجازه تفکیک آن‌ها از یکدیگر را می‌دهند.

روش‌ها و الگوریتم‌های متعددی نظیر^۳ MRGC،^۴ AHC و^۵ SOM برای ساخت رخساره‌های الکتریکی وجود دارد که معمولاً با نظر کاربر و با استفاده از شکل نگارها یا ابر داده‌های اولیه و استفاده از الگوریتم‌های مختلف قابل حصول است (مهدی پور و هاشمیان، ۱۳۹۳). در این مطالعه پس از آزمون روش‌های مختلف، در نهایت روش خوشه‌سازی چند تفکیکی بر پایه گراف MRGC برای تعیین تعداد رخساره‌های الکتریکی بهینه انتخاب گردید. بطور کلی، خوشه‌سازی براساس MRGC یک روش آماری غیر پارامتریک است و برخلاف سایر روش‌ها، مشکل وابستگی به بعد را از بین می‌برد. در این روش داده‌های ورودی اعم از چندین نگار پتروفیزیکی پس از کنترل کیفی جهت خوشه‌بندی استفاده می‌گردد. در این روش سعی می‌گردد اعضای یک گروه بیشترین شباهت را با سایر اعضای گروه و حداکثر تفاوت را با اعضای گروه‌های دیگر داشته باشد.

ساخت رخساره‌های الکتریکی در مطالعه جامع یک مخزن اهمیت زیادی دارد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۹). از این رو مدل‌سازی رخساره‌ای به خصوص رخساره‌های الکتریکی به عنوان بخش از مدل‌سازی استاتیک اهمیت به سزایی در مدل‌سازی مخزن و کنترل کیفیت مخزنی نقش به‌سزایی دارد. مدل‌سازی رخساره‌ای در صورت اعتبار کافی می‌تواند در مدل‌سازی سه‌بعدی زمین-شناسی مخازن جهت کنترل تغییرات توزیع پارامترهای مخزنی از قبیل تخلخل و تراوایی مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، در صورت عدم وجود داده‌های لرزه‌ای مناسب ممکن است مدل‌سازی رخساره‌ای همچنان از عدم قطعیت بالا برخوردار باشد. الگوریتم‌های زمین‌آماری به عنوان ابزار قدرتمند برای مدل‌سازی ساختارهای ناهمگن زیرسطحی به کار می‌روند. با استفاده از دانش زمین‌آمار، امکان ارزیابی موارد عدم قطعیت، فرموله کردن و در نهایت مدل‌سازی آنها فراهم می‌شود (پرچ و دویچ، ۲۰۱۴). بطور کلی روش‌های زمین‌آماری توزیع رخساره‌ها قابل تقسیم به سه روش می‌باشند: ۱- روش‌های مبتنی بر واریوگرافی دو نقطه‌ای، ۲- روش‌های مبتنی بر شیء و ۳- روش‌های مبتنی بر تصویر آموزشی چند نقطه‌ای. هر کدام از این روش‌ها دارای محدودیت‌ها و مزایای خاص خودشان می‌باشند. به‌طور مثال روش‌های شیء‌گرا^۶ مستلزم استخراج ژئوبادی یا ساخت مدل‌های مفهومی و روش‌های چند نقطه‌ای مستلزم داشتن الگوهای تصویری می‌باشند.

تحلیل زمین‌آماری داده‌ها برای داده‌های رخساره‌ای مشتمل بر دو قسمت آماده‌سازی تابع توزیع اولیه به دو شکل آماری یا نسبت عمودی و بخش دوم واریوگرافی می‌باشد. واریوگرام، تغییرپذیری داده‌ها را با افزایش فاصله نشان می‌دهد که یک محور آن تغییرپذیری واریانس و محور دیگر فاصله می‌باشد. در توزیع خواص مخزنی در مخازن هیدروکربنی واریوگرافی به صورت افقی (در دو جهت) و عمودی انجام می‌شود. در واریوگرافی افقی باید جهت‌های اصلی و فرعی ناهمسانگردی تعیین شود که برای این منظور باید نقشه‌های واریوگرام تهیه کرد. پس از تعیین جهت‌های اصلی و فرعی، واریوگرافی در این راستاها انجام شده و پارامترهای واریوگرام از جمله دامنه موثر تعیین می‌شود (کدخدایی و همکاران، ۲۰۱۹). مدل‌های رخساره‌ای حاصل جهت کنترل توزیع خواص پتروفیزیکی و تأثیر زمین‌شناسی در توزیع زمین‌آمار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

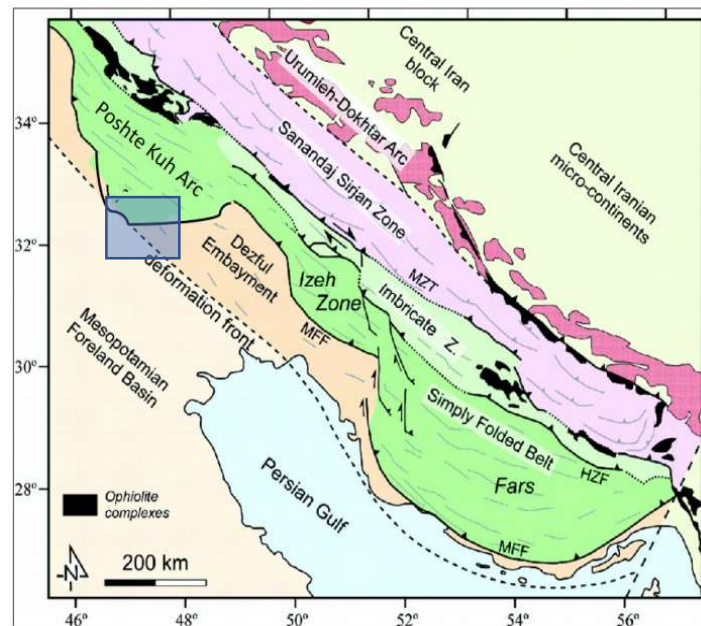
در این مطالعه، پس از تعیین رخساره‌های الکتریکی تلاش گردید نقش الگوریتم‌های مختلف در توزیع رخساره‌ها مورد بررسی قرار گیرد. به منظور کاهش عدم قطعیت در توزیع رخساره‌ها از نقشه‌های روندی ساخته شده براساس داده‌های لرزه‌ای در ساخت مدل‌های رخساره‌ای استفاده گردید. همچنین رخساره لرزه‌ای با استفاده از شبکه عصبی ساخته شد. رخساره‌های لرزه‌ای^۷ عبارت

1 Log
2 Electrofacies
3 Multi resolution graph-based clustering
4 Ascendant hierarchical clustering
5 Self-organizing map
6 Object based
7 Seismic facies

از واحد چینه‌شناسی با الگوی بازتابش مشخص است که از واحدهای دیگر بر اساس دامنه بازتاب، پیوستگی، هندسه و یا شکل درونی بازتابنده‌ها قابل تفکیک باشد. به‌طور کلی، رخساره لرزه‌ای به مجموعه رسوبات و سنگ‌های رسوبی اطلاق می‌گردد که دارای خصوصیات هم‌ارز^۱ و پیوستگی^۲ دامنه، بسامد^۳ و سرعت یکسان بوده و نیز الگوی آنها بر روی مقاطع لرزه‌ای یکسان بوده و الگوی مشابهی بر روی مقاطع لرزه‌ای داشته باشند. داده‌های لرزه‌ای معمولاً دارای دقت پایین در راستای قائم هستند، اما می‌توانند به عنوان داده ثانویه نقش به‌سزایی در توزیع فضایی خصوصیات مخزنی داشته باشند. بطور کلی داده‌های لرزه‌ای باید همراه با نگارهای پتروفیزیکی مورد استفاده قرار گیرند. ساخت رخساره‌های معمولاً با دو روش تحلیل رخساره‌های لرزه‌ای به روش با نظارت^۴ یا بدون نظارت^۵ انجام می‌گیرد.

۱.۱ موقعیت میدان مورد مطالعه

میدان مورد مطالعه در بخش شمالی فروبار دزفول قرار دارد. در این میدان سازند سروک مخزن اصلی محسوب می‌شود. در شکل ۱ محدوده تقریبی میدان مورد مطالعه نشان داده شده است.



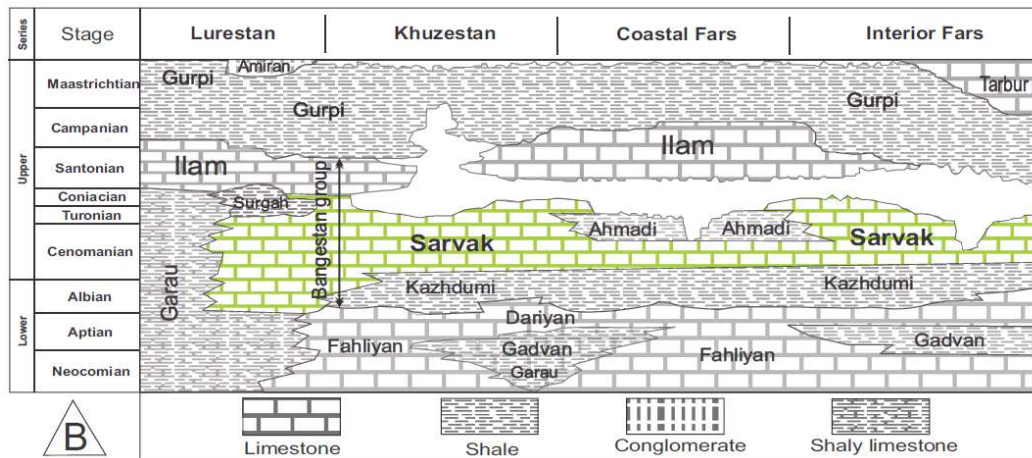
شکل ۱. محدوده تقریبی میدان مورد مطالعه در فروبار دزفول شمالی (کسینی و همکاران، ۲۰۱۱)
Figure 1. The location of the field in Dezful Embayment (after Casini et al., 2011).

۱.۲ چینه‌شناسی سازند سروک

سازند سروک، یکی از واحدهای سنگ چینه‌ای کربناته ضخیم از گروه بنگستان با سن آلبین-تورونین در حوضه زاگرس است که در جنوب غربی ایران گسترش دارد و به‌طور عمده از کربنات و مقدار کمتری شیل و مارن تشکیل شده است (شکل ۲). سازند سروک پس از سنگ آهک آسماری، مهم‌ترین سنگ مخزن حوضه زاگرس است (افشار حرب، ۱۳۸۲). برش الگوی سازند سروک، در تنگ سروک و در دامنه جنوب غربی کوه بنگستان واقع شده است. سازند سروک شامل دو رخساره نریتیک در فارس و خوزستان و رخساره پلاژیک در لرستان است که این دو رخساره با هم ارتباط بین‌انگشتی دارند. برش الگوی سازند سروک در

- 1 Configuration
- 2 Continuity
- 3 Frequency
- 4 Supervised
- 5 Unsupervised

یال جنوبی کوه بنگستان، در شمال غربی شهرستان بهبهان و شمال شرقی میدین نفتی پارسی و کرنج معرفی شده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). سازند سروک در قاعده، شامل آهک‌های خاکستری تیره با لایه‌بندی ریزدانه رسی و حاوی آمونیت فراوان و همراه با لایه‌های نازک از مارن‌های خاکستری تیره به صورت بین لایه‌ای است. بخش میانی آن شامل آهک‌های توده‌ای خشن به رنگ قهوه‌ای روشن همراه با قطعاتی از رودیست می‌باشد. بخش بالایی از آهک‌های خیلی ضخیم تا ضخیم لایه با هوازگی نامنظم آغشته به اکسیدهای آهن و برشی شده تشکیل شده است (مطیعی، ۱۳۷۲). مرز پایینی سروک با شیل‌های کژدمی به صورت تدریجی و مرز بالایی آن با سازند ایلام فرسایشی و آغشته به ترکیبات آهن است (آقانباتی، ۱۳۸۳).



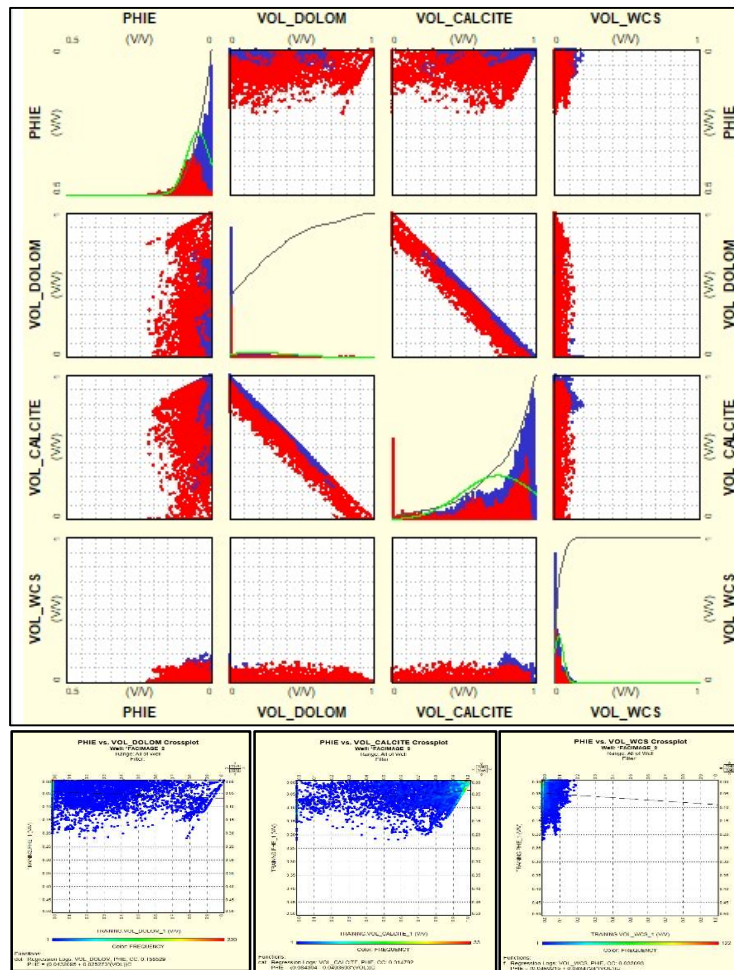
شکل ۲ چینه‌شناسی توالی کرتاسه در ناحیه زاگرس و مناطق مجاور (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱)

Figure 2 Generalized chronostratigraphy of the Cretaceous successions in the Zagros region and nearby regions (after Sharland et al., 2001).

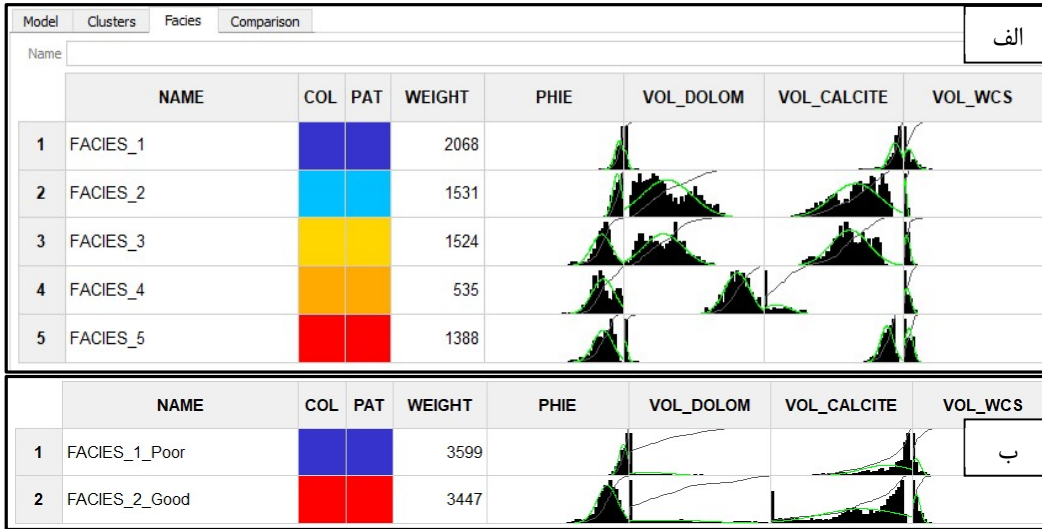
۲ مواد و روش‌ها

در این مطالعه، به منظور مدل‌سازی رخساره‌ای از داده‌های سطوح عمقی تفسیر شده، داده‌های مکعب لرزه‌ای، نگاره‌های پتروفیزیکی خام و تفسیر شده، داده‌های مربوط به ۲۰ چاه (مختصات سرچاهی، اعماق میز دوار از سطح آزاد دریا، داده‌های انحراف مسیر چاه‌ها)، داده‌های پتروفیزیکی، اعماق سرسازندها و سرزونها و غیره استفاده گردید. نخست، آنالیز رخساره الکتریکی با استفاده از روش خوشه‌سازی MRGC به منظور تعیین بخش‌های مخزنی و غیرمخزنی در نرم‌افزار ژئولاگ انجام گردید. رخساره‌های حاصل جهت استفاده در مدل‌سازی رخساره‌ای وارد نرم‌افزار پترل گردید. در این نرم‌افزار با ساخت رخساره لرزه‌ای و استفاده از الگوریتم‌های متعدد در مدل‌سازی رخساره‌ای تلاش گردید اثر انتخاب نوع الگوریتم بر روی مدل‌سازی رخساره‌های الکتریکی مورد بررسی قرار گیرد. در این مطالعه، رخساره‌های الکتریکی مخزن سروک در میدان مورد مطالعه با استفاده از ماژول Facimage نرم‌افزار ژئولاگ تعیین گردید. برای تعیین رخساره‌های الکتریکی داده‌های تفسیر شده شامل نگاره‌های تخلخل، حجم شیل، حجم کانی‌های دولومیت و کلسیت به عنوان داده‌های ورودی انتخاب گردید. در مرحله بعد، داده‌های ورودی پس از بررسی و مشاهده جداول متقاطع مربوطه آموزش داده شدند (شکل ۳). پس از آموزش داده‌ها با استفاده از روش خوشه‌بندی تفکیکی گرافیکی MRGC، تعداد خوشه‌های بهینه مشخص گردید. در این روش، حداقل تعداد رخساره‌ها بر اساس تعداد کانی‌های حاصل از تفسیر سنگ‌شناسی، دو رخساره (بخش‌های مخزنی و غیرمخزنی) و حداکثر تعداد آن ۲۰ رخساره انتخاب گردید تا تعداد مناسب خوشه‌ها توسط نرم‌افزار پیشنهاد گردد. بر این اساس، از بین خوشه‌های پیشنهادی، خوشه‌بندی با تعداد ۱۷ رخساره‌ای از بین خوشه‌بندی‌های متعدد پیشنهادی انتخاب و پس از ادغام دسته‌های مشابه، دو رخساره خوب مخزنی (مشمول بر سه رخساره) و رخساره ضعیف یا غیرمخزنی (مشمول بر دو رخساره) از همدیگر تفکیک گردیدند (شکل ۴). رخساره‌های ۱ و ۲

غیرمخزنی می‌باشند. رخساره ۱ عمدتاً از جنس آهکی بوده و از ادغام شش رخساره الکتریکی در خوشه‌بندی ۱۷ تایی حاصل شده‌است. این رخساره به دلیل تخلخل کمتر از حد برش (حدود ۲٪) رخساره غیرمخزنی محسوب می‌شود. رخساره ۲ از جنس آهک دولومیتی بوده و از ادغام سه رخساره در خوشه‌بندی ۱۷ رخساره‌ای حاصل گردید. این رخساره با میانگین تخلخل ۲٪ (کمتر از حد برش) فاقد کیفیت مخزنی می‌باشد و به دلیل داشتن دولومیت از رخساره ۱ قابل تفکیک می‌باشد. رخساره‌های ۳، ۴ و ۵ رخساره‌های مخزنی محسوب می‌شوند. رخساره ۳ از جنس آهک دولومیتی بوده و از ادغام چهار رخساره در خوشه‌بندی ۱۷ رخساره‌ای حاصل گردیده است. این رخساره با میانگین تخلخل ۸٪ کیفیت مخزنی بالایی دارد. رخساره ۴ عمدتاً دولومیتی می‌باشد و با میانگین تخلخل (۷٪) دارای کیفیت مخزنی نسبتاً خوبی است. رخساره ۵ عمدتاً آهکی بوده و با میانگین تخلخل (۷٪) دارای کیفیت مخزنی نسبتاً خوبی است. در شکل ۵ هیستوگرام جعبه‌ای تغییرات تخلخل در هر رخساره (خوشه‌بندی پنج رخساره‌ای و دو رخساره‌ای) و در شکل ۶ دو رخساره نهایی مخزنی و غیرمخزنی در یک پنجره چیدمانی^۱ در یکی از چاه‌های میدان به همراه داده‌های حجم کانی‌ها، و تخلخل نمایش داده شده‌است.

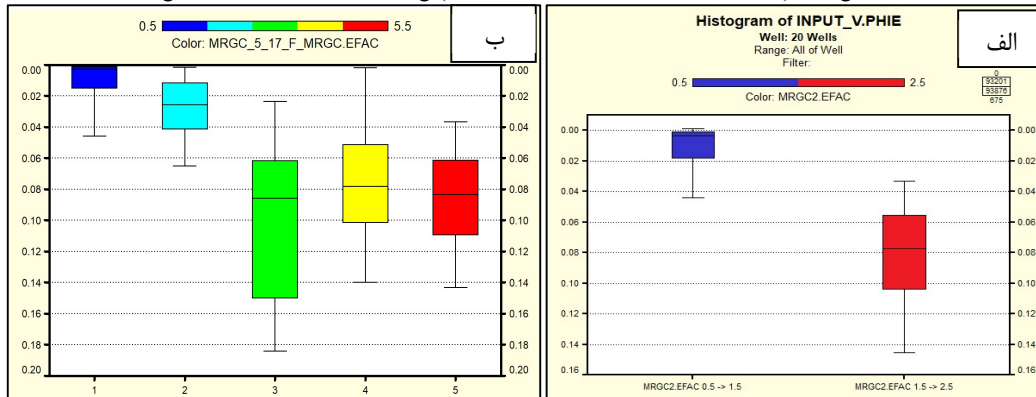


شکل ۳ نمودار متقاطع ماتریسی داده‌های ورودی با تفکیک دو رخساره و همبستگی داده‌های ورودی با تخلخل مفید
 Figure 3 Matrix plot showing the relationship between the input logs in different clusters and also between porosity and input logs

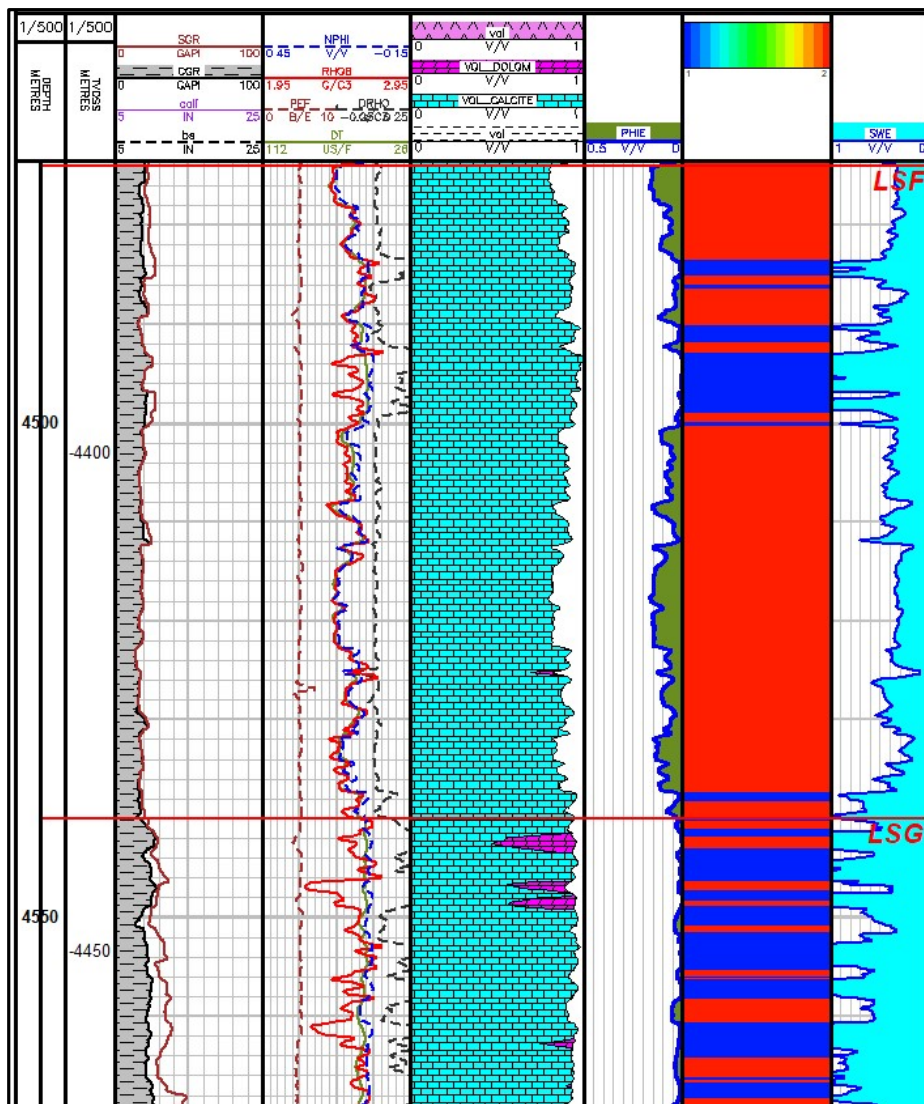


شکل ۴ هیستوگرام داده‌های ورودی (تخلخل مفید، حجم کانی‌های دولومیت و کلسیت و حجم شیل) در خوشه بندی پنج رخساره‌ای (الف) و دو رخساره‌ای (ب) تلفیقی بصورت رخساره‌های مخزنی و غیر مخزنی با روش MRGC

Figure 4. Histograms of input logs (effective porosity, and dolomite, calcite and shale volumes) in five facies clustering and two facies clustering (reservoir and non-reservoir facies) using MRGC method



شکل ۵ هیستوگرام جعبه‌ای تغییرات تخلخل در هر رخساره (خوشه‌بندی دو رخساره‌ای (الف) و پنج رخساره‌ای (ب))
 Figure 5. Box plots of porosity in each facies (five facies and two facies clusters)



شکل ۶ نمایش رخساره الکتریکی مخزنی (رنگ قرمز) و غیر مخزنی (رنگ آبی) به همراه نگارهای خام پتروفیزیکی، سنگ‌شناسی، تخلخل مفید و اشباع آب

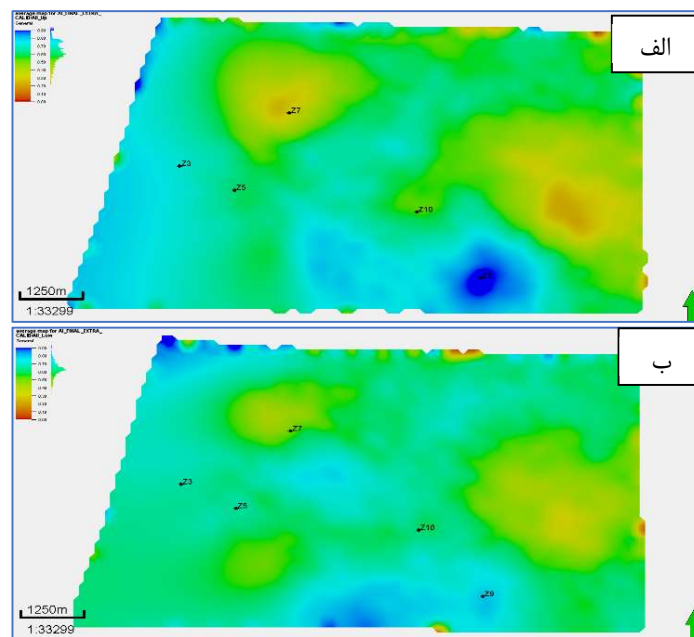
Figure 6. Plot showing the layout of electrofacies (reservoir facies (red color), non-reservoir (blue color)), with raw petrophysical logs, lithology, porosity, and water saturation

۲.۱ ساخت نقشه‌های روندی

پس از ساخت رخساره‌های الکتریکی، با توجه به وجود داده مکعب لرزه‌ای مقاومت صوتی، برای هر دو بخش فوقانی و تحتانی سازند سروک نقشه میانگین تهیه گردید. ساخت این نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار پترل انجام گردید. در این نرم افزار، براساس ضخامت میانگین هر کدام از رخساره‌ها در تمام چاه‌ها در هر دو بخش فوقانی و تحتانی سروک، نقشه مربوطه تهیه شد. از آنجا که این نقشه‌ها از جنس ضخامت بودند، نرمال (مابین صفر و یک) شدند پس از یکنواخت سازی^۱ به نقشه‌های روندی جهت مدل سازی رخساره‌ای تبدیل شدند. بخش‌های با میانگین مقاومت صوتی بالا موید بخش‌های غیرمخزنی و بخش‌های با مقادیر کمتر موید رخساره‌های با کیفیت مخزنی بالاتر می‌باشد (شکل ۷).

۲.۲ ساخت مدل ساختمانی

مدل سازی استاتیک مخزن شامل ایجاد مدل ساختمانی^۱ و مدل خواص مخزن^۲ و سپس انجام حجم سنجی و آنالیز عدم قطعیت و حساسیت سنجی می باشد. فرآیند مدل سازی ساختمانی شامل مراحل از قبیل مدل سازی گسلها، ساخت مدل گرید زمین-شناسی سه بعدی^۳، ساخت افقها^۴، ساخت زونها^۵ و نهایتاً لایه بندی^۶ است (مهدی پور و هاشمیان، ۱۳۹۳). مدل ساختمانی میدان مورد مطالعه با گرید بندی ۱۰۰*۱۰۰ متر ساخته شد و سپس مدل سازی افقها با استفاده از نقشه های سطوح عمقی انجام گرفت. پس از ساخت مدل ساختمانی، داده های رخساره الکتریکی به اندازه سلول های شبکه درشت مقیاس (میانگین گیری) شدند. داده های درشت مقیاس شده در سه جهت اصلی، فرعی و عمودی از دیدگاه زمین آماری تحلیل و سپس واریوگرافی انجام گردید. واریوگرام، تغییر پذیری داده ها را با افزایش فاصله نشان می دهد که یک محور آن تغییر پذیری واریانس و محور دیگر فاصله می باشد. واریوگرام از مقداری مخالف صفر شروع شده و به اندازه دامنه تاثیر^۷ افزایش می یابد و در نهایت به مقدار ثابتی به نام سقف^۸ می رسد.



شکل ۷ نقشه های روندی ساخته شده براساس مکعب مقاومت صوتی برای سروک بالایی (الف) و سروک پایینی (ب)
Figure 7. Trend maps based on acoustic impedance cube for Upper (A) and Lower Sarvak (B)

۲.۳ توزیع زمین آماری رخساره الکتریکی

مدل سازی رخساره ای یکی از اساسی ترین بخش های مدل سازی زمین شناسی جهت استفاده از عوامل زمین شناسی برای توزیع خواص مخزنی است که پس از ساخت مدل ساختمانی و پیش از مدل سازی خواص پتروفیزیکی انجام می گیرد (مهدی پور و همکاران، ۱۴۰۱). در صورت عدم وجود مطالعات رخساره ای، مدل سازی استاتیک بدون استفاده از آن و صرفاً براساس روش های

- 1 Structural modeling
- 2 property modeling
- 3 Gridding
- 4 Make Horizon
- 5 Zonation
- 6 Layering
- 7 Range
- 8 Sill

مرسوم زمین‌آمار ادامه پیدا می‌کند. مدل‌سازی رخساره‌ها با استفاده از روش‌های زمین‌آمار قطعی^۱ و تصادفی انجام می‌گیرد. در روش قطعی فقط یک خروجی از مدل‌سازی حاصل می‌گردد، ولی در روش توزیع تصادفی ممکن است برحسب شرایط ده‌ها تحقق ایجاد گردد که باعث می‌شود مدل واقعی تر از ناهمگنی مخزن ایجاد می‌کند [۱۵]. روش‌های تصادفی شاخص ترتیبی بر مبنای توزیع آماری از میانگین و انحراف معیار حاصل تخمین حاصل از روش کریجینگ می‌باشد. در مدل‌سازی رخساره‌ای، داده‌های سنگ شناسی، گونه‌های سنگی به همراه داده‌های رخساره‌ای (از قبیل داده‌های میکروفاسیس، رخساره‌های لرزه‌ای، رخساره‌های الکتریکی و یا راک تایپ) داده‌های گسسته ورودی برای مدل‌سازی رخساره‌ای محسوب می‌شوند. داده‌های رخساره‌ای پیش از مدل‌سازی بر حسب فراوانی رخساره درشت‌نمایی شده و سپس در بخش آنالیز داده‌ها، واریوگرافی می‌شوند (ردوان، ۲۰۲۲). گاهی در درشت‌نمایی سایر داده‌های مخزنی از داده‌های رخساره‌ای جهت کنترل میانگین‌گیری استفاده می‌گردد. در روش شیء‌گرا اشکال رخساره‌های رسوبی وارد مدل می‌گردد. این نوع رخساره‌ها معمولاً به صورت نقشه وارد نرم افزار می‌گردند. استفاده از رخساره‌های شیء‌گرا برای توزیع ناهمگنی‌های بزرگ مقیاس^۲ و سدهای تراوایی^۳ مفید می‌باشد. در این مطالعه از روش‌های شبیه‌سازی تصادفی استفاده گردید. شایان ذکر است روش‌های شبیه‌سازی زیادی وجود دارد که می‌توان به شبیه‌سازی شاخص ترتیبی (SIS) و شبیه‌سازی گوسین منقطع (TGS) اشاره کرد که از واریوگرام برای مدل‌سازی استفاده می‌کند. به‌طور کلی، روش مرسوم جهت مدل‌سازی سه‌بعدی رخساره‌ای مخزن استفاده از روش شبیه‌سازی شاخص ترتیبی (SIS) می‌باشد.

روش شبیه‌سازی گوسین منقطع (TGS) برای مدل‌سازی داده‌های گسسته شبیه رخساره مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش با استفاده از کریجینگ شاخص^۴ یک تابع چگالی تجمعی گسسته برای دسته‌های منفرد بدست می‌آید و بعد از ساخت تابع چگالی تجمعی از احتمالات، رخساره‌ها بطور تصادفی از تابع چگالی تجمعی انتخاب می‌گردند (دویچ، ۲۰۰۲). اجزای اصلی روش مدل‌سازی مقاطع TGS شامل نسبت رخساره‌ها و توزیع فضایی و روابط آنهاست. این روش رخساره‌های مرتب شده مجدداً سازمان‌دهی می‌شوند و سپس کدهای رخساره‌ای با آستانه‌گذاری یک تابع تصادفی زنگوله‌ای^۵ به دست می‌آیند. کل دامنه تغییرات GRF به فواصل مشخص تقسیم و هر فاصله به کد خاصی تخصیص داده می‌شود. مرزهای فاصله (یا آستانه GRF) به گونه‌ای محاسبه می‌شود که با نسبت‌های کدهای رخساره‌ای مختلف مطابقت داشته باشد. در نهایت خصوصیات فضایی GRF مربوط به شاخص‌های رخساره‌ای با واریوگرام‌های تجربی توصیف می‌شوند (بیکر و رنالد، ۲۰۱۶).

روش زمین‌آماري چند نقطه‌ای در شبیه‌سازی مخازن پیچیده نفتی کاربرد دارد. این تکنیک محاسن الگوریتم‌های بر پایه واریوگرام، بر پایه شیء و بر پایه موضوع را دارد. این روش در سال ۱۹۹۳ توسط گواردیانو و سری واستاوا برای مدل‌سازی ناهمگنی‌های پیچیده زمین‌شناسی با قدرت تفکیک بالا در مخازن نفتی مطرح گردید. در روش زمین‌آماري چند نقطه‌ای، مخازن با استفاده از الگوهای استخراج شده از یک تصویر آموزشی و شرطی شده با داده‌های چاه، شبیه‌سازی می‌شوند (مریتوز و کارز، ۲۰۱۵). اساس این روش بر مبنای ابزاری به نام تصویر آموزشی است که نمایشی عددی از الگوها و ساختارهایی است که انتظار می‌رود در مخزن مورد نظر که باید شبیه‌سازی شود، وجود دارد.

۳ بحث:

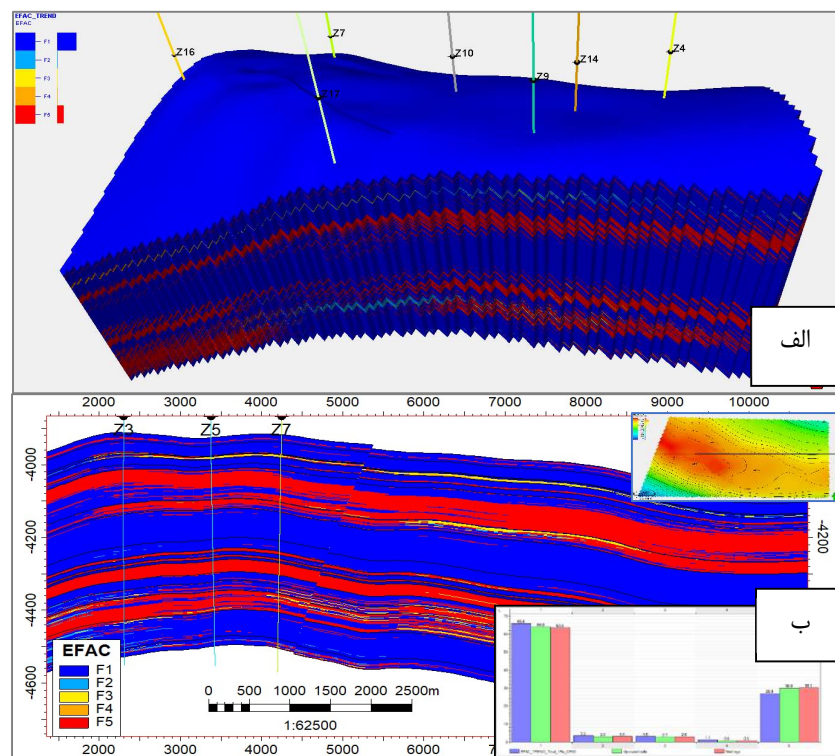
به منظور بررسی نقش الگوریتم‌های مختلف در ساخت مدل‌های رخساره‌ای چندین سناریوی مختلف برای توزیع رخساره‌ها در نظر گرفته شد که به شرح زیر می‌باشد.

۳.۱ سناریوهای توزیع رخساره‌ای

الف) مدل‌سازی رخساره‌ای با استفاده از الگوریتم SIS

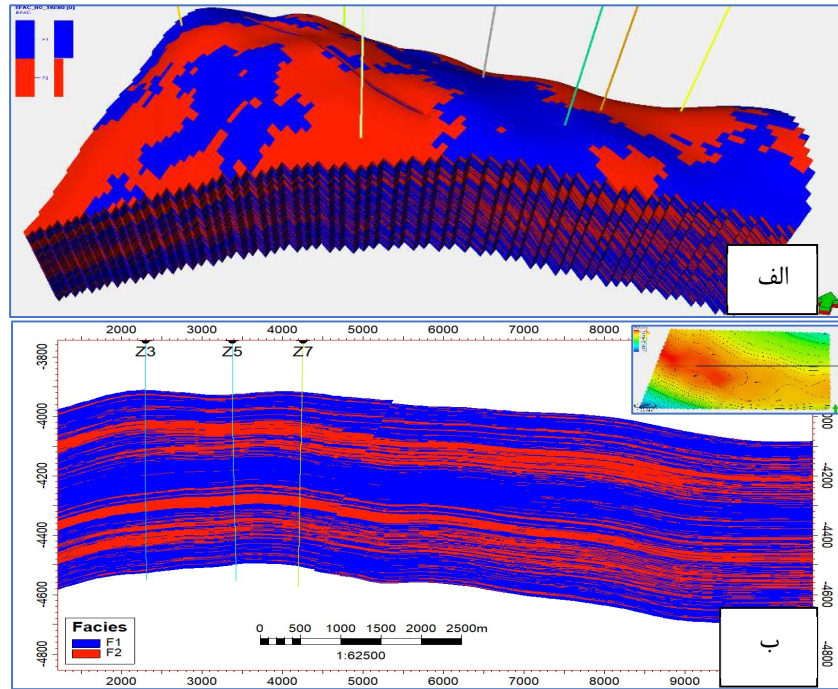
1 Deterministic
2 large scale heterogeneity
3 Barriers
4 Indicator kriging
5 Gaussian random function

در این سناریو، پس از ساخت مدل ساختمانی، نخست داده‌های رخساره الکتریکی پنج رخساره‌ای نخست با روش حداکثر تعداد تکرار شدگی^۱، درشت‌نمایی گردید و سپس مورد تحلیل زمین‌آماري و آنالیز واریوگرافی قرار گرفت. برای ساخت مدل رخساره‌ای در این سناریو از روش SIS که یک روش معمول می‌باشد، استفاده گردید (شکل ۸). به منظور بررسی اثر روندهای لرزه‌ای در توزیع رخساره‌ها، نقشه‌های روندی ساخته شده براساس داده‌های مقاومت صوتی مورد استفاده قرار گرفت. رخساره‌های با تخلخل خوب با مقدار مقاومت صوتی پایین و رخساره‌های ضعیف دارای تخلخل کمتر با مقاومت صوتی بالا تطابق دارند. بنابراین برای هر کدام از زون‌های مخزنی نقشه روندی براساس تغییرات مقاومت صوتی تهیه گردید. این روندها برای توزیع هر کدام از رخساره‌ها بصورت سه‌بعدی مورد استفاده قرار گرفت. همه کدهای رخساره‌ای بصورت جداگانه مورد آنالیز واریوگرافی قرار گرفت تا بتوان با آنالیز واریوگرافی تخلخل مربوطه امکان تبعیت توزیع تخلخل از رخساره‌های الکتریکی فراهم کرد. شایان ذکر است، استفاده از نقشه‌های روندی تغییرات مقاومت صوتی منجر به توزیع صحیح رخساره‌های الکتریکی و آن هم به نوبه خود منجر به توزیع بهتر تخلخل می‌گردد. به منظور سهولت مقایسه مدل‌سازی سه‌بعدی با استفاده از الگوریتم‌های مختلف، مدل رخساره‌ای بعدی با در نظر گرفتن دو رخساره کلی مخزنی و غیرمخزنی و در دو حالت استفاده از نقشه‌های روندی لرزه‌ای (شکل ۹) و بدون استفاده از آنها (شکل ۱۰) ساخته شد. علاوه بر وجود هیستوگرام مشابه در تحقق‌های مختلف، از تعداد ۳۰ تحقق ساخته شده میانگین‌گیری انجام گرفت.

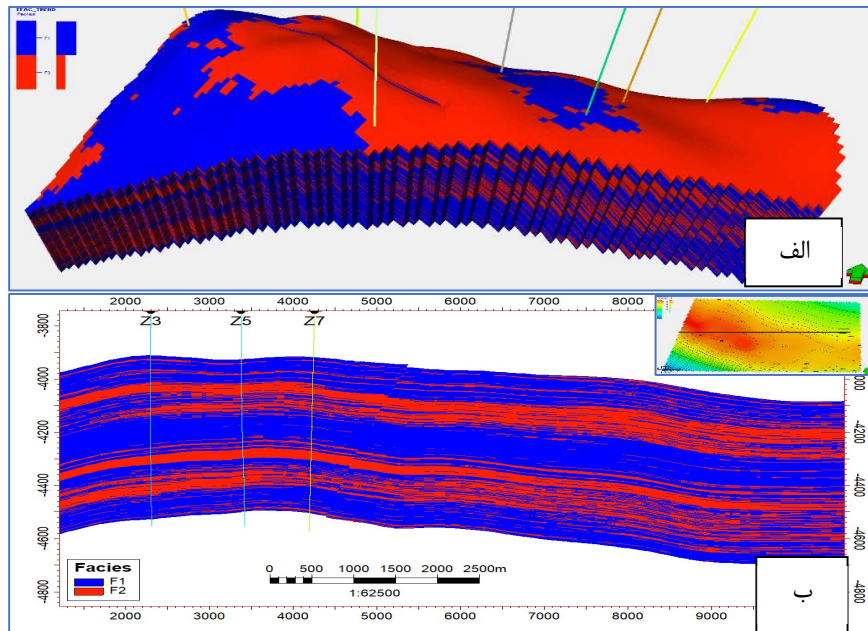


شکل ۸: نمایش مدل رخساره‌ای ساخته شده از رخساره الکتریکی (پنج رخساره‌ای) با استفاده از روش SIS و استفاده از روندهای لرزه‌ای به صورت سه‌بعدی (الف) و مقطع عرضی برشی در جهت شرق و غرب میدان (ب)

Figure 8. 3D view of electrofacies model (five facies) using SIS algorithm and seismic trend maps (A), cross section in east-west direction of the field (B)



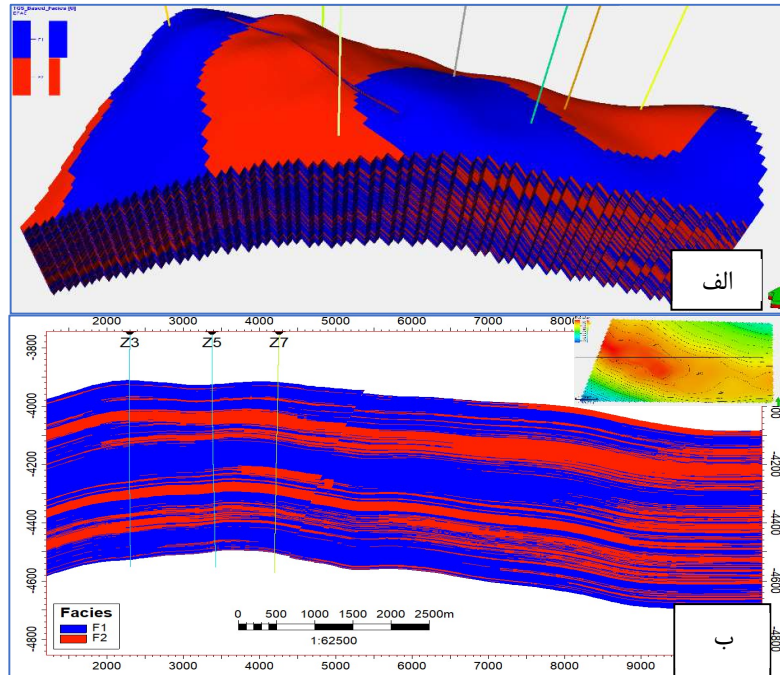
شکل ۹: نمایش مدل رخساره‌ای ساخته شده از رخساره الکتریکی (F1 رخساره غیرمخزنی و F2 رخساره مخزنی) با استفاده از روش SIS و بدون استفاده از روندهای لرزه‌ای به صورت سه‌بعدی (الف) و مقطع عرضی برشی در جهت شرق و غرب میدان (ب)
 Figure 9. 3D view of electrofacies model (F1: non-reservoir facies and F2: reservoir facies) using SIS algorithm without considering the seismic trend maps (A), cross section in east-west direction of the field (B)



شکل ۱۰: نمایش مدل رخساره‌ای ساخته شده از رخساره الکتریکی (F1 رخساره غیرمخزنی و F2 رخساره مخزنی) با استفاده از روش SIS و نقشه‌های لرزه‌ای به صورت سه‌بعدی و مقطع عرضی برشی در جهت شرق و غرب میدان
 Figure 10. 3D view of electrofacies model (F1: non-reservoir facies and F2: reservoir facies) using SIS algorithm and seismic trend maps (A), cross section in east-west direction of the field (B)

ج) مدل‌سازی رخساره‌ای با استفاده از الگوریتم TGS و استفاده از نقشه‌های روندهای لرزه‌ای

در این سناریو پس از درشت‌نمایی داده‌های رخساره‌ای و آنالیز وارپیوگرافی جهت مدل‌سازی رخساره‌ای از روش TGS استفاده گردید. این الگوریتم مستلزم استفاده از نقشه‌های روندی در کنار داده‌های نگار رخساره الکتریکی در محل چاه می‌باشد. برای هر زون از نقشه میانگین داده لرزه‌ای مقاومت صوتی که نرمال شده بود، استفاده گردید. در این روش تعداد ۳۰ تحقق ساخته شد و سپس از آنها میانگین‌گیری انجام گرفت (شکل ۱۱)



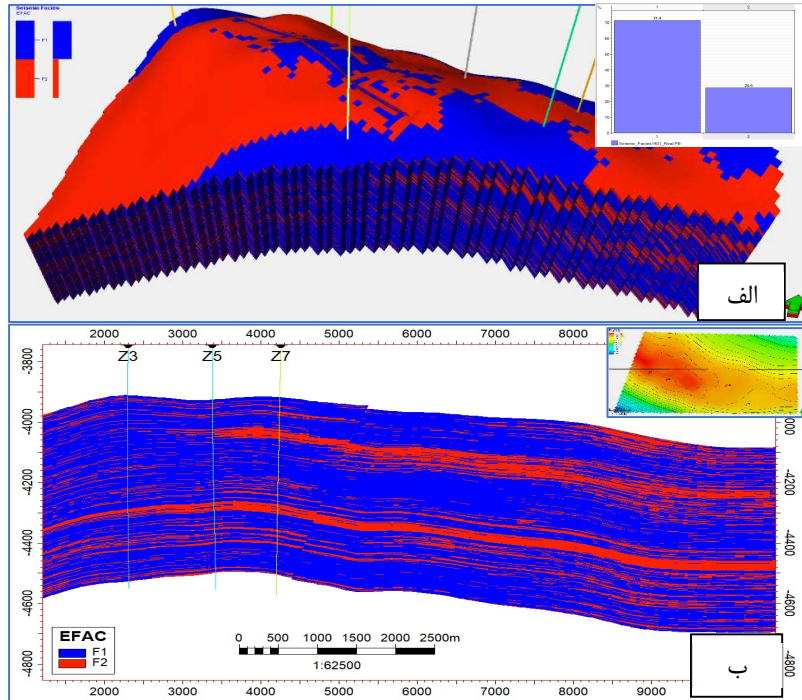
شکل ۱۱: نمایش مدل رخساره‌ای ساخته شده از رخساره الکتریکی (F1 رخساره غیرمخزنی و F2 رخساره مخزنی) با استفاده از روش

TGS و نقشه‌های روندهای لرزه‌ای به صورت سه‌بعدی (الف) و مقطع عرضی برشی در جهت شرق و غرب میدان (ب)

Figure 11. 3D view of electrofacies model (F1: non-reservoir facies and F2: reservoir facies) using TGS algorithm and seismic trend maps (A), cross section in east-west direction of the field (B)

د) مدل‌سازی رخساره‌ای لرزه‌ای

در این روش، به منظور ساخت رخساره لرزه‌ای، رخساره‌های الکتریکی مخزنی و غیرمخزنی همراه با داده مکعب لرزه‌ای مقاومت صوتی با استفاده از نرم‌افزار پترل و بهره‌گیری از شبکه عصبی آن مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱۲). در ساخت رخساره لرزه‌ای، اعم از زمانی یا عمقی با استفاده از یک یا چند نشان‌گر لرزه‌ای می‌توان نمونه‌های ردلرزه‌ها را در گروه‌های مشابه طبقه‌بندی کرد. در نتیجه این طبقه‌بندی رخساره‌های لرزه‌ای و تغییرات جانبی رخساره‌ها در بازتاب‌ها آشکار می‌شوند. در ساخت رخساره لرزه‌ای که با استفاده از شبکه عصبی نرم‌افزار پترل انجام گرفت، تلاش گردید از نشان‌گری استفاده شود که با همدیگر همبستگی کمتر و با رخساره سنگی (رخساره مخزنی و غیرمخزنی) در محل چاه‌ها ارتباط بالایی داشته باشد. از این رو داده مکعب مقاومت صوتی جهت ساخت رخساره لرزه‌ای با نظارت نگار رخساره الکتریکی دو خوشه‌ای (رخساره مخزنی و غیرمخزنی) مورد استفاده قرار گرفت.

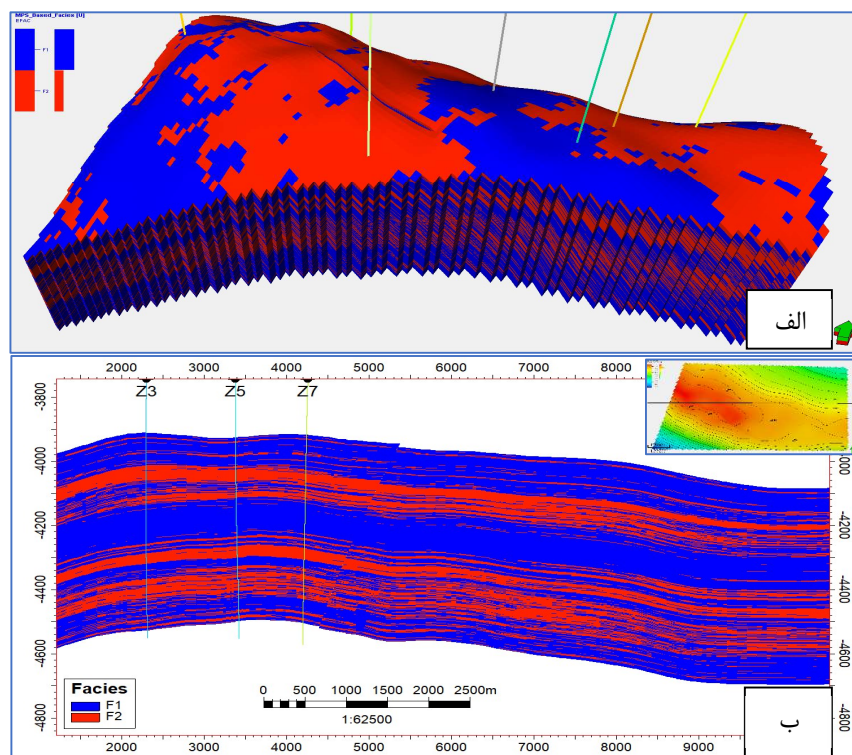


شکل ۱۲: نمایش مدل رخساره لرزه‌ای ساخته شده با استفاده از داده نگار رخساره الکتریکی (F1 رخساره غیرمخزنی و F2 رخساره مخزنی) و مقاومت صوتی و نقشه‌های روندهای لرزه‌ای به صورت سه‌بعدی (الف) و مقطع عرضی برشی در جهت شرق و غرب میدان (ب)

Figure 12. 3D view of seismic facies model (F1: non-reservoir facies and F2: reservoir facies) using electrofacies, acoustic impedance and seismic trend maps (A), cross section in east-west direction of the field (B)

ه) مدل‌سازی رخساره‌ای با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی چند نقطه‌ای (MPS) و استفاده از رخساره لرزه‌ای به عنوان تصویر آموزشی

در این سناریو از مدل رخساره لرزه‌ای ساخته شده به عنوان مدل تصویری الگو جهت مدل‌سازی رخساره‌ای با روش MPS استفاده گردید (شکل ۱۳). لازم به ذکر است روش‌های مبتنی بر MPS مستلزم داشتن الگوی تصویر آموزشی می‌باشند. این روش با لحاظ کردن الگوریتم‌های چند نقطه‌ای به جای الگوریتم‌های دو نقطه‌ای مرسوم در واریوگرام، می‌تواند الگوهای فضایی با هندسه پیچیده را از طریق به کارگیری تصویر آموزشی توزیع کند. تصویر آموزشی، شامل الگوهای کلی است که توسط زمین‌شناسان به عنوان الگوهای مفهومی موجود زیر سطحی از طریق روش‌های بر پایه شیء به دست می‌آید. از آنجا که در مخزن کربناته سروک در میدان مورد مطالعه، تشخیص ساختارهای کربناته با استفاده از مطالعه لرزه‌ای امکان پذیر نبود، از مدل رخساره لرزه‌ای به عنوان تصویر آموزشی استفاده گردید.



شکل ۱۳: نمایش مدل رخساره‌ای ساخته شده با استفاده از روش MPS و داده نگار رخساره الکتریکی (F1 رخساره غیر مخزنی و F2 رخساره مخزنی) و مقاومت صوتی به صورت سه‌بعدی (الف) و مقطع عرضی برشی در جهت شرق و غرب میدان (ب)
 Figure 13. 3D view of facies model (F1: non-reservoir facies and F2: reservoir facies) using MPS algorithm, and acoustic impedance (A), cross section in east-west direction of the field (B)

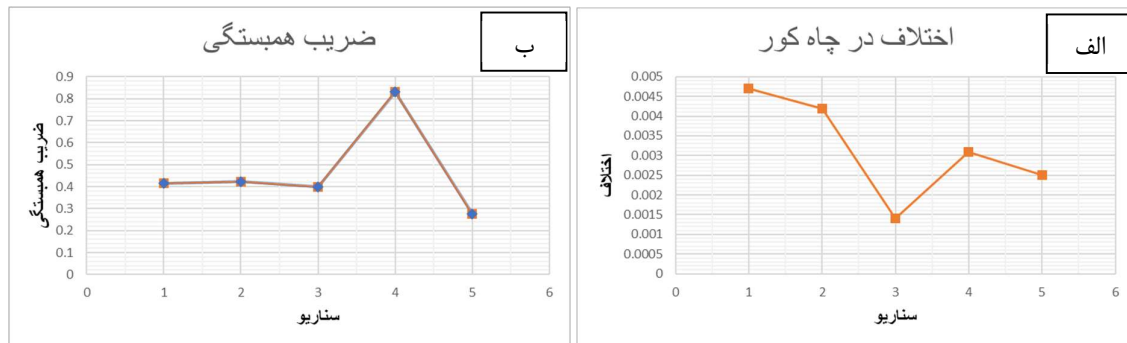
۳.۲ مقایسه مدل‌های رخساره‌ای

به منظور بررسی میزان تاثیر الگوریتم به کار گرفته شده در مدل‌سازی رخساره‌ای بر روی مدل تخلخل، پس از ساخت پنج نوع مدل رخساره‌ای، از آنها در توزیع تخلخل استفاده گردید. لینک رخساره‌های لرزه‌ای و الکتریکی به تخلخل با استفاده از آنالیز واریوگرافی صورت گرفت. جهت مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی تخلخل با لینک به انواع مختلف مدل‌های رخساره‌ای از دو روش مختلف استفاده گردید. در روش اول یکی از چاه‌های میدان به عنوان چاه تست کور در نظر گرفته شد. به طوریکه در مدل‌سازی تخلخل کنار گذاشته شد. سپس مدل تخلخل بدون استفاده از این چاه ساخته شد. پس از اتمام ساخت مدل‌های تخلخل مختلف که به انواع رخساره‌ها لینک شده بودند از تخلخل توزیع شده در محل این چاه نگار تخلخل مصنوعی ساخته شد و با داده تخلخل واقعی مورد مقایسه قرار گرفت. در روش دوم پس از اتمام ساخت انواع مدل‌های تخلخل لینک شده به انواع رخساره‌ها میانگین مدل تخلخل محاسبه شده با میانگین تخلخل داده‌های اولیه مورد مقایسه قرار گرفت. هر روشی که میزان اختلاف کمتری داشته باشد روش مناسب می‌تواند باشد. روش TGS کمترین اختلاف مابین داده‌های اصلی و داده‌های مدل شده و روش SIS (بدون استفاده از نقشه‌های روندی لرزه‌ای) بیشترین مقدار اختلاف را دارد. روش استفاده از رخساره لرزه‌ای در توزیع تخلخل به دلیل ارتباط بالای داده‌های مقاومت صوتی با تغییرات تخلخل بیشترین همبستگی را در محل چاه کور و رخساره ساخته شده بر پایه MPS کمترین همبستگی را دارد (جدول ۱ و شکل ۱۴). لازم به ذکر است روش SIS علاوه بر توزیع بهتر دارای هیستوگرام مشابهی مابین داده‌های اولیه و داده‌های تخمینی می‌باشد. با این حال همان‌طوریکه در جدول ۱ مشهود است، استفاده از نقشه‌های روندی تهیه شده براساس داده‌های لرزه‌ای باعث افزایش دقت مدل‌های رخساره‌ای می‌شود.

جدول ۱ مقادیر همبستگی تخلخل در محل چاه کور و اختلاف مقادیر تخلخل نگار پتروفیزیکی با تخلخل تخمینی با استفاده از الگوریتم-های مختلف

Table 1 Correlation coefficient and difference between petrophysical porosity and simulated porosity using various algorithms in blind test well

شماره	حالت	اختلاف مابین داده‌های نگار و داده‌های مدل	ضریب همبستگی
۱	شبیه‌سازی شاخص ترتیبی (SIS) رخساره‌های الکتریکی بدون استفاده از نقشه‌های روندی	۰/۰۰۴۷	۰/۴۱۵
۲	شبیه‌سازی شاخص ترتیبی (SIS) الکتریکی با استفاده از نقشه‌های روندی	۰/۰۰۴۲	۰/۴۲۳
۳	شبیه‌سازی گوسین منقطع (TGS)	۰/۰۰۱۴	۰/۴
۴	استفاده از رخساره لرزه‌ای	۰/۰۰۳۱	۰/۸۳
۵	شبیه‌سازی چند نقطه‌ای (MPS)	۰/۰۰۲۵	۰/۲۷۶



شکل ۱۴ اختلاف مقادیر تخلخل نگار پتروفیزیکی با تخلخل تخمینی (الف) و مقادیر همبستگی تخلخل در محل چاه کور (ب) با استفاده از الگوریتم‌های مختلف (سناریو ۱: استفاده از روش SIS بدون در نظر گرفتن نقشه روندی، سناریو ۲: استفاده از روش SIS با در نظر گرفتن نقشه روندی، سناریو ۳: استفاده از روش TGS، سناریو ۴: استفاده از رخساره لرزه‌ای و سناریو ۵: استفاده از روش MPS) Figure 14 Correlation coefficient and difference between petrophysical log porosity and simulated porosity using various algorithms (scenario-1: using SIS algorithm without applying trend maps, scenario 2: using SIS algorithm and applying trend maps, scenario 3: using TGS algorithm, scenario 4: using seismic facies method and scenario 5: using MPS algorithm)

۴ نتیجه‌گیری

براساس این مطالعه توزیع داده‌های رخساره الکتریکی بدون استفاده از داده‌های لرزه‌ای باعث افزایش عدم قطعیت می‌شود. بنابراین، استفاده از نقشه‌های روندی تهیه شده براساس داده‌های لرزه‌ای باعث افزایش دقت مدل‌های رخساره‌ای می‌شود. روش TGS کمترین اختلاف مابین داده‌های اصلی و داده‌های مدل شده تخلخل و روش SIS (بدون استفاده از نقشه‌های روندی لرزه‌ای) بیشترین مقدار اختلاف را دارد. روش استفاده از رخساره لرزه‌ای در توزیع تخلخل به دلیل ارتباط بالای داده‌های مقاومت صوتی با تغییرات تخلخل بیشترین همبستگی را در محل چاه کور دارد. رخساره ساخته شده بر پایه MPS کمترین همبستگی را در محل چاه کور دارد.

بدینوسیله از شرکت مهندسی و توسعه سروک آذر و سرکار خانم دکتر زهرا صادق طبقی به دلیل همکاری در تهیه این مقاله تقدیر و قدردانی می‌شود.

References:

- Afshar Harb, A. (2003) Petroleum Geology Books. Publications PNU, Iran. (In Persian)
- Aghanabati, A. (2006) Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, 586. (In Persian)
- Beucher, H., Renard, D. (2016), Truncated Gaussian and derived methods. *Comptes Rendus Geoscience*, 348(7), 510-519. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2015.10.004>
- Casini, G., Gillespie, P. A., Verges, A., Romaine, I., Fernandez, N., Casciello, E., Saura, E., Mehl, C., Homke, S., Embry, J. C., Aghajari, L., And Hunt, D. W., (2011), Sub-seismic fractures in foreland fold and thrust belts: insight from the Lurestan Province, Zagros Mountains, Iran. *Petroleum Geoscience*. 17: 263–282. <https://doi.org/10.1144/1354-079310-043>
- Deutsch, C.V., (2002), *Geostatistical Reservoir Modeling*, Oxford Univrsity Press, 337 p.
- Evans Annan, B., Aidoo, A., Ejeh, C., Emmanuel, A., & Ocran, D. (2019). Mapping of porosity, permeability and thickness distribution: application of geostatistical modeling for the jubilee oilfield in Ghana. *Geosciences*, 9(2), 27-49. <https://doi.org/10.5923/j.geo.20190902.01>
- Ghojeh Beyglou, M. (2021). Geostatistical modeling of porosity and evaluating the local and global distribution. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 11(12), 4227-4241. <https://doi.org/10.1007/s13202-021-01308-w>
- Hosseini, K., Rezaee, P., & Kazem Shiroodi, S. (2020). Analysis of the electrofacies, flow units and assessment of the reservoir potential of the Mishrif Formation (Cenomanian-Turonian) in the Esfand oil field, Persian Gulf. *Applied Sedimentology*, 8(15), 46-64. (in Persian). <https://doi.org/10.22084/psj.2020.19710.1214>
- Kadkhodaie-Ilkhchi, R. and Kadkhodaie, A. and Rezaee, M.R. and Mehdipour, V. (2019), Unraveling the reservoir heterogeneity of the tight gas sandstones using the porosity conditioned facies modeling in the Whicher Range field, Perth Basin, Western Australia. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 176: pp. 97-115. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.01.020>
- Mariethoz, G., Caers, J. (2015), *Multiplepoint geostatistics*, John Wiley & Sons, Ltd, USA.
- Mehdipour, V., Hashemiyan, K.; 2014, "Comparison of static reservoir modeling using PETREL versus IRAP_RMS", NIOC Publication (Ekteshaf & Tolid), No. 121, May 2015, Pages: 42-38. (in Persian).
- Mehdipour, V., Rabbani, A., Kadkhodaie, A. (2022). Porosity Modeling Using Simultaneously Seismic Attribute and Electrofacies Data in Sarvak Reservoir of an Iranian Oil Field. *Journal of Petroleum Research*, 32(1401-4), 113-128. (in Persian) <https://doi.org/10.22078/pr.2022.4652.3089>
- Motiee, H., (1993). *Zagros Stratigraphy*. Iranian Geological Survey, Tehran, Iran. 536 p. (in Persian).
- Pyrzc M, Deutsch C (2014) *Geostatistical reservoir modeling*. Oxford University Press.
- Radwan, A. E. (2022), Three-dimensional gas property geological modeling and simulation. In *Sustainable Geoscience for Natural Gas Subsurface Systems* (pp. 29-49). Gulf Professional Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85465-8.00011-X>
- Selley, R.C., (1994), *Ancient Sedimentary Environment*. 4ed., Champman & Hall, London, 300 P.
- Serra, O. & Abbot, H. (1982), The contribution of logging data to sedimentology and stratigraphy. *SPE. 55th Annual Fall Technical Conference and Exhibition*, Dallas, Texas, p. 117-131. <https://doi.org/10.2118/9270-PA>
- Sfidari, E., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., & Najjari, S. (2012). Comparison of intelligent and statistical clustering approaches to predicting total organic carbon using intelligent systems. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 86, 190-205. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2012.03.024>
- Sharland, P. R., Archer, R., Casey, D. M., Davies, R. B., Hall, S. H., Heward, A. P., Simmons, M. D (2001), Sequence stratigraphy of the Arabian Plate. *GeoArabia*, 2, 371. <https://doi.org/10.2113/geoarabia0901199>

Validation of applying stochastic geostatistical algorithms in electrofacies modeling in Sarvak reservoir of an Iranian oilfield

V. Mehdipour¹, A. R. Rabbani^{*2}, A. Kadkhodae³, H. karkooti⁴ and M. Shourab⁵

1- Ph. D. student of Petroleum exploration engineering, Dept., of Petroleum Engineering, Amirkabir University of technology, Tehran, Iran

2- Prof., Dept., of Petroleum exploration engineering, Dept., of Petroleum Engineering, Amirkabir University of technology, Tehran, Iran

3- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Faculty of science, University of Tabriz, Tabriz, Iran

4, 5- Sarvak Azar Engineering and Development Company (SAED), Tehran, Iran

*rabbani@aut.ac.ir

Abstract

Constructing different facies models is necessary in reservoir static modeling to consider the effect of geology and sedimentology and also control the geostatistical distribution of petrophysical properties. In this study, electrofacies analysis has been done using MRGC (Multi-resolution graph-based clustering) method to be used in static modeling. Then, the resulting facies were modeled and compared together by applying different geostatistical stochastic algorithms in Petrel software. Based on electrofacies analysis, first five electrofacies (including two non-reservoir facies and three reservoir facies) were identified. In order to compare the effect of different facies distribution algorithms, three reservoir facies and two non-reservoir facies were combined and then two resulted facies were distributed as reservoir and non-reservoir facies in facies modeling. Seismic data was also applied for seismic facies construction and also to construct trend maps for appropriate facies distribution. In order to investigate the effect of five applied different geostatistical algorithms used in facies modeling on porosity distribution, the constructed facies models were used for porosity modeling. According to this study, the uncertainty of electrofacies modeling without applying seismic data increases which in turn reduces the accuracy of porosity models. In addition, electrofacies modeling via considering the sequential indicator simulation (SIS) algorithm and applying the seismic trend maps, enhance the accuracy of the porosity model. Moreover, this study showed, construction the seismic facies is the best method for facies modeling to be used for porosity modeling due to the high correlation coefficient between acoustic impedance and porosity.

Keywords: Sarvak reservoir, static model, electrofacies, seismic facies, geostatistical algorithm

Introduction

Facies modeling is an important stage of property modeling that uses the different types of facies for porosity distribution. In this study, seismic data and electrofacies analysis have been used for facies modeling, and then, used for porosity distribution. Different facies modeling scenarios were applied to consider the effect of geology and sedimentology in porosity propagation and also to control the geostatistical distribution of petrophysical properties in reservoir static modeling. Applying the facies model in reservoir modeling has been investigated by different researchers. Electrofacies which introduced by Serra and Abbott, can usually be assigned to one or more lithofacies as log responses are measurements of the physical properties of rocks. It can be used for porosity distribution while constructing the static model.

Geological settings

The studied oil field is located in the northern part of Dezful Embayment (a subdivision of the Zagros). Sarvak Formation is the main reservoir of this field which is considered a member of the Bangestan Group.

Methods

In this study, Geolog software (Facimage module) has been used for electrofacies analysis and Petrel software has been used for providing seismic attributes and also for porosity propagation across the field.

Discussion

Different algorithms such as MRGC, AHC and SOM are used for electrofacies analysis. Two electrofacies have been determined using MRGC method as poor and good facies. Some result logs such as effective porosity, dolomite, calcite, and shale volumes were selected as input data for electrofacies analysis. In the next step, after constructing the structural model, electrofacies and porosity logs have been scaled up. Then, data analysis were done to be used for geostatistical distribution. We tried to make five different facies models via using the SIS algorithm (with and without trend), TGS algorithm, MPS, and generating the seismic facies. According to this study, the uncertainty of electrofacies modeling without applying seismic data increases which in turn reduces the accuracy of porosity models. In addition, electrofacies modeling via considering the sequential indicator simulation (SIS) algorithm and applying the seismic trend maps, enhance the accuracy of the porosity model. Moreover, construction the of seismic facies is considered the best method for facies modeling to be used for porosity modeling due to the high correlation coefficient between acoustic impedance and porosity.

Conclusion

Applying the TGS algorithm causes the lowest difference between the petrophysical logs and simulated data while applying the SIS facies model (without trend maps) has the highest difference. The correlation coefficient between the porosity model (using the seismic facies) and real data in the blind test well is the highest while the porosity model (using the MPS facies) has the lowest. Construction the seismic facies is considered as the best method for facies modeling to be used for porosity modeling due to the high correlation coefficient between acoustic impedance and porosity.

Acknowledgment

We are thankful to SAED Company and also to Dr. Zahra Sadeghtabghi for cooperation in this study.