

# بررسی میزان تأثیر مدل سازی رخساره‌های الکتریکی و تلفیق داده‌های لرزه‌ای در کاهش عدم قطعیت شبیه‌سازی تخلخل در یکی از مخازن کربناته ایران

محمد علی رضایی<sup>۱</sup>، امید اصغری<sup>۱\*</sup>، محمد امامی نیری<sup>۲</sup>، رضا محبیان<sup>۱</sup>

۱- گروه اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران

۲- گروه نفت و گاز، دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۲۷

## چکیده

از آنجاکه خواص پتروفیزیکی همبستگی بالایی را با انواع مختلف رخساره‌ها نشان می‌دهند؛ رخساره‌ها اغلب اهمیت زیادی در مدل‌سازی‌های مخزنی دارند و توزیع رخساره‌ای در مدل سه‌بعدی می‌تواند بازه تغییرات تخلخل و تراوایی را محدود و آن را کنترل نماید. اما از نگاهی دیگر، مطالعه و مدل‌سازی مناسب رخساره‌ها زمان و هزینه قابل توجهی را در مطالعات مخزنی می‌طلبد و از طرف دیگر، با توجه به این که توزیع سه‌بعدی رخساره‌ها در بسیاری از مطالعات نتوانسته عدم قطعیت را به میزان قابل توجهی کاهش دهد، مدل‌سازی رخساره‌ای به‌خصوص در مخازن کربناته چندان مورد توجه نبوده است. در این پژوهش، پس از مدل‌سازی رخساره‌های الکتریکی در یک مخزن کربناته، به مقایسه شبیه‌سازی تخلخل با استفاده از توزیع سه‌بعدی رخساره‌های الکتریکی و بدون استفاده از آن پرداخته شد. از روش SIS برای شبیه‌سازی رخساره‌های الکتریکی و از روش SGS نیز جهت شبیه‌سازی تخلخل مخزن در این مطالعه استفاده شد. همچنین، برای بررسی میزان کاهش عدم قطعیت مدل به کمک داده‌های لرزه‌ای، از اکوستیک امپدانس به‌عنوان داده ثانویه در شبیه‌سازی تخلخل استفاده شد. علاوه بر آن، به کمک نشان‌گرهای لرزه‌ای و آنالیز شبکه عصبی، مکعب احتمالی رخساره‌های الکتریکی حاصل شد و به‌عنوان روند در شبیه‌سازی SIS وارد شدند. بررسی میزان خطا در چاه‌های کور نشان دادند که استفاده از روش‌های زمین آماری SIS و SGS در صورت وجود داده‌های کافی در یک مخزن کربناته مناسب بوده و با به‌کارگیری داده لرزه‌ای و توزیع رخساره‌های الکتریکی در شبیه‌سازی تخلخل، عدم قطعیت توانست به میزان قابل قبولی کاهش یابد و به‌طور میانگین ۸۷٪ مدل ساخته شده دارای صحت بود.

**کلمات کلیدی:** شبیه‌سازی رخساره‌ای، شبیه‌سازی تخلخل، SGS، SIS، تلفیق داده لرزه‌ای، شبکه عصبی

\*مسئول مکاتبات

آدرس الکترونیکی: o.asghari@ut.ac.ir  
شناسه دیجیتال: (DOI: 10.22078/pr.2020.4233.2920)

## مقدمه

نقش محوری مدل‌های سه‌بعدی مخزنی در صنعت و مهندسی نفت به‌طور چشم‌گیری در حال افزایش است [۲۱]. از این مدل‌ها در تعیین حجم هیدروکربن در جای مخزن، حفاری چاه‌های جدید، مدل‌سازی ژئومکانیکی، پیش‌بینی نرخ تولید و سایر برنامه‌های توسعه‌ای میدان استفاده می‌شود [۵-۱]. مدل‌سازی توزیع سه‌بعدی رخساره‌های مخزن از راه‌های دست‌یابی به مدل‌های مخزنی دقیق‌تر است. از آنجاکه رخساره‌ها ارتباط مستقیمی با نحوه توزیع خواص پتروفیزیکی مخزن دارند، مدل‌سازی توزیع سه‌بعدی آن‌ها در مخزن ضروری به نظر می‌رسد. در واقع، تغییرات خواص پتروفیزیکی مخزن (مانند تخلخل، تراوایی و...) در بین رخساره‌های مختلف، بسیار بیشتر از تغییرات آن‌ها در درون هر رخساره است و جریان سیال از ناهمگونی فضایی رخساره‌ها تأثیر زیادی می‌پذیرد. با این وجود در بسیاری موارد، رخساره‌ها به خوبی تعیین نشده و یا تعیین دقیق آن‌ها دشوار است و نیاز به مطالعات بیشتر و در نتیجه، هزینه بیشتری دارد [۳ و ۶]. افزایش صحت مدل‌های زمین‌شناسی و دست‌یابی به عدم قطعیت‌های بهتر با تلفیق داده‌های لرزه‌ای نیز امکان‌پذیر است. در دهه‌های اخیر، استفاده از داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی در روش‌های زمین‌آماری قدرتمندی چون کوکریجینگ یا روش‌های شبیه‌سازی توأم، دست‌یابی به مدل‌هایی با قطعیت بالا را امکان‌پذیر نموده است. با این حال، استفاده از داده‌های لرزه‌ای نیز همواره با چالش‌های زیادی همراه است. کیفیت پایین در رسوبات تبخیری و در اعماق زیاد، متفاوت بودن مقیاس، تفکیک‌پذیری<sup>۱</sup> و عدم تطابق آن‌ها با داده‌های چاه از جمله این چالش‌ها است [۷-۱۱]. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های یکی از مخازن کربناته جنوب غرب ایران، توزیع سه‌بعدی تخلخل به کمک شبیه‌سازی گوسی پی‌درپی<sup>۲</sup> (SGS) انجام شده است. این کار بار دیگر به کمک داده‌های

لرزه‌ای و شبیه‌سازی توأم انجام شد. در مرحله بعد پس از توزیع رخساره‌های الکتریکی به کمک شبیه‌سازی شاخص پی‌درپی<sup>۳</sup> (SIS)، شبیه‌سازی تخلخل در درون هر واحد سنگی انجام شده است. برای شبیه‌سازی رخساره‌های الکتریکی علاوه بر نگاره‌های چاه از مکعب‌های احتمال رخساره‌ای به‌عنوان روند استفاده گردید. این روندها حاصل از آنالیز شبکه عصبی هستند که در آن از نشان‌گرهای لرزه‌ای به‌عنوان داده‌های ورودی و از نگاره‌های رخساره‌های الکتریکی جهت آموزش شبکه استفاده شده است. در انتها نیز شبیه‌سازی توأم تخلخل به کمک امپدانس لرزه‌ای در درون هر واحد سنگی انجام شد. در تمامی مراحل میزان خطا در چاه‌های کور<sup>۴</sup> محاسبه شد و در آخر، این مقادیر با یکدیگر مقایسه شده‌اند تا مشخص شود استفاده از توزیع سه‌بعدی رخساره‌های الکتریکی یا تلفیق داده‌های لرزه‌ای در مدل چه میزان قادر به کاهش عدم قطعیت توزیع تخلخل در یک مخزن کربناته است. شکل ۱ روندنمایی از روش‌های مختلف توزیع تخلخل را نشان می‌دهد.

## زمین‌شناسی سازند مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه در دشت آبادان و در شمال غرب فروافتادگی دزفول قرار دارد و از مهم‌ترین میدانی نفتی جنوب غرب ایران محسوب می‌شود. در این میدان، ذخیره قابل توجهی در سازند آسماری وجود ندارد اما در گروه خامی و بنگستان ستون هیدروکربنی خوبی مشاهده می‌شود. یکی از مهم‌ترین افق‌های مخزنی در این میدان، سازند سروک است. این سازند به سن آلبین تا تورونین، واحد چینه‌ای کربناته ضخیمی است که در جهت خلیج فارس به رسوبات شیلی کم انرژی تغییر می‌یابد و در دامنه جنوبی کوه بنگستان در استان خوزستان واقع شده است [۱۲].

1. Resolution

2. Sequential Gaussian Simulation

3. Sequential Indicator Simulation

4. Blind Wells



شکل ۱ روندنمایی از مراحل کار های انجام شده

سبب خارج شدن آن از آب و نبود رسوب‌گذاری در بخش‌هایی از حوضه رسوبی زاگرس و از جمله در میدان مورد نظر شده است به طوری که گسترش‌های کانالی در این ناحیه گزارش شده است [۱۳ و ۱۴]. اهمیت بخش بالایی سازند به‌عنوان مهم‌ترین بخش مخزنی و همچنین، تشخیص نهشته‌های کانالی در این سازند، سبب شد که پژوهش حاضر بر روی این بخش از سازند متمرکز گردد.

از آنجاکه سازند سروک یکی از مهم‌ترین افق‌های مخزنی در بسیاری از میداین هیدروکربنی غرب و جنوب غرب کشورمان محسوب می‌شود، همواره مورد توجه زمین‌شناسان و شرکت‌های نفتی قرار داشته است [۱۳]. در منطقه مورد مطالعه، این سازند با ضخامتی بالغ بر ۶۰۰ m، متشکل از توالی ضخیمی از سنگ آهک و میان لایه‌هایی از سنگ آهک رسی بوده و در نتیجه، تغییرات سنگ‌شناسی قابل توجهی در آن مشاهده نمی‌شود. بالاآمدگی و فرسایش پلتفرم کربناته سازند در اواخر سنومانین

## روش مطالعه

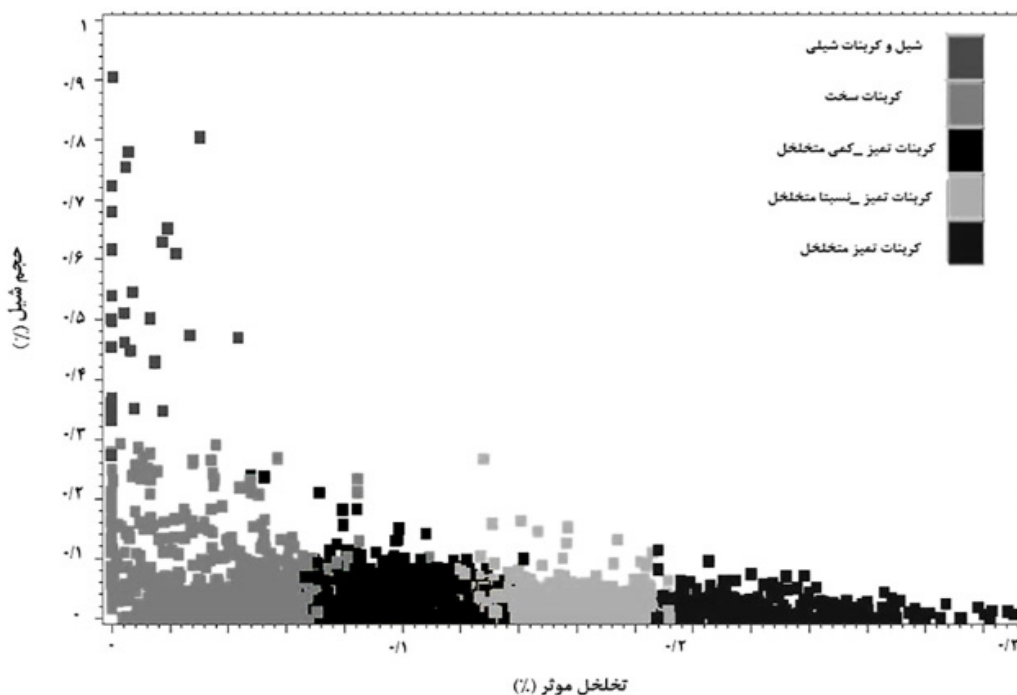
به کمک اطلاعات زمین‌شناسی و داده‌های لزره‌ای مدل‌سازی ساختاری مخزن به همراه خصوصیات زمین‌شناسی از جمله خصوصیات تکتونیکی و گسل خوردگی‌ها را انجام داد [۱۵]. در وهله اول، گسل‌های تفسیر شده از داده‌های لزره‌ای باید وارد شوند. در این پژوهش با توجه به این که گسل‌های مهمی در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد، از وارد کردن گسل‌ها در مدل ساختاری صرف نظر شد. بنابراین، ساخت مدل ساختاری با ساخت شبکه سه‌بعدی آغاز شد.

شبکه چینه‌ای سه‌بعدی، شبکه‌ای متشکل از سلول‌های شش وجهی است که برای سازگاری با وضعیت چینه‌شناسی مخزن در امتداد لایه‌ها ردیف شده‌اند. در صورت عدم وجود گسل در مخزن، ساخت شبکه چینه‌ای با درون یابی مابین لایه‌های بالایی و پایینی انجام می‌گیرد [۱۶]. ابعاد، راستا و شکل هر یک از سلول‌ها علاوه بر گسل‌ها، بستگی به ابعاد و بزرگی مخزن و میزان داده‌های موجود دارد.

نگارهای تخلخل و رخساره‌های الکتریکی<sup>۱</sup> مربوط به ۴۰ چاه از میدان مورد مطالعه، مکعب سه‌بعدی داده‌های لزره‌ای و اکوستیک امپدانس حاصل از وارون‌سازی پس از برانبارش در حوزه عمق، داده‌های ورودی این مطالعه هستند. نگارهای رخساره‌ای شامل پنج کد از الکتروفاسیس‌های مختلف هستند. کد صفر مربوط به شیل و کربنات شیلی است. میزان حجم شیل در این کد بیش از ۳۰٪ است. سایر کدها حجم شیلی کمتر از ۳۰٪ داشته و با توجه به میزان تخلخل به چهار دسته کربنات ۱- سخت ۲- تمیز و کمی متخلخل ۳- نسبتاً متخلخل و ۴- تمیز متخلخل تقسیم‌بندی شده‌اند (شکل ۲). همچنین، ۱۰ چاه از قسمت‌های مختلف میدان به‌عنوان چاه کور انتخاب شدند که موقعیت آن‌ها در شکل ۳ و در میان چاه‌های اصلی نشان داده شده است.

## ساخت چهارچوب ساختاری مخزن و شبکه‌بندی آن

نقطه شروع مدل‌سازی مخزن به‌طور معمول ساخت مدل ساختمانی مخزن است. در این قسمت، می‌توان



شکل ۲ نمایش انواع مختلف رخساره‌های الکتریکی بر روی نمودار تقاطعی حجم شیل - تخلخل



شکل ۳ موقعیت چاه‌های کور (A-J) و چاه‌های اصلی در ناحیه مورد مطالعه

در شکل ۴ قسمت (الف) تطابق خوب نمودار فراوانی مقادیر تخلخل را پیش و پس از درشت‌نمایی نشان می‌دهد. همچنین برای بررسی کمی تطابق داده‌های نگار چاه و مقادیر بزرگ‌نمایی شده، از ضریب همبستگی متقابل استفاده شد به طوری که درصد تطابق برای رخساره‌های الکتریکی ۹۱٪ و برای مقادیر تخلخل ۹۶٪ به دست آمد. در شکل ۴ قسمت ب که نمودار تقاطعی مقادیر تخلخل چاه و تخلخل بزرگ‌نمایی شده را نشان می‌دهد، تطابق بالای این مقادیر به خوبی مشخص است. این مسئله نشان‌دهنده انتخاب صحیح ابعاد سلول‌ها و روش‌های بزرگ‌نمایی است.

#### آنالیز داده‌ها

پیش از شروع مدل‌سازی زمین آماری، باید وارپوگرافی، نرمال‌سازی داده‌های پیوسته و سایر آنالیزهای مورد نیاز بر روی داده‌های چاه و لرزه انجام شود. جهت تشخیص راستای بیشترین پیوستگی<sup>۱</sup> ابتدا یک نقشه واریانس به کمک نرم‌افزار تهیه و جهتی که کمترین تغییرات را نشان می‌داد به عنوان جهت بیشترین پیوستگی در قسمت زاویه وارپوگرافی وارد شده است.

در محاسبات مخزنی و حجم‌سنجی، اندازه کوچک‌تر سلول‌ها دقت را افزایش می‌دهد اما با افزایش تعداد سلول‌ها زمان اجرای مدل را به ویژه در شبیه‌سازی‌های احتمال‌گرا<sup>۱</sup> و شبیه‌سازی‌های دینامیکی افزایش می‌دهد. ناحیه مورد مطالعه ابعادی به اندازه ۲۳۰۰۰ m در جهت x و ۴۴۰۰۰ m در جهت y را داراست که باتوجه به داده‌های موجود ابعاد سلول‌ها ۲۰۰×۲۰۰ m در نظر گرفته شده است. در گام بعدی، افق‌های تفسیر شده از داده‌های لرزه‌ای وارد مدل شده و پس از زون‌بندی میان آن‌ها، لایه‌بندی عمودی انجام شد. مخزن مورد نظر به ۱۲ زون مجزا تقسیم‌بندی شده که البته در اینجا نتایج مربوط به یکی از زون‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعداد سلول‌ها در جهت قائم ۵۲ و نحوه تقسیم‌بندی منعطف با تغییرات افق‌ها در نظر گرفته شده است و باتوجه به ضخامت حدود ۲۶ m زون مورد مطالعه ابعاد سلول‌ها در جهت قائم به‌طور میانگین ۰/۵ m می‌باشد.

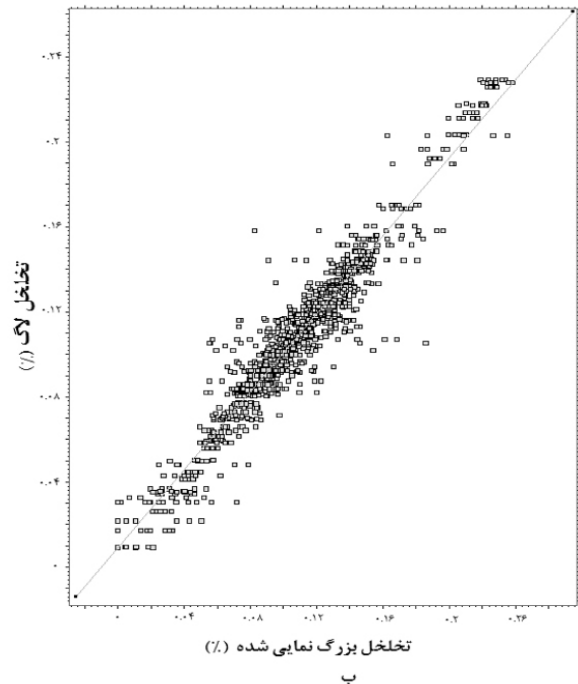
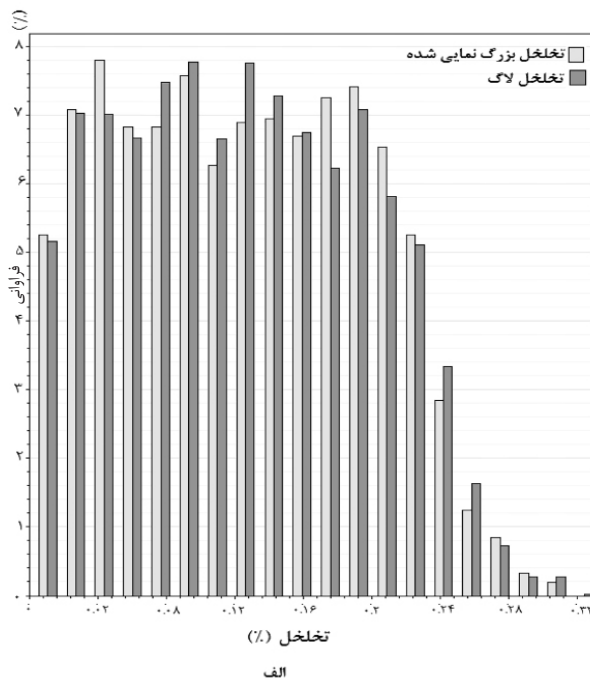
#### بزرگ‌نمایی داده‌های چاه

در این مرحله داده‌های نگار چاه به اندازه ابعاد سلول‌ها بزرگ مقیاس شده و برای هر بلوک یک مقدار اختصاص داده شده است. برای درشت‌نمایی نگارهای الکتروفاسیس از روش حداکثر مقادیر<sup>۲</sup> و برای نگارهای تخلخل از روش حسابی استفاده شده است.

1. Stochastic Simulation

2. Most of

3. Major Direction



شکل ۴ الف) تطابق خوب نمودار فراوانی داده‌های نگار چاه و مقادیر بزرگ نمایی شده تخلخل. ب) همبستگی بالا در نمودار تقاطعی مقادیر درشت-نمایی شده و نگار تخلخل

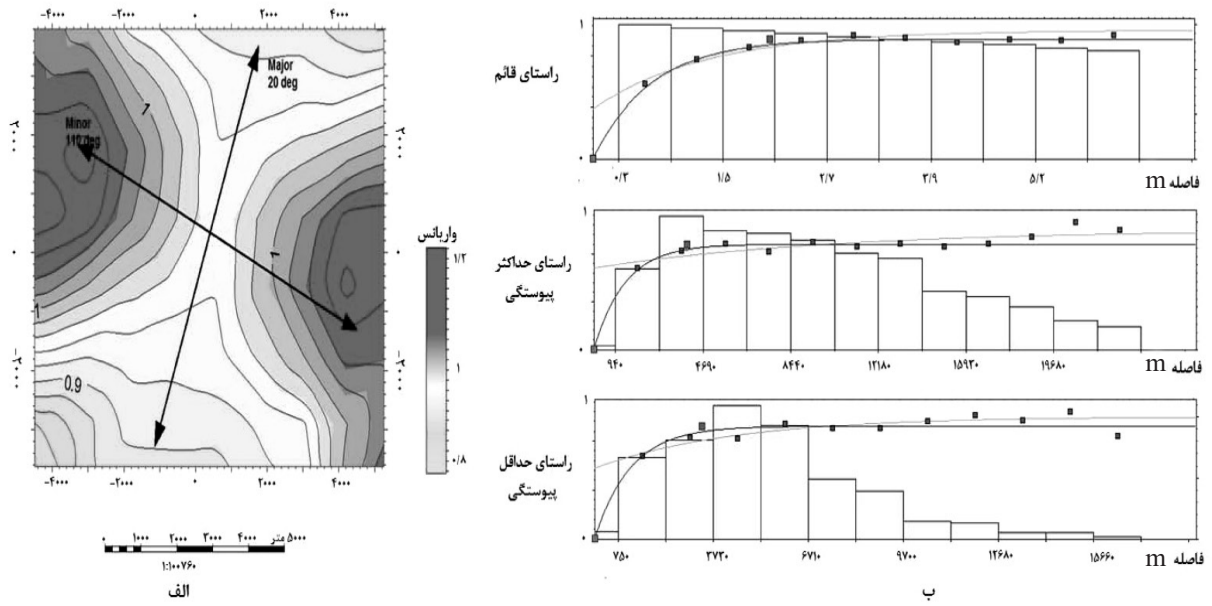
داده‌های تخلخل، واریوگرافی بر روی آن‌ها انجام شد. شکل ۶ داده‌های تخلخل را پیش و پس از نرمال‌سازی به‌همراه واریوگرام‌های آن‌ها در سه جهت اصلی نشان می‌دهد. واریوگرافی برای تخلخل یک بار دیگر پس از شبیه‌سازی توزیع رخساره‌ها و در محدوده هر الکتروفاسیس نیز انجام شده است. در آخر نیز شبیه‌سازی تخلخل با استفاده از روش SGS انجام شده و برای تأثیر داده‌های لرزه‌ای به‌جای استفاده از کریجینگ ساده در تخمین بلوک‌ها، از کوکریجینگ هم‌مکان<sup>۱</sup> استفاده شده است. میزان ضریب همبستگی میان امپدانس لرزه‌ای و تخلخل حاصل از چاه نیز به‌طور میانگین  $0/63-$  بوده است (شکل ۷).

#### آنالیز شبکه عصبی

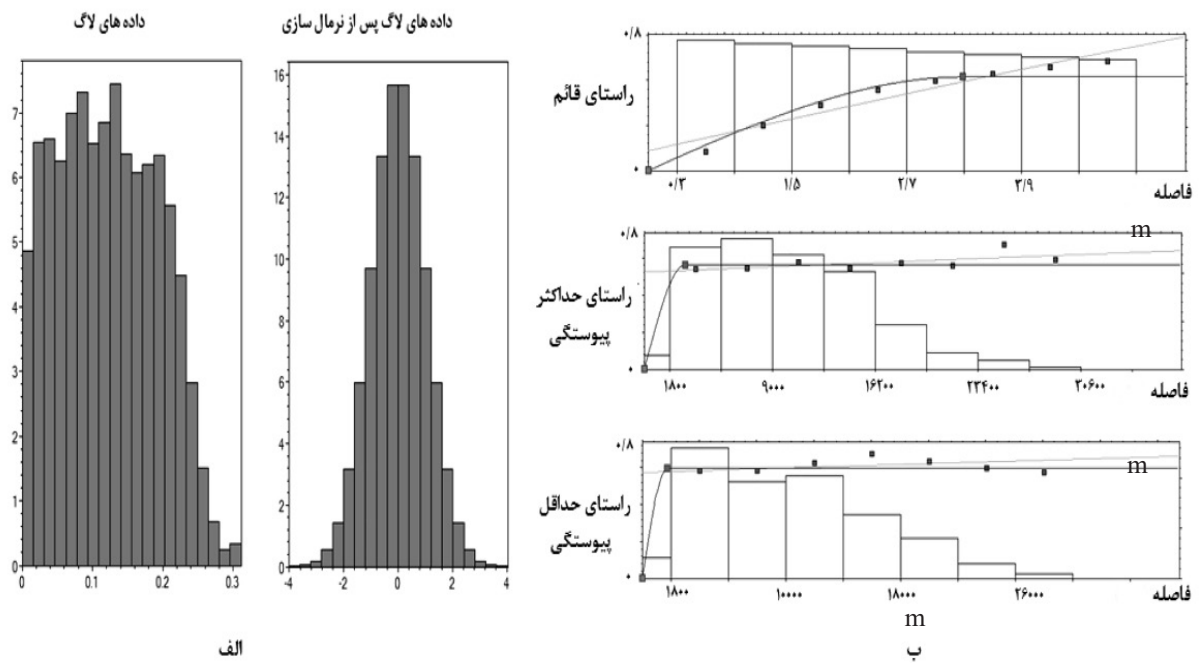
شبکه عصبی بر روی یک مجموعه از نشان‌گرهای لرزه‌ای جهت دستیابی به مکعب‌های احتمالات رخساره‌های الکتریکی به‌کار گرفته شد. این مکعب‌های سه‌بعدی به‌عنوان روند در شبیه‌سازی SIS وارد می‌شوند.

جهت جلوگیری از تأثیر نحوه چیدمان چاه‌ها در ساخت این نقشه، یک محدوده مربعی شکل و کوچکتر از محدوده میدان در نظر گرفته شد و به‌جای استفاده از تمامی داده‌ها، تنها از داده‌های موجود در این محدوده جهت ساخت نقشه واریانس استفاده شد. پس از تعیین جهت بیشترین پیوستگی، برای انواع مختلف رخساره‌ها در سه جهت قائم، حداکثر و حداقل پیوستگی واریوگرافی انجام شد. شکل ۵ نقشه واریوگرافی به‌دست آمده از روی نرم‌افزار و واریوگرام مربوط به یکی از الکتروفاسیس‌ها را در سه جهت اصلی نشان می‌دهد. در اینجا زاویه  $20^\circ$  به‌عنوان جهت بیشترین پیوستگی در نظر گرفته شد که البته برای رخساره‌های متفاوت کمی متغیر است. واریوگرام‌ها از نوع نمایی، اثر قطعه‌ای کم و نوسانات ناچیز هستند؛ نمودار فراوانی‌ها تعداد جفت‌ها را نشان می‌دهند و همان‌طور که مشخص است با افزایش تعداد گام‌ها تعداد جفت‌ها کاهش یافته است که نشان‌دهنده انتخاب مناسب تعداد و طول گام‌ها، جهت آزمون و سایر پارامترها در واریوگرافی است. در ادامه و پس از نرمال‌سازی

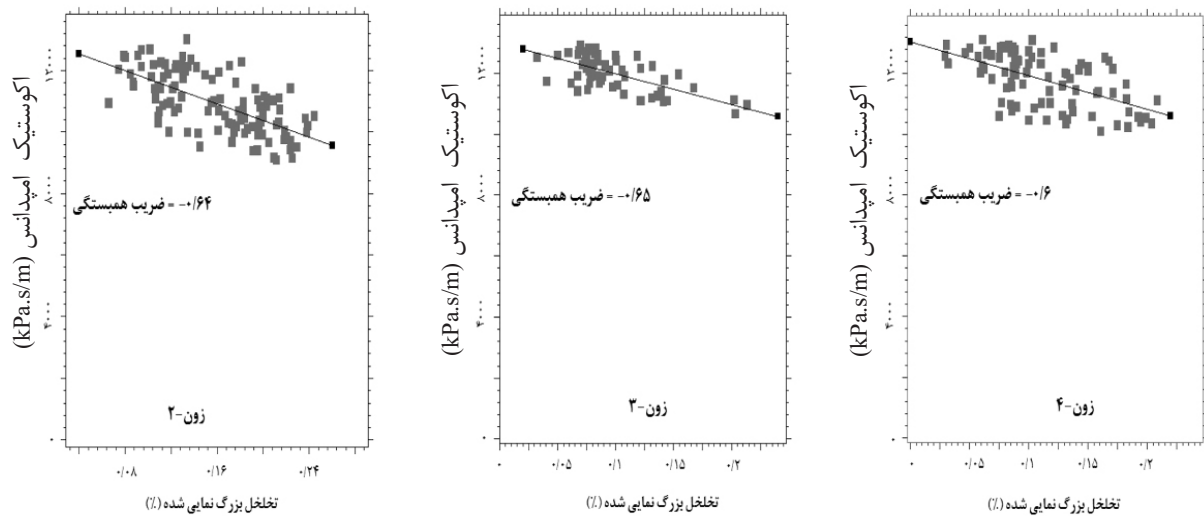
1. Co-located Co-Kriging



شکل ۵ الف) نقشه واریانس در محدوده مورد مطالعه و جهت‌های بیشترین و کمترین پیوستگی، ب) واریوگرام‌های مربوط به یکی از رخساره‌ها را در سه جهت اصلی نمایش می‌دهد



شکل ۶ الف) نرمال‌سازی و ب) واریوگرافی داده‌های تخلخل



شکل ۷ نمایش مقادیر تخلخل در برابر اکوستیک امپدانس برای تعیین میزان ضریب همبستگی در سه زون اصلی

در شبیه‌سازی SIS استفاده گردیده است را نشان می‌دهد.

### بحث و نتایج

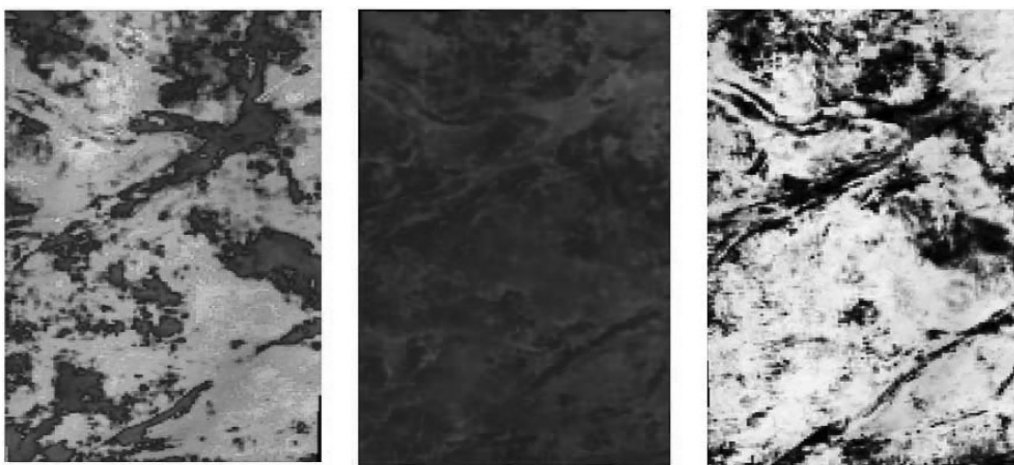
جهت بررسی تأثیر استفاده از داده‌های لرزه‌ای در توزیع رخساره‌های الکتریکی، شبیه‌سازی SIS یک بار تنها با کمک داده‌های چاه و در ادامه علاوه بر داده‌های چاه از روندهای حاصل از شبکه عصبی نیز در شبیه‌سازی SIS استفاده شده است. نتیجه جالب به دست آمده از این شبیه‌سازی، نمایان شدن تقریبی کانال‌ها است. شکل ۱۰ نتیجه حاصل از شبیه‌سازی را با مدل امپدانس لرزه‌ای مقایسه می‌کند. علاوه بر مشخص شدن نسبی کانال‌ها، تطابق خوب مدل با اکوستیک امپدانس قابل مشاهده است. پس از شبیه‌سازی رخساره‌های مخزنی، شبیه‌سازی تخلخل به کمک روش SGS انجام شد. برای بررسی میزان تأثیر داده‌های لرزه‌ای و مدل رخساره‌ای در عدم قطعیت شبیه‌سازی، در ابتدا شبیه‌سازی تنها به کمک داده‌های چاه انجام گرفت. در گام‌های بعدی، شبیه‌سازی به کمک امپدانس لرزه‌ای، مدل رخساره‌ای و در نهایت، با استفاده از مدل رخساره‌ای و امپدانس صوتی انجام شده است (شکل ۱۱).

استفاده از این روندها می‌تواند در کاهش عدم قطعیت شبیه‌سازی مؤثر باشد [۱۷-۱۹]. نشان‌گرهای مورد استفاده در این فرآیند باید نسبت به رخساره‌ها و جدایش آن‌ها حساس بوده و نسبت به یکدیگر همبستگی پایینی را نشان دهند. جدول ۱ نشان‌گرهای لرزه‌ای به کار گرفته شده و میزان همبستگی خطی آن‌ها را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد. شکل ۸ نیز تعدادی از نشان‌گرهای لرزه‌ای را نشان می‌دهد. طبق این شکل مشخص است که نشانگر در شناسایی کانال‌ها موفق عمل کرده‌اند. همچنین، از نگاره‌های رخساره‌های الکتریکی به عنوان داده‌های آموزشی استفاده شده است. شبکه عصبی تلاش می‌کند تا یک رابطه میان این نشانگرها و کلاس‌های مختلف رخساره‌ای که به وسیله نگاره‌ها نمایندگی می‌شوند، ایجاد نماید. الگوریتم از نسبت معینی از داده‌های آموزشی (در این مطالعه ۳۰٪) برای آزمایش عملکرد شبکه در طول آموزش استفاده می‌شود. پس از آموزش شبکه، یک رابطه میان داده‌های ورودی و کلاس‌های مختلف رخساره‌ای ایجاد شد. این رابطه عصبی در کل شبکه شبیه‌سازی اعمال شد و یک مکعب احتمالی برای هر کلاس از رخساره‌های الکتریکی تولید شد. شکل ۹ مدل احتمالی نهایی را که به عنوان روند



جدول ۱ مقادیر ضرایب همبستگی نشان‌گرهای لرزه‌ای استخراج شده

گرادیان لرزه‌ای	قطبیت ظاهری	کسینوس فاز	دامنه RMS	فرکانس لحظه‌ای	اکوستیک امیدانس	نشان‌گرهای لرزه‌ای
۰/۲۴۵۸	۰/۳۹۳۱	۰/۴۴۲	۰/۲۲۵۵	۰/۰۸۴۲	۱	اکوستیک امیدانس
۰/۰۰۴۶	۰/۰۵۴۱	۰/۰۵۶۶	۰/۰۳۰۱	۱	۰/۰۸۴۲	فرکانس لحظه‌ای
۰/۰۲۵۱	۰/۱۱۳	۰/۰۲۳۶	۱	۰/۰۳۰۱	۰/۲۲۵۵	دامنه RMS
۰/۰۱۰۸	۰/۵۵۴	۱	۰/۰۲۳۶	۰/۰۵۵۶	۰/۴۴۲	کسینوس فاز
۰/۰۵۴	۱	۰/۵۵۴	۰/۱۱۳	۰/۰۵۴۱	۰/۳۹۳۱	قطبیت ظاهری
۱	۰/۰۵۴	۰/۰۱۰۸	۰/۰۲۵۱	۰/۰۰۴۶	۰/۲۴۵۸	گرادیان لرزه‌ای

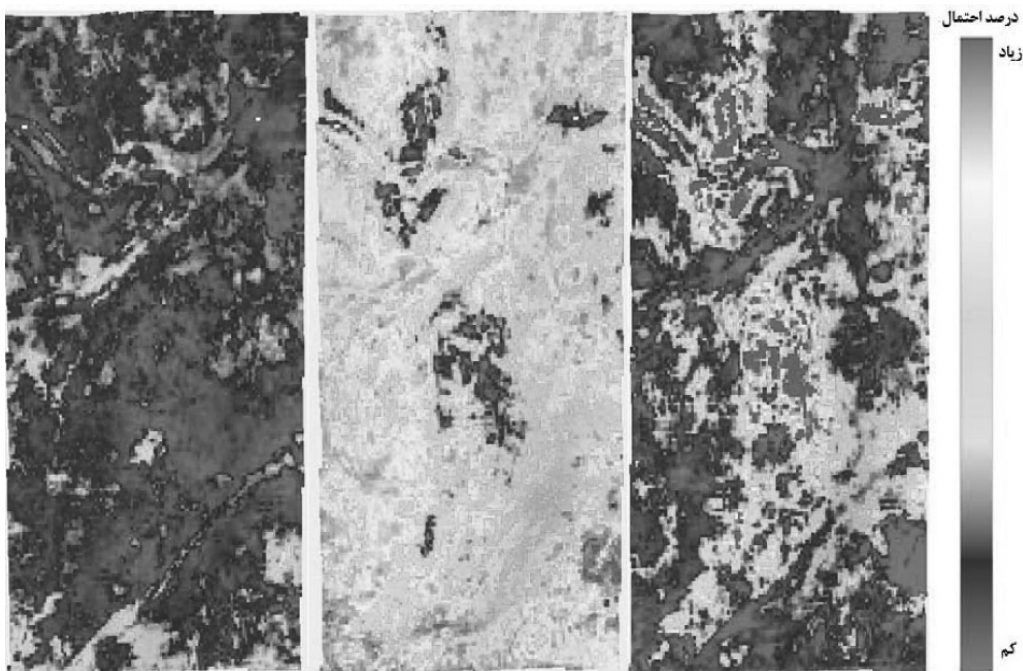


اکوستیک امیدانس

فرکانس لحظه‌ای

کسینوس فاز

شکل ۸ مقطعی از سه نشانگر لرزه‌ای جهت نمایش میزان حساسیت آن‌ها نسبت به کانال‌ها

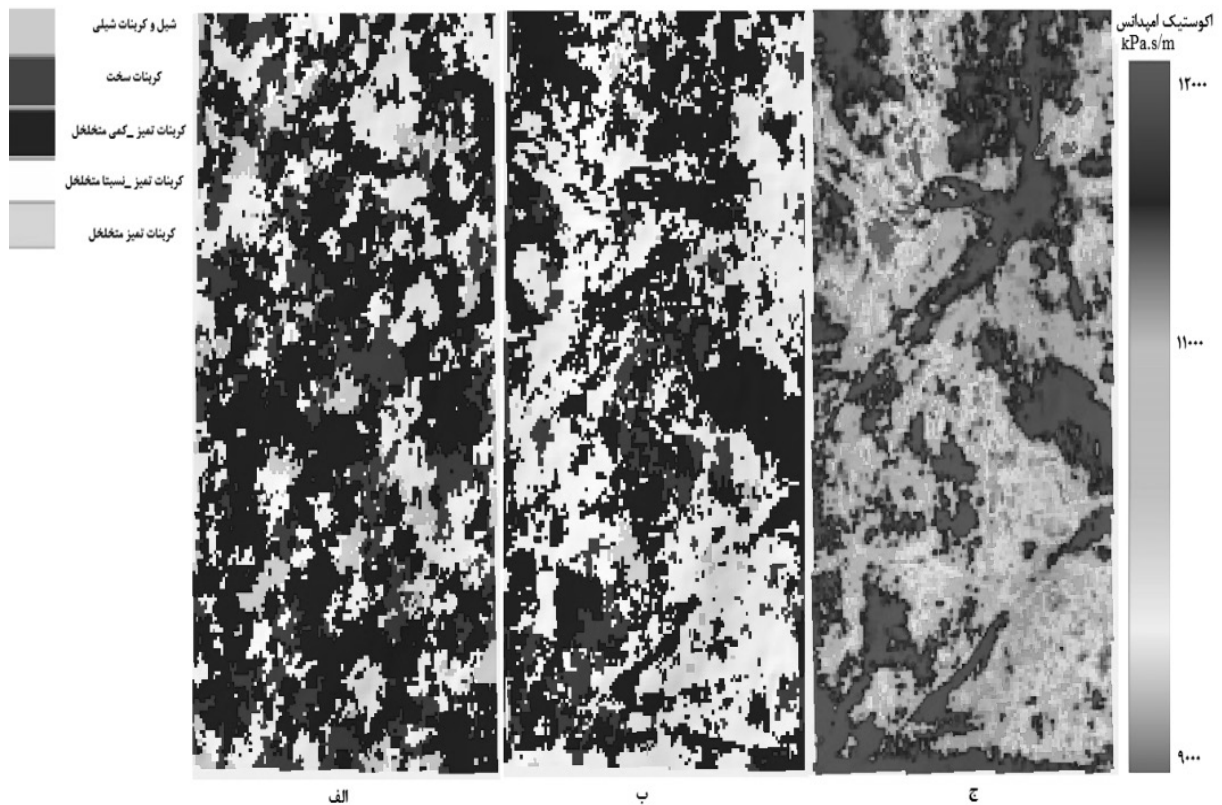


کرنات سخت

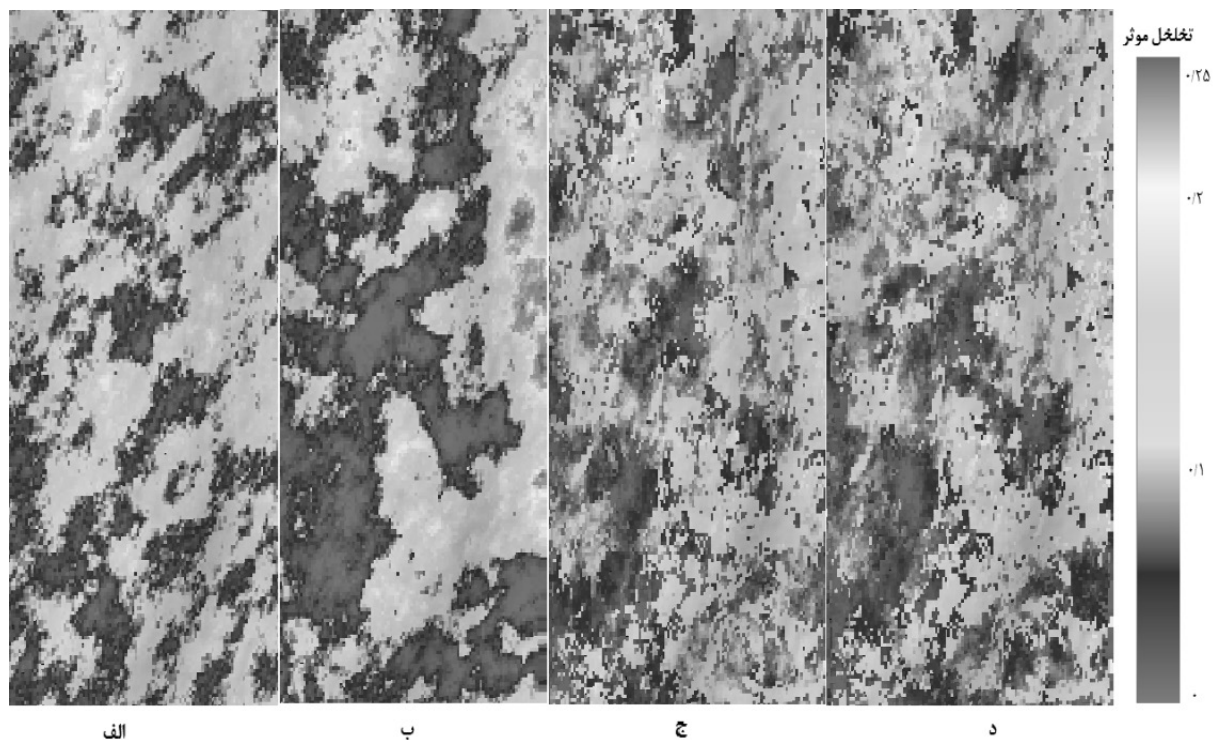
کرنات تمیز و کمی متخلخل

کرنات تمیز متخلخل

شکل ۹ مدل احتمال نهایی سه رخساره مختلف حاصل از پروسه شبکه عصبی



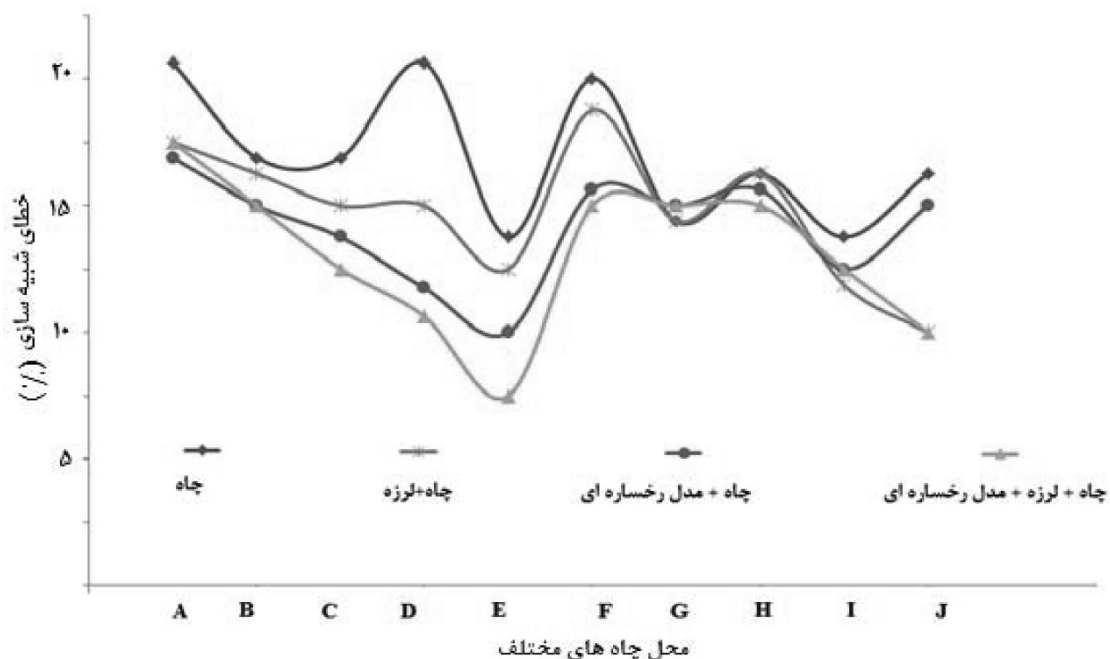
شکل ۱۰ مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی SIS، الف) بدون، ب) با استفاده از روند های حاصل از شبکه عصبی و ج) مقایسه آن با اکوستیک امپدانس



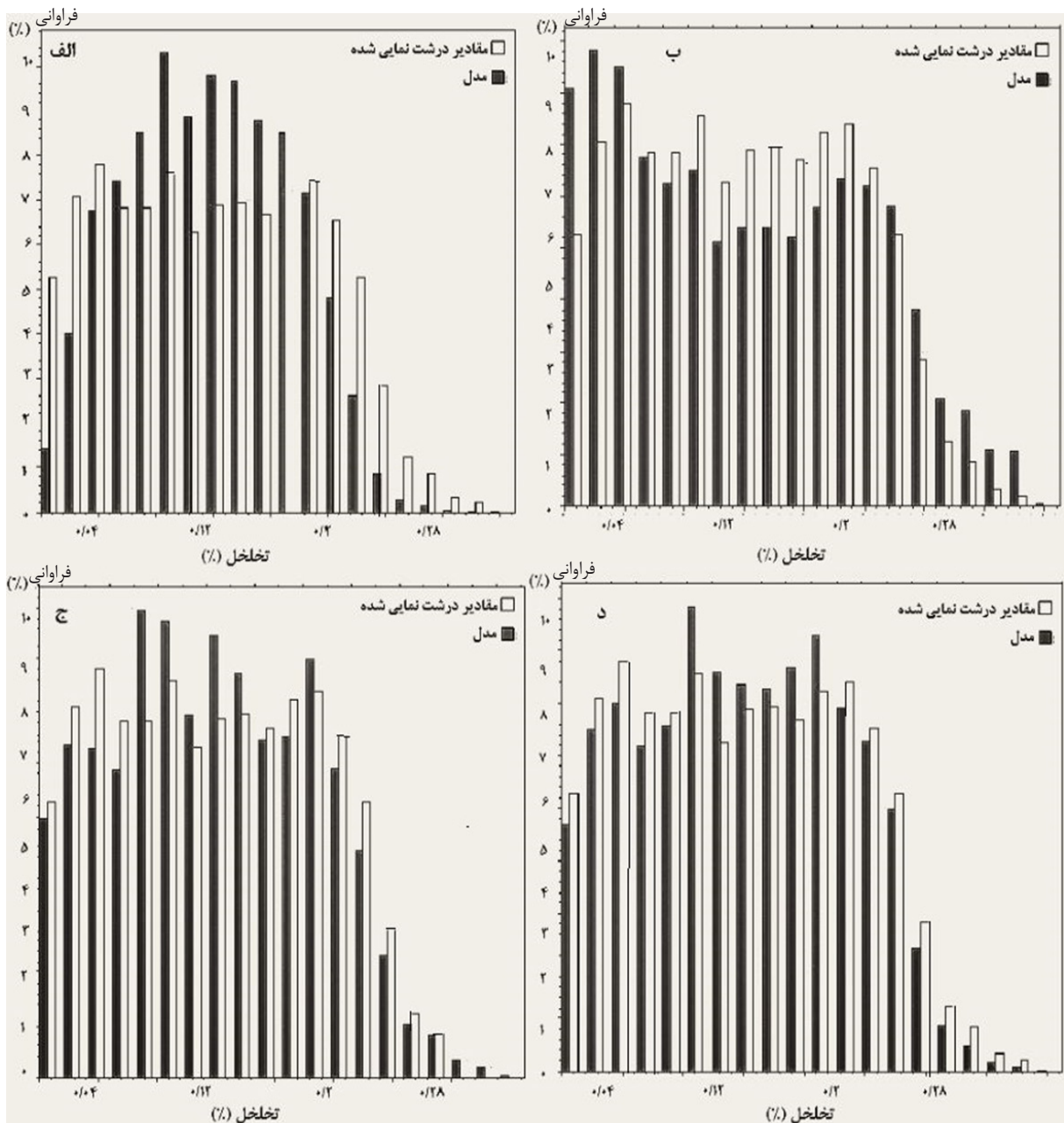
شکل ۱۱ شبیه‌سازی تخلخل به‌روش SGS در یک مقطع عمودی مشترک و در حالت‌های الف) بدون متغیر ثانویه و توزیع رخساره‌ای، ب) شبیه‌سازی توأم به‌کمک اکوستیک امپدانس و بدون استفاده از مدل رخساره‌ای، ج) شبیه‌سازی تخلخل با استفاده از بهترین تحقق شبیه‌سازی رخساره‌ای و د) استفاده هم‌زمان از مدل رخساره‌ای و شبیه‌سازی توأم تخلخل به‌کمک اکوستیک امپدانس

شبیه‌سازی‌های رخساره‌ای و شبیه‌سازی تخلخل دارد. همچنین، مقادیر خطا در چاه‌هایی که تعداد کمتری چاه در اطراف آن‌ها موجود بوده بیشتر است که این پدیده در مدلی که تنها به کمک داده‌های چاه حاصل شده بیشتر خود را نشان می‌دهد. همچنین، شکل ۱۳ نمودار فراونی تخلخل شبیه‌سازی شده در چهار حالت مختلف واضح است که مدل حاصل از تلفیق توزیع رخساره‌های الکتریکی و اکوستیک امپدانس لرزه‌ای (شکل ۱۳ قسمت (د) در بازتولید نمودار فراونی داده‌های اولیه موفق‌تر بوده است.

برای مقایسه نتایج‌های به‌دست آمده خطای شبیه‌سازی در محل چاه‌های کور محاسبه شده و به‌صورت نمودار در شکل ۱۲ نمایش داده شده است. شکل ۱۲ مقادیر خطا را در چاه‌های کور و برای شبیه‌سازی‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص است تخلخلی که با استفاده از مدل رخساره‌های الکتریکی و امپدانس لرزه‌ای شبیه‌سازی شده است به‌طور میانگین دارای خطای کمتری است. در بهترین تحقق از این مدل خطای تخمین تخلخل در چاه‌های کور برحسب درصد محاسبه گردید و مشخص شد که تخلخل به‌طور میانگین ۸۷٪ درست تخمین زده شده است که نشان از صحت بالای



شکل ۱۲ مقادیر خطای تخلخل در حالت‌های مختلف شبیه‌سازی



شکل ۱۳ نمودار فراوانی مقادیر تخلخل شبیه‌سازی شده در برابر فراوانی مقادیر تخلخل نگار چاه و مقادیر تخلخل درشت نمایی شده.

## نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی تخلخل در مدل رخساره‌ای بدون و با استفاده از داده لرزه‌ای، مشخص شد که تحققاتی به‌دست آمده از شبیه‌سازی تخلخل با در نظر گرفتن توزیع سه‌بعدی رخساره‌های الکتریکی و داده‌های چاه و لرزه کمترین میزان خطا را داشته و توانسته تا حد زیادی از خطای شبیه‌سازی بکاهد. در این مطالعه، همچنین مشخص شد که مدل‌های حاصل از روش‌های زمین آماری SIS و SGS در صورت وجود داده‌های کافی دارای قطعیت‌های بالایی هستند به‌گونه‌ای که در این مطالعه تخلخل حاصل از شبیه‌سازی SGS به‌کمک توزیع رخساره‌های الکتریکی و امپدانس لرزه‌ای تا ۸۷٪ از صحت برخوردار است. از دیگر نتایج این مطالعه می‌توان به کاهش خطای شبیه‌سازی با به‌کارگیری داده‌های لرزه‌ای در ناحیه‌هایی اشاره کرد که از داده‌های چاه کمتری برخوردار می‌باشند. از طرفی، استفاده از داده لرزه‌ای و واریوگرافی مجزای اکتروفاسیس‌های مختلف، سبب کمک به روش SIS در تولید تقریبی عوارض پیچیده چون کانال‌ها شده است.

باتوجه به گسترش روزافزون پروژه‌های توسعه‌ای میادین نفت و گاز، نیاز به تهیه مدل‌های سه‌بعدی مخزنی با میزان عدم قطعیت پایین بیشتر احساس می‌شود. به‌کارگیری الگوریتم‌های زمین آماری احتمال‌گرا، تهیه مدل رخساره‌ای و تلفیق داده‌های لرزه‌ای از جمله راه‌های کاهش عدم قطعیت هستند. از طرفی، مطالعات رخساره‌ای همواره کاری پرچالش و زمان‌بر بوده به‌طوری‌که تاکنون مطالعات محدودی پیرامون نحوه توزیع رخساره‌ها خصوصاً در مخازن کربناته انجام شده است. در این پژوهش سعی شده است تا با مدل‌سازی توزیع رخساره‌های الکتریکی به‌کمک روش SIS و شبکه عصبی و به‌کارگیری امپدانس لرزه‌ای به‌عنوان داده ثانویه، میزان کاهش عدم قطعیت در شبیه‌سازی تخلخل به‌کمک روش SGS در یک مخزن کربناته بررسی شود. بنابراین پس از مدل‌سازی و تعیین میزان خطا با استفاده از چاه‌های کور در چهار حالت شبیه‌سازی تخلخل تنها به‌کمک داده‌های چاه، شبیه‌سازی به‌کمک داده‌های چاه و لرزه،

## مراجع

- [1]. Soleimani B, Nazari K, Bakhtiar H A, Haghparast G, Zandkarimi G, (2008) Three-dimensional geostatistical modeling of oil reservoirs: a case study from the ramini oil field in Iran, *Journal of Applied Sciences*, 8: 4523-4532.
- [2]. 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, *Journal Petroleum Exploration and Production Technology*, 8, 2: 381–397.
- [3]. Pyrcz M J, Deutsch C V (2014) *Geostatistical reservoir modeling*, Oxford University Press.
- [4]. Cannon S (2018) *Reservoir modelling: a practical guide*, John Wiley and Sons Ltd All.
- [5]. Ringrose P, Bentley M (2015) *Reservoir model design: a practitioner's guide*, Springer Science and Business Media B.V.
- [6]. Abd El-Gawad E A, Abdelwahhab M A, Bekiet M H, Noah A Z, ElSayed N A, Fouda A E (2019) Static reservoir modeling of El Waštani formation, for justifying development plans, using 2D seismic and well log data in Scarab field, offshore Nile Delta, Egypt, *Journal of African Earth Sciences* 158.
- [7]. Dubrule O (2003) *Geostatistics for seismic data integration in earth model*, Society of Exploration Geophysicists (SEG).
- [8]. Emami Niri M, Lumley D E (2016) Estimation of subsurface geomodels by multi objective stochastic optimization, *Journal of Applied Geophysics* 129: 187–199.
- [9]. 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, *Petroleum and Coal* 60, 752–761.
- [10]. Sanuade O A, Akanji A O, Oladunjoye M A, Olajojo A A, Fatoba JO (2017a) Hydrocarbon reservoir characterization of "AY" field, deep-water Niger Delta using 3D seismic and well logs, *Arabian Journal of Geosciences* 10: 151.

- [11]. Shragge J, Bourget J, Lumley D, Giraud J, Wilson T, Iqbal A, Emami Niri M, Whitney B, Potter T, Miyoshi T, Witten B (2019) The Western Australia Modeling project—Part 1: Geomodel building, Interpretation, 7, 4: T773–T791.
- [12]. Hajikazemi E, Al-Aasm I S, Coniglio M (2010) Subaerial exposure and meteoric diagenesis of the Cenomanian-Turonian Upper Sarvak Formation, southwestern Iran, Geological Society, London, 330, 1: 253 – 272.
- [13]. Hassanzadeh Azar J, M Nabi-Bidhendi, Javaherian A, Pishvaie M R (2009) Integrated seismic attributes to characterize a widely distributed carbonate clastic deposit system in Khuzestan Province, SW Iran, Journal of Geophysics and Engineering, Journal of Geophysics and Engineering, 6: 162-171.
- [14]. Honarmand J, Nemati M, Monibi S (2009) Geological reservoir study of the Sarvak and Gadvan Formations in the Azadegan and Jufair Fields, wells AZN-8 and JR-4, Research Institute of Petroleum Industry, Unpublished Report, 174.
- [15]. Randen T (2008) Mathematical methods and modelling in hydrocarbon exploration and production (mathematics in industry), Schlumberger Stavanger Research.
- [16]. Mallet J L (2004) Space-time mathematical framework for sedimentary geology, Mathematical Geology, 36, 1: 1-32.
- [17]. Yarus J M, Chambers R L, Mauces M, Shi G (2012) Facies simulation in practice: lithotype proportion mapping and plurigaussian simulation, a powerful combination, 9th International Geostatistics Congress, Oslo, Norway June 11 – 15.
- [18]. Correia U M, Batezelli A, Leite E P (2016) 3-D Geological modelling: a siliciclastic reservoir case study from Campos Basin, Brazil, International Engineering Journal, 69, 4: 409-416.
- [19]. Rahimi H, Asghari O, Hajizadeh F (2018) Selection of optimal thresholds for estimation and simulation based on indicator values of highly skewed distributions of ore data, Natural Resources Research.



# Investigating the Effect of Facies Modeling and Seismic Data Integrating on Reducing the Uncertainty of Porosity Simulation in One of Iran's Carbonate Reservoirs

Mohammad Ali Rezaei<sup>1</sup>, Omid Asghari\*<sup>1</sup>, Mohammad Emami Niri<sup>2</sup> and Rezae Mohebian<sup>1</sup>

1. School of Mining Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Department of Petroleum Oil and Gas, School of Chemical and Engineering, University of Tehran, Iran

[o.asghari@ut.ac.ir](mailto:o.asghari@ut.ac.ir)

DOI: 10.22078/pr.2020.4233.2920

Received: July/28/2020

Accepted: November/17/2020

## Introduction

Due to the increasing expansion of oil and gas field development projects, there is a need to provide three-dimensional reservoir models with more low uncertainty. Using stochastic geostatistical algorithms, preparing facies models and integrating seismic data are some of the ways to reduce uncertainty [1,2]. Since facies are directly related to the distribution of reservoir petrophysical properties, facies modeling seems necessary. In fact, the changes in the petrophysical properties (such as porosity, permeability, etc.) between different facies are much greater than their changes within each facies, and the fluid flow is greatly affected by the spatial heterogeneity of the facies [1,3]. It is also possible to increase the accuracy of geological models by seismic data integration. In recent decades, the use of three-dimensional seismic data in powerful geostatistical methods such as co-kriging or co-simulation methods has made it possible to achieve high-accuracy models [4,5]. In this research, after modeling the facies in a carbonate reservoir, comparison of porosity simulation has been performed using three-dimensional distribution of facies and without using it. In this study, Sequential Indicator Simulation (SIS) was used to simulate facies, and Sequential Gaussian Simula-

tion (SGS) was used to porosity simulation. Also, to investigate the reduction of model uncertainty with the seismic data integrating, acoustics impedance has been used as secondary data in porosity simulation. In addition to that, neural network analysis was performed on a set of seismic attributes to generate facies probability cubes. These probability cubes were entered as a trend in the simulation of the facies.

## Geological Setting

The study area is located in the Abadan plain, northwest of Dezful, and it is one of the most important oil fields in southwestern Iran. In this field, Sarvak Formation forms the largest reservoir. Since Sarvak Formation is one of the most important reservoir horizons in many hydrocarbon fields in western and southwestern Iran, it has always been considered by geologists and oil companies [6]. In the study area, this formation with a thickness of 600 m consists of a thick sequence of limestone and interlayers of clay limestone and as a result, no significant lithological changes are observed in it. The uplift and erosion of the carbonate platform of the Late Cenomanian Formation has caused it to come out of the water and the lack of sedimentation in parts of the Zagros sedimentary basin, including the

field, so that channel extensions have been reported in this area [7]. The importance of the upper part of the formation as the most important reservoir and also the identification of channel deposits in this formation caused the present study to focus on this part of the formation.

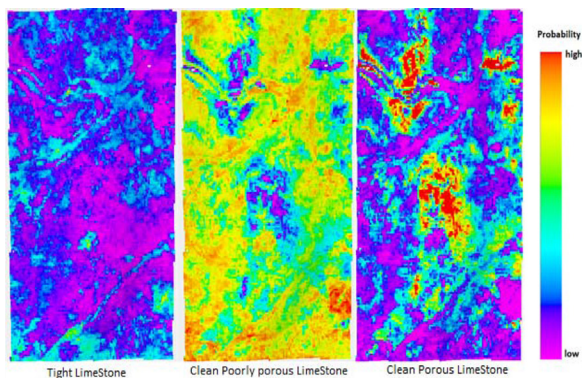
**Material and Methods**

The porosity and electro-facies logs of 40 wells from the field and the three-dimensional cube of acoustic impedance data are the input data of this study. Facies well logs contain five codes from different electrofacies. The zero code is for shale and shaly-carbonate. The shale volume in this code is more than 30%. Other codes which have a shale volume are less than 30%, and they are divided into four categories according to porosity: carbonate 1- hard 2- clean and slightly porous 3- relatively porous and 4- clean porous. Also, 10 wells from different parts of the field were selected as blind wells.

**Results and Discussion**

The starting step for reservoir modeling can normally be structural modeling. Since there are no significant faults in the study area, the inclusion of faults in the structural model was abandoned and the construction of the structural model began with the construction of a three-dimensional network. The study area has dimensions of 23000 m in the x direction and 44000 m in the y direction, which according to the available data, the dimensions of the cells are considered to be 200×200m. The dimensions of the cells in the vertical direction are also considered to be 0.5 meters. In the next step, well logs scaled up in the grid. The Most of and Arithmetic methods were used for scale up electrofacies and porosity well logs, respectively.

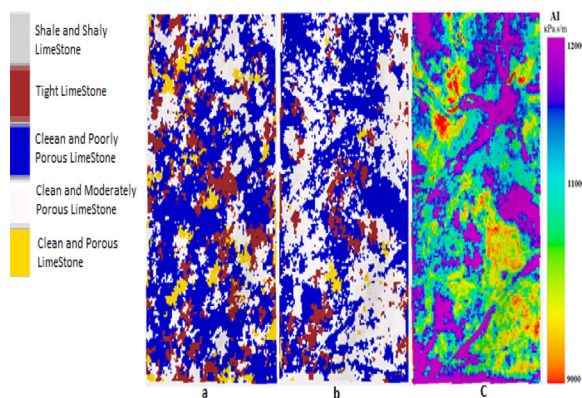
In this study, facies probability cubes have been used to integrate seismic data. The facies probability cubes are output of a neural network whose input parameters are seismic attributes and its training data are well facies logs. Figure 1 shows the final facies probability cubes used as the trend in the simulation.



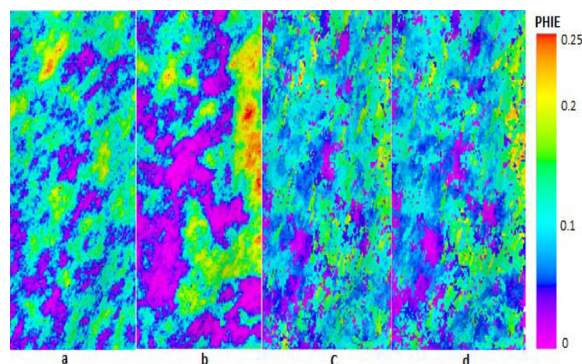
**Fig. 1** The final probability cubes of three different facies resulting from the neural network process.

For geostatistics facies modeling, sequential indicator simulation was adopted to reconstruct a 3D facies distribution. In the first step, for different types of facies, variogram modeling was performed in three main directions: vertical, maximum and minimum continuity directions. Next, to investigate the effect of using seismic data in the distribution of electrical facies, SIS simulation once ran only with the help of well data and then in addition to well data facies probability cubes were used as trends in simulation. The interesting result of this simulation is the approximate appearance of the channels. Figure 2 compares the simulation results with the seismic impedance model.

After simulation of reservoir facies, porosity simulation was performed using SGS method. To investigate the effect of seismic data and facies model on simulation uncertainty, at first, the simulation was performed only with the help of well data. In the next steps, the simulation is performed using seismic acoustic impedance, facies model and finally, using facies model and acoustic impedance, simultaneously (Figure 3). To compare the obtained results, the simulation error at the location of the blind wells was calculated for each simulation.



**Fig. 2** Comparison of SIS simulation results (a) without (b) Using neural network trends and (c) Compare it with acoustic impedance.



**Fig. 3** Simulation of porosity by SGS method in a common vertical section and in states (a) No secondary variables and facies distribution (b) Co-Simulation with acoustic impedance without facies model (c) Porosity simulation using the best realization of facies model and (d) Simultaneous use of facies model and co-simulation of porosity by means of acoustic impedance.



### Conclusions

Because petrophysical properties show high correlations with different types of facies, facies have often great importance in reservoir modeling, and the distribution of facies can limit and control the range of porosity and permeability changes. In this study, it was found out that the models obtained from SIS and SGS geostatistical methods have high certainty if there is sufficient data. In this study, the porosity obtained from the simulation by means of the distribution of facies and acoustic impedance is up to 87% accurate. Other results of this study include reducing the simulation error by using seismic data in areas with less well data. On the other hand, the use of seismic data and separate variography of different electro-facies has contributed to the SIS method in the approximate generate of complex features such as channels.

### Nomenclatures

SGS: Sequential Gaussian Simulation

SIS: Sequential Indicator Simulation

### References

1. Pyrez M J, Deutsch C V (2014) *Geostatistical Reservoir Modeling*, Oxford University Press, 155-158.
2. Rahimi H, Asghari O, Hajizadeh F, (2018) Selection of Optimal Thresholds for Estimation and Simulation Based on Indicator Values of Highly Skewed Distributions of Ore Data, *Natural Resources Research*, 27,4: 437-453.
3. Abd El-Gawad E A, Abdelwahhab M A, Bekiet M H, Noah A Z, ElSayed N A, Fouda A E (2019) Static reservoir modeling of El Wasani formation, for justifying development plans, using 2D seismic and well log data in Scarab field, offshore Nile Delta, Egypt, *Journal of African Earth Sciences*, 158.
4. Dubrule O (2003) *Geostatistics for Seismic Data Integration in Earth Model*, Society of Exploration Geophysics(SEG), 1-84.
5. 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, *Journal of Petroleum and Coal*, 60 ,752-761.
6. Hajikazemi E, Al-Aasm I S, and Coniglio M (2010) Subaerial exposure and meteoric diagenesis of the Cenomanian-Turonian Upper Sarvak Formation, southwestern Iran, *Geological Society, London*, 330, 1, 253 – 272.
7. Hassanzadeh Azar J, Nabi-Bidhendi M, Javaherian A, and Pishvaie M R (2009) Integrated seismic attributes to characterize a widely distributed carbonate clastic deposit system in Khuzestan Province, SW Iran, *Journal of Geophysics and Engineering*, 6, 162-171.