

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد ژئوالکتریک

مدل سازی تخلخل، ارائه مدل تخلخل - تراوایی و تعیین میزان عدم قطعیت تخلخل و تراوایی با استفاده از روش مونت کارلو در یکی از میادین هیدروکربوری جنوب ایران

نگارنده: سمیه زمانپور

اساتید راهنما

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

دکتر سید رضا قوامی ریایی

استاد مشاور

دکتر امین روشندل کاهو

بهمن ۹۵

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه : نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سمیه زمانپور

تحت عنوان:

مدل سازی تخلخل، ارائه مدل تخلخل - تراوایی و تعیین میزان عدم قطعیت تخلخل و تراوایی با استفاده از

روش مونت کارلو در یکی از میادین هیدروکربوری جنوب ایران

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : دکتر امین روشندل کاهو		نام و نام خانوادگی : دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر سید رضا قوامی ریایی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر حمید آقاجانی		نام و نام خانوادگی : دکتر مهرداد سلیمانی منفرد
			نام و نام خانوادگی : دکتر علی نجاتی کلاته
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم بہ:

پدرم، کہ عالمذہ بن آموخت تاچگونہ در عرصہ زندگی، ایستادگی را تجربہ نمایم
و بہ مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق کہ وجودم برایش ہمہ رنج بود و وجودش برایم ہمہ مهر.

شکر و قدردانی

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که، هستی‌مان بخشد و به طریق علم و دانش، رهنمونان شد و به، بنشینانی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه-
چینی از علم و معرفت را روزی‌مان ساخت.

و با سپاس از سه وجود مقدس:

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم...

موباشان سپید شد تا ما رو سفید شویم...

و عاشقانه سوختند تا کرم‌ها، نخس وجود ما و رو شکر را همان باشند...

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

تعهد نامه

اینجانب سمیه زمانپور دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک - گرایش ژئوالکتریک دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدل سازی تخلخل، ارائه مدل تخلخل - تراوایی و تعیین میزان عدم قطعیت تخلخل و تراوایی با استفاده از روش مونت کارلو در یکی از میادین هیدروکربوری جنوب ایران تحت راهنمایی دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و دکتر سید رضا قوامی ریایی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

توزیع فضایی پارامترهای پتروفیزیکی در مخازن، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در توصیف مشخصات مخزن است. مدل‌سازی مخزن یک مدل جامع تلفیقی از مهندسی و زمین‌شناسی است. مدل جامع مخزن نیاز به دانش زمین‌شناسی، خصوصیات سنگ و سیال، جریان سیالات^۱ درون آن، مکانیسم برداشت، حفاری و تکمیل چاه و غیره دارد. به منظور توصیف مخزن، معمولاً از اطلاعات چاه‌پیمایی و لرزه‌نگاری استفاده می‌شود. داده‌های چاه دارای دقت خوبی هستند ولی فضای محدودی از مخزن را پوشش می‌دهند و با توجه به پیچیدگی‌های زمین‌شناسی مخزن، نمی‌توان این اطلاعات را به سادگی به کل مخزن تعمیم داد. از طرف دیگر اطلاعات لرزه‌نگاری دقت کم‌تری دارند ولی محدوده وسیعی از مخزن را پوشش می‌دهند. در این مطالعه ابتدا، با استفاده از داده‌های چاه و اطلاعات لرزه‌نگاری و به کمک روش زمین‌آمار توسط نرم‌افزار Petrel و همچنین به کمک روش شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط نرم‌افزار Hampson Russell suite (HRS)، پارامتر تخلخل در بخش مخزنی چاه‌های مورد مطالعه، مدل‌سازی و نتایج این دو روش با هم مقایسه شده است.

جهت توسعه میادین هیدروکربنی، مطالعه جامع و مدیریت مخزن، شناخت هر چه بیش‌تر و بهتر مخزن امری ضروری است. یکی از روش‌های مفید در طبقه‌بندی سنگ‌های مخزن و تفکیک زون‌های تولیدی و غیر تولیدی، تعریف زون‌های مخزنی بر اساس واحدهای جریان هیدرولیکی به کمک مفهوم آنالیز خوشه‌ای است که دیدگاهی نوین به تعریف نوع سنگ و زون‌بندی مخزن داشته و معایب زون‌بندی‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی رایج را برطرف می‌نماید. واحدهای جریان بخش پیوسته‌ای از یک حجم خاص مخزن است که در آن خواص زمین‌شناسی و پتروفیزیکی یکسان هستند. بر این اساس، پیش‌بینی دقیق واحدهای جریان یک کار عمده برای رسیدن به توصیف پتروفیزیکی قابل اعتماد از یک مخزن است. معمولاً در مخازن ارتباط ساده‌ای بین تخلخل و تراوایی وجود ندارد، بنابراین تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی روشی مناسب جهت بررسی و ارزیابی رابطه تخلخل - تراوایی در مخازن هیدروکربنی است. در این مطالعه به منظور ارائه رابطه تخلخل - تراوایی، ابتدا واحدهای جریان هیدرولیکی با روش‌های شاخص زون جریان، رخساره‌های الکتریکی و شاخص کیفیت مخزنی در سه چاه میدان مورد مطالعه، تعیین گردید، سپس رابطه میان تخلخل و تراوایی در هریک از این واحدها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده تعداد یکسان واحدهای جریان هیدرولیکی در هر دو روش شاخص زون جریان و رخساره‌های الکتریکی می‌باشند. با این حال تعداد واحدهای جریان هیدرولیکی در یک چاه متفاوت از دو چاه دیگر به‌دست آمده است. اما روش شاخص کیفیت مخزنی تعداد واحدهای جریان هیدرولیکی بیش‌تری نسبت به روش‌های شاخص زون جریان و رخساره‌های الکتریکی نشان داده است.

^۱ Fluid flow

نتایج حاصل از بررسی رابطه تخلخل - تراوایی در چاه‌های مورد مطالعه با استفاده از سه روش فوق حاکی از ضریب همبستگی بالاتر بین تخلخل و تراوایی در روش شاخص زون جریان نسبت به روش‌های رخساره‌های الکتریکی و شاخص کیفیت مخزنی بوده است. با این حال، تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی در روش رخساره‌های الکتریکی حتی در حالتی که داده‌های تخلخل و تراوایی در دسترس نیستند به کمک نگارهای پتروفیزیکی امکان‌پذیر بوده است.

از آن‌جا که یکی از مهم‌ترین مراحل انجام مطالعات مخزنی، دقت محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی و کاهش میزان خطای محاسبه آنها می‌باشد، دقت اندازه‌گیری ابزار چاه‌نگاری و وجود عدم قطعیت پایین در نتایج آن‌ها از عوامل مهم در بالا رفتن دقت محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی است. در بخش پایانی این مطالعه ابتدا، پارامترهای پتروفیزیکی مخزن در یکی از چاه‌های میدان مورد مطالعه، با روش قطعی محاسبه شد که نتایج مربوطه حاکی از بالا بودن کیفیت مخزنی در این چاه بوده است. سپس با استفاده از آنالیز مونت کارلو میزان عدم قطعیت قرائت نگارهای پتروفیزیکی محاسبه شده و در نهایت به کمک عدم قطعیت نگارهای پتروفیزیکی، در بخش مخزنی مورد مطالعه پارامترهای پتروفیزیکی با استفاده از آنالیز مونت کارلو محاسبه شده و مقادیر قطعی (1P)، احتمالی (2P) و ممکن (3P) برای هر یک از این پارامترها به دست آمده است. با استفاده از اختلاف میان این مقادیر، عدم قطعیت در هر پارامتر بررسی شد. بر این اساس بیش‌ترین و کم‌ترین میزان عدم قطعیت به ترتیب مربوط به پارامترهای تراوایی و تخلخل بوده است.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی تخلخل و تراوایی، واحدهای جریان هیدرولیکی، شاخص زون جریان، رخساره-های الکتریکی، شاخص کیفیت مخزنی، عدم قطعیت، آنالیز مونت کارلو

فهرست مطالب

فصل اول کلیات.....	۱
۱-۱- تعریف مسأله.....	۲
۲-۱- پارامترهای پتروفیزیکی.....	۴
۳-۱- سابقه تحقیق.....	۵
۴-۱- هدف و ضرورت تحقیق.....	۹
۵-۱- روش انجام تحقیق.....	۱۰
۶-۱- ساختار پایان نامه.....	۱۱
فصل دوم زمین شناسی و داده های میدان مورد مطالعه.....	۱۳
۱-۲- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه.....	۱۴
۲-۲- چینه شناسی میدان مورد مطالعه.....	۱۶
۱-۲-۲- ژوراسیک میانی.....	۱۶
۲-۲-۲- ژوراسیک بالایی.....	۱۷
۳-۲-۲- کرتاسه زیرین.....	۱۸
۴-۲-۲- کرتاسه بالایی.....	۲۰
۵-۲-۲- سنوزوئیک.....	۲۱
شکل ۱-۲- ستون چینه شناسی میدان مورد مطالعه بر اساس اطلاعات چاه های حفاری شده.....	۲۳
فصل سوم تجزیه و تحلیل داده های میدان مورد مطالعه.....	۲۵
۱-۳- مقدمه.....	۲۶
۲-۳- مدل سازی سه بعدی تخلخل مؤثر و تراوایی.....	۲۶
۱-۲-۳- فراخوانی اطلاعات در نرم افزار Petrel.....	۲۶
۳-۳- ساخت مدل ساختمانی میدان مورد مطالعه.....	۲۹
۱-۳-۳- شبکه بندی میدان مورد مطالعه.....	۲۹
۲-۳-۳- فراخوانی افق های تفسیر شده در فضای مدل.....	۳۰
۳-۳-۳- زون بندی مخزن مورد مطالعه.....	۳۰
۴-۳-۳- لایه بندی مخزن.....	۳۲
۴-۳- مدل سازی خواص پتروفیزیکی مخزن.....	۳۳
۱-۴-۳- درشت نمایی.....	۳۳
۲-۴-۳- تحلیل داده ها.....	۳۴

۳-۴-۳- مدلسازی تخلخل مؤثر و تراوایی با استفاده از روش‌های زمین‌آماري.....	۳۵
۳-۵- تخمین توزیع تخلخل مؤثر در مخزن مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار HRS.....	۴۰
۳-۶- مدلسازی شاخص زون جریان در محدوده مخزن مورد مطالعه.....	۶۲
۳-۶-۱- تخمین شاخص زون جریان.....	۶۲
۳-۶-۲- تخمین مدل سه‌بعدی شاخص زون جریان.....	۶۵
۳-۷- تعیین واحدهای جریان با استفاده از رخساره‌های الکتریکی در محدوده مخزن مورد مطالعه.....	۷۲
۳-۷-۱- تعیین رخساره‌های الکتریکی با استفاده از نرم‌افزار Geolog.....	۷۴
۳-۷-۱-۱- بررسی رابطه تخلخل- تراوایی با استفاده از رخساره‌های الکتریکی.....	۸۰
۳-۷-۱-۲- مدلسازی رخساره‌های الکتریکی.....	۸۲
۳-۸- تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی با روش آنالیز احتمال.....	۸۸
۳-۹- تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی با استفاده از شاخص کیفیت مخزن (RQI).....	۹۲
۳-۱۰- محاسبه عدم قطعیت نگارهای تخلخل مؤثر و تراوایی با استفاده از روش مونت کارلو.....	۹۸
۳-۱۰-۱- مرحله پیش محاسباتی.....	۱۰۴
۳-۱۰-۲- تعیین لیتولوژی سازند مورد مطالعه.....	۱۰۶
۳-۱۰-۳- ارزیابی به روش قطعی.....	۱۰۷
۳-۱۱- آماده سازی داده‌ها و محاسبه عدم قطعیت نگارهای پتروفیزیکی به روش مونت کارلو.....	۱۱۰
۳-۱۲- محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی به روش آنالیز مونت کارلو.....	۱۱۵
فصل چهارم نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....	۱۱۹
۴-۱- بحث و نتیجه‌گیری.....	۱۲۰
۴-۲- پیشنهادات.....	۱۲۲
منابع.....	۱۲۴

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲- ستون چینه‌شناسی میدان مورد مطالعه بر اساس اطلاعات چاه‌های حفاری شده ۲۳
- شکل ۱-۳- زون‌بندی مخزن مورد مطالعه ۲۷
- شکل ۲-۳- نمایی از اطلاعات لرزه‌ای فراخوانی شده در نرم افزار Petrel به همراه سازند مخزنی در یکی از چاه‌های میدان مورد مطالعه ۲۸
- شکل ۳-۳- شبکه‌بندی مخزن مورد مطالعه به همراه چاه‌های میدان مورد مطالعه ۳۰
- شکل ۴-۳- پنجره مربوط به زون‌بندی مخزن ۳۱
- شکل ۵-۳- زون‌های ایجاد شده در مخزن ۳۱
- شکل ۶-۳- پنجره مربوط به لایه‌بندی مخزن ۳۲
- شکل ۷-۳- نمایی از لایه‌بندی مخزن ۳۳
- شکل ۸-۳- نمایی از درشت‌نمایی نگار تخلخل مؤثر ۳۴
- شکل ۹-۳- مدل سه‌بعدی تخلخل مؤثر با استفاده از روش کریجینگ ۳۷
- شکل ۱۰-۳- مدل سه‌بعدی تراوایی با استفاده از روش کریجینگ ۳۷
- شکل ۱۱-۳- مدل سه‌بعدی تخلخل مؤثر با استفاده از روش SGS ۳۹
- شکل ۱۲-۳- مدل سه‌بعدی تراوایی با استفاده از روش SGS ۴۰
- شکل ۱۳-۳- موقعیت چاه‌های مورد استفاده در مرحله تخمین تخلخل ۴۱
- شکل ۱۴-۳- نقشه خطوط لرزه‌ای ترسیم شده توسط نرم افزار HRS ۴۲
- شکل ۱۵-۳- فراخوانی داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی در نرم افزار HRS ۴۲
- شکل ۱۶-۳- اعمال چک شات در چاه W-3 میدان مورد مطالعه ۴۳
- شکل ۱۷-۳- نمایی از فراخوانی نگار هدف، داده‌های لرزه‌ای و مقاومت ظاهری صوتی برای چاه‌های موردنظر در نرم-افزار HRS ۴۵
- شکل ۱۸-۳- نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیرخطی تک نشانگری به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف قبل از اعمال شیفت ۴۶
- شکل ۱۹-۳- میزان شیفت برای هر چاه به منظور افزایش همبستگی ۴۷
- شکل ۲۰-۳- نمایش نگار هدف اولیه پس از اعمال شیفت (نگار هدف پس از جابجایی به رنگ قرمز نشان داده شده است) ۴۷
- شکل ۲۱-۳- پنجره اصلی EMERGE پس از اعمال شیفت ۴۸
- شکل ۲۲-۳- نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیرخطی تک نشانگری به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف پس از اعمال شیفت ۴۹
- شکل ۲۳-۳- نمودار میزان خطا براساس تعداد نشانگرها برای تخمین تخلخل مؤثر ۵۰
- شکل ۲۴-۳- نتایج حاصل از طول عملگرهای متفاوت در میزان خطای تخمین تخلخل مؤثر با استفاده از روش تحلیل چند نشانگری ۵۱
- شکل ۲۵-۳- نوع و تعداد نشانگرهای انتخاب شده برای تخمین تخلخل مؤثر در مخزن مورد مطالعه ۵۲
- شکل ۲۶-۳- نمایش میزان همبستگی نگار تخلخل مؤثر محاسباتی براساس نمودارهای چاه‌پیمایی و نگار تخلخل مؤثر محاسباتی براساس لرزه در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های آموزشی ۵۳
- شکل ۲۷-۳- نمایش میزان همبستگی نگار تخلخل مؤثر محاسباتی براساس نمودارهای چاه‌پیمایی و نگار تخلخل مؤثر محاسباتی براساس لرزه در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های اعتبارسنجی ۵۴

شکل ۳-۲۸- نمودار میزان همبستگی داده‌های تخلخل مؤثر محاسباتی براساس نمودارهای چاه‌پیمایی و نگار تخلخل مؤثر محاسباتی براساس لرزه	۵۴
شکل ۳-۲۹- نقشه توزیع تخلخل مؤثر در افق‌های ۱۰ میلی‌ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی	۵۵
شکل ۳-۳۰- نقشه توزیع تخلخل مؤثر در افق‌های ۱۵ میلی‌ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی	۵۶
شکل ۳-۳۱- نقشه توزیع تخلخل مؤثر در افق‌های ۲۰ میلی‌ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی	۵۶
شکل ۳-۳۲- نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیرخطی تک نشانگری برای تخمین تخلخل مؤثر به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف، در مرحله تکرار	۵۷
شکل ۳-۳۳- نشانگرهای انتخاب شده برای تخمین تخلخل مؤثر برای مخزن مورد مطالعه، در مرحله تکرار	۵۸
شکل ۳-۳۴- نمایش میزان همبستگی نگار تخلخل مؤثر محاسباتی بر اساس نمودارهای چاه‌پیمایی و محاسبه شده بر اساس لرزه در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های آموزشی در مرحله تکرار	۵۹
شکل ۳-۳۵- نمایش میزان همبستگی نگار تخلخل مؤثر محاسباتی بر اساس نمودارهای چاه‌پیمایی و محاسبه شده بر اساس لرزه در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های اعتبارسنجی در مرحله تکرار	۶۰
شکل ۳-۳۶- نقشه توزیع تخلخل مؤثر در افق‌های ۱۰ میلی‌ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی در مرحله تکرار	۶۱
شکل ۳-۳۷- نقشه توزیع تخلخل مؤثر در افق‌های ۱۵ میلی‌ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی در مرحله تکرار	۶۱
شکل ۳-۳۸- نقشه توزیع تخلخل مؤثر در افق‌های ۲۰ میلی‌ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی در مرحله تکرار	۶۲
شکل ۳-۳۹- نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیر خطی تک نشانگری به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف قبل از اعمال شیفت	۶۶
شکل ۳-۴۰- میزان شیفت برای هر چاه به منظور افزایش همبستگی	۶۶
شکل ۳-۴۱- نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیرخطی تک نشانگری به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف پس از اعمال شیفت	۶۷
شکل ۳-۴۲- نمودار میزان خطا براساس تعداد نشانگرها برای تخمین نشانگر زون جریان	۶۷
شکل ۳-۴۳- نتایج حاصل از طول عملگرهای متفاوت در میزان خطای تخمین شاخص زون جریان با استفاده از روش تحلیل چندنشانگری	۶۸
شکل ۳-۴۴- نشانگرهای انتخاب شده برای تخمین شاخص زون جریان برای مخزن مورد مطالعه	۶۸
شکل ۳-۴۵- نمایش میزان همبستگی نگار شاخص زون جریان واقعی و محاسبه شده در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های آموزشی	۶۹
شکل ۳-۴۶- نمایش میزان همبستگی نگار شاخص زون جریان واقعی و محاسبه شده در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های اعتبارسنجی	۷۰
شکل ۳-۴۷- نمودار میزان همبستگی داده‌های شاخص زون جریان واقعی و محاسبه شده	۷۰
شکل ۳-۴۸- نقشه توزیع شاخص زون جریان در افق‌های ۱۰ میلی‌ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی	۷۱
شکل ۳-۴۹- نقشه توزیع شاخص زون جریان در افق‌های ۱۵ میلی‌ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی	۷۱
شکل ۳-۵۰- نقشه توزیع شاخص زون جریان در افق‌های ۲۰ میلی‌ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی	۷۲
شکل ۳-۵۱- هیستوگرام نگارهای مورد استفاده در آنالیز خوشه‌ای در مرحله آموزش	۷۴
شکل ۳-۵۲- نمودار همبستگی نگارهای مورد استفاده در آنالیز خوشه‌ای در مرحله آموزش	۷۵
شکل ۳-۵۳- نمودار همبستگی نگارهای مورد استفاده در آنالیز خوشه‌ای در مرحله مدل‌سازی	۷۶
شکل ۳-۵۴- نتایج حاصل از خوشه‌بندی MRGC	۷۷
شکل ۳-۵۵- الکتروفاسیس‌های تفکیک شده با روش MRGC	۷۷
شکل ۳-۵۶- تغییرات تخلخل مؤثر و تراوایی در مخزن مورد مطالعه	۷۹

شکل ۳-۵۷- نمودار تخلخل مؤثر درمقابل تراوایی در مخزن مورد مطالعه	۷۹
شکل ۳-۵۸- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه	
W-1	۸۰
شکل ۳-۵۹- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه	
W-2	۸۱
شکل ۳-۶۰- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه	
W-3	۸۱
شکل ۳-۶۱- نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیر خطی تک‌نشانگری برای تخمین رخساره‌های الکتریکی به همراه	
میزان خطا و همبستگی با نگار هدف، قبل از اعمال شیفت	۸۲
شکل ۳-۶۲- میزان شیفت برای هر چاه به منظور افزایش همبستگی	۸۳
شکل ۳-۶۳- نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیرخطی تک‌نشانگری برای تخمین رخساره‌های الکتریکی به همراه	
میزان خطا و همبستگی با نگار هدف، پس از اعمال شیفت	۸۳
شکل ۳-۶۴- نمودار میزان خطا براساس تعداد نشانگرها برای تخمین رخساره‌های الکتریکی	۸۴
شکل ۳-۶۵- نتایج حاصل از طول عملگرهای متفاوت در میزان خطای تخمین رخساره‌های الکتریکی با استفاده از	
روش تحلیل چند نشانگری	۸۴
شکل ۳-۶۶- نشانگرهای انتخاب شده برای تخمین رخساره‌های الکتریکی برای مخزن مورد مطالعه	۸۵
شکل ۳-۶۷- نمایش میزان همبستگی نگار رخساره‌های الکتریکی واقعی و محاسبه شده در مخزن مورد مطالعه برای	
داده‌های آموزشی	۸۶
شکل ۳-۶۸- نمایش میزان همبستگی نگار رخساره‌های الکتریکی واقعی و محاسبه شده در مخزن مورد مطالعه برای	
داده‌های اعتبارسنجی	۸۶
شکل ۳-۶۹- نقشه توزیع رخساره‌های الکتریکی در افق ۱۰ میلی‌ثانیه زیر سازند مخزنی مورد مطالعه، با استفاده از	
روش MLFN	۸۷
شکل ۳-۷۰- نقشه توزیع رخساره‌های الکتریکی در افق ۱۵ میلی‌ثانیه زیر سازند مخزنی مورد مطالعه، با استفاده از	
روش MLFN	۸۷
شکل ۳-۷۱- نقشه توزیع رخساره‌های الکتریکی در افق ۲۰ میلی‌ثانیه زیر سازند مخزنی مورد مطالعه، با استفاده از	
روش MLFN	۸۸
شکل ۳-۷۲- نمودار احتمال لگاریتم شاخص زون جریان در چاه W-1	۸۹
شکل ۳-۷۳- نمودار احتمال لگاریتم شاخص زون جریان در چاه W-2	۸۹
شکل ۳-۷۴- نمودار احتمال لگاریتم شاخص زون جریان در چاه W-3	۹۰
شکل ۳-۷۵- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه	
W-1	۹۱
شکل ۳-۷۶- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه	
W-2	۹۱
شکل ۳-۷۷- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه	
W-3	۹۲
شکل ۳-۷۸- نمودار شاخص کیفیت مخزنی در مقابل تخلخل نرمال شده در چاه W-1	۹۳
شکل ۳-۷۹- نمودار شاخص کیفیت مخزنی در مقابل تخلخل نرمال شده در چاه W-2	۹۴
شکل ۳-۸۰- نمودار شاخص کیفیت مخزنی در مقابل تخلخل نرمال شده در چاه W-3	۹۴

شکل ۳-۸۱- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانیه مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه	W-1
۹۵.....	
شکل ۳-۸۲- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانیه مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه	W-2
۹۶.....	
شکل ۳-۸۳- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانیه مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه	W-3
۹۷.....	
شکل ۳-۸۴- نتایج حاصل از مرحله پیش محاسباتی در چاه W-3	۱۰۵.....
شکل ۳-۸۵- نمودار متقاطع نوترون- چگالی برای بخش مخزنی در چاه W-3	۱۰۷.....
شکل ۳-۸۶- نتایج مرحله پیش محاسباتی با استفاده از آنالیز مونت کارلو در چاه W-3	۱۱۳.....
شکل ۳-۸۷- نگارهای پتروفیزیکی تصحیح شده به روش مونت کارلو در چاه W-3	۱۱۴.....

فهرست جدول‌ها

- جدول ۳-۱- نتایج به‌دست آمده از انواع شبکه‌های عصبی برای مدل سه‌بعدی تخلخل مؤثر ۵۲
- جدول ۳-۲- نتایج به‌دست آمده از انواع شبکه‌های عصبی برای مدل سه‌بعدی تخلخل مؤثر در مرحله تکرار ۵۸
- جدول ۳-۳- نتایج به‌دست آمده از انواع شبکه‌های عصبی برای مدل سه‌بعدی شاخص زون جریان ۶۹
- جدول ۳-۴- نتایج به‌دست آمده از انواع شبکه‌های عصبی برای مدل سه‌بعدی رخساره‌های الکتریکی ۸۵
- جدول ۳-۵- ضرایب همبستگی میان تخلخل مؤثر و تراوایی در بخش مخزنی چاه W-1 ۹۶
- جدول ۳-۶- ضرایب همبستگی میان تخلخل مؤثر و تراوایی در بخش مخزنی چاه W-2 ۹۷
- جدول ۳-۷- ضرایب همبستگی میان تخلخل مؤثر و تراوایی در بخش مخزنی چاه W-3 ۹۸
- جدول ۳-۸- مقادیر میانگین تخلخل در بخش مخزنی چاه W-3 ۱۰۹
- جدول ۳-۹- میزان خطای در نظر گرفته شده برای هر پارامتر ۱۱۱
- جدول ۳-۱۰- میزان خطای در نظر گرفته شده برای نگارهای پتروفیزیکی ۱۱۲
- جدول ۳-۱۱- میانگین مقادیر تصحیح شده و مقادیر حداقل و حداکثر برای هر یک از این نگارهای پتروفیزیکی... ۱۱۵
- جدول ۳-۱۲- میانگین پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در مخزن مورد مطالعه ۱۱۷

فصل اول

کلیات

۱-۱- تعریف مسأله

مدل‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی نقشی اساسی در مهندسی مخازن نفت به عهده دارند. مدل‌سازی مخزن یک مدل جامع تلفیقی از مهندسی و زمین‌شناسی است. مدل جامع مخزن نیاز به دانش زمین‌شناسی، خصوصیات سنگ و سیال، جریان سیالات^۱ درون آن، مکانیسم برداشت، حفاری و تکمیل چاه و غیره دارد [۱]. به منظور توصیف مخزن، معمولاً از اطلاعات چاه‌پیمایی و لرزه‌نگاری استفاده می‌گردد. داده‌های چاه دارای دقت خوبی هستند ولی فضای محدودی از مخزن را پوشش می‌دهند و با توجه به پیچیدگی - های زمین‌شناسی مخزن، نمی‌توان این اطلاعات را به سادگی به کل مخزن تعمیم داد. از طرف دیگر اطلاعات لرزه‌نگاری دقت کمتری دارند ولی محدوده وسیعی از مخزن را پوشش می‌دهند. بنابراین برای به‌دست آوردن پارامترهای مخزنی از جمله تخلخل و تراوایی در کل حجم مخزن، می‌توان از ترکیب این دو دسته اطلاعات استفاده کرد. در واقع پارامتر مورد نظر مانند تخلخل، از تعدادی چاه در مخزن به همراه مکعب لرزه‌ای موجود است و محاسبه آن پارامتر در کل حجم مخزن مورد نظر است. برای این کار روش‌های متعددی از جمله روش‌های زمین‌آمار و شبکه‌های عصبی مصنوعی وجود دارد [۲]. یکی از روش‌های نوین مورد استفاده در مدل‌سازی و تخمین تخلخل، طراحی شبکه‌های عصبی مصنوعی است که برای پیش‌بینی پارامترهای پتروفیزیکی به کار می‌رود [۳]. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی روشی برای یافتن رابطه بین نمودارهای درون چاهی و نشانگرهای لرزه‌ای است. فراگیری و آموزش سیستم مغز انسان بر تجربه استوار است [۲].

روش‌های زمین‌آماری به طور روز افزون در مدل‌سازی مخازن نفتی استفاده می‌شوند. هدف از توصیف زمین‌آماری مخزن سه چیز است؛ نخست فراهم نمودن مدل‌های مخزنی که قادر به نشان دادن ناهمگنی

^۱ Fluid flow

زمین‌شناسی پیش‌بینی یا کشف شده باشند، دوم فراهم نمودن کمیت‌های عدم قطعیت از طریق مدل-های چندگانه مخزن که تمامی آنها از ناهمگنی زمین‌شناسی یکسانی برخوردار باشند و سوم استفاده از انواع مختلف داده‌ها که هر نوع داده، اطلاعاتی با مقیاس‌ها و دقت‌های متفاوت را ارائه می‌دهند [۴]. استفاده از زمین‌آمار در تخمین پارامترهای مخزنی در کل حجم مخزن، مناسب‌ترین روش است که در حال پیشرفت و نوآوری است. زمین‌آمار بخشی از ارزیابی‌های آمار است که در آن مختصات داده‌های مربوط به جامعه تحت بررسی و در نتیجه ساختار فضایی داده‌های مربوطه، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. از دیدگاه زمین‌آمار هر نمونه تا یک حداکثر فاصله معین با نمونه‌های اطراف خود ارتباط فضایی دارد. بنابراین با معلوم بودن مقدار یک پارامتر در یک نقطه می‌توان مقدار آن را در نقاط اطراف تخمین زد. تخمین زمین‌آمار را کریجینگ گویند که شامل دو مرحله است. مرحله اول، شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی پارامترهای مورد تخمین با استفاده از واریوگرام است. مرحله دوم، تخمین پارامتر موردنظر به روش کریجینگ است که به مشخصات مدل واریوگرام برازش شده در مرحله قبل وابسته است [۵].

روش‌های متفاوتی برای مدل‌سازی سه بعدی مخزن وجود دارد. در هر کدام از این روش‌ها از اطلاعات زمین‌شناسی، ریاضیات یا آمار استفاده می‌شود و نرم‌افزارهای متفاوتی در مدل‌سازی مخزن وجود دارد. این مدل‌های سه بعدی تصویری رقومی از پراکندگی خواص مخزنی (رخساره‌ها، تخلخل، اشباع آب، حجم شیل و غیره) را در اختیار ما قرار می‌دهد که با استفاده از آنها می‌توان به بسیاری از مسائل از جمله ارزیابی حجم هیدروکربن برجای مخازن، طراحی چاه‌های جدید، ایجاد تطابق چینه‌شناسی در بین چاه‌های حفر شده، آنالیز عدم قطعیت از نتایج حاصل شده، برآورد میزان هزینه‌ها، شبیه‌سازی دینامیک مخزن، شناسایی درز و شکاف مخزن و غیره پاسخ داد. همچنین در مقیاس بزرگ‌تر می‌توان تولید از مخازن پیچیده و طرح‌های توسعه میداین و تکنیک‌های جدید تولید از مخزن را پوشش داد [۸].

تاکنون مطالعات بسیاری در خصوص تعیین رابطه تخلخل و تراوایی صورت گرفته است که به لحاظ پیچیدگی، ارتباط میان این دو پارامتر مهم اغلب در شرایط خاص اعتبار دارند. روابط کوزنی-کارمن^۱، رز-وایلی^۲ و کوتس-دومانویر^۳، از جمله روابط متداول در تعیین رابطه تخلخل و تراوایی می‌باشند [۶].

امروزه برآورد عدم قطعیت کمیت‌های پتروفیزیکی اهمیت خاصی پیدا کرده است. به کارگیری روش‌های مختلف در تخمین یک پارامتر پتروفیزیکی خاص معمولاً نتایج متفاوت و غیر یکسانی را به دنبال دارد که نشان‌دهنده وجود خطای کم و بیش زیاد در تخمین پارامتر پتروفیزیکی مورد نظر می‌باشد. بنابراین در مراحل مختلف انجام عملیات اکتشافی بر روی یک مخزن هیدروکربنی همواره عدم قطعیت در برآورد پارامترهای پتروفیزیکی آن مخزن وجود دارد [۷]. در این مطالعه عدم قطعیت کمیت‌های تخلخل و تراوایی با استفاده از روش آنالیز مونت کارلو محاسبه شده است.

۱-۲- پارامترهای پتروفیزیکی

پارامترهای پتروفیزیکی مانند تخلخل و تراوایی و نحوه توزیع منافذ در سنگ مخزن کربناته به هر دو عامل محیط رسوب‌گذاری و دیاژنز رسوب بستگی دارد. این پارامترها بیشتر از نوع ثانویه یا دیاژنزی بوده، اگر چه منافذ اولیه باقیمانده نیز وجود دارد. کربنات‌ها به علت اجزاء پیچیده کربناته و همچنین ترکیبات دیاژنز دارای انواع متعددی از ساختار منافذ هستند. در کربنات‌ها، تخلخل و تراوایی به خوبی با اندازه دانه‌ها و جورشدگی مرتبط نیستند. تخلخل و تراوایی به طور وسیع توسط ریز دانه‌ها و همچنین دیاژنز کنترل می‌شوند. بنابراین ارتباط خواص پتروفیزیکی با نوع سنگ بسیار مشکل و پیچیده است. به‌طور کلی رابطه منحصر به فردی میان تخلخل سنگ و تراوایی وجود ندارد. با این حال تلاش‌های زیادی به منظور ایجاد رابطه میان این دو پارامتر توسط محققین انجام شده است که در ادامه بیان خواهد شد [۸].

¹ Kozeny-Carman

² Coates Dumanoir

³ Wyllie-Rose

۱-۳- سابقه تحقیق

مدل سازی مخزن، تاکنون توسط پژوهشگران زیادی در دنیا و همچنین در کشور ما با روش های مختلف صورت گرفته است. ژائو و همکاران^۱ (۲۰۱۴) با استفاده از مدل سازی زمین آماری، خواص مخزنی شامل ضخامت، تخلخل و تراوایی را مورد بررسی قرار دادند [۹]. لوپز و همکاران^۲ (۲۰۱۴) به مدل سازی سه بعدی زمین شناسی میادین نفتی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی برای پیش بینی خواص زمین شناسی پرداختند [۱۰].

زو و همکاران^۳ (۲۰۱۵) در یک مطالعه موردی در یک مخزن ماسه سنگی با تخلخل و تراوایی پایین با استفاده از معکوس سازی زمین آماری با محدودیت چاه، به توصیف مخزن پرداختند [۱۱].

شکرانه و روستایی (۱۳۸۸) به بررسی توزیع پارامترهای پتروفیزیکی، تعیین نوع تخلخل و تعیین سطوح تماس سیالات با استفاده از نگارهای چاه پیمایی پرداخته اند [۱۲]. موسوی (۱۳۹۱) با استفاده از رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی به تخمین تخلخل به دست آمده از نگار^۴ NMR از نشانگرهای لرزه ای پرداخته است [۱۳]. پیامنی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از روش های زمین آماری به مدل سازی سه بعدی تخلخل و تراوایی پرداختند [۱۴]. رحیمی دلخانی و کشاورز فرج خواه (۱۳۹۲) روش های تخمین تخلخل با تلفیق داده های چاه پیمایی و لرزه نگاری را مورد ارزیابی قرار داده اند [۲]. مؤمن زاده و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از نرم افزار Petrel به مدل سازی مخزن در یکی از میادین جنوب غربی ایران پرداخته اند [۱]. صادقی و فتحیان پور (۱۳۹۰) به بررسی روش های هوشمند به خصوص شبکه عصبی مصنوعی به منظور تخمین تخلخل برای پارامترهای پتروفیزیک سنگ مخزن و مقایسه نتایج حاصل از شبکه عصبی با داده های به دست آمده از چاه به منظور تخمین تخلخل پرداخته اند [۱۵].

¹ Zhao
² Lopez

³ Xu
⁴ Nuclear magnetic resonance

روش استفاده از شاخص زون جریانی^۱ روش متداولی جهت تعیین واحدهای جریانی است که مبنای مطالعات بسیاری قرار گرفته است. آمیفول و همکاران^۲ (۱۹۹۳) به تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی با استفاده از داده‌های نگار و مغزه و پیش‌بینی تراوایی در چاه‌های فاقد مغزه پرداختند [۱۶]. فهد و استفن^۳ (۲۰۰۰) در یک مخزن ماسه سنگی در عربستان سعودی با استفاده از اطلاعات نگارهای پتروفیزیکی و مفهوم واحدهای جریان، تراوایی را ارزیابی کردند و یک روش خوشه‌بندی جدید و با کاربرد آسان را ارائه دادند که در آن از روش مجموع مربعات خطا به عنوان معیاری برای تعیین تعداد واحدهای هیدرولیک جریان برای توصیف مخزن استفاده شد و بیان کردند که تراوایی تخمین زده شده با روش واحدهای جریان، با استفاده از الگوریتم انتظار شرطی متناوب^۴ قابل تعمیم به چاه‌های فاقد مغزه است [۱۷]. عابد^۵ (۲۰۱۴) شاخص زون جریانی را با استفاده از داده‌های نگار و مغزه در واحدهای جریانی مختلف با استفاده از الگوریتم K-means محاسبه کرده، سپس رابطه بین واحدهای هیدرولیک جریانی تخمین زده شده با داده‌های نگار و مغزه با استفاده از الگوریتم ACE توسعه داده و بیان کرده است که این رابطه، می‌تواند نفوذپذیری مخزن را در مقیاس واحد جریان، برآورد کند [۱۸].

ذاکری و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش شاخص زون جریانی به تعیین واحدهای هیدرولیکی در دو چاه حفر شده در مخزن بنگستان میدان نفتی کوپال، به منظور بررسی کیفیت مخزنی در هر واحد جریانی، پرداختند [۱۹]. ایزدی و خراط (۱۳۹۱) با استفاده از روش واحدهای جریان هیدرولیکی، به محاسبه تخلخل در چاه‌های فاقد مغزه پرداخته‌اند [۲۰]. نوریان و همکاران (۱۳۹۳) به تفکیک گروه‌های سنگی با استفاده از واحدهای جریانی و روش خوشه‌بندی در مخزن بنگستان میدان منصوری پرداختند. که در نتیجه مقایسه روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی و روش k-means با استفاده از روش اعتبارسنجی silhouette، روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی به عنوان روش بهینه انتخاب شد و همچنین

¹ Flow zone indicator

² Amaefule

³ Fahad

⁴ Alternating conditional expectation (ACE)

⁵ Abed

با مقایسه گونه‌های سنگی تعیین شده به روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی با واحدهای جریان و نیز رخساره‌های میکروسکوپی مخزن، هر دو روش، نتایج قابل قبولی برای تعیین گونه‌های سنگی نشان دادند [۲۱]. عباس زاده و همکاران (۱۹۹۶) به پیش‌بینی تراوایی با استفاده از روش واحدهای جریان در دو مخزن ناهمگن کربناته و ماسه سنگی پرداخته‌اند. که مقایسه تراوایی محاسبه شده با روش واحدهای جریان و سایر روش‌ها نشان دهنده موفقیت روش واحدهای جریان بوده است [۲۲].

نگارهای چاه‌پیمایی اطلاعات مفیدی از خواص فیزیکی سنگ‌های مخزن مانند سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، بافت و خصوصیات پتروفیزیکی مانند تخلخل و تراوایی، را در اعماق مختلف زمین به دست می‌دهند. اطلاعاتی که از این نگارها استخراج می‌شوند، می‌تواند به صورت رخساره‌های الکتریکی یا الکتروفاسیس‌ها^۱ طبقه‌بندی گردد. اصطلاح رخساره‌های الکتریکی اولین بار توسط سرا و ابوت^۲ (۱۹۸۲) معرفی شد [۲۳]. رخساره‌های الکتریکی، مفهوم جدیدی از گونه‌های سنگی بر اساس پاسخ‌های نگارهای چاه‌پیمایی در مخازن کربناته را بیان می‌نمایند. یه و رابیلر^۳ (۲۰۰۰) روش خوشه‌بندی چند تفکیکی بر پایه گراف^۴ را به عنوان یک روش خوشه‌بندی جدید برای آنالیز رخساره‌های الکتریکی ارائه داده‌اند [۲۴].

کدخدایی ایلخچی و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که تلفیق روش تفکیک گونه‌های سنگی، روش رخساره‌های الکتریکی و روش واحدهای جریان، هر دو جنبه زمین‌شناسی و پتروفیزیکی در ماسه‌های گازی در میدان ویچررنج در استرالیا غربی، را به طور مؤثری ترکیب می‌نماید و به درک و تفسیر صحیح از رفتار تولید مخزن کمک می‌کند [۲۵]. سلیمانی و همکاران (۱۳۹۲) با تعیین رخساره‌های الکتریکی در میدان نفتی لالی نشان دادند که رخساره‌های الکتریکی مشابه، به دلیل ترکیب سنگ‌شناسی متفاوت، تأثیر زیادی بر تعداد شکستگی‌ها در محدوده خود دارند [۲۶]. فرازانی و همکاران (۱۳۹۳) به تعیین رخساره‌های الکتریکی در سازند آسماری در میدان نفتی گچساران با استفاده از روش آنالیز

¹ Electrofacies

² Serra

³ Ye

⁴ Multi resolution graph- based clustering (MRGC)

خوشه‌ای گرافیکی پرداخته و نشان داده‌اند که به کارگیری نگارهای تصویرگر موجب بهبود تفکیک رخساره‌های الکتریکی می‌شود [۲۷]. صالحی و همکاران (۱۳۹۴) به آنالیز گونه‌های سنگی با استفاده از روش‌های مختلف و با هدف ارزیابی کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سورمه در یکی از میدان‌های بخش مرکزی خلیج فارس پرداختند [۲۸]. زحمت‌کش و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از روش شبکه عصبی خود سازمان‌ده^۱ رخساره‌های الکتریکی سازند آسماری در یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران را تعیین کردند و اظهار داشتند که با توجه به انطباق خوب نتایج مدل بهینه شده آنها با واقعیت، رخساره‌های الکتریکی در حکم جانشین برای رخساره‌های رسوبی ساخته و به تمام چاه‌های میدان تعمیم داده شد [۲۹]. خوشبخت و محمدنیا (۲۰۱۲) روش‌های خوشه‌بندی مختلف را به منظور پیش-بینی تراوایی در یکی از میادین جنوب غرب ایران به کار بردند و بیان داشتند که مقایسه نتایج حاصل با نتایج حاصل از روش‌های تجربی، آنالیز رگرسیون و شبکه‌های عصبی حاکی از عملکرد بهتر روش خوشه‌بندی خود سازمان‌ده بوده است [۳۰]. باستانی کهریزک و نبی بیدهندی (۲۰۱۵) با استفاده از روش خوشه‌بندی MRGC و واحدهای جریان، گونه‌های سنگی را در یکی از مخازن کربناته جنوب ایران تعیین کردند و نشان دادند که نتایج حاصل از دو روش با نتایج حاصل از نگارهای پتروفیزیکی و آنالیز مغزه انطباق خوبی داشته است [۳۱]. رستگاریا و همکاران (۲۰۱۶) به مدل‌سازی سه بعدی شاخص زون جریان و رخساره‌های الکتریکی با استفاده از آنالیز نشانگرهای لرزه‌ای و روش شبکه‌های عصبی پرداختند و نشان دادند که توزیع رخساره‌های مخزنی به درک ناهمگنی زیر سطحی در مخزن مورد مطالعه کمک می‌کند [۳۲].

ارتباط بین تخلخل و تراوایی در مخازن هیدروکربنی توسط محققین مختلفی در دنیا و ایران مورد مطالعه قرار گرفته است. ارنبرگ و نادئو^۲ (۲۰۰۵) روابط تخلخل-تراوایی را در مخازن کربناته جهان در مقایسه با مخازن ماسه سنگ مورد بررسی قرار دادند [۳۳]. همچنین ارنبرگ و همکاران^۳ (۲۰۰۶) روابط

^۱Self organizing map (SOM)

^۲ Ehrenberg

^۳ Ehrenberg

تخلخل- تراوایی را در پنج پلاتفرم کربناته با میان لایه‌های دولومیتی Madison Fm., Great Bahama Bank, Finnmark Platform, Asmari Fm., Marion Plateau مطالعه نمودند [۳۴].

علاوه بر این، رابطه تخلخل- تراوایی و عمق با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط جامی الاحمدی و جوادپور (۱۹۹۹) مورد بررسی قرار گرفته است [۳۵].

همانند بسیاری از پیش‌بینی‌ها در علوم فیزیکی، پیش‌بینی‌های به‌دست آمده از داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی و دیگر داده‌های ژئوفیزیکی، چه در مورد هندسه فضاها، خواص سنگ یا سیال و یا جریان سیال، همواره یک عدم قطعیت ذاتی وجود دارد. کندی و همکاران^۱ (۲۰۱۰) میزان عدم قطعیت‌های تخمین پارامترهای پتروفیزیکی بر پایه مدل را مورد بررسی قرار داده‌اند [۳۶].

کمالی و همکاران (۲۰۱۳) به مدل‌سازی سه‌بعدی زمین‌آماری و آنالیز عدم قطعیت در یک مخزن کربناته در جنوب غربی ایران پرداخته‌اند [۳۷]. سیدی و نوذری (۱۳۹۴) به مدل‌سازی پتروفیزیکی و بررسی عدم قطعیت با روش مونت کارلو و آنالیز حساسیت در میدان نفتی جفیر پرداخته و شانس برداشت از حجم بر جای نفت با احتمال‌های ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد را محاسبه کرده‌اند. آنالیز حساسیت انجام شده نشان‌دهنده اهمیت مدل‌سازی این دو پارامتر تخلخل و اشباع آب بوده است [۳۸].

۴-۱- هدف و ضرورت تحقیق

تخلخل یکی از مهم‌ترین پارامترهای پتروفیزیکی مخزن بوده و آگاهی دقیق از این پارامتر به مهندسين نفت این امکان را می‌دهد که برای بررسی دقیق مراحل تولید، در یک میدان ابزارهای کافی در اختیار داشته باشند. علاوه بر این تخلخل، از مهم‌ترین اطلاعات در زمینه طراحی و کنترل عملیات اکتشاف است که مهندسين با آگاهی از آن توانایی بیش‌تری در توسعه اقتصادی میادین نفت و گاز خواهند داشت. از سویی تعیین ویژگی‌های مخازن کار بسیار مشکلی است، زیرا یک مخزن در تمام نقاط،

¹ Kennedy

ویژگی‌های مشابه ندارد و به صورت ناهمگون^۱ می‌باشد، این امر باعث می‌شود ارتباط بین پارامترهای مختلف پیچیده شود و ارزیابی مخزن مشکل گردد.

تخلخل را می‌توان با استفاده از آنالیز نمونه‌های مغزه در آزمایشگاه به‌دست آورد. ولی مغزه‌گیری از بخش‌های محدودی از کل مغزه‌ها با توجه به صرف هزینه و وقت زیادی میسر است، همچنین به دلیل غیرممکن بودن عمل مغزه‌گیری از چاه‌های افقی، فقط تعداد کمی از چاه‌های یک میدان دارای مغزه می‌باشند. با توجه به اینکه نمودارهای چاه‌پیمایی مانند نوترون، چگالی، صوتی، اشعه گاما و مقاومت برای اکثر چاه‌ها در دسترس‌اند، لذا دستیابی به روش‌هایی برای ارزیابی سریع‌تر و دقیق‌تر تخلخل از روی داده‌های چاه‌پیمایی بسیار مفید است.

در شناسایی و ارزیابی مخازن نفتی، تشخیص و تخمین هرچه دقیق‌تر خواص پتروفیزیکی، تاثیر به‌سزایی در مدیریت و بهره‌برداری صحیح از مخزن دارد. از طرف دیگر وجود عدم قطعیت در برآورد هر یک از خواص پتروفیزیکی مورد نظر مانند تخلخل و تراوایی، در ارزیابی دقیق آنها نقش مؤثری دارد و به همین علت تعیین عدم قطعیت تخلخل و تراوایی در مخازن هیدروکربوری از اهمیت خاصی برخوردار است. انجام این تحقیق از جنبه علمی بسیار حائز اهمیت است که ضمن شناخت بهتر مخزن سعی می‌گردد میزان دقت روش‌های ژئوفیزیکی در تعیین خصوصیات مخزن مشخص گردد.

۱-۵- روش انجام تحقیق

در این تحقیق، مدل‌سازی مخزن با استفاده از تلفیق اطلاعات چاه و نتایج حاصل از تفسیرهای ژئوفیزیکی (اطلاعات لرزه‌نگاری) انجام شده است و از آنجایی که روش‌های زمین‌آماری برای توصیف ناهمگنی در مخازن با مقیاس کوچک‌تر از فاصله چاه‌ها به‌کار می‌رود، تفسیرهای ژئوفیزیکی در خصوص پارامترهای مخزن به‌خصوص در مخازن کربناته بسیار حائز اهمیت است.

¹ Hetrogeneous

در حال حاضر ساخت مدل کامپیوتری از ساختمان و خصوصیات استاتیکی مخزن جهت انجام شبیه-سازی دینامیکی، فعالیتی است که توسط شرکت‌هایی که در حوزه مطالعات میادین کار می‌کنند، انجام می‌گیرد. اما روش‌های به کار گرفته شده در ساخت مدل کامپیوتری مخازن بسیار متنوع می‌باشد که در مواردی نیز به نتایج کاملاً متفاوتی منتج می‌شود. این پژوهش به استفاده از روش‌های زمین‌آمار و شبکه‌های عصبی مصنوعی در ارزیابی و مدل‌سازی داده‌های پتروفیزیکی و انتخاب بهترین مدل می‌پردازد. در این مطالعه ابتدا با استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی موجود توزیع تخلخل با استفاده از روش زمین‌آمار و نرم‌افزار Petrel و همچنین توزیع تخلخل به کمک داده‌های لرزه‌نگاری و با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در نرم‌افزار HRS به دست آمده و نتایج حاصل با هم مقایسه می‌گردد. تراوایی نیز با استفاده از نگارهای موجود در چاه‌ها بررسی شده و سپس رابطه تخلخل - تراوایی بررسی می‌گردد. در نهایت میزان عدم قطعیت هریک از کمیت‌های پتروفیزیکی تخلخل و تراوایی با استفاده از روش آنالیز مونت کارلو تعیین می‌شود.

۱-۶- ساختار پایان‌نامه

این مطالعه در چهار فصل ارائه شده است. فصل اول به تعریف مسأله تحقیق، شرح مختصری در مورد پارامترهای پتروفیزیکی مورد مطالعه، بیان سابقه مطالعات مرتبط با موضوع تحقیق، هدف، ضرورت و روش انجام تحقیق پرداخته است. در فصل دوم اطلاعات زمین‌شناسی میدان مورد مطالعه آمده است. در فصل سوم جزئیات روند انجام تحقیق، شامل مدل‌سازی تخلخل در نرم‌افزارهای Petrel و HRS، محاسبه و مدل‌سازی شاخص زون جریان و ارائه رابطه تخلخل - تراوایی و در نهایت، نحوه محاسبه عدم قطعیت پارامترهای تخلخل و تراوایی، به همراه خلاصه‌ای از تئوری روش‌های ذکر شده، ارائه شده است. در فصل چهارم نتیجه‌گیری و پیشنهادات لازم جهت تحقیق بیشتر در این زمینه آورده شده است.

فصل دوم

زمین‌شناسی و داده‌های میدان مورد مطالعه

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

میدان مورد مطالعه که در بخش دور از ساحل خلیج فارس در نزدیک مرز ایران و قطر قرار دارد، ساختمانی گنبدی شکل است که بر روی پی‌سنگ قوسی قرار گرفته است. این قوس به عنوان بلندی قطر- فارس شناخته می‌شود. بر اساس نتایج حاصل از تعبیر و تفسیر داده‌های لرزه‌نگاری سه بعدی، این ساختمان به وسیله شبکه‌ای از گسل‌های عادی که در دو روند شمال- شمال باختر، جنوب- جنوب خاور و شمال- شمال خاور، جنوب- جنوب باختر واقع شده‌اند به سه بلوک ساختمانی مرکزی، شمالی و جنوبی تقسیم شده است. در برخی از چاه‌ها که مسیر آن‌ها این گسل‌ها را قطع کرده است، اثر این گسل‌ها به صورت تغییر ضخامت اعم از حذف شدگی یا تکرار مشاهده می‌شود.

پی‌سنگ در این منطقه متشکل از سنگ‌های آذرین و دگرگونی مربوط به پرکامبرین می‌باشد. در خلیج فارس بسیاری از میادین نفتی در ساختمان‌هایی که حاصل بالآمدگی نمک‌ها هستند قرار دارند. احتمالاً ساختمان میدان مورد مطالعه در طی این فرآیندها به وجود آمده است. ستون چینه‌شناسی و سازندهای حفاری شده در میدان مورد مطالعه در واقع مطابق با سری‌های رسوبی جنوبی خلیج فارس و برخی کشورهای عربی از جمله قطر و امارات متحده عربی می‌باشد. در این میدان سه توالی سورمه بالایی (عرب زون) با سن کیمریجین^۱ - پورتلندین^۲ از جنس عمدتاً دولومیت، انیدریت و آهک، داریان با سن آپتین^۳ و جنس آهک و نیز آهک بخش بالایی سروک با سن سنومانین^۴، مخزن محسوب می‌شوند. به نظر می‌رسد آهک‌ها و شیل‌های بخش عمیق سازند سورمه سنگ منشأ و انیدریت هیث و انیدریت‌های همراه با لایه‌های دولومیتی پوش‌سنگ سیستم نفتی ژوراسیک میدان مورد مطالعه باشد. از نظر تکتونیکی، ساختمان میدان مورد مطالعه یکی از چندین بلندی تشکیل شده در پهلوی شیبدار بخش

¹ Kimmeridgian

² Porthlandian

³ Aptian

⁴ Cenomanaian

شرقی خلیج فارس- قطر بوده و دارای ساختار تاقدیسی که توسط گسل‌های نرمال تحت تأثیر قرار گرفته است، می‌باشد.

اکتشاف نفت در خلیج فارس در اواخر دهه ۱۹۵۰ آغاز گردید و اولین میدان نفتی بهرگانسر در سال ۱۹۶۰ کشف گردید. در دهه ۱۹۶۰ بیش از ده میدان نفتی در بخش ایرانی خلیج فارس کشف گردید. این دهه از نظر تعداد میدان‌های نفتی کشف شده در خشکی و دریا در ایران دهه منحصر به فردی است.

قطعاً زمین‌شناسی و زمین‌ساخت این ناحیه متأثر از زمین‌ساخت ناحیه‌ای خلیج فارس و به ویژه تاریخچه تشکیل و گسترش بلندی قدیمی قطر- خلیج فارس و همچنین زمین‌ساخت نمک در این منطقه بوده است. پی سنگ در این منطقه متشکل از سنگ‌های آذرین و دگرگونی مربوط به پرکامبرین^۱ می‌باشد. تنها چاهی که در این منطقه به پی‌سنگ رسیده، چاه Matbakh-2 در شمال قطر است. در زمان کامبرین^۲ بلندی قطر دچار بالا آمدگی شده و موجب تشکیل حوضه نمکی هرمز در شرق و غرب این ساختمان گردیده است. بنابراین بر روی بلندی قطر گنبد نمکی وجود ندارد. بالا آمدگی و فرونشینی محلی و ناحیه‌ای و همچنین تغییرات سطح آب دریا موجب تشکیل ضخامت زیادی از واحدهای رسوبی همراه با چندین ناپیوستگی در این منطقه شده است. به طور کلی پی‌سنگ در این ناحیه نقش زیادی در شکل‌گیری ساختمان‌های زمین‌شناسی دارد. به‌طوری که حرکت پی‌سنگ موجب فعال شدن نمک‌ها و بالا آمدگی آن‌ها و تشکیل ساختمان‌های رویشی شده که نهایتاً اشکال گنبدی شکل با هسته نمکی را ایجاد کرده‌اند. در خلیج فارس بسیاری از میادین نفتی در ساختمان‌هایی که حاصل بالا آمدگی نمک‌ها هستند قرار دارند. احتمالاً ساختمان میدان مورد مطالعه در طی این فرآیندها به وجود آمده است.

^۱ Precambrian

^۲ Cambrian

۲-۲- چینه‌شناسی میدان مورد مطالعه

ستون چینه‌شناسی و سازندهای حفاری شده در میدان مورد مطالعه در واقع مطابق با سری‌های رسوبی جنوبی خلیج فارس و برخی کشورهای عربی از جمله قطر و امارات متحده عربی می‌باشد. ستون چینه‌شناسی میدان مورد مطالعه بر اساس اطلاعات چاه‌های حفاری شده در شکل (۱-۲) نمایش داده شده است.

در این جا جهت توصیف ستون چینه‌شناسی هم از اسامی ایرانی سازندها و هم معادل عربی آن‌ها استفاده شده است با این تفاسیر ستون چینه‌شناسی میدان مورد مطالعه از قدیم به جدید و بر اساس اطلاعات مربوط به عمیق‌ترین چاه حفاری شده در آن به شرح زیر می‌باشد [۳۹].

۲-۲-۱- ژوراسیک میانی

- سازند سورمه و هم‌ارزهای آن: در این میدان بخش میانی سازند سورمه از سازندهای هم‌ارز زیر تشکیل شده است.

- سازند ایزهارا^۱: سنگ‌شناسی این سازند از پایین به بالا عبارت از تناوبی از آهک‌های دولومیتی- میکراتی و خیلی سخت و لایه‌های آواری و آهک پلیتی ریزدانه تا متوسط دانه و میان لایه‌های نازکی از مارن. مرز بالایی این سازند اراج پیوسته و سن این سازند سینمورین^۲ تا آآلنین^۳ است.

- سازند اراج^۴: این سازند خود شامل بخش‌های زیر است.

- بخش اراج پایینی^۵: شامل تناوبی از آهک‌های خرمایی تا خاکستری ریز تا متوسط دانه و دولومیت خرمایی قهوه‌ای ریز تا متوسط بلور با روزنگی حفره‌ای است.

^۱ Izhara

^۲ Sinemurian

^۳ Aalenian

^۴ Araej

^۵ Lower Araej

- بخش اوینات^۱: در واقع بخش میانی سازند اراج را تشکیل می‌دهد که به راحتی قابل شناسایی است و شامل ۳۶ متر آهک پلیتی ریز تا متوسط دانه خرمایی رنگ که روزنگی قابل تشخیص آن با چشم ۱۵-۲۰ درصد است.

- بخش اراج بالایی^۲ در قسمت پایینی شامل آهک متراکم با پلت‌های متوسط تا درشت فراوان می‌باشد که به سمت بالا به تدریج تبدیل به آهک‌های آواری خرمایی خاکستری، خیلی ریز تا متوسط دانه و در نهایت در قسمت بالایی شامل لایه‌های مارنی به همراه آهک پلتی زیست آواری و دولومیت ریز تا متوسط بلور به رنگ‌های قهوه‌ای و خرمایی می‌باشد. مرز بالایی این سازند با سازند دیاب پیوسته و تدریجی است. سن سازند اراج باژوسین^۳ تا کالوین^۴ است.

۲-۲-۲ ژوراسیک بالایی

شامل بخش بالایی سازند سورمه می‌باشد که از قدیم به جدید عبارتند از:

- سازند دیاب: لیتولوژی این سازند شامل تناوبی از لایه‌های آهکی گچ‌دار و اینتراکلاستی به همراه لایه‌های پراکنده‌ای از شیل است که دارای مواد کربن‌دار و آثاری از چرت در قسمت پایینی می‌باشد. دولومیت ریز بلور خاکستری تا خرمایی رنگ در قسمت بالایی سازند مشاهده می‌شود که گاهی با لایه‌های نازک آهکی، پلتی و آرژیلی از هم جدا می‌شوند. مرز بالایی این سازند با سازند درب^۵ پیوسته و تدریجی و سن آن آکسفوردین^۶ تا اوایل کیمرجین است.

- سازند درب: این سازند از دولومیت بیوکلاستی میکرایتی تا متوسط بلور به رنگ‌های قهوه‌ای تا خرمایی به همراه میان لایه‌هایی از آهک ریز تا متوسط بلور بیوکلاستی و پلتی تشکیل شده است. مرز بالایی این سازند با سازند عرب پیوسته و سن آن اوایل کیمرجین است.

¹ Uwainat

² Upper Araej

³ Bajocian

⁴ Callovion

⁵ Darb

⁶ Oxfordian

- سازند عرب^۱: شامل دو بخش عرب پایینی و بالایی می‌باشد.

- سازند سورمه و هم‌ارزهای آن

- بخش عرب پایینی^۲: بخش اعظم عرب پایینی تشکیل شده از آهک‌های بیوکلاستی خرمایی رنگ ریز تا متوسط دانه با روزنگی بین دانه‌ای قابل تشخیص با چشم که در قسمت بالایی با لایه‌های دولومیت خرمایی رنگ ریز تا متوسط به طور متناوب قرار دارد. این بخش در پهنه‌بندی مخزنی تحت عنوان (A7) نامگذاری شده است.

- عرب بالایی^۳: شامل تناوبی از شش زون مخزنی (A1-A6) دولومیتی به رنگ قهوه‌ای تا نخودی ریز تا درشت بلور به همراه میان لایه‌هایی از انیدریت سفید توده‌ای و گاه ندولی که پهنه‌های دولومیتی را از هم جدا می‌کند. سن این بخش کیمرجین تا تیتونین^۴ می‌باشد. مرز بالایی این سازند با سازند هیث پیوسته و تدریجی است.

- سازند هیث^۵: شامل انیدریت توده‌ای سفید رنگ همراه با لایه‌های نازکی از دولومیت انیدریتی سخت و ریزدانه می‌باشد. مرز بالایی این سازند با سازند فهلین ناپیوسته است و چون هیچ گونه فسیل قابل شناسایی در آن یافت نشده است. بر اساس موقعیت چینه‌شناسی سن آن اواخر تیتونین در نظر گرفته شده است.

۲-۲-۳- کرتاسه زیرین

رسوبات این دوره از قدیم به جدید عبارتند از:

¹ Arab

² Lower Arab

³ Upper Arab

⁴ Tithonian

⁵ Hith

- سازند فهلپان

شامل دو بخش سولی^۱ و یاماما^۲ به شرح زیر است

- بخش سولی: سنگ‌شناسی این سازند در قسمت پایین شامل تناوبی از لایه‌های آهکی، پلتی، زیست-آواری و سودوالیتی و دولومیت است و در قسمت میانی یک لایه ۱۰ متری از تناوب دولومیت و انیدریت و بخش بالایی هم شامل تناوبی از دولومیت دانه شکری، گاهی ریز بلور به رنگ قهوه‌ای تا خرمایی و گاهی آهکی و آهک بیوکلاستی و اسکلت‌دار می‌باشد. مرز بالایی این سازند با سازند یاماما پیوسته و تدریجی و سن آن بریازین^۳ است.

- سازند یاماما: سنگ‌شناسی این سازند شامل آهک‌های کرم رنگ ریزدانه تا متوسط بلور تا میکرایتی، کلاستیک، گاهی فسیل‌دار و چرت‌دار و دارای روزنگی حفره‌ای (در قاعده لایه‌های نازک دولومیت هم گاهی مشاهده می‌شود). مرز بالایی آن با سازند گدوان پیوسته و سن این سازند بریازین-والانژینین^۴ است.

- سازند گدوان^۵: از قدیم به جدید شامل دو بخش است:

- بخش بوئیب^۶: به طور کلی شامل آهک خاکستری پلت‌دار به همراه میان لایه‌هایی از آهک آواری، گچی و اسکلت‌دار است. مرز بالایی این سازند با بخش زوبیر^۷ پیوسته و سن آن هوتریوین^۸ است.

- بخش زوبیر: به طور کلی شامل آهک فسیل‌دار، ریزدانه کرم رنگ است که در قسمت‌های بالایی لایه‌های نازکی از شیل سبز رنگ وجود دارد. مرز این بخش با سازند داریان پیوسته و سن آن بارمین^۹ است.

¹ Suliay

² Yamama

³ Berriasian

⁴ Valanginian

⁵ Gadvan

⁶ Buwaib

⁷ Zubwir

⁸ Hauterivian

⁹ Barremian

- سازند داریان: سنگ‌شناسی این سازند شامل شیل سبز تا قهوه‌ای تیره و گاهی آهکی به همراه میان لایه‌های نازکی از آهک فسیل‌دار می‌باشد. مرز بالایی این سازند با سازند سروک پیوسته و دارای سن آلبین^۱ است.

۲-۲-۴- کرتاسه بالایی

رسوبات این دوره از قدیم به جدید عبارتند از:

- سازند سروک^۲: این سازند در این میدان از سه بخش زیر تشکیل شده است که از قدیم به جدید عبارتند از:

- بخش مادود^۳: سنگ‌شناسی این بخش شامل آهک سفید تا قهوه‌ای روشن و خاکستری تیره، ریزدانه، نیمه سخت و گاهی مارنی و دولومیتی است و دارای سن آلبین می‌باشد.

- بخش احمدی: سنگ‌شناسی این بخش شامل آهک رسی فسیل‌دار میکرایتی-کرم تا خرمایی رنگ به علاوه آثاری از سیمان کلسیت اسپاری و گاهی دولومیت می‌باشد. سن این بخش سنومانین^۴ است.

- بخش خاتیا^۵: سنگ‌شناسی این بخش شامل آهک میکرایتی و سنگواره‌دار کرم تا خاکستری رنگ به علاوه آثاری از چرت قهوه‌ای روشن می‌باشد. در قسمت بالایی، بخش خاتیا شامل آهک دولومیتی و لایه‌های نازکی از مارن می‌باشد. مرز بین بخش‌های فوق پیوسته و مرز بالایی بخش خاتیا با بخش لافان از سازند ایلام به صورت ناپیوستگی فرسایشی است. سن این بخش سنومانین است. قابل ذکر است که بخش خاتیای سازند سروک یکی از سازندهای مخزنی به حساب می‌آید.

- سازند ایلام^۶: از قدیم به جدید شامل دو بخش زیر است:

¹ Albian

² Sarvak

³ Maaddud

⁴ Cenomanian

⁵ Khatiyah

⁶ Ilam

- بخش لافان^۱: این بخش شامل شیل قهوه‌ای تیره و پولکی دارای سن کنیاسین^۲ است.

- بخش هالول^۳: شامل تناوبی از آهک فسیل‌دار سفید رنگ کمی دولومیتی شده و دولومیت خاکستری

روشن متوسط بلور می‌باشد. مرز بین دو بخش فوق پیوسته و مرز بالایی بخش هالول با سازند گورپی^۴

نیز پیوسته است. سن این بخش سانتونین^۵ - کامپانین^۶ می‌باشد.

- سازند گورپی: در این میدان معادل این سازند تحت عنوان شرقی^۷ مشاهده می‌شود که سنگ‌شناسی

آن شامل دولومیت خرمایی تا قهوه‌ای رنگ خیلی ریز بلور سخت متراکم و گاهی شیلی به همراه چرت

می‌باشد. مرز این سازند با رسوبات سنوزوئیک پیوسته است و دارای سن کامپانین - مائستریشتین^۸

است.

۲-۵- سنوزوئیک

رسوبات این دوره از قدیم به جدید عبارتند از:

- سازند جهرم: این سازند در این میدان معادل سه بخش زیر است:

- بخش رادهوما^۹: این بخش شامل دولومیت سفید رنگ نهان بلور تا ریز بلور و گاهی دانه شکری به

همراه چرت است که به سمت بالای توالی این دولومیت‌ها را میان لایه‌هایی از انیدریت قطع می‌کند و

سن آن پالتوسن^{۱۰} است.

¹ Lafan

² Coniacian

³ Halol

⁴ Gorpi

⁵ Santonian

⁶ Campanian

⁷ Shargi

⁸ Maastrichtian

⁹ Radhuma

¹⁰ Paleocene

- بخش راس^۱: شامل تناوبی از لایه‌های یکنواخت و همگن دولومیت کرم تا نخودی رنگ نیمه سخت تا سخت است که خیلی ریز بلور و گاهی دانه شکری بوده و حاوی لایه‌های نازکی از ژئیس و انیدریت می‌باشد. دارای سن ائوسن^۲ است.

- بخش دمام^۳: این بخش شامل دولومیت سفید و نخودی رنگ نیمه سخت ریز بلور تا گاهی دانه شکری است که حاوی آثار پراکنده‌ای از چرت، بلورهای بسیار ریزی از پیریت می‌باشد. به علاوه حاوی میان لایه‌هایی از انیدریت می‌باشد. مرز بخش‌های فوق با یکدیگر پیوسته و با رسوبات گروه فارس ناپیوسته و دارای سن ائوسن است.

- گروه فارس^۴: از پایین به بالا شامل رسوبات ضخیمی از لایه‌های متناوب مارن قهوه‌ای روشن، خاکستری تا سبز به علاوه لایه‌های نازکی از ژئیس بلوری نیمه شفاف و چند لایه خیلی نازک آهک زیست‌آواری دار می‌باشد. مرز بالایی این رسوبات با رسوبات جدید پیوسته است و سن آن میو پلیوسن می‌باشد.

- رسوبات کواترنری: این رسوبات شامل آهک خاکستری روشن تا شیری رنگ زیست‌آواری دار است که محتوای فسیل‌دار بالایی (خرده‌های اسکلتی، فرامینیفر) دارد. به علاوه در این رسوبات آثاری از ژئیس نیز دیده می‌شود. سن این رسوبات کواترنری است. ضخامت سازند سورمه بالایی (عرب) به طور تقریبی در چاه A این میدان ۱۶۰ متر و در چاه B این میدان ۲۴۰ متر است. در هر دو چاه این میدان سازند مذکور به طور هم شیب بر روی سازند آهکی دولومیتی درب قرار دارد و در بالا نیز به طور پیوسته و تدریجی توسط سازند تبخیری هیث پوشیده شده است. قابل ذکر است که سازند سورمه بالایی (عرب) یکی از سازندهای مخزنی به حساب می‌آید [۳۹].

لازم به ذکر است که مطالعه حاضر فقط بر روی بخش بالایی یا جدیدتر سازند سروک که به نام خاتیا نامیده می‌شود و متعلق به کرتاسه بالایی می‌باشد انجام شده است.

¹ Rus

² Eocene

³ Dammam

⁴ Fars Group

LITHO-STRATI		THICKNESS			SIMPLIFIED LITHOLOGY
		TVT - TST			
		Av THICKNESS	D TIRK	GEOLOGICAL	
		Cum m	mV	TREND	
		(Based on existing wells)			(Based on existing well results)
FOLIA	SEABED				
	RECEP	111.2	111.2	32.3-117.3	Stochastic limestone?
FOLIA	PADE	346.5	102.3	100.0-102.3	Stochastic limestone, shale and marls at base
	QUMBUJ	340.6	114.1	73.2-167.3	Crystalline dolomite, shale and marls at base
MIZETI SANGUZY	RUC	616.7	226.1	342.9-284.5	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	YAM EN KACHUNG	652.2	76.9	70.2-86.4	Crystalline dolomite with shale and marls at base
ARJAL	SHADU	710.5	17.2	11.3-21.9	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	HALE	813.4	102.8	80.6-111.9	Crystalline dolomite with shale and marls at base
WADIA	LAFFAN	831.9	18.6	17.3-19.2	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	UP KHATYAH	880.7	18.7	14.3-27.2	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	LOW KHATYAH	910.7	42.0	50-47.9	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	KHARZI	930.3	25.5	20.9-30	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	MALJOLUS	962.5	44.2	38.6-46.9	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	SHUJUM	1028.9	46.4	43.9-48.9	Crystalline dolomite with shale and marls at base
THUMAMA	UP SHUJUM	1078.8	46.7	47.3-51.7	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	LOW SHUJUM	1102.0	21.3	20.2-22.9	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	KHARZI	1116.8	15.9	15.9-16.2	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	KHARZI	1150.0	34.1	30.5-34.9	Crystalline dolomite with shale and marls at base
Base Zubair	KHARZI	1190.6	40.0	36.5-42.1	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	KHARZI	1284.5	78.7	72.3-86.4	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	KHARZI	1302.0	80.5	70.2-86.4	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	SULAY	1468.8	118.6	109.4-126.6	Crystalline dolomite with shale and marls at base
HITH	HITH (S)	1471.5	3.1	2.4-4	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	HITH (S)	1473.0	3.8	2.7-4.1	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	HITH (S)	1478.9	4.6	4.8-6.1	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	HITH (S)	1486.6	5.9	6.1-7.5	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	HITH (S)	1500.0	13.4	11.9-14.9	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	HITH (S)	1502.1	2.1	1.6-2.5	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	HITH (S)	1516.0	12.4	12.7-14.8	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	HITH (S)	1522.7	6.7	5.5-7.5	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	HITH (S)	1528.6	7.0	5.4-7.4	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	HITH (S)	1535.0	5.4	5.1-7.4	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	HITH (S)	1539.6	4.6	4.4-6.5	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	HITH (S)	1542.8	3.2	2.7-3.4	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	HITH (S)	1551.0	6.2	7.4-10.2	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	A1 RES	1561.2	10.2	10-11.2	Crystalline dolomite with shale and marls at base
UP ARAB	A1-A2 SHHT	1564.7	2.6	2.9-4.4	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	A2 RES	1569.3	4.6	4-4.6	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	A3-A5 SHHT	1576.0	6.7	6-6.6	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	A3 RES	1585.5	17.8	16.5-18.3	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	A3-A4 SHHT	1601.5	10.0	8.5-11.7	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	A4 RES	1610.9	8.4	8-8.2	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	A4-A5 SHHT	1615.7	4.8	3.0-5.8	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	A5 RES	1620.0	4.3	4.1-4.8	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	A5-A6 SHHT	1621.8	1.8	1.9-2.1	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	A6 RES	1644.9	23.1	22-423.6	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	A6-A7 SHHT	1645.8	0.9	0.5-1	Crystalline dolomite with shale and marls at base
	A7 RES	1650.0	32.2	46-455.4	Crystalline dolomite with shale and marls at base
LOW ARAB	DAIR	1766.8	42.5		Lower ARAB (A7): Stochastic limestone and dolomite limestone
DIYAB	DIYAB	1809.6	42.5		DIYAB: Dolomite limestone, shale and marls occurrence at base
	HAYTA HYP	1849.6	40.0		
	TUNJAD MOUNTAIN HYP	1859.2	9.5		
ARAB	UPPER ARAB	1897.6	38.5		ARAB: Alternating peloidal limestone and crystalline dolomite
	UNAHAT	1976.0	70.4		
	LOW ARAB	2015.8	38.5		
SHARA	SHARA RES	2032.2	15.1		SHARA: Peloidal and peloidal limestone
	SHARA HYP	2054.6	20.4		
	SHARA HYP	2092.1	37.8		
	SHARA HYP	2117.8	26.7		
CLUSTAR HYP	CLUSTAR HYP	> 2134.7	>16.9		Alternating Upper Permian limestone and dolomite
LEGEND					
TVT	True Vertical Thickness				Antidote-Cyprian
TST	True Stratigraphic Thickness				Mainly Colossal
	True Stratigraphic Thickness				Mainly Limestone
					Mainly Shale

شکل ۲-۱- ستون چینه‌شناسی میدان مورد مطالعه بر اساس اطلاعات چاه‌های حفاری شده [۳۹]

فصل سوم

تجزیه و تحلیل داده‌های میدان مورد مطالعه

۳-۱- مقدمه

در این فصل، ابتدا با استفاده از اطلاعات پتروفیزیکی و لرزه‌نگاری میدان مورد مطالعه، مدل‌سازی تخلخل مؤثر با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و شبکه‌های عصبی در نرم‌افزارهای Petrel و HRS انجام شده است. سپس با استفاده از مفهوم واحدهای جریان هیدرولیکی، به بررسی رابطه تخلخل-تراوایی در بخش مخزنی میدان مورد مطالعه پرداخته شده و در نهایت میزان عدم قطعیت پارامترهای تخلخل-تراوایی با استفاده از نرم‌افزار Geolog انجام شده است.

۳-۲- مدل‌سازی سه بعدی تخلخل مؤثر و تراوایی

در این بخش، از نرم‌افزار Petrel، جهت ایجاد یک مدل سه‌بعدی زمین‌شناسی در بخش مخزنی سازند سروک (بخش خاتیا) استفاده شده است. مجموعه‌ای از داده‌ها شامل داده‌های ساختمانی، داده‌های چین‌شناسی، خصوصیات پتروفیزیکی مخزن و داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی در کنار هم به تشکیل پایه یک مدل کمک می‌کنند. در این مطالعه برای دستیابی به یک تطابق قابل قبول و پردازش مناسب توسط نرم‌افزار مذکور، مدل‌سازی به روش احتمالی^۱ انجام گردید. علاوه بر این جهت بلوک‌بندی میدان، در ابتدا تمامی خصوصیات پتروفیزیکی با استفاده از روش بلوک‌بندی کوچک مقیاس انجام و سپس این خصوصیات در بلوک‌بندی بزرگ مقیاس بر اساس روش کسری^۲ بسط داده شد.

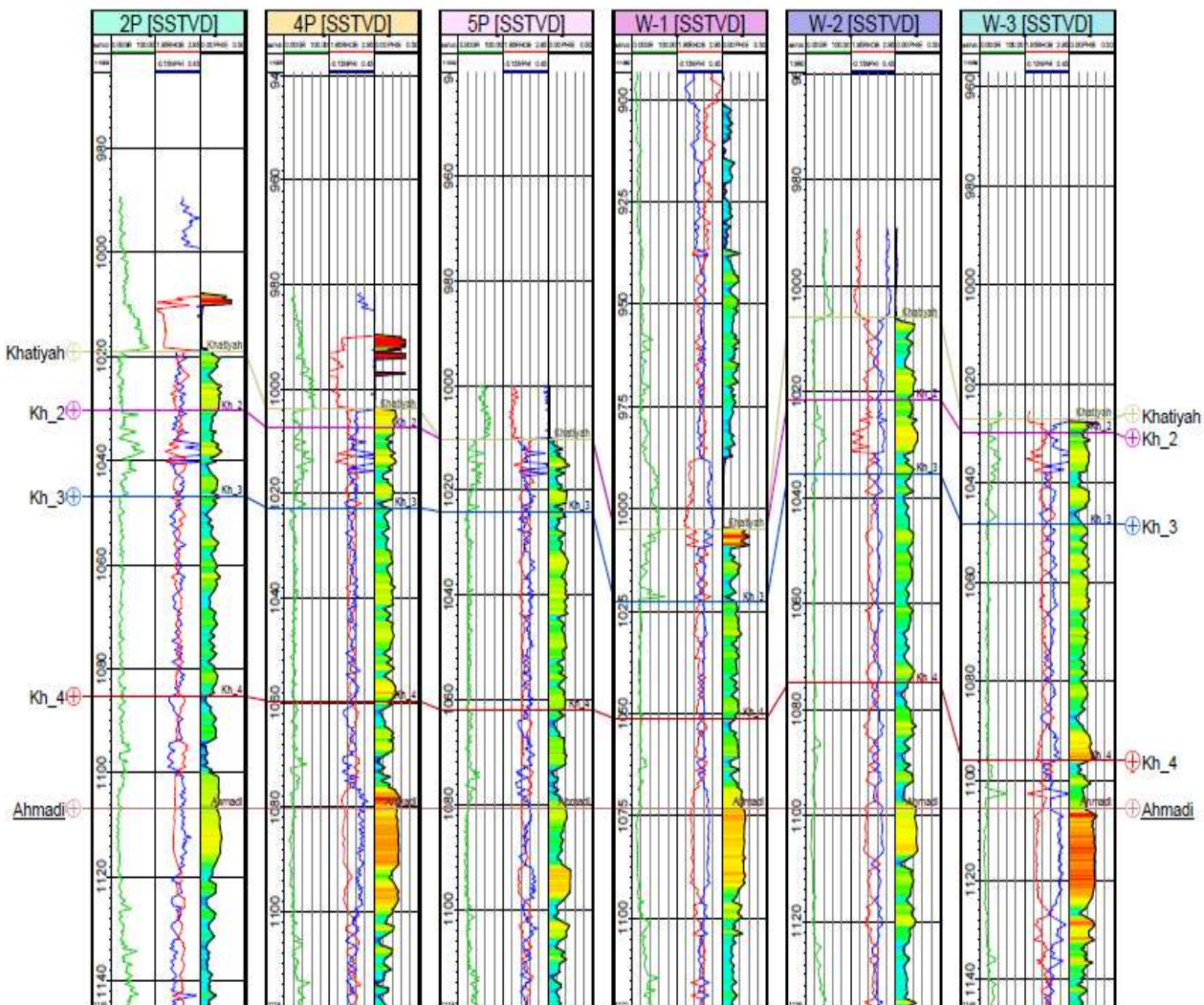
۳-۲-۱- فراخوانی اطلاعات در نرم‌افزار Petrel

ورود اطلاعات به نرم‌افزار Petrel شامل پنج مرحله است؛ در مرحله اول اطلاعات چاه‌های میدان مورد مطالعه شامل اطلاعات سرچاه، اطلاعات مسیر چاه و سر سازندها در نرم‌افزار فراخوانی گردید. در مرحله دوم نگارهای پتروفیزیکی مربوط به چاه‌های مورد نظر در نرم‌افزار فراخوانی شد. این نگارهای پتروفیزیکی

¹ Stochastic

² Fraction method

در پنجره well section نرم افزار مورد بررسی قرار گرفته و براساس نگارهای گاما، دانسیته، تخلخل نوترونی و نگار تخلخل زون بندی مخزن انجام گردید. بدین منظور ابتدا مخزن مورد مطالعه بر اساس نگار گاما و بر مبنای مناطق High GR، به چهار زون تقسیم گردید سپس این زون بندی با استفاده از نگارهای تخلخل نوترونی و دانسیته بررسی شد و در نهایت با استفاد از نگار تخلخل مؤثر تصحیحات لازم صورت گرفت. شکل (۱-۳) نتایج حاصل از این زون بندی در ۶ چاه از میدان مورد مطالعه را نشان می دهد.

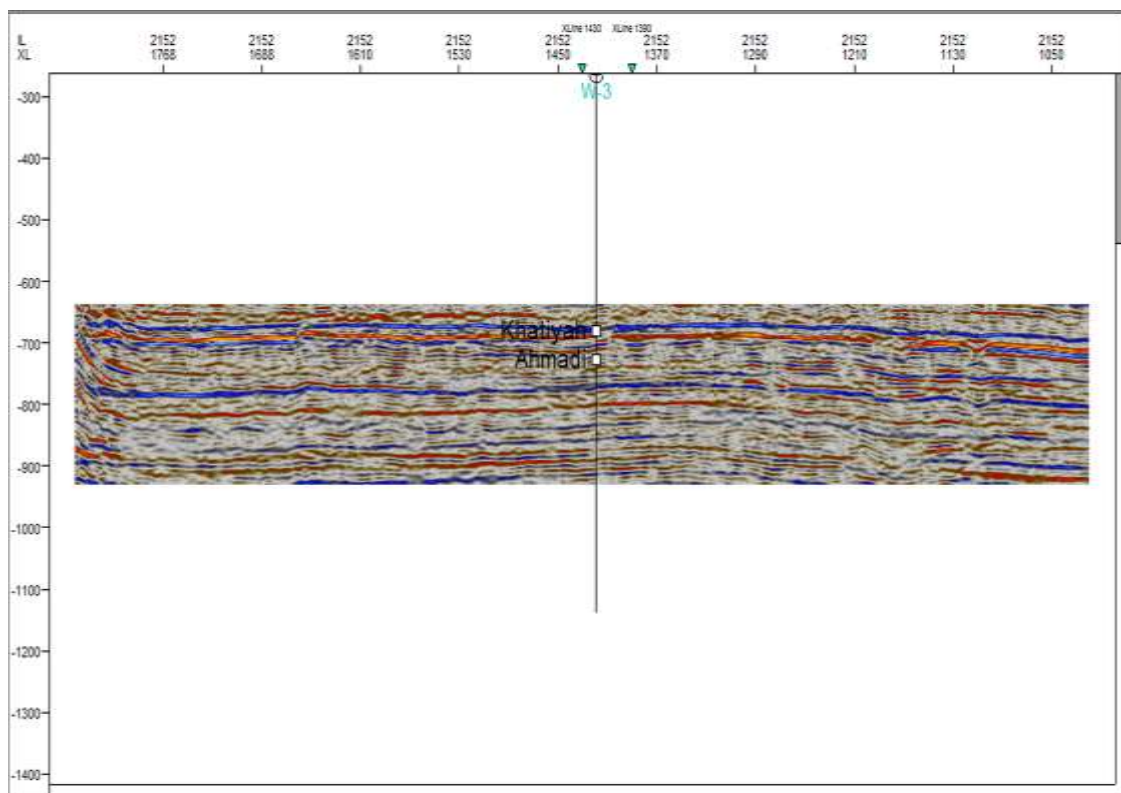


شکل ۱-۳- زون بندی مخزن مورد مطالعه

سپس افق‌ها و گسل‌های تفسیر شده بر اساس داده‌های لرزه‌ای در نرم‌افزار فراخوانی می‌شود.

با توجه به اینکه برداشت داده‌های پتروفیزیکی در حوزه عمق و داده‌های لرزه‌ای در حوزه زمان صورت می‌گیرد برای تبدیل چاه‌ها از حوزه عمق به حوزه زمان به داده‌های چک شات، که شامل داده‌های عمق در برابر زمان هستند، نیاز می‌باشد. تا بتوان نگارهای پتروفیزیکی را بر روی داده‌های لرزه‌ای فراخوانی کرده و افق‌ها و گسل‌ها را تفسیر نمود.

داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی میدان مورد مطالعه در نرم‌افزار فراخوانی گردید که نمایی از آن در شکل (۳)-۲ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲- نمایی از اطلاعات لرزه‌ای فراخوانی شده در نرم افزار Petrel به همراه سازند مخزنی در یکی از چاه‌های میدان مورد مطالعه

۳-۳- ساخت مدل ساختمانی میدان مورد مطالعه

برای ساخت مدل ساختمانی میدان به نقشه‌های عمقی بخش فوقانی^۱ و تحتانی^۲ (کف) مخزن نیاز است. در گام اول گسل‌های تفسیر شده مدل گردید. سپس محدوده میدان مورد مطالعه تعیین و شبکه‌بندی^۳ آن انجام شد. با استفاده از مدل‌سازی ساختمانی، می‌توان مخزن را به صورت شبکه تور مانند یکسانی تقسیم کرد که کلیه خواص هر سلول این شبکه، از قبیل خواص پتروفیزیکی و لیتولوژیکی در تمام سطح آن تقریباً یکسان است. در مدل‌سازی ساختمانی و پتروفیزیکی مخزن و برآورد دقیق محاسبات حجم‌سنجی مخزن، تقسیم‌بندی مخزن به سلول‌های کوچک‌تر الزامی است. مدل شبکه‌بندی مخزن، شامل سلول‌های سه‌بعدی است که هر کدام از این سلول‌ها در برگیرنده میانگین هر یک از پارامترهای پتروفیزیکی می‌باشد [۴۰].

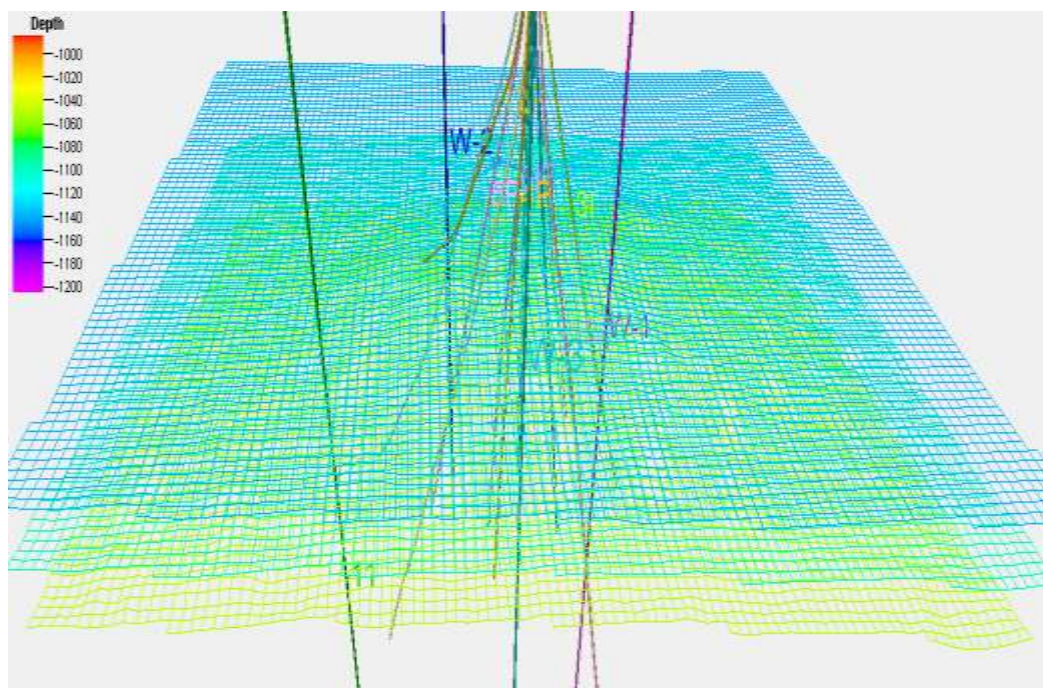
۳-۳-۱- شبکه‌بندی میدان مورد مطالعه

از آنجا که برای یک حجم یک‌پارچه، نرم‌افزار Petrel قادر به تخصیص مقادیر متغیر نیست، ایجاد یک شبکه سه‌بعدی و ساخت شبکه به منظور تقسیم‌بندی مخزن به بخش‌های کوچکتر امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. در این صورت، نرم‌افزار مذکور به هر بخش مقادیر جداگانه‌ای اختصاص خواهد داد. در این مطالعه، شبکه‌بندی مخزن مورد مطالعه در ابعاد $100 \times 100 \text{ m}^2$ صورت گرفته و مدل شبکه‌بندی مخزن در شکل (۳-۳) نمایش داده شده است.

¹ Top

² Base

³ Gridding



شکل ۳-۳- شبکه‌بندی مخزن مورد مطالعه به همراه چاه‌های میدان مورد مطالعه

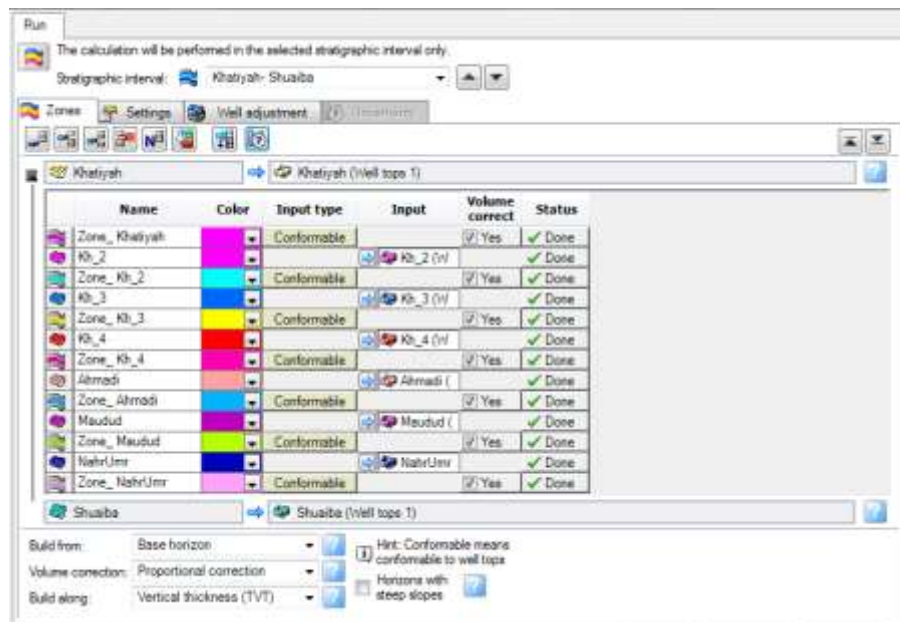
۳-۳-۲- فراخوانی افق‌های تفسیر شده در فضای مدل

پس از شبکه‌بندی میدان مورد مطالعه، نقشه‌های تفسیر شده با استفاده از داده‌های لرزه‌ای (یا افق‌های حاصل از تفسیر لرزه‌ای)، شامل افق‌های خاتیا و شعیبا، با استفاده از ماژول Make horizons، در فضای مدل فراخوانی و با استفاده از گسل‌ها و اطلاعات چاه‌ها تصحیح گردید.

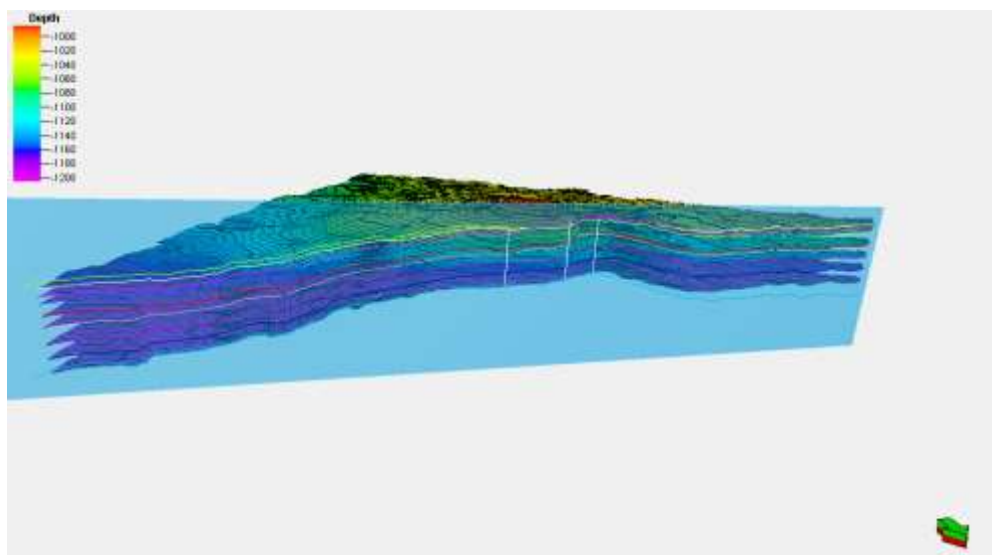
۳-۳-۳- زون‌بندی مخزن مورد مطالعه

با توجه به این‌که میان افق‌های حاصل از تفسیر لرزه‌ای فراخوانی شده در فضای مدل، سازندهای دیگری نیز موجود می‌باشند که تفسیر لرزه‌ای ندارند، باید با استفاده از اطلاعات نقشه‌های بالا و پایینی تفسیر شده، نقشه این سازندها را به‌دست آورد که این کار در قسمت Make zones نرم‌افزار انجام می‌گیرد. بدین ترتیب افق‌های مربوط به این سازندها، در پنجره مدل بین افق‌های خاتیا و شعیبا ایجاد می‌گردد.

شکل (۳-۴) پنجره مربوط به ساخت زون‌ها در نرم‌افزار و شکل (۳-۵) زون‌های ایجاد شده را نمایش می‌دهد.



شکل ۳-۴- پنجره مربوط به زون‌بندی مخزن



شکل ۳-۵- زون‌های ایجاد شده در مخزن

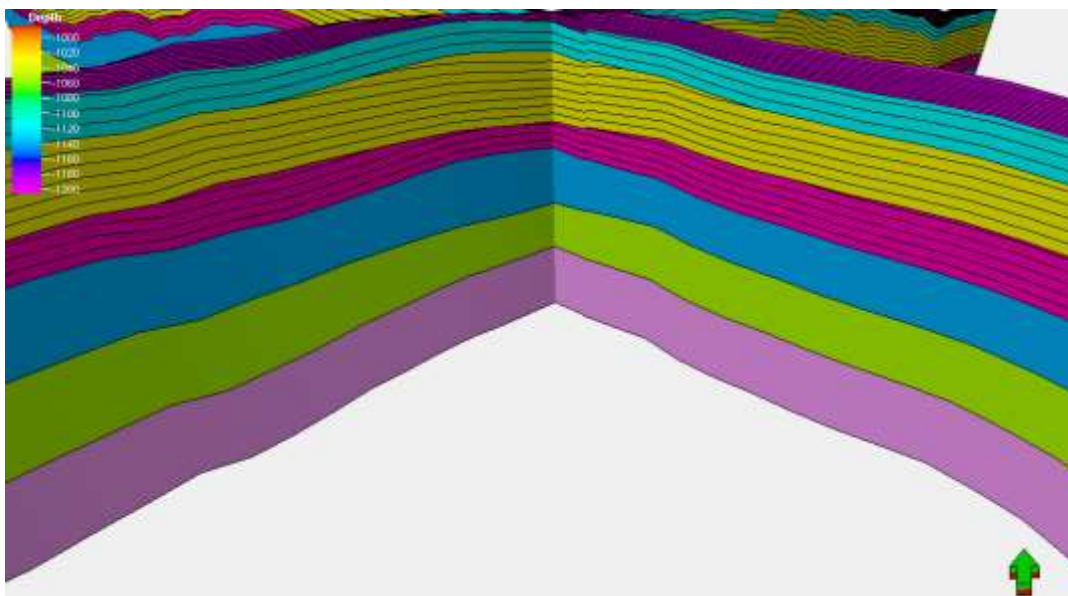
۳-۳-۴- لایه‌بندی مخزن

به منظور افزایش دقت کار لازم است که سلول‌های ایجاد شده در مرحله شبکه‌بندی در راستای عمودی نیز برش داده شوند. بدین ترتیب نحوه تغییرات توزیع پارامترها بهتر نشان داده خواهد شد. این فرآیند لایه‌بندی عمودی نامیده می‌شود. از آن‌جا که در یک لایه زمین‌شناسی، به دلیل ماهیت رسوب‌گذاری، شدت تغییرات خواصی مانند تخلخل و تراوایی در راستای عمودی بیشتر و سریع‌تر از تغییرات در جهت افقی است. لایه‌بندی در جهت عمودی معمولاً با فواصل کم‌تری در حدود ۰/۵ تا ۱ متر انجام می‌گیرد. در این مرحله با توجه به ضخامت مخزن، لایه‌بندی مخزن به روش کوچک‌مقیاس صورت گرفته است. در اینجا ضخامت لایه‌ها ۱ متر انتخاب و لایه‌بندی تنها برای سازند مخزنی انجام شده است. شکل (۳-۶) پنجره مربوط به لایه‌بندی و شکل (۳-۷) نمایی از لایه‌بندی مخزن را نشان می‌دهند.

The screenshot shows the 'Zones' software interface. At the top, there's a title bar 'Zones'. Below it, a section 'Process for making the layering for each zone' contains 'Common settings' and 'Settings for each zone'. The 'Common settings' section includes options like 'Build along: Along the pillars', 'Horizons with steep slopes', 'Use minimum cell thickness: 1', and 'Include proportional/fractions, start from: Top'. The 'Settings for each zone' section includes 'Zone division', 'Reference surface', 'Restore eroded', and 'Restore base'. Below these settings is a table with columns: Name, Color, Calculate, Zone division, Reference surface, Restore eroded, Restore base, and Status. The table lists seven zones: Zone_Kh (four rows), Zone_Ah, Zone_Ma, and Zone_Na. Each row has a color swatch, a 'Calculate' checkbox (all checked), a 'Zone division' method (Follow base or Proportional), a 'Reference surface' value (1.00 or 5.00), a 'Restore eroded' checkbox (all checked), a 'Restore base' checkbox (all checked), and a 'Status' (Done or New).

Name	Color	Calculate	Zone division	Reference surface	Restore eroded	Restore base	Status
Zone_Kh	[Color Swatch]	☒ Yes	Follow base	1.00	☒ Yes	☒ Yes	✓ Done
Zone_Kh	[Color Swatch]	☒ Yes	Follow base	5.00	☒ Yes	☒ Yes	✓ Done
Zone_Kh	[Color Swatch]	☒ Yes	Follow base	5.00	☒ Yes	☒ Yes	✓ Done
Zone_Kh	[Color Swatch]	☒ Yes	Follow base	5.00	☒ Yes	☒ Yes	✓ Done
Zone_Ah	[Color Swatch]	☒ Yes	Proportional	1	☒ Yes	☒ Yes	✗ New
Zone_Ma	[Color Swatch]	☒ Yes	Proportional	1	☒ Yes	☒ Yes	✗ New
Zone_Na	[Color Swatch]	☒ Yes	Proportional	1	☒ Yes	☒ Yes	✗ New

شکل ۳-۶- پنجره مربوط به لایه‌بندی مخزن



شکل ۳-۷- نمایشی از لایه‌بندی مخزن

۳-۴- مدل‌سازی خواص پتروفیزیکی مخزن

مدل‌سازی خواص پتروفیزیکی شامل انجام روش‌ها و تکنیک‌های مختلف برای تعمیم خصوصیات پتروفیزیکی مخزن می‌باشد. در این مرحله مدل استاتیکی مخزن مورد مطالعه به روش احتمالی ساخته می‌شود. این مدل‌سازی شامل چند مرحله به شرح زیر است:

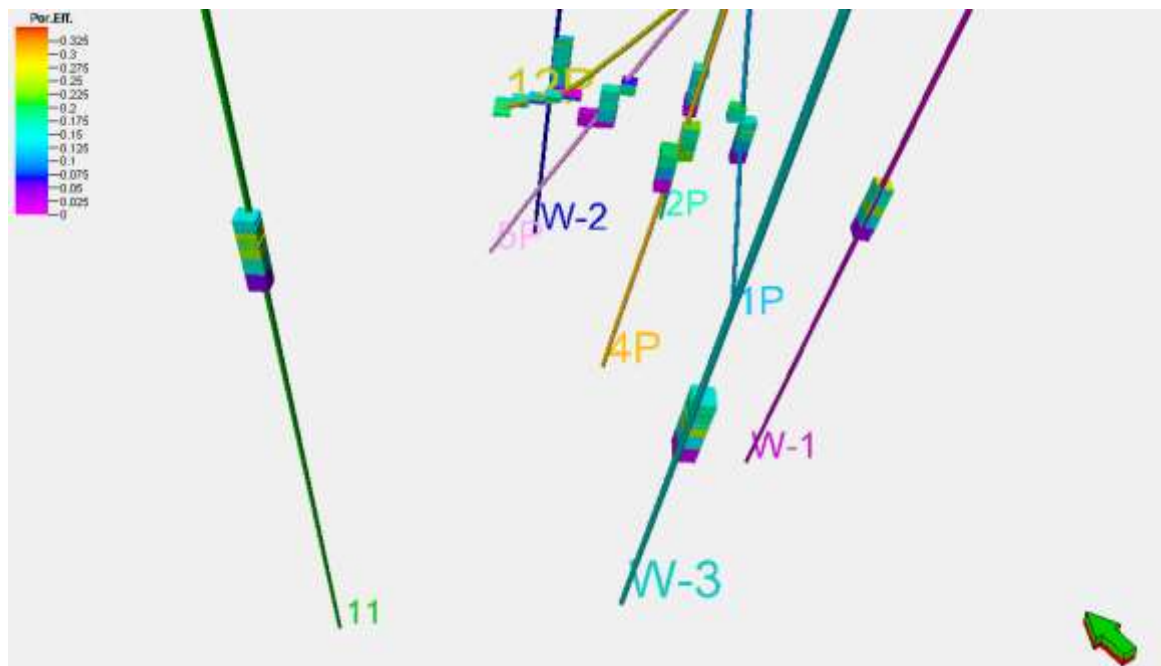
۳-۴-۱- درشت‌نمایی^۱

اطلاعات پتروفیزیکی در قالب نگارهای پتروفیزیکی در مسیر چاه‌های حفاری شده هستند. به منظور شبیه‌سازی، این پارامترها باید در ابعاد سلول‌های تعریف شده در مخزن میانگین‌گیری شوند، این فرآیند درشت‌نمایی نامیده می‌شود. به عبارت دیگر فرآیند وارد نمودن نگارهای پتروفیزیکی ورودی نرم‌افزار، به فضای مدل را درشت‌نمایی می‌گویند. بدین ترتیب برای هر سلول یک مقدار از پارامترهای مختلف تعلق می‌گیرد. در واقع نگارهای پتروفیزیکی در ابتدا به صورت نقاطی می‌باشند که در کنار یکدیگر قرار گرفته و یک نمودار را ایجاد نموده‌اند، ولی هر کدام از این نقاط باید به گونه‌ای به سلول‌های مدل اختصاص

^۱ Up scaling

داده شوند که هر سلول حاوی اطلاعات مربوط به حجم خود باشد، به عبارت دیگر به هر سلول یک مقدار برای هر یک از پارامترهای پتروفیزیکی اختصاص داده شود. با توجه به ایستاد بودن اکثر پارامترهای پتروفیزیکی، بهترین روش برای محاسبه میانگین، روش میانگین گیری عددی^۱ می باشد [۴۰].

با انجام این مرحله نگارهای پتروفیزیکی ورودی نرم افزار، به فضای مدل فراخوانی می شوند. شکل ۳-۸) نمایی از درشت‌نمایی نگار تخلخل مؤثر در چاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۸- نمایی از درشت‌نمایی نگار تخلخل مؤثر

۳-۴-۲- تحلیل داده‌ها

تحلیل داده‌ها مهم‌ترین مرحله در میان مراحل مختلف مدل‌سازی است. نرمال‌سازی و حذف روند داده‌ها، که دو شرط اساسی در محاسبات زمین‌آماري به حساب می‌آیند، در این مرحله صورت می‌گیرد. معمولاً داده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی پارامترهای پتروفیزیکی دارای توزیع نرمال نیستند، در این

¹ Arithmetic

شرایط می‌توان با استفاده از توابع تبدیل مختلف، داده‌ها را به گونه‌ای تبدیل کرد که مقادیر تبدیل یافته آنها دارای توزیع نرمال باشند. در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Petrel، داده‌های تخلخل مؤثر و تراوایی در فضای نرمال استاندارد قرار گرفته و توزیع این پارامترها به صورت نرمال در آمده است.

در محاسبات زمین‌آماري پارامترهای پتروفیزیکی، داده‌ها باید دارای توزیع نرمال و فاقد هرگونه روند باشند. توزیع نرمال یا گوسی دارای منحنی توزیع زنگی شکل کاملاً متقارن بوده که با پارامترهای آماری میانگین (مقدار متناظر با حداکثر فراوانی)، واریانس که نشان‌دهنده میزان پراکندگی داده‌ها و در نتیجه گستردگی منحنی توزیع نرمال است، چولگی صفر و کشیدگی ۳ مشخص می‌شود [۵].

شرط دیگر استفاده از روش‌های زمین‌آماري در مدل‌سازی خواص پتروفیزیکی مخزن، حذف روند داده‌ها می‌باشد. این روند می‌تواند روند ناشی از محیط رسوبی، روند کلی میدان که در جهت عمود بر محور تاقدیس است و یا روند دیاژنتیکی سنگ‌ها باشد.

حذف روند داده‌ها شامل سه مرحله‌ی حذف روند در جهت ضخامت قائم به منظور حذف پیوستگی لیتولوژیکی داده‌ها، حذف روند در جهت عمود بر لایه‌بندی به منظور حذف روند ناشی از محیط رسوبی و حذف روند کلی میدان در جهت عمود بر محور تاقدیس به منظور حذف روند ناشی از تغییرات ناحیه‌ای می‌باشد [۴۰].

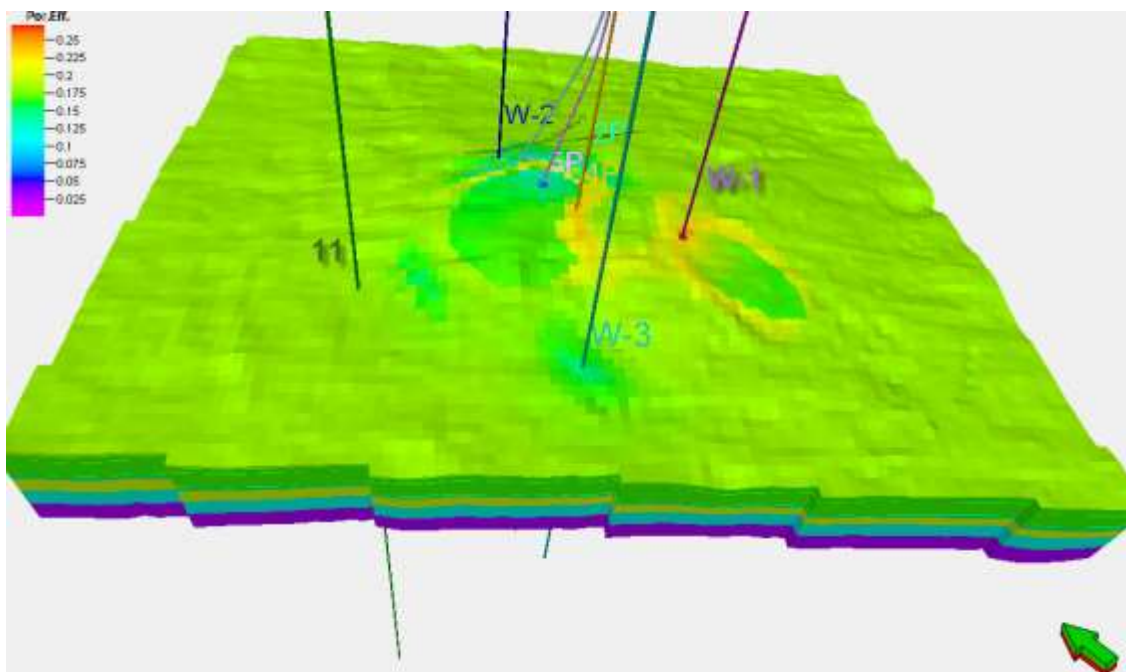
۳-۴-۳- مدل‌سازی تخلخل مؤثر و تراوایی با استفاده از روش‌های زمین‌آماري

روش‌های زمین‌آماري یکی از دقیق‌ترین روش‌های تخمین مقادیر متغیرها در نقاط نمونه برداری نشده می‌باشند. اساس این روش‌ها محاسبه میانگین وزن‌دار مقادیر واقع در همسایگی بلوک مورد تخمین است [۴۱]. در زمین‌آمار می‌توان با استفاده از داده‌های یک کمیت در مختصات معلوم مقدار آن کمیت را در نقطه‌ای با مختصات معلوم دیگر، واقع در درون دامنه‌ای که ساختار فضایی حاکم است، تخمین زد [۵]. به طور کلی سه تابع مرتبط با هم واریوگرام (شبه واریوگرام)، کوواریانس و ضریب همبستگی، جهت توصیف پیوستگی فضایی داده‌ها در یک مخزن ناهمگن استفاده می‌شوند [۸]. واریوگرام، واریانس وابسته

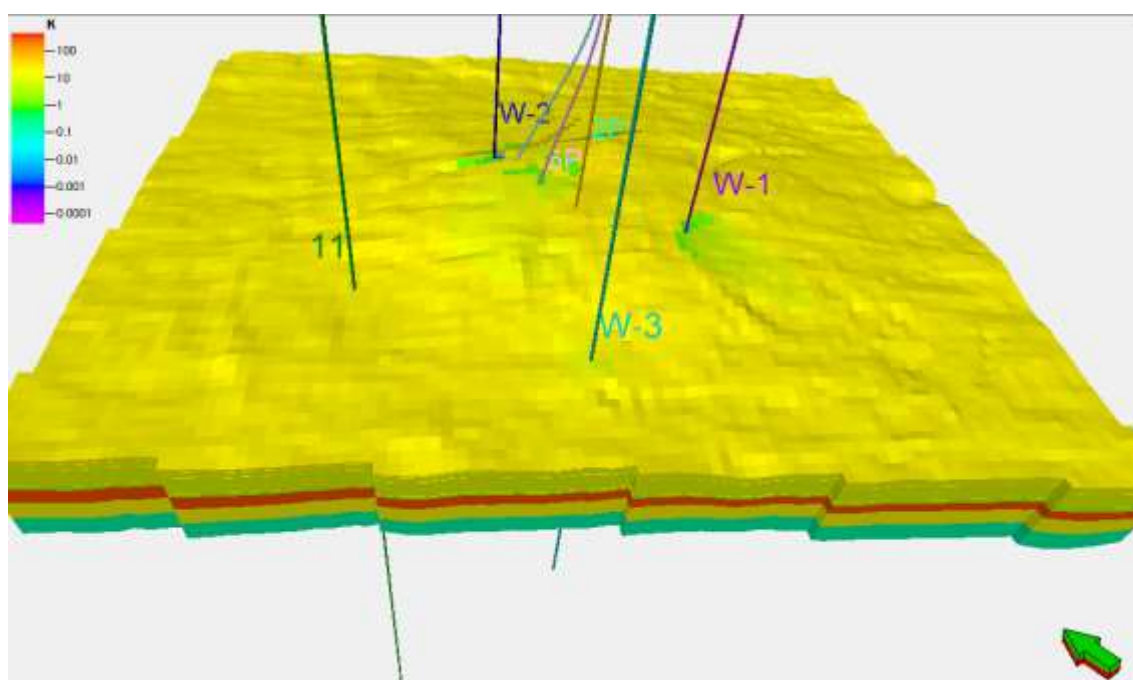
به فاصله است. هدف اصلی از برقرار کردن تابع واریوگرام این است که ساختار تغییرپذیری به خصوص نسبت به فاصله (مکانی یا زمانی) شناخته شود [۵].

تخمین یکی از کاربردهای اصلی زمین‌آمار است، یکی دیگر از کاربردها شبیه‌سازی مشروط می‌باشد. هدف، تخمین متغیر مطلوب در مکان فاقد مقدار اندازه‌گیری X_0 با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در دیگر مکان‌های X_i توزیع شده در فضا است [۸]. لازم به ذکر است که در این مطالعه تخمین به روش زمین‌آمار با استفاده از نرم‌افزار Petrel برای پارامترهای مخزنی تخلخل و تراوایی صورت گرفته است. به طور کلی دو دسته روش‌های زمین‌آماری (براساس ساختار فضایی موجود در محیط مورد نظر) و کلاسیک (بر پایه آمار کلاسیک) برای تخمین مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵].

در تخمین به روش کریجینگ می‌توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار آن کمیت در نقاط دیگر با مختصات معلوم به دست آورد [۵]. منظور از مدل‌سازی پتروفیزیکی، توزیع پارامترهای پتروفیزیکی برداشت شده در محل چاه‌ها، در تمام سلول‌های شبکه است. پس از انجام مراحل ذکر شده، با استفاده از نگارهای پتروفیزیکی رانده شده در چاه‌ها و با استفاده از روش کریجینگ مدل سه‌بعدی تخلخل مؤثر و تراوایی در میدان مورد مطالعه تهیه گردید که نتایج مربوطه به ترتیب در شکل‌های (۳-۹) و (۳-۱۰) نمایش داده شده است. نتایج مدل‌سازی تخلخل مؤثر و تراوایی با استفاده از روش کریجینگ حاکی از بالا بودن میزان تخلخل مؤثر در بخش مرکزی میدان مورد مطالعه و خصوصاً در محل چاه‌های W-1، 1P، 2P، 5P و W-2 است.



شکل ۳-۹- مدل سه بعدی تخلخل مؤثر با استفاده از روش کریجینگ



شکل ۳-۱۰- مدل سه بعدی تراوایی با استفاده از روش کریجینگ

همچنین مدل سازی تخلخل مؤثر و تراوایی با استفاده از روش شبیه سازی گوسی متوالی (SGS) صورت گرفته است. این روش یکی از روش های شبیه سازی تصادفی می باشد که از قوانین زمین آمار برای

پیش‌بینی و شبیه‌سازی پارامترهای پتروفیزیکی مخزنی در سه بعد، استفاده می‌کند. این روش ساده، انعطاف پذیر و تا حد قابل قبولی کارآمد است.

مراحل انجام الگوریتم SGS به صورت ذیل بیان می‌گردد:

۱- انتقال داده‌های z اولیه به یک توزیع استاندارد نرمال (یعنی تمام مراحل الگوریتم در یک فضای نرمال انجام می‌شود).

۲- رسم واریوگرام با استفاده از داده‌های نرمال استاندارد.

۳- در هر موقعیت u عملیات کریجینگ انجام شده و یک مقدار تخمین کریجینگ و واریانس کریجینگ مربوط به آن به دست می‌آید.

$$y^*(u) = \sum_{B=1}^n \lambda_B \cdot y(u) \quad (7-2)$$

۴- بیرون کشیدن یک باقی‌مانده تصادفی $R(u)$ که دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس $\sigma_{sk(u)}^2$ باشد.

۵- اضافه کردن باقی‌مانده به تخمین کریجینگ و دستیابی به یک مقدار شبیه‌سازی شده.

$$y_s(u) = y^*(u) + R(u) \quad (8-2)$$

مقدار شبیه‌سازی شده برابر است با $y_s(u)$.

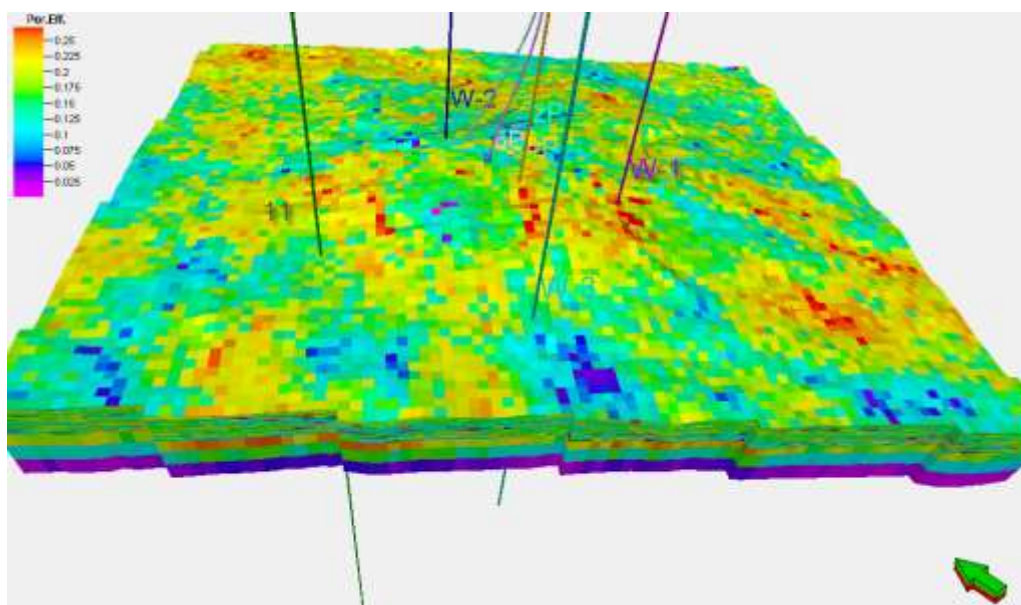
۶- مقدار $y_s(u)$ را به مجموعه داده‌ها اضافه کرده اطمینان حاصل شود که کواریانس میان این مقادیر و تمام مقادیری که در ادامه پیش‌بینی (شبیه‌سازی) خواهند شد، صحیح است. این ایده کلید شبیه‌سازی گوسی متوالی است، یعنی با استفاده از مقادیر شبیه‌سازی شده قبلی به عنوان داده تا کواریانس در میان تمام مقادیر شبیه‌سازی شده قابل دوباره سازی شود.

۷- پس از تولید مدل، تبدیل عکس نرمال تمام مقادیر داده‌ها و مقادیر شبیه‌سازی شده (یعنی برگشت از شکل توزیع نرمال به شکل توزیع اولیه).

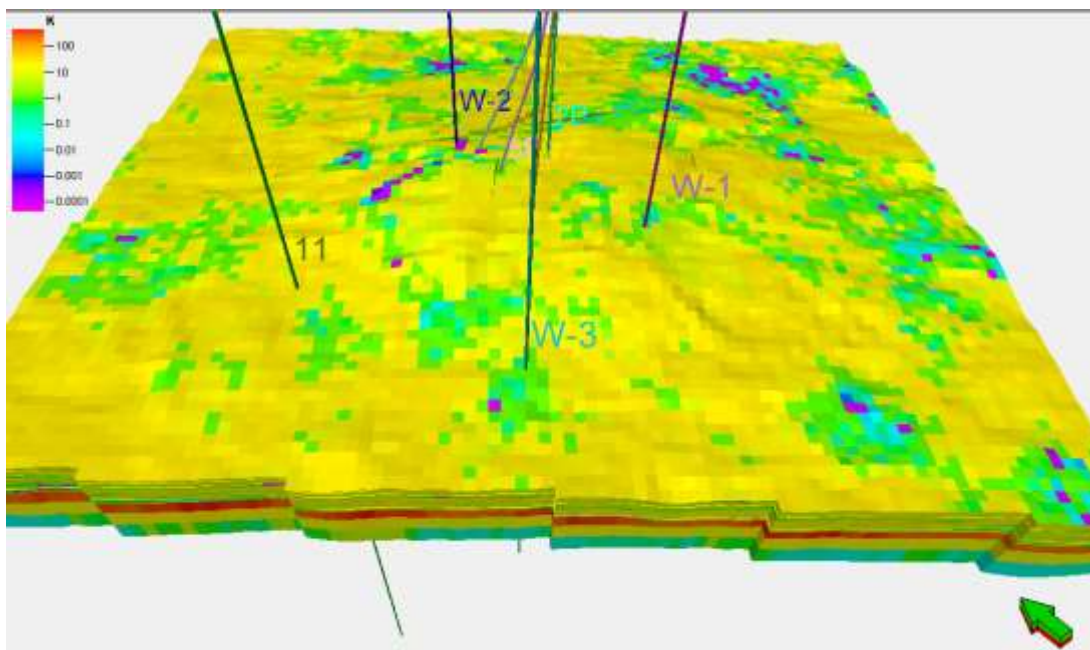
۸- ایجاد هر تحقق با تکرار عملیات شبیه‌سازی شده و تغییر مقدار عدد تصادفی بسیار بزرگ، تفاوت در مقدار این عدد سبب ایجاد تفاوت میان مجموعه‌های هر بار شبیه‌سازی می‌شود زیرا در هر بار مسیر متفاوت گشتن، نقاط متفاوت باقیمانده‌ها و مقادیر شبیه‌سازی شده در عملیات شرکت می‌کنند.

بدین ترتیب با طی مراحل مذکور، شبیه‌سازی پارامتر پتروفیزیکی مورد نظر صورت می‌گیرد. روش شبیه سازی SGS کاربردی‌ترین روش در شبیه سازی پارامترهای تخلخل و تراوایی می‌باشد و تاکنون نتایج قابل قبولی ارائه داده است [۴۲].

نتایج مدل‌سازی سه‌بعدی تخلخل مؤثر و تراوایی با استفاده از روش SGS به کمک نرم افزار Petrel که تمامی ۸ مورد ذکر شده در بالا را لحاظ می‌کند، به ترتیب در شکل‌های (۳-۱۱) و (۳-۱۲) نمایش داده شده است. این نتایج حاکی از بالا بودن میزان تخلخل مؤثر و تراوایی در بخش مرکزی میدان مورد مطالعه و خصوصاً در محل چاه‌های W-1، 1P، 2P، 5P و W-2 است. همچنین این روش پراکندگی تخلخل مؤثر و تراوایی در میدان مورد مطالعه را بهتر نشان داده است.



شکل ۳-۱۱- مدل سه‌بعدی تخلخل مؤثر با استفاده از روش SGS



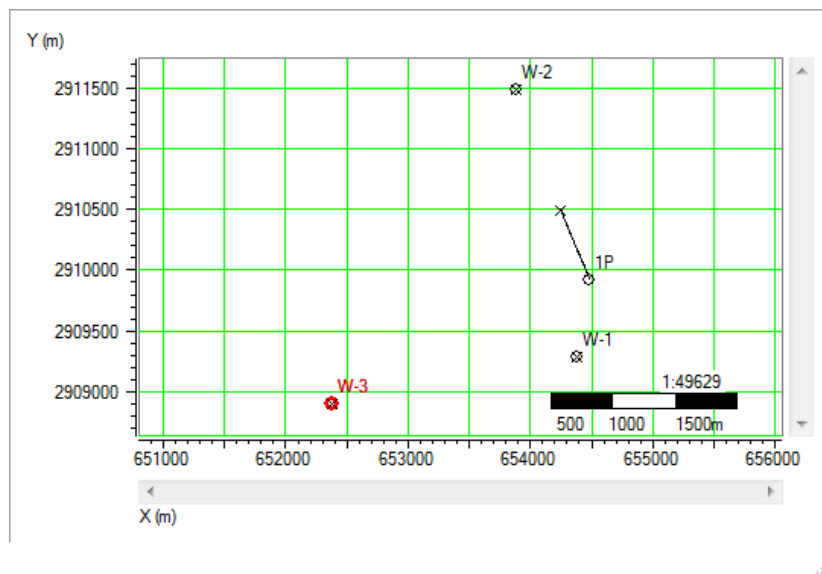
شکل ۳-۱۲- مدل سه بعدی تراوایی با استفاده از روش SGS

۳-۵- تخمین توزیع تخلخل مؤثر در مخزن مورد مطالعه با استفاده از نرم-

افزار HRS

در این بخش، مراحل کار در نرم افزار HRS به صورت کلی شرح داده شده می شود.

۱- فراخوانی داده ها در نرم افزار: در ابتدا داده های چاه های میدان مورد مطالعه، شامل اطلاعات هندسی چاه مانند مختصات جغرافیایی سر چاه، ارتفاع مبدأ و مسیر چاه، نگارهای پتروفیزیکی، اطلاعات چک شات و داده های مربوط به عمق سر سازندها در قسمت Well Expelorer نرم افزار فراخوانی گردید. در این قسمت از چهار چاه 1P، W-1، W-2 و W-3 برای تخمین توزیع تخلخل مؤثر استفاده شده که موقعیت چاه های مورد استفاده در این مرحله در شکل (۳-۱۳) آمده است.



شکل ۳-۱۳- موقعیت چاه‌های مورد استفاده در مرحله تخمین تخلخل

سپس داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی و مقاومت ظاهری صوتی^۱ در قسمت STRATA نرم‌افزار فراخوانی می‌گردند که در شکل‌های (۳-۱۴) و (۳-۱۵) نمایش داده شده است.

^۱ Acoustic impedance

Geometry Grid Page

Inlines: Cross-lines: # of Traces 137274

Number of: 334 411

Start Number: 2012 1020

Number Increment: 2 2

Spacing: 25.00 25.00

Set orientations by corners ...

Origin P1 (UTM): X: 654780.00

Y: 2904195.00

Orientation: -46.368 43.631

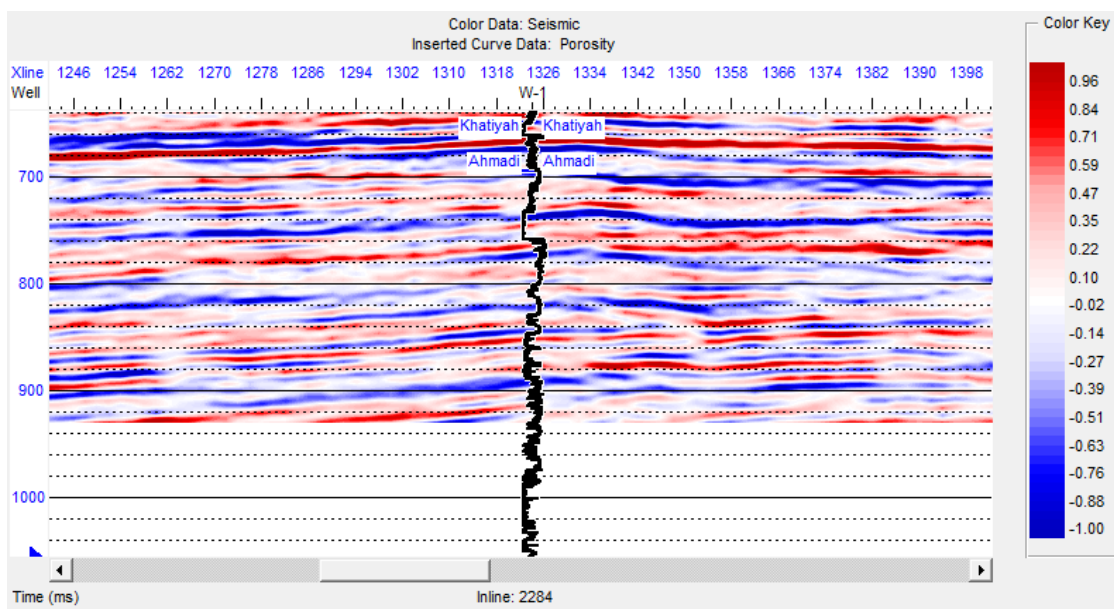
Xline Direction: +90

Length Units: ☒ Meters ☐ Feet

Copy geometry from ...

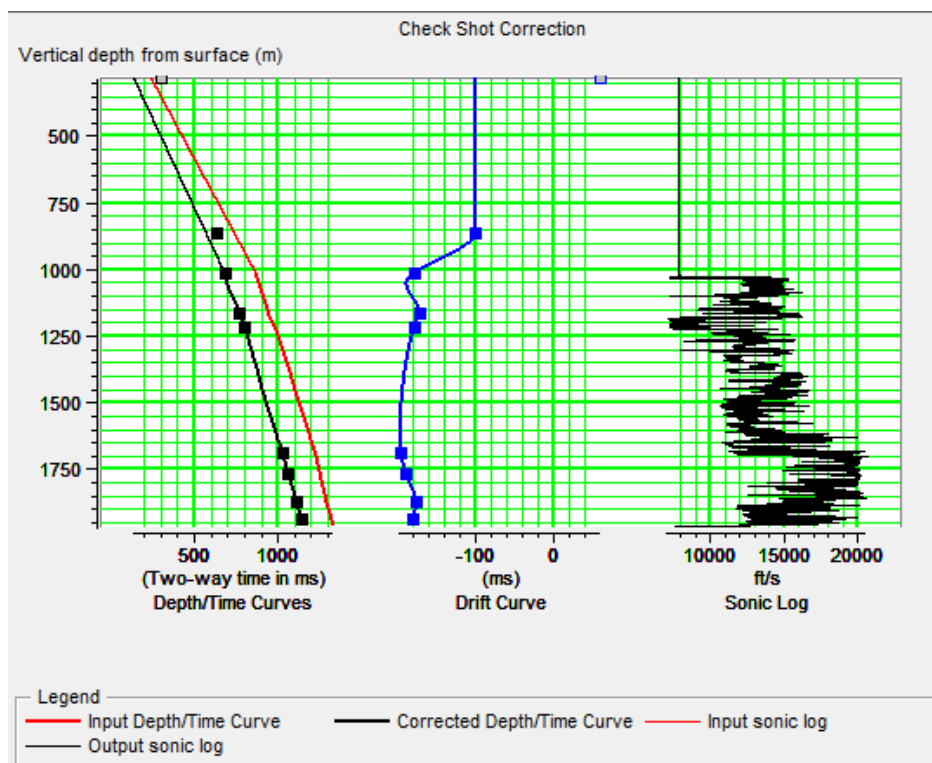
Display Statistics...

شکل ۳-۱۴- نقشه خطوط لرزه‌ای ترسیم شده توسط نرم افزار HRS



شکل ۳-۱۵- فراخوانی داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی در نرم افزار HRS

۲- اعمال چک شات و تصحیح آن: یکی از مراحل مهم کار، تبدیل داده‌های مربوط به چاه‌ها از مقیاس عمقی به مقیاس زمانی است. زیرا داده‌های لرزه‌ای در حوزه زمان و داده‌های پتروفیزیکی در حوزه عمق برداشت می‌شوند و برای ترکیب این اطلاعات لازم است که هر دو در یک واحد بیان شوند. این کار با استفاده از داده‌های چک شات و به کمک نرم‌افزار به راحتی صورت می‌گیرد. در ادامه اعمال چک شات در یکی از چاه‌های میدان مورد مطالعه، به عنوان نمونه، در شکل (۳-۱۶) نمایش داده شده است.



شکل ۳-۱۶- اعمال چک شات در چاه W-3 میدان مورد مطالعه

توزیع تخلخل مؤثر در محدوده مخزن در میدان مورد مطالعه با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام شده که این کار در قسمت EMERGE نرم‌افزار HRS صورت می‌گیرد. بدین منظور با استفاده از روش تحلیل چند نشانگری و روش‌های شبکه عصبی چند لایه پیش‌خور^۱، تابع با پایه شعاعی^۲ و احتمالی^۳ مدل سه‌بعدی توزیع تخلخل مؤثر در مخزن مورد مطالعه تخمین زده می‌شود. به طور کلی

^۱ Multi-layer feed forward

^۲ Radial basis function

^۳ Probabilistic neural network

شبکه‌های عصبی مصنوعی را می‌توان به دو دسته پیش‌خور^۱ و پس‌خور^۲ (برگشتی^۳) تقسیم‌بندی نمود. در روش شبکه عصبی چند لایه پیش‌خور (MLFN)^۴ باید یک جفت مجموعه داده ورودی و خروجی را آموزش داد تا رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های متناظر را فراگیرند. در طول فرآیند آموزش، هر نمونه از مجموعه داده‌های آموزش به شبکه عصبی ارائه می‌شود و یک الگوریتم تغییر وزن‌های شبکه عصبی به منظور کاهش خطای بین خروجی‌های مورد نظر و خروجی‌های مشاهده شده را، فرا می‌گیرد (آموزش می‌بیند). خطای میانگین مربعات^۵ معمولاً برای محاسبه این اختلاف استفاده می‌شود. هر ارزیابی از تمام نمونه‌ها در مجموعه آموزش یک دوره^۶ نامیده می‌شود. در واقع، هدف از آموزش شبکه ارائه دقیق خود داده‌های آموزشی نیست، بلکه به منظور ساخت یک مدل از روند تولید داده‌ها است. پس از آموزش شبکه عصبی، عملکرد و قابلیت تعمیم آن بر روی یک مجموعه داده ورودی و خروجی، تحت عنوان مجموعه داده‌های تست، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

الگوریتم شبکه عصبی احتمالاتی (PNN) بر این فرض است که هر مقدار نگار خروجی می‌تواند یک ترکیب خطی از مقدار نگار برای داده‌های آموزشی ایجاد کند. شبکه عصبی با تابع پایه شعاعی شامل سه لایه ورودی، پنهان و خروجی است. لایه ورودی یک حائل یا بافر^۷ است که داده‌ها را برای شبکه فراهم می‌کند و شامل متغیرهای ورودی است. در حالی که لایه پنهان از تعدادی گره‌های RBF با توابع فعال‌سازی شعاعی گوسی تشکیل شده است. لایه خروجی پاسخ خروجی برای یک ورودی داده شده را فراهم می‌کند و توسط وزن‌های خطی به گره‌های قبلی در لایه پنهان متصل می‌کند [۳۲].

به منظور دستیابی به توزیع تخلخل مؤثر با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی ذکر شده، در ابتدا نگار تخلخل مؤثر در چاه‌های مورد نظر به عنوان نگار هدف و در مرحله بعد داده‌های لرزه‌ای

^۱ Feed forward

^۲ Back forward

^۳ Recurrent

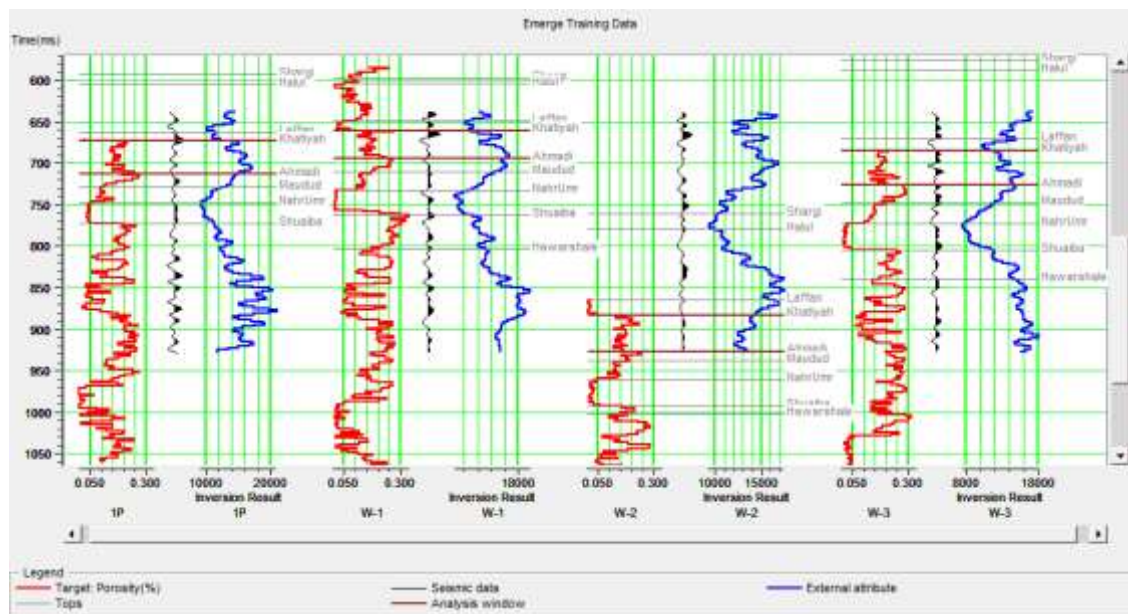
^۴ Multi-layer feed forward neural network (MLFN)

^۵ Mean squared error (MSE)

^۶ Epoch

^۷ buffer

سه‌بعدی به عنوان داده لرزه‌ای و مقاومت ظاهری صوتی به عنوان نشانگر خارجی فراخوانی می‌شود. شکل (۳-۱۷) پنجره اصلی EMERGE که در آن نگار هدف، داده‌های لرزه‌ای و مقاومت ظاهری صوتی برای چاه‌های مورد نظر فراخوانی شده است، را نمایش می‌دهد.



شکل ۳-۱۷- نمایشی از فراخوانی نگار هدف، داده‌های لرزه‌ای و مقاومت ظاهری صوتی برای چاه‌های موردنظر در نرم افزار HRS

پس از فراخوانی داده‌های مورد نیاز، باید لیستی از نشانگرها را از طریق گزینه Attribute تهیه کرد. بدین منظور ابتدا از روش تبدیلات غیرخطی تک نشانگری فهرستی از نشانگرها که دارای کم‌ترین خطا و بیش‌ترین شباهت با نگار هدف می‌باشند، تهیه می‌شود که در شکل (۳-۱۸) نمایش داده شده است.

Single Attribute Correlation Results

Target	Attribute	Error	Correlation
Porosity	Y-Coordinate	0.038779	-0.197205
Sqrt(Porosity)	Y-Coordinate	0.038880	-0.192027
Porosity	X-Coordinate	0.038909	-0.180041
Sqrt(Porosity)	X-Coordinate	0.039013	-0.180971
(Porosity)**2	Y-Coordinate	0.039043	-0.197390
(Porosity)**2	X-Coordinate	0.039197	-0.162576
Porosity	Derivative	0.039226	0.128842
Porosity	Time	0.039251	-0.123960
Porosity	Filter 45/50-55/60	0.039268	-0.120279
Porosity	Second Derivative Instantaneous Amplitude	0.039286	-0.116526
Log(Porosity)	Y-Coordinate	0.039300	-0.181022
Porosity	Apparent Polarity	0.039326	-0.107568
Porosity	Average Frequency	0.039332	0.106228

There are 160 samples.

شکل ۳-۱۸- نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیر خطی تک نشانگری به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف قبل از اعمال شیفت

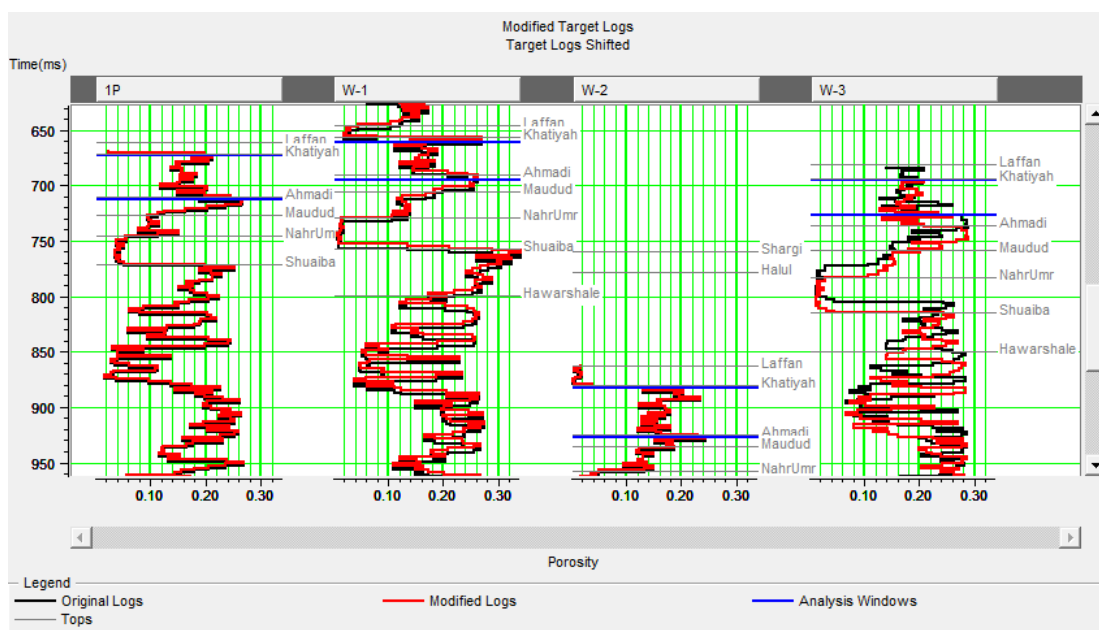
با توجه به شکل (۳-۱۸) و پایین بودن میزان همبستگی میان نشانگرها با نگار هدف، نگار هدف را شیفت داده تا میزان همبستگی میان نگار هدف و نشانگرها بیش تر شود. بدین منظور از طریق گزینه optimize در قسمت shift Target Log مقدار شیفت بهینه از طریق نرم افزار تعیین می گردد. این مراحل در شکل های (۳-۱۹) تا (۳-۲۱) نشان داده شده است.

Target Log Shift Times

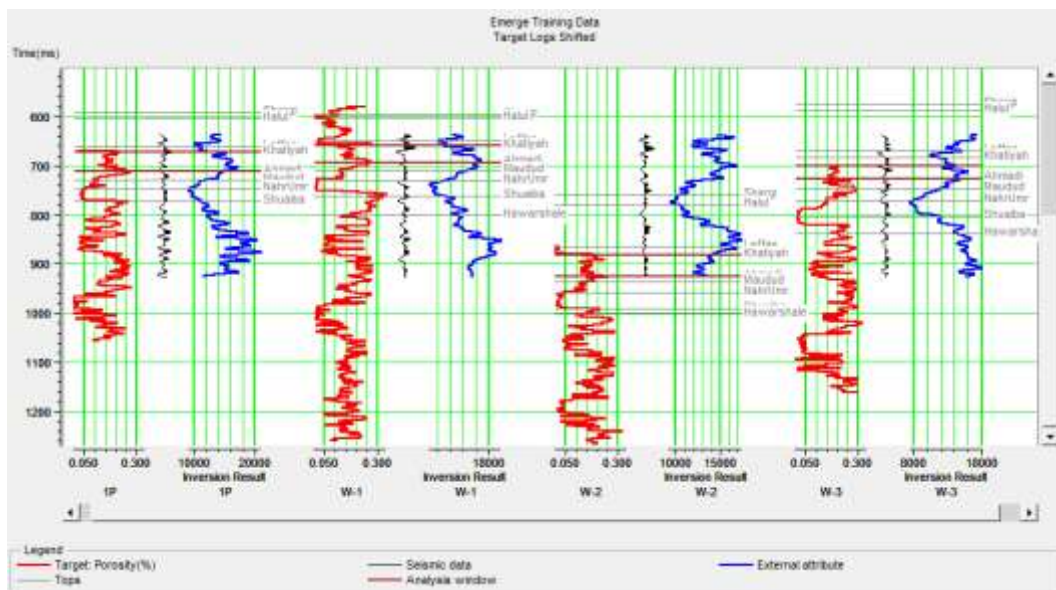
Well Name	Log Shift (ms)
1P	-2
W-1	-4
W-2	-2
W-3	10

Ok Reset Optimize Cancel

شکل ۳-۱۹- میزان شیفت برای هر چاه به منظور افزایش همبستگی



شکل ۳-۲۰- نمایش نگار هدف اولیه پس از اعمال شیفت (نگار هدف پس از جابجایی به رنگ قرمز نشان داده شده است)



شکل ۳-۲۱- پنجره اصلی EMERGE پس از اعمال شیفت

پس از شیفت دادن نگار هدف، دوباره با استفاده از روش تبدیلات غیر خطی تک نشانگری فهرستی از نشانگرها که دارای کمترین خطا و بیشترین شباهت با نگار هدف می‌باشند، تهیه گردید که در شکل (۳-۲۲) نشان داده شده است.

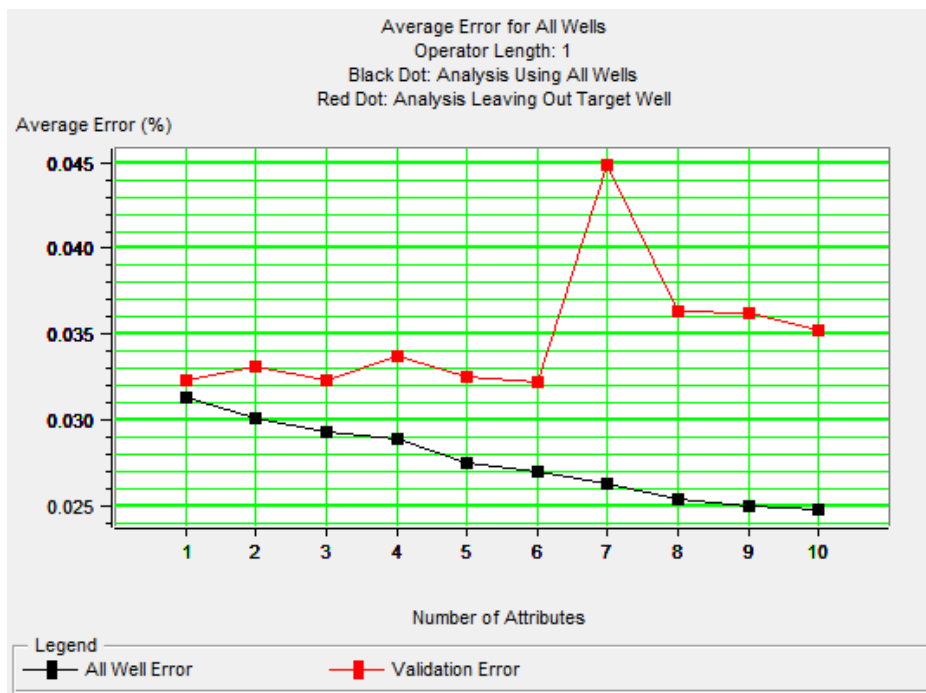
Single Attribute Correlation Results			
Target	Attribute	Error	Correlation
Porosity	Integrate	0.031314	-0.283095
Sqrt(Porosity)	Integrate	0.031328	-0.283037
Log(Porosity)	Integrate	0.031409	-0.281392
(Porosity)**2	Integrate	0.031496	-0.278411
1 / (Porosity)	Integrate	0.031755	0.273879
Porosity	(Inversion Result)**2	0.031803	0.226234
Sqrt(Porosity)	(Inversion Result)**2	0.031820	0.216349
Porosity	Inversion Result	0.031905	0.212253
Log(Porosity)	(Inversion Result)**2	0.031911	0.206757
Sqrt(Porosity)	Inversion Result	0.031924	0.203325
Porosity	Apparent Polarity	0.031954	-0.205358
Porosity	Sqrt(Inversion Result)	0.031956	0.204963
Sqrt(Porosity)	Sqrt(Inversion Result)	0.031976	0.196511

There are 160 samples.

شکل ۳-۲۲- نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیرخطی تک نشانگری به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف پس از اعمال شیفت

با مقایسه شکل‌های (۳-۱۸) و (۳-۲۲) مشاهده می‌شود که با شیفت دادن نگار هدف میزان خطای نشانگرها کاهش و میزان شباهت با نگار هدف افزایش یافته است.

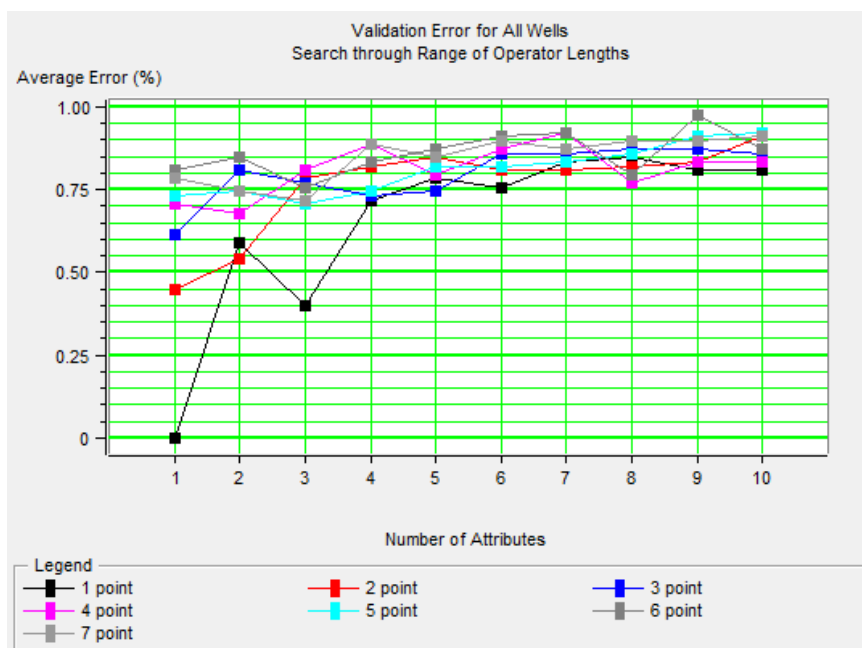
در هنگام استفاده از روش تحلیل چند نشانگری دو پارامتر قابل توجه وجود دارد. از آنجایی که افزایش تعداد نشانگرها موجب افزایش همبستگی میان نگار واقعی و نگار هدف و افزایش خطای تخمین می‌گردد، اولین پارامتر قابل توجه، تعداد نشانگرهایی است که مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای انتخاب تعداد نشانگرهای مناسب ابتدا تعداد نشانگرهای دلخواهی به نرم‌افزار داده می‌شود که در این مطالعه تعداد ۱۰ نشانگر اعمال شد، سپس نرم‌افزار به روش اعتبارسنجی میزان خطای نشانگرها را محاسبه و نمودار مربوط به آن را نمایش می‌دهد که نتیجه در شکل (۳-۲۳) آمده است. به کمک این نمودار می‌توان تعداد نشانگرهای مناسب را تعیین نمود. بدین صورت که تعداد مناسب نشانگرها، عددی است که در آن خطای اعتبارسنجی (نمودار قرمز رنگ) به کم‌ترین مقدار برسد.



شکل ۳-۲۳- نمودار میزان خطا براساس تعداد نشانگرها برای تخمین تخلخل مؤثر

بر اساس شکل (۳-۲۳)، با توجه به نمودار قرمز رنگ، تعداد مناسب نشانگرها برای تخمین تخلخل مؤثر ۶ عدد می‌باشد.

دومین پارامتر قابل توجه طول عملگر است. طول عملگر بیانگر تعداد نقاط همسایگی در هر نشانگر که برای پیش‌بینی یک نقطه روی نگار هدف استفاده می‌شود. انتخاب طول عملگر بهینه به دلیل تفاوت در محتوای فرکانس نگار هدف و نشانگرهای لرزه‌ای می‌باشد. در این مطالعه به منظور انتخاب طول عملگر بهینه، نتایج حاصل از انتخاب طول عملگرهای متفاوت از ۱ تا ۱۰، برای تخلخل مؤثر در شکل (۳-۲۴) آمده است.



شکل ۳-۲۴- نتایج حاصل از طول عملگرهای متفاوت در میزان خطای تخمین تخلخل مؤثر با استفاده از روش تحلیل چند نشانگری

با بررسی شکل (۳-۲۴) و با توجه به تعداد نشانگرهای به دست آمده در مرحله قبل، طول عملگر مناسب برای تخمین تخلخل مؤثر ۱ می باشد. دلیل این امر تفاوت در محتوای فرکانس نگار تخلخل مؤثر حاصل از عملیات چاه پیمایی و داده های لرزه ای است.

در نهایت فهرستی از نشانگرها با طول عملگر ۱، تهیه و نشانگری که دارای کمترین خطای آموزش و اعتبارسنجی است، مشخص گردید که پنجره مربوط به آن در شکل (۳-۲۵) آمده است.

Multi-Attribute List Multi Attribute List 9

	Target	Final Attribute	Training Error	Validation Error
1	Porosity	Integrate	0.031314	0.032298
2	Porosity	(Inversion Result)**2	0.030076	0.033116
3	Porosity	Amplitude Envelope	0.029257	0.032314
4	Porosity	Filter 35/40-45/50	0.028846	0.033741
5	Porosity	Filter 25/30-35/40	0.027503	0.032503
6	Porosity	Filter 55/60-65/70	0.027015	0.032235
7	Porosity	X-Coordinate	0.026314	0.044875
8	Porosity	Apparent Polarity	0.025417	0.036366
9	Porosity	Derivative Instantaneous Amplitude	0.024990	0.036246
10	Porosity	Amplitude Weighted Cosine Phase	0.024768	0.035206

There are 10 transforms.

شکل ۳-۲۵- نوع و تعداد نشانگرهای انتخاب شده برای تخمین تخلخل مؤثر در مخزن مورد مطالعه

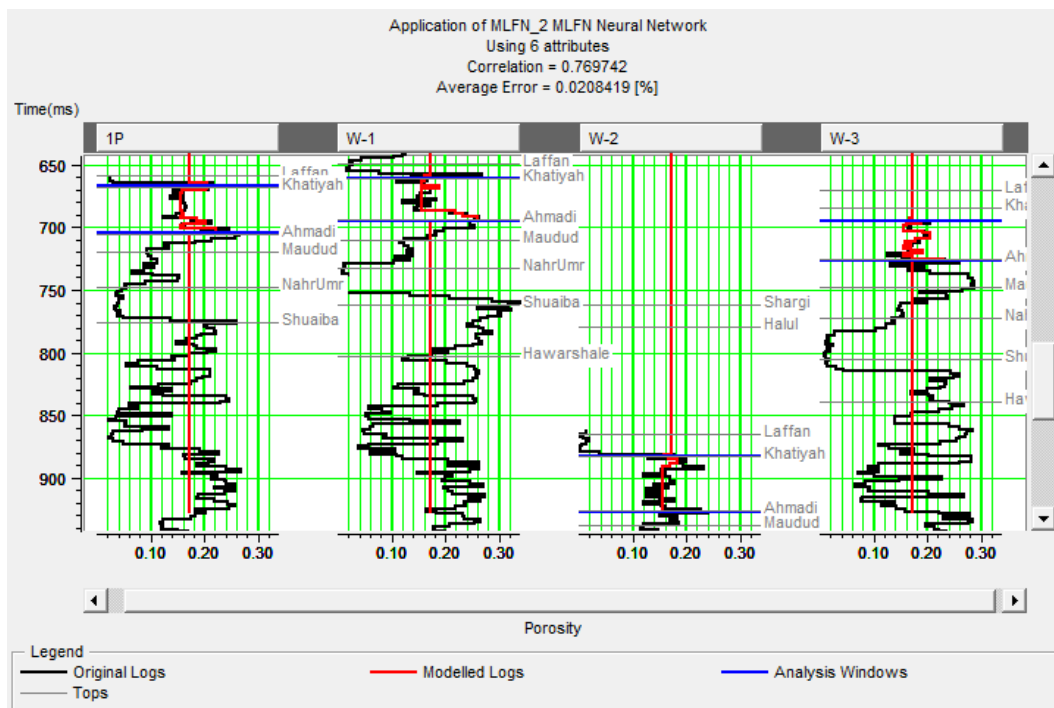
پس از انتخاب نشانگرهای مناسب با استفاده از روش تحلیل چند نشانگری و روش‌های شبکه عصبی MLFN (۳ لایه)، RBF و PNN، مدل سه‌بعدی تخلخل مؤثر در مخزن مورد مطالعه تخمین زده شد که نتایج آن در جدول (۳-۱) آمده است.

جدول ۳-۱- نتایج به‌دست آمده از انواع شبکه‌های عصبی برای مدل سه‌بعدی تخلخل مؤثر

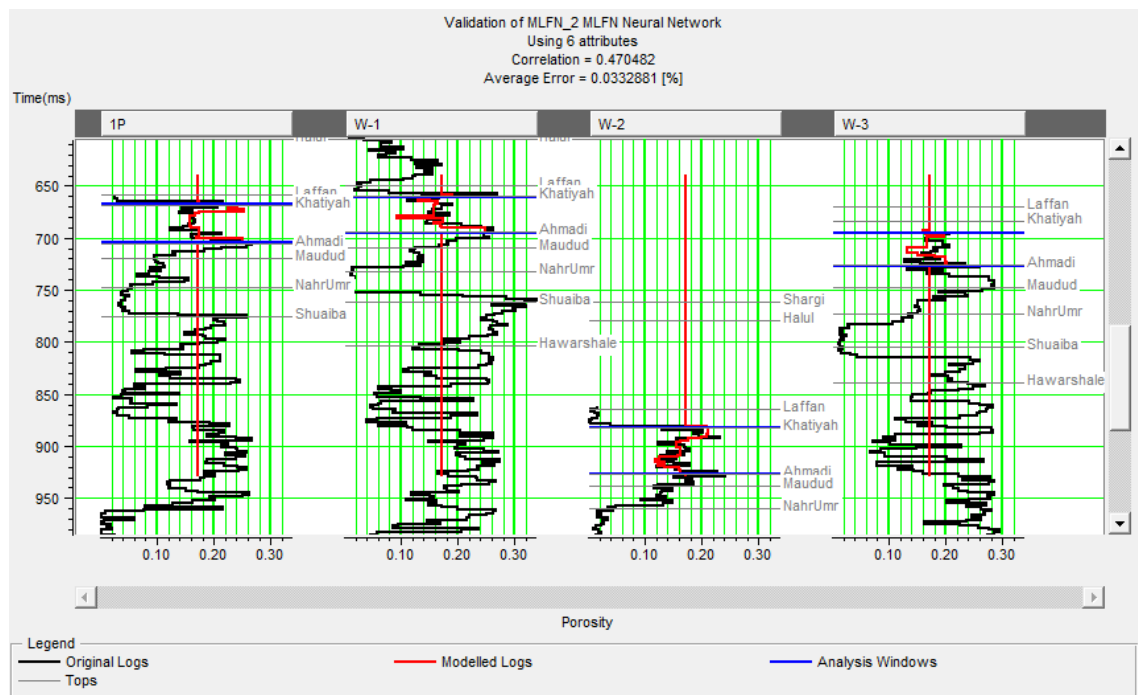
	آموزش (Training)		اعتبارسنجی (Validation)	
	همبستگی	خطا	همبستگی	خطا
مدل سه بعدی FZI				
Multi Attribute	۰/۵۶	۰/۰۲۷	۰/۳۱	۰/۰۳۲
MLFN	۰/۷۷	۰/۰۲۱	۰/۴۷	۰/۰۳۳
RBF	۰/۶۲	۰/۰۲۶	۰/۲۶	۰/۰۳۳
PNN	۰/۷۸	۰/۰۲۳	۰/۳۵	۰/۰۳۱

نتایج به‌دست آمده از جدول (۳-۱) نشان می‌دهد که روش MLFN با سه لایه پنهان، دارای کم‌ترین خطا و بیش‌ترین همبستگی با نگار تخلخل مؤثر است. بنابراین روش MLFN برای مدل‌سازی انتخاب گردیده است. میزان همبستگی نگار تخلخل مؤثر محاسباتی براساس نمودارهای چاه‌پیمایی و نگار

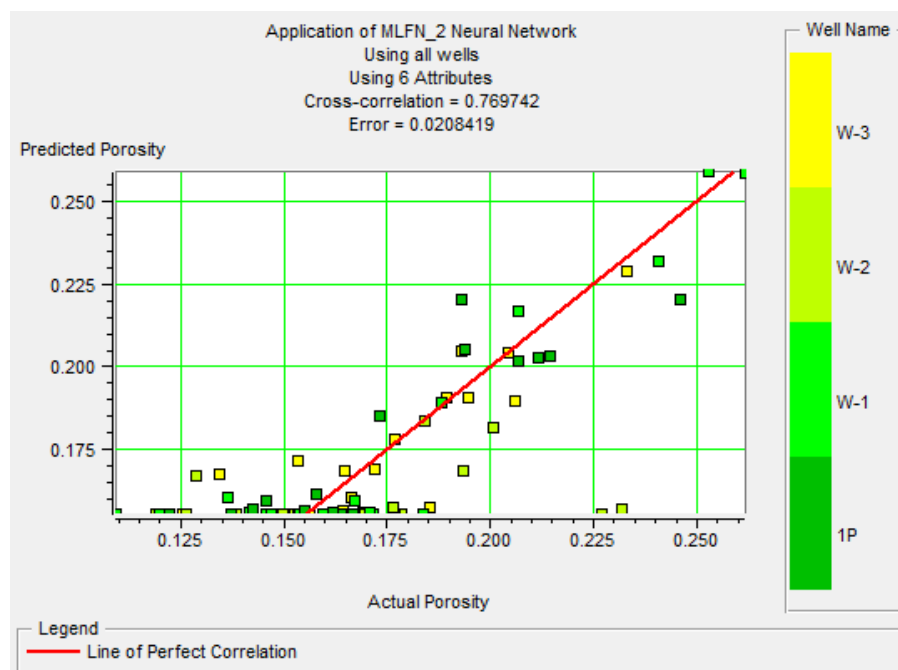
تخلخل مؤثر محاسباتی براساس لرزه در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی در شکل‌های (۲۶-۳) و (۲۷-۳) و میزان همبستگی نهایی برای تخمین تخلخل مؤثر در شکل (۲۸-۳) نمایش داده شده است. یکی از دلایل پایین بودن میزان همبستگی در تخمین تخلخل مؤثر، کم بودن داده‌ها و تعداد چاه‌های مورد استفاده در این مرحله می‌باشد.



شکل ۳-۲۶- نمایش میزان همبستگی نگار تخلخل مؤثر محاسباتی براساس نمودارهای چاه‌پیمایی و نگار تخلخل مؤثر محاسباتی براساس لرزه در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های آموزشی

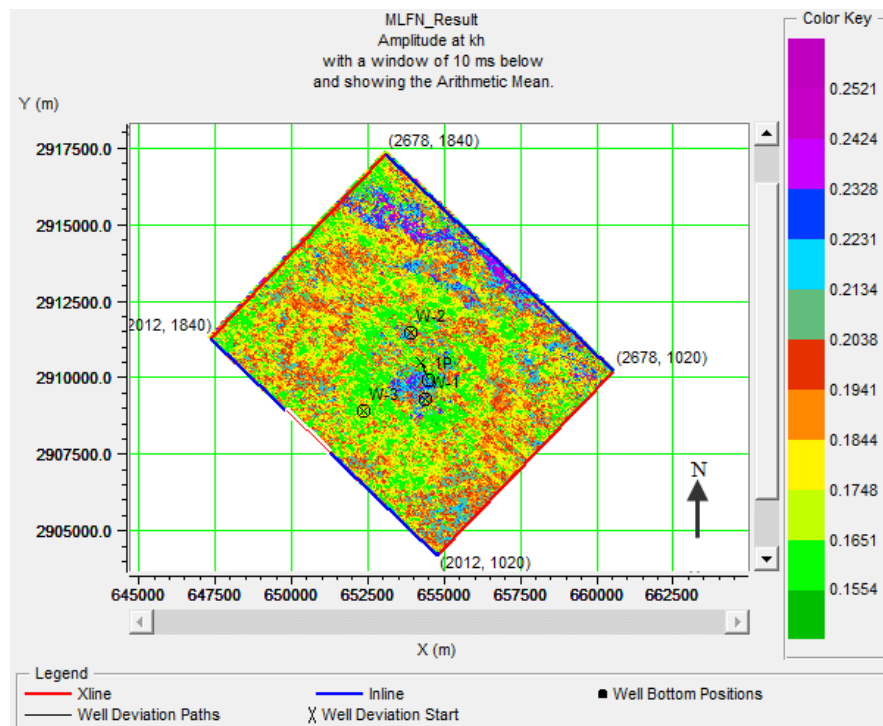


شکل ۳-۲۷- نمایش میزان همبستگی نگار تخلخل مؤثر محاسباتی براساس نمودارهای چاه‌پیمایی و نگار تخلخل مؤثر محاسباتی براساس لرزه در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های اعتبارسنجی

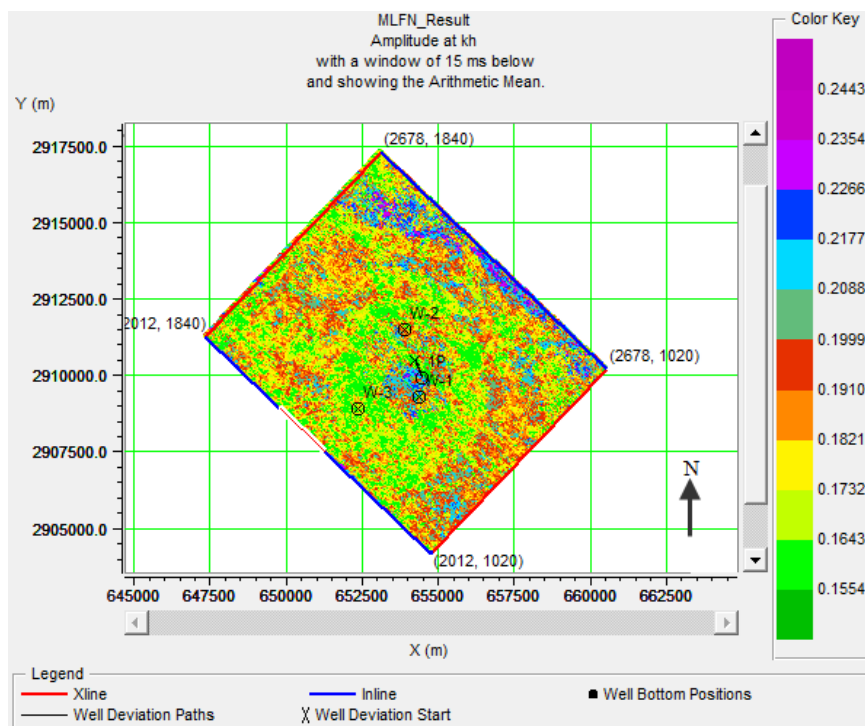


شکل ۳-۲۸- نمودار میزان همبستگی داده‌های تخلخل مؤثر محاسباتی براساس نمودارهای چاه‌پیمایی و نگار تخلخل مؤثر محاسباتی براساس لرزه

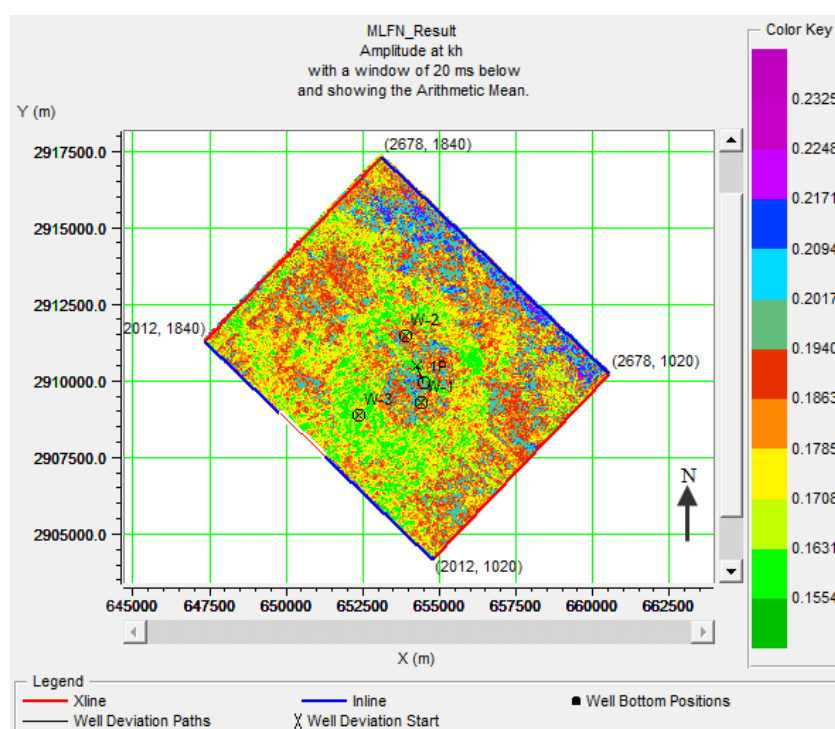
در ادامه نقشه توزیع تخلخل مؤثر در مخزن مورد مطالعه و در شکل‌های (۳-۲۹) تا (۳-۳۱)، به ترتیب در افق‌های زمانی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی ثانیه زیر سازند مورد بررسی، به نمایش در آمده است.



شکل ۳-۲۹- نقشه توزیع تخلخل مؤثر در افق‌های ۱۰ میلی ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی



شکل ۳-۳۰- نقشه توزیع تخلخل مؤثر در افق‌های ۱۵ میلی‌ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی



شکل ۳-۳۱- نقشه توزیع تخلخل مؤثر در افق‌های ۲۰ میلی‌ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی

سپس، به منظور بهبود تخمین تخلخل مؤثر، مدل تخمین زده شده به روش MLFN با سه لایه پنهان، در مرحله قبل به عنوان نشانگر خارجی به همراه داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی در نرم‌افزار فراخوانی و مراحل قبل تکرار می‌گردد. مرحله تکرار موجب افزایش میزان همبستگی و کاهش میزان خطای تخمین می‌شود. نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیرخطی تک نشانگری برای تخمین تخلخل مؤثر به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف و نشانگرهای انتخاب شده برای تخمین تخلخل مؤثر برای مخزن مورد مطالعه در شکل‌های (۳-۳۲) و (۳-۳۳) به نمایش در آمده است.

Single Attribute Correlation Results

Target	Attribute	Error	Correlation
Sqrt(Porosity)	(MLFN_Result)**2	0.023248	0.674007
Log(Porosity)	(MLFN_Result)**2	0.023279	0.651685
Porosity	(MLFN_Result)**2	0.023294	0.693785
Log(Porosity)	MLFN_Result	0.023347	0.648846
Sqrt(Porosity)	MLFN_Result	0.023397	0.669118
Log(Porosity)	Sqrt(MLFN_Result)	0.023440	0.645975
1 / (Porosity)	Sqrt(MLFN_Result)	0.023471	-0.600961
1 / (Porosity)	MLFN_Result	0.023474	-0.601907
Porosity	MLFN_Result	0.023510	0.686763
Sqrt(Porosity)	Sqrt(MLFN_Result)	0.023522	0.665204
1 / (Porosity)	Log(MLFN_Result)	0.023528	-0.599153
Log(Porosity)	Log(MLFN_Result)	0.023570	0.642225
(Porosity)**2	(MLFN_Result)**2	0.023580	0.724908

There are 160 samples.

شکل ۳-۳۲- نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیر خطی تک نشانگری برای تخمین تخلخل مؤثر به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف، در مرحله تکرار

Multi-Attribute List		Multi Attribute List 9		
	Target	Final Attribute	Training Error	Validation Error
1	Sqrt(Porosity)	(MLFN_Result)**2	0.023248	0.023740
2	Sqrt(Porosity)	Integrate	0.022798	0.023281
3	Sqrt(Porosity)	Filter 35/40-45/50	0.022456	0.023719
4	Sqrt(Porosity)	Y-Coordinate	0.022236	0.023060
5	Sqrt(Porosity)	Derivative Instantaneous Amplitude	0.022051	0.023008
6	Sqrt(Porosity)	Amplitude Weighted Cosine Phase	0.021871	0.023162
7	Sqrt(Porosity)	Raw Seismic	0.020704	0.023628
8	Sqrt(Porosity)	Amplitude Weighted Phase	0.020540	0.023718
9	Sqrt(Porosity)	X-Coordinate	0.020461	0.023380
10	Sqrt(Porosity)	Apparent Polarity	0.020378	0.024193

There are 10 transforms.

شکل ۳-۳- نشانگرهای انتخاب شده برای تخمین تخلخل مؤثر برای مخزن مورد مطالعه، در مرحله تکرار

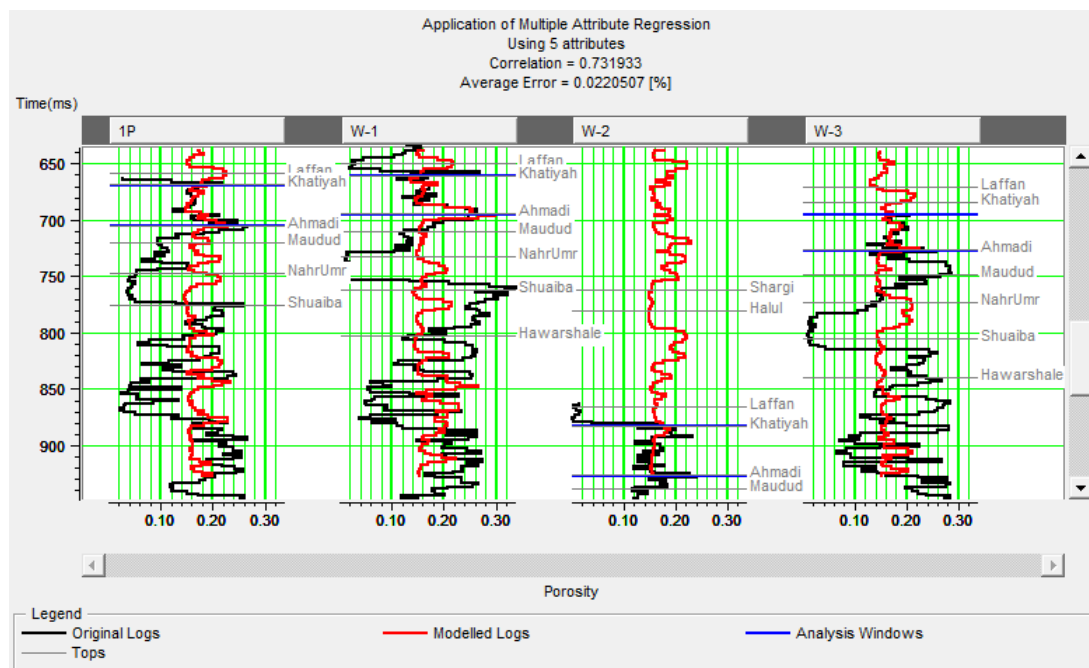
سپس مدل سه بعدی تخلخل مؤثر با استفاده از روش تحلیل چند نشانگری و روش‌های شبکه عصبی تخمین زده شد که نتایج مربوطه در جدول (۳-۲) گزارش شده است.

جدول ۳-۲- نتایج به‌دست آمده از انواع شبکه‌های عصبی برای مدل سه بعدی تخلخل مؤثر در مرحله تکرار

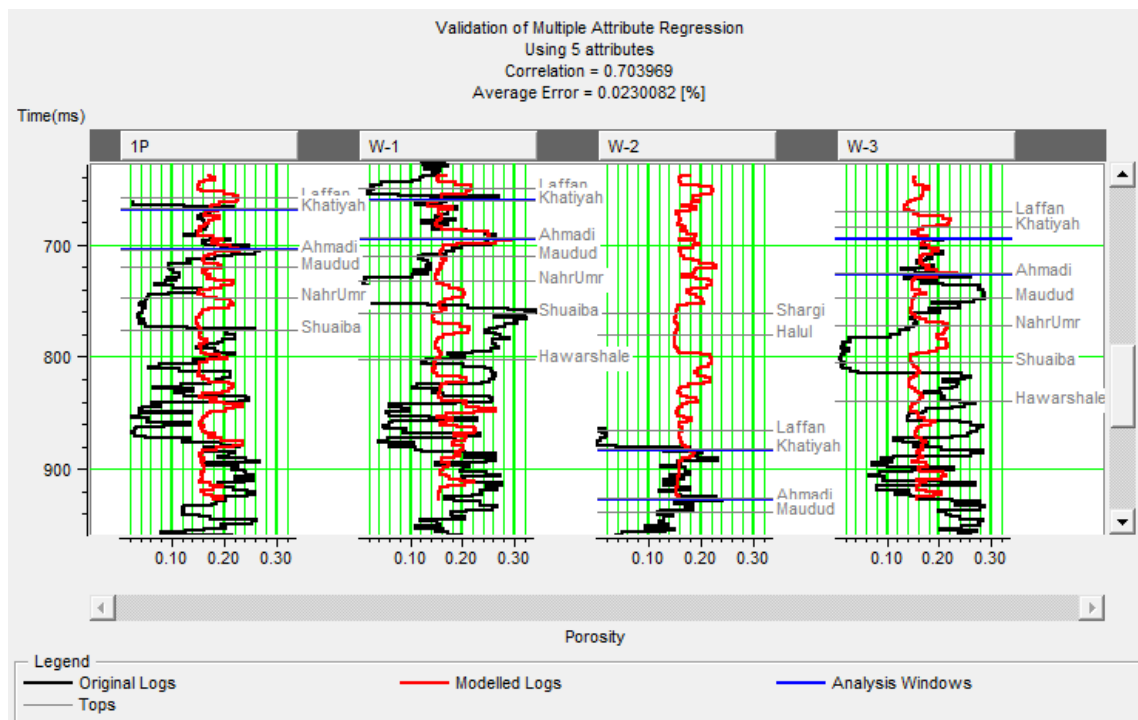
مدل سه بعدی تخلخل مؤثر	آموزش (Training)		اعتبارسنجی (Validation)	
	همبستگی	خطا	همبستگی	خطا
Multi Attribute	۰/۷۳	۰/۰۲۲	۰/۷۰	۰/۰۲۳
MLFN	۰/۷۸	۰/۰۲۰	۰/۵۹	۰/۰۲۹
RBF	۰/۷۴	۰/۰۲۲	۰/۶۳	۰/۰۲۵
PNN	۰/۷۸	۰/۰۲۰	۰/۶۸	۰/۰۲۴

در این مرحله، همانطور که جدول (۳-۲) نشان می‌دهد، میزان همبستگی افزایش و خطای تخمین برای همه روش‌ها نسبت به مرحله قبل کاهش یافته است. اما روش PNN در مقایسه با روش MLFN با وجود میزان همبستگی و خطای یکسان در مرحله آموزش، در مرحله اعتبارسنجی دارای میزان همبستگی بیش‌تر و خطای کم‌تری می‌باشد و همچنین روش چند نشانگری یا Multi Attribute با وجود داشتن همبستگی پایین‌تر و خطای بیش‌تر در مرحله آموزش، همبستگی بالاتر و خطای کم‌تری

در مرحله اعتبارسنجی دارد. شکل‌های (۳-۳۴) و (۳-۳۵) میزان همبستگی نگار تخلخل مؤثر محاسباتی بر اساس نمودارهای چاه‌پیمایی و محاسبه شده بر اساس لرزه در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی در مرحله تکرار را نشان می‌دهند.

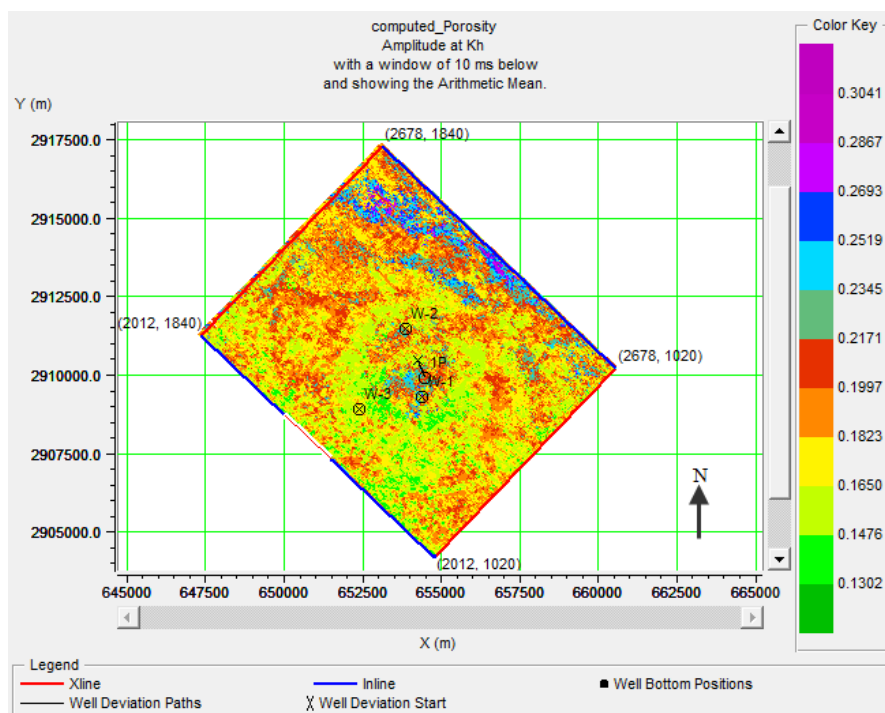


شکل ۳-۳۴- نمایش میزان همبستگی نگار تخلخل مؤثر محاسباتی بر اساس نمودارهای چاه‌پیمایی و محاسبه شده بر اساس لرزه در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های آموزشی در مرحله تکرار

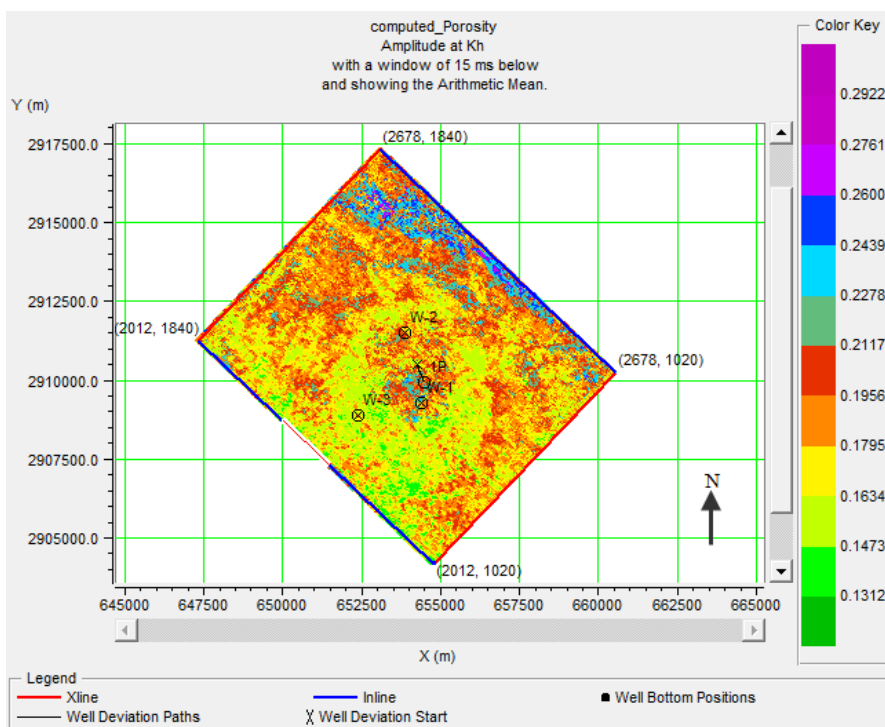


شکل ۳-۳۵- نمایش میزان همبستگی نگار تخلخل مؤثر محاسباتی بر اساس نمودارهای چاه‌پیمایی و محاسبه شده بر اساس لرزه در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های اعتبارسنجی در مرحله تکرار

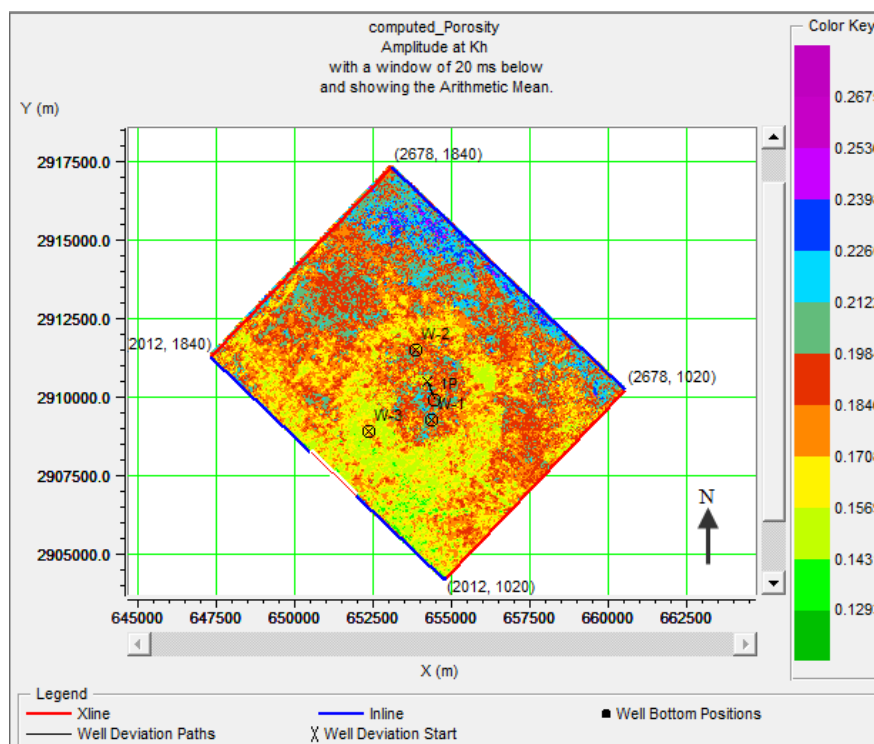
نقشه توزیع تخلخل مؤثر در مخزن مورد مطالعه و در افق‌های زمانی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌ثانیه زیر سازند مورد بررسی، در شکل‌های (۳۶-۳) تا (۳۸-۳) به نمایش در آمده است. با بررسی این شکل‌ها نتیجه می‌شود که میزان تخلخل مؤثر در بخش‌های مرکزی میدان و در قسمت شمال غرب به سمت جنوب شرق میدان مورد مطالعه بالا می‌باشد و در محل چاه‌های W-1، W-2 و 1P در حدود ۲۰ تا ۲۳ درصد است.



شکل ۳-۳۶- نقشه توزیع تخلخل مؤثر در افق‌های ۱۰ میلی ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی در مرحله تکرار



شکل ۳-۳۷- نقشه توزیع تخلخل مؤثر در افق‌های ۱۵ میلی ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی در مرحله تکرار



شکل ۳-۳۸- نقشه توزیع تخلخل مؤثر در افق‌های ۲۰ میلی‌ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی در مرحله تکرار

۳-۶- مدل‌سازی شاخص زون جریان در محدوده مخزن مورد مطالعه

مدل‌سازی شاخص زون جریان شامل دو مرحله تخمین شاخص زون جریان در محدوده مخزن و تعیین مدل سه‌بعدی شاخص زون جریان در محدوده مخزن مورد مطالعه است.

۳-۶-۱- تخمین شاخص زون جریان

یک واحد جریان^۱ حجم خاصی از مخزن است که از یک یا تعداد بیشتری از خواص سنگ‌شناسی مخزن ترکیب شده است که ممکن است با واحدهای جریان دیگر در ارتباط باشد [۶]. هر واحد جریانی با استفاده از روش شاخص زون جریانی (FZI) مشخص شده و شاخص زون جریانی خود تابعی از پارامتر شاخص کیفیت مخزنی^۲ است. مفهوم واحدهای هیدرولیکی برای تقسیم‌بندی مخزن به واحدهای

^۱ Flow unit

^۲ Reservoir Quality Index

پتروفیزیکی مجزا استفاده می‌شود. هر واحد جریان دارای یک مقدار شاخص زون جریان منحصر به فرد است [۱۸]. هر واحد جریان با شاخص زون جریان (FZI) شناخته شده است، زون‌بندی مخزن با استفاده از شاخص زون جریان و شناسایی واحدهای جریان، می‌تواند برای ارزیابی کیفیت مخزن بر اساس روابط تخلخل - تراوایی استفاده شود [۴۳].

اساس این روش رابطه کوزنی - کارمن^۱ [۴۴] اصلاح شده و مفهوم شعاع هیدرولیکی میانگین است [۱۶]. تئوری طبقه‌بندی روش واحدهای جریانی سیال بر این فرض استوار است که ارتباط حفرات را می‌توان توسط مجموعه‌ای از لوله‌های موئینه نشان داد. ترکیب قوانین دارسی^۲ و پوی زولی^۳ برای لوله‌های استوانه‌ای مستقیم به رابطه (۱-۳) منتج شد.

$$\varphi_e k = \frac{r^2}{8} \quad (1-3)$$

در این رابطه k تراوایی و φ_e تخلخل مؤثر است. از آنجا که در یک مدل واقعی، لوله‌های موئینه مستقیم نبوده و دارای خمیدگی‌های متفاوتی هستند، کوزنی و کارمن برای یک محیط متخلخل واقعی، پارامترهای پیچاپیچی (τ) و مساحت سطح فضای خلل و فرج در واحد حجم ذرات یا دانه‌ها (سطح ویژه محیط متخلخل) S_{gv} را در رابطه (۱-۳) اعمال کرده و رابطه‌ای جدید بین تخلخل و تراوایی ارائه نمودند [۱۶]؛

$$k = \frac{\varphi_e^3}{(1-\varphi_e)^2} \times \frac{1}{F_s \tau^2 S_{gv}^2} \quad (2-3)$$

که در آن F_s فاکتور شکل، k تراوایی بر حسب میکرومتر مربع و φ_e تخلخل مؤثر است که به صورت کسری بیان می‌گردد.

¹ Kozeny- carmen
² Darcy

³ Poiseuille

عبارت $F_s \tau^2$ ، به عنوان ثابت کوزنی شناخته شده و در رابطه (۳-۲) کاربرد محدودی دارد زیرا مقادیر واقعی از ثابت کوزنی معمولاً برای یک سنگ خاص ناشناخته بوده و عبارت S_{gv}^2 در محاسبات منظور نمی‌گردید. روش واحدهای جریان هیدرولیکی، با در نظر گرفتن مشخصات اصلی زمین‌شناسی و هندسه فضای متخلخل و تقسیم‌بندی شاخص زون جریان، تغییرات ثابت کوزنی و عبارت S_{gv}^2 را در آن اعمال می‌کند. شاخص زون جریان به ویژگی‌های زمین‌شناسی مواد و هندسه منافذ مختلف توده سنگ بستگی دارد، از این رو، پارامتر مناسبی برای تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی است. شاخص زون جریان تابعی از شاخص کیفیت مخزن و نسبت تخلخل است. آمیفل و همکاران (۱۹۹۳) با تقسیم رابطه (۳-۲) بر ϕ_e و جذر گرفتن از آن، تغییرات ثابت کوزنی را مورد مطالعه قرار داده و رابطه (۳-۳) را ارائه نمودند.

$$0.314 \sqrt{\frac{k}{\phi_e}} = \frac{\phi_e}{(1-\phi_e)} \times \frac{1}{\sqrt{F_s \tau^2 S_{gv}^2}} \quad (3-3)$$

ثابت 0.0314 به منظور تبدیل واحد تراوایی از میکرومتر مربع به میلی داری است. بر اساس رابطه (۳-۳) عبارت‌های شاخص کیفیت مخزن (RQI)، تخلخل نرمال شده (ϕ_e) و شاخص زون جریان (FZI) را به صورت روابط (۳-۴) تا (۳-۶)، می‌توان تعریف نمود.

$$RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{k}{\phi_e}} \quad (3-4)$$

$$\phi_z = \frac{\phi_e}{(1-\phi_e)} \quad (3-5)$$

$$FZI = \frac{1}{\sqrt{F_s \tau^2 S_{gv}^2}} \quad (3-6)$$

طبق روابط (۳-۴) تا (۳-۶)، رابطه (۳-۳) را می‌توان به صورت رابطه (۳-۷) بازنویسی کرد:

$$RQI = \phi_z \times FZI \quad (3-7)$$

سپس با لگاریتم‌گیری از طرفین رابطه (۸-۳) می‌توان نوشت؛

$$\text{Log}(RQI) = \text{Log}(\varphi_z) + \text{Log}(FZI) \quad (8-3)$$

RQI که به عنوان شاخص کیفیت مخزنی شناخته می‌شود، تقریبی از میانگین شعاع هیدرولیکی در سنگ مخزن است و به عنوان کلیدی برای واحدهای جریان هیدرولیکی بوده که تخلخل، تراوایی و فشار مؤئینگی را به هم مرتبط می‌سازد [۴۵].

در این مطالعه، به منظور تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی با استفاده از داده‌های نگار تخلخل مؤثر^۱ و نگار تراوایی^۲ در محدوده مخزن مورد مطالعه در هر یک از چاه‌های W-1، W-2 و W-3 و به کمک روابط (۴-۳) تا (۶-۳)، شاخص زون جریان (FZI) در هر یک از چاه‌های مورد استفاده در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار MATLAB محاسبه گردید. سپس نگار FZI تخمین زده شده در مرحله قبل، برای هر یک از سه چاه در نرم‌افزار HRS فراخوانی گردید.

۳-۶-۲- تخمین مدل سه‌بعدی شاخص زون جریان

به منظور تخمین مدل سه‌بعدی شاخص زون جریان (FZI)، نگار شاخص زون جریان تخمین زده شده در سه چاه W-1، W-2 و W-3 به همراه داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی و مقاومت ظاهری صوتی در پنجره EMERGE فراخوانی و سپس مراحل فوق تکرار گردید. همچنین به منظور بهبود نتایج مدل‌سازی شاخص زون جریان، از مدل سه‌بعدی تخلخل مؤثر تخمین زده شده در مرحله قبل (مدل مربوط به Multi Attribute) به عنوان یک نشانگر خارجی در این مرحله استفاده گردید.

شکل (۳-۳۹) نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیرخطی تک‌نشانگری به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف قبل از اعمال شیفت، شکل (۳-۴۰) میزان شیفت یا جابجایی برای هر یک از

^۱ PHIE

^۲ PERM

چاه‌های مورد استفاده در این مرحله، شکل (۳-۴۱) نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیر خطی تک‌نشانگری به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف پیش از اعمال شیفت و شکل (۳-۴۲) نشانگرهای انتخاب شده برای تخمین شاخص زون جریان برای مخزن مورد مطالعه را نمایش می‌دهند.

Single Attribute Correlation Results

Target	Attribute	Error	Correlation
FZI	X-Coordinate	0.646556	-0.332038
Sqrt(FZI)	X-Coordinate	0.654034	-0.383458
FZI	Second Derivative Instantaneous Amplitude	0.659897	-0.270469
Sqrt(FZI)	Second Derivative Instantaneous Amplitude	0.667264	-0.299839
FZI	Cosine Instantaneous Phase	0.667883	0.224906
FZI	Filter 55/60-65/70	0.669143	0.216787
(FZI)**2	X-Coordinate	0.670010	-0.220690
FZI	Amplitude Weighted Cosine Phase	0.671037	0.203947
FZI	Dominant Frequency	0.671555	-0.200287
FZI	Second Derivative	0.673183	-0.188295
FZI	Raw Seismic	0.673606	0.185046
Sqrt(FZI)	Cosine Instantaneous Phase	0.674508	0.239539
Sqrt(FZI)	Filter 55/60-65/70	0.674622	0.204748

There are 160 samples.

شکل ۳-۳۹- نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیر خطی تک‌نشانگری به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف قبل از اعمال شیفت

Target Log Shift Times

Well Name	Log Shift (ms)
W-1	2
W-2	6
W-3	10

Ok Reset Optimize Cancel

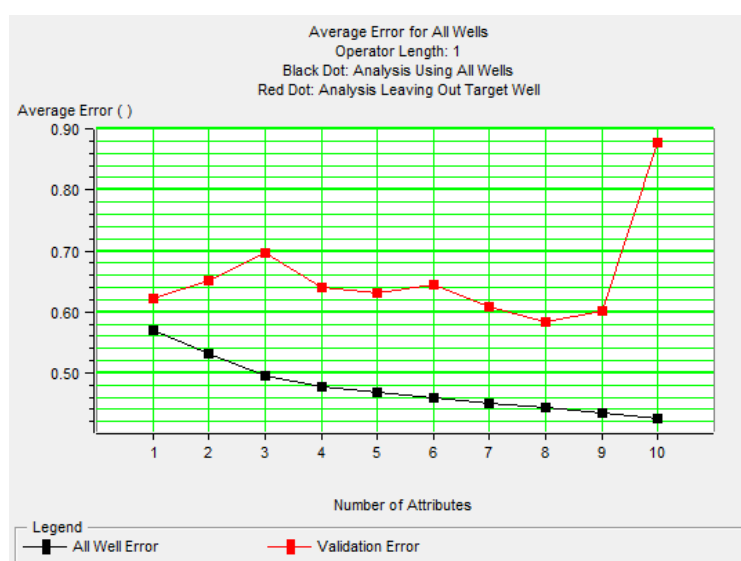
شکل ۳-۴۰- میزان شیفت برای هر چاه به منظور افزایش همبستگی

Single Attribute Correlation Results

Target	Attribute	Error	Correlation
FZI	Derivative	0.552598	-0.398354
Sqrt(FZI)	Derivative	0.557761	-0.403398
FZI	1 / (Inversion Result)	0.558704	-0.374152
FZI	Instantaneous Phase	0.562111	0.359819
FZI	Log(Inversion Result)	0.563653	0.353112
FZI	X-Coordinate	0.565518	-0.344799
FZI	Sqrt(Inversion Result)	0.566077	0.342260
Sqrt(FZI)	Instantaneous Phase	0.566274	0.332346
(FZI)**2	1 / (Inversion Result)	0.566669	-0.313174
FZI	Inversion Result	0.568444	0.331274
FZI	Raw Seismic	0.570711	-0.320358
FZI	Amplitude Weighted Cosine Phase	0.572285	-0.312524
(FZI)**2	Log(Inversion Result)	0.572594	0.302237

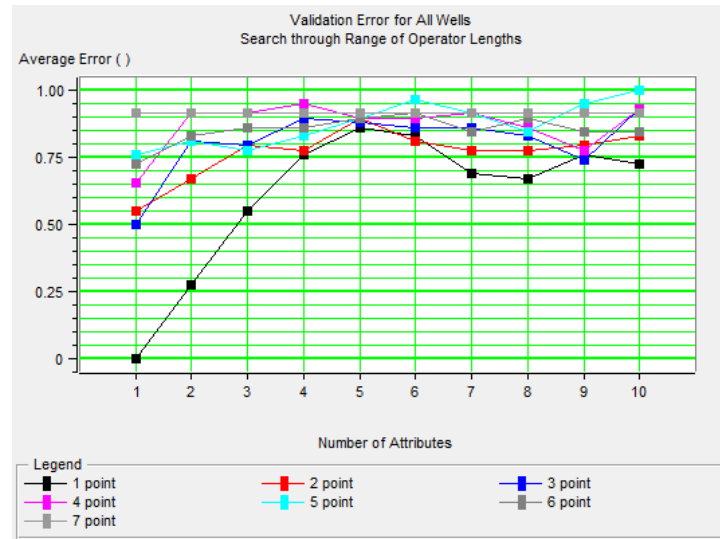
There are 185 samples.

شکل ۳-۴۱- نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیر خطی تک نشانگری به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف پس از اعمال شیفت



شکل ۳-۴۲- نمودار میزان خطا براساس تعداد نشانگرها برای تخمین نشانگر زون جریان

بر اساس شکل (۳-۴۲) و توجه به نمودار قرمز رنگ تعداد مناسب نشانگرها برای تخمین شاخص زون جریان، ۸ عدد می‌باشد. سپس به منظور انتخاب طول عملگر بهینه، نتایج حاصل از انتخاب طول عملگرهای متفاوت از ۱ تا ۱۰ برای شاخص زون جریان در شکل (۳-۴۳) آمده است.



شکل ۳-۴۳- نتایج حاصل از طول عملگرهای متفاوت در میزان خطای تخمین شاخص زون جریان با استفاده از روش تحلیل چندنشاندگی

با بررسی شکل (۳-۴۳) و با توجه به تعداد نشانگرهای به دست آمده در مرحله قبل، طول عملگر مناسب برای تخمین شاخص زون جریان، ۱ می باشد.

در نهایت فهرستی از نشانگرها با طول عملگر ۱، تهیه و نشانگری که دارای کمترین خطای آموزش و اعتبارسنجی است، مشخص گردید که پنجره مربوط به آن در شکل (۳-۴۴) آمده است.

Multi-Attribute List				
Multi Attribute List 9				
	Target	Final Attribute	Training Error	Validation Error
1	FZI	Raw Seismic	0.570711	0.622195
2	FZI	X-Coordinate	0.532497	0.651665
3	FZI	Instantaneous Phase	0.494639	0.696747
4	FZI	Derivative Instantaneous Amplitude	0.477745	0.639938
5	FZI	Derivative	0.468935	0.631897
6	FZI	1 / (Multi Attribute_Result)	0.458845	0.645383
7	FZI	Filter 55/60-65/70	0.449371	0.608358
8	FZI	Second Derivative	0.443469	0.583715
9	FZI	Filter 25/30-35/40	0.435218	0.601908
10	FZI	Amplitude Weighted Frequency	0.425146	0.877607

There are 10 transforms.

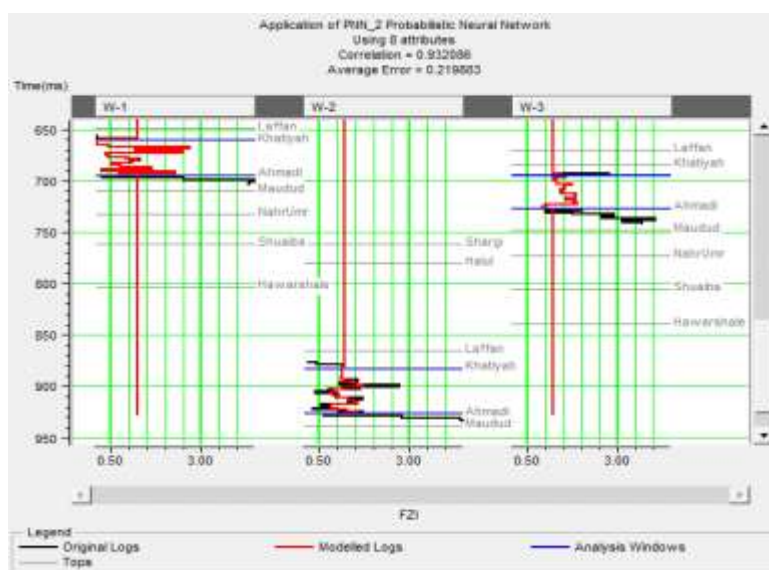
شکل ۳-۴۴- نشانگرهای انتخاب شده برای تخمین شاخص زون جریان برای مخزن مورد مطالعه

پس از انتخاب نشانگرهای مناسب با استفاده از روش تحلیل چند نشانگری و روش‌های شبکه عصبی MLFN (۳ لایه)، RBF و PNN، مدل سه‌بعدی شاخص زون جریان در مخزن مورد مطالعه تخمین زده شد که نتایج آن در جدول (۳-۳) آمده است.

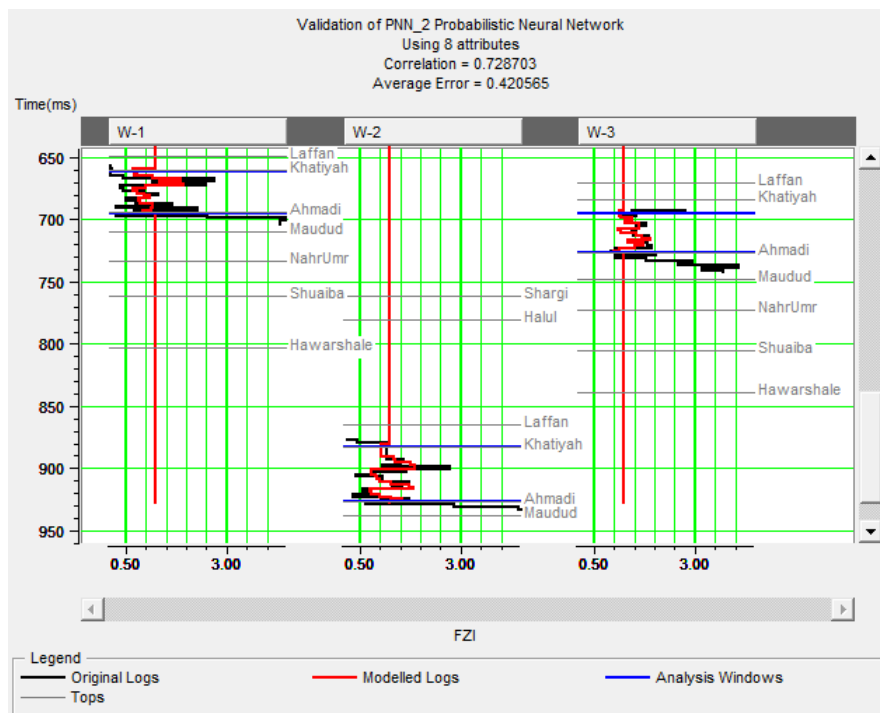
جدول ۳-۳- نتایج به‌دست آمده از انواع شبکه‌های عصبی برای مدل سه‌بعدی شاخص زون جریان

مدل سه بعدی FZI	آموزش (Training)		اعتبارسنجی (Validation)	
	همبستگی	خطا	همبستگی	خطا
Multi Attribute	۰/۶۸	۰/۴۴	۰/۵۱	۰/۵۸
MLFN	۰/۸۵	۰/۳۱	۰/۵۳	۰/۷۵
RBF	۰/۸۲	۰/۳۵	-۰/۳۱	۰/۶۲
PNN	۰/۹۳	۰/۲۲	۰/۷۳	۰/۴۲

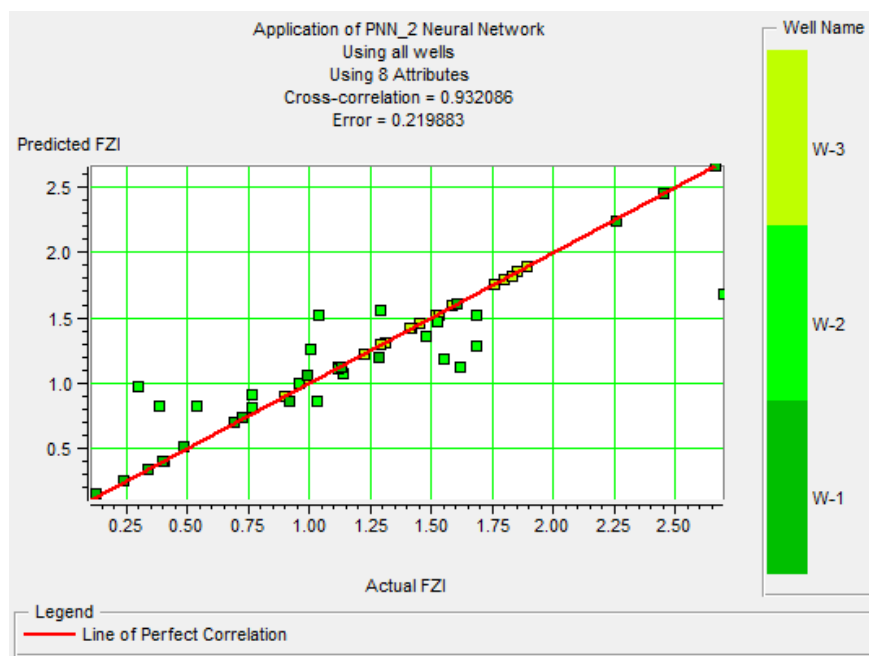
نتایج به‌دست آمده از جدول (۳-۳) نشان می‌دهد که روش PNN، دارای کمترین خطا و بیشترین همبستگی با نگار شاخص زون جریان است. میزان همبستگی نگار شاخص زون جریان واقعی و محاسبه شده در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی در شکل‌های (۳-۴۵) و (۳-۴۶) و میزان همبستگی نهایی برای تخمین شاخص زون جریان در شکل (۳-۴۷) نمایش داده شده است.



شکل ۳-۴۵- نمایش میزان همبستگی نگار شاخص زون جریان واقعی و محاسبه شده در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های آموزشی

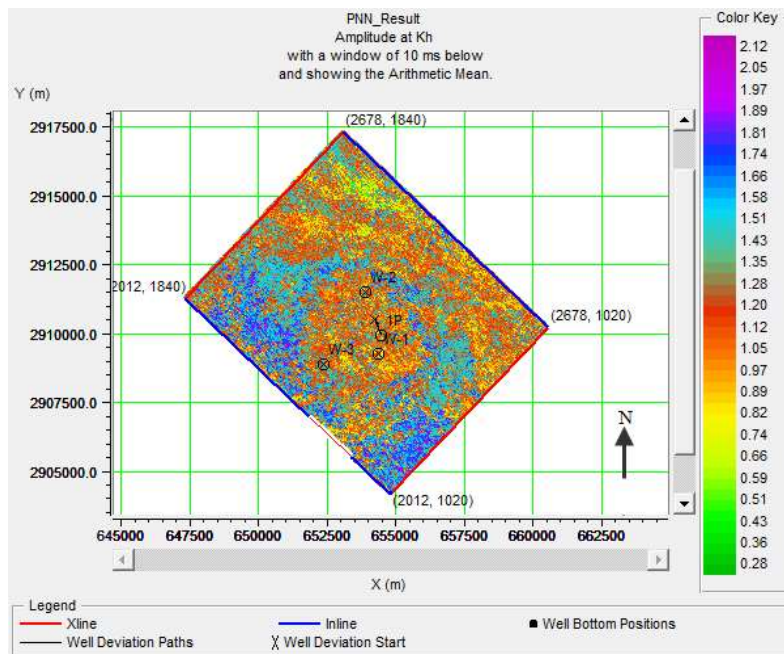


شکل ۳-۴۶- نمایش میزان همبستگی نگار شاخص زون جریان واقعی و محاسبه شده در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های اعتبارسنجی

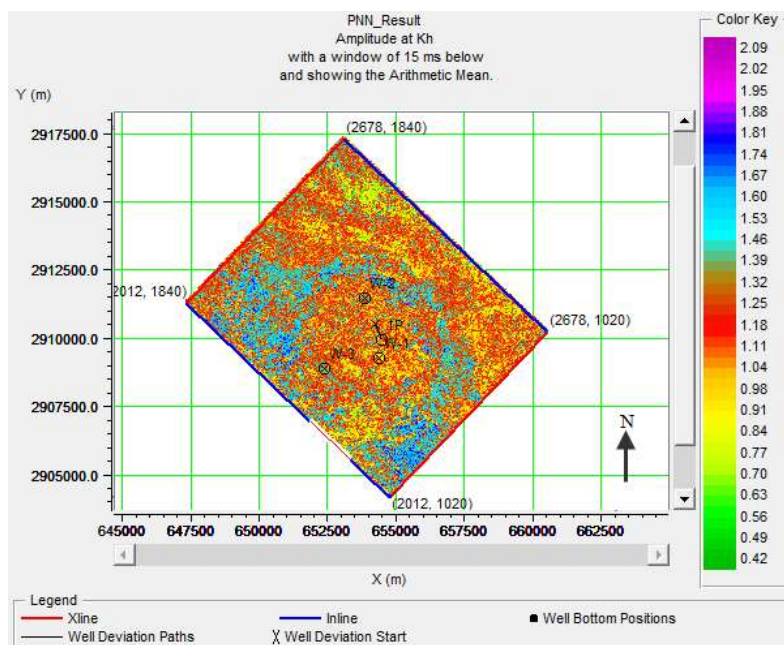


شکل ۳-۴۷- نمودار میزان همبستگی داده‌های شاخص زون جریان واقعی و محاسبه شده

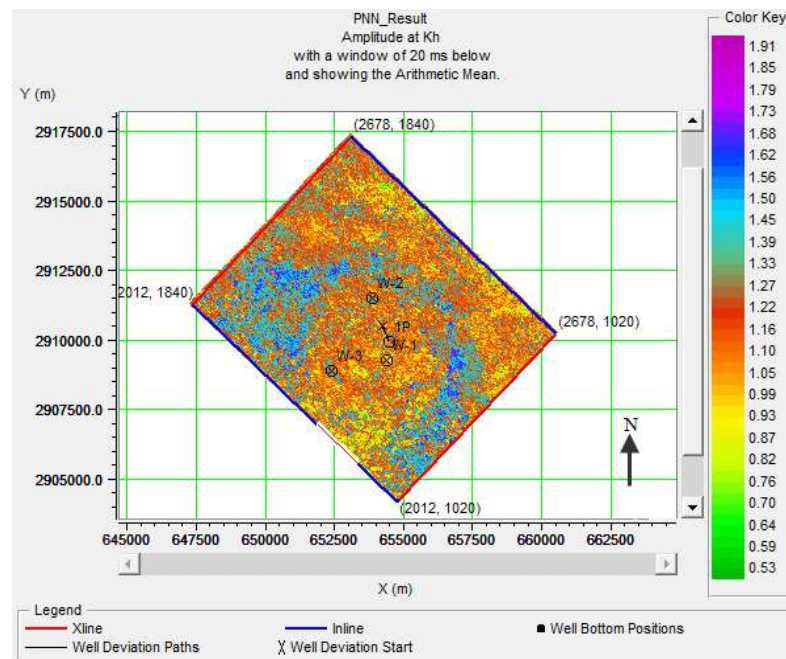
نقشه حاصل از توزیع شاخص زون جریان در افق‌های زمانی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌ثانیه زیر سازند مورد مطالعه به ترتیب در شکل‌های (۳-۴۸) تا (۳-۵۰) آمده است.



شکل ۳-۴۸- نقشه توزیع شاخص زون جریان در افق‌های ۱۰ میلی‌ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی



شکل ۳-۴۹- نقشه توزیع شاخص زون جریان در افق‌های ۱۵ میلی‌ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی



شکل ۳-۵۰- نقشه توزیع شاخص زون جریان در افق‌های ۲۰ میلی ثانیه پایین‌تر از سازند مورد بررسی

۳-۷- تعیین واحدهای جریان با استفاده از رخساره‌های الکتریکی در

محدوده مخزن مورد مطالعه

با توجه به ناهمگنی بالای مخزن در ابعاد ماکروسکوپی و میکروسکوپی، ارائه توصیفی دقیق از ویژگی‌های پتروفیزیکی مخزن که از مهم‌ترین پارامترها در اکتشاف، تولید و مدیریت مخازن هیدروکربنی است، نیازمند اطلاعات کافی در مورد میزان غیریکنواختی مخزن است. جهت از بین بردن خطاها و کاستی‌ها، به مطالعات دقیق زمین‌شناسی مخزن و تعیین ویژگی‌های آن با روش‌های نوین و کم هزینه با دقت بالا مانند تعیین رخساره‌های الکتریکی با روش خوشه‌بندی نیاز است. روش‌های دسته‌بندی به‌طور گسترده-ای برای تجزیه و تحلیل رخساره‌های الکتریکی و پیش‌بینی خواص پتروفیزیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای تعیین رخساره‌های الکتریکی یک سازند روش‌های مختلفی از جمله روش‌های خوشه-بندی چند تفکیکی بر پایه گراف^۱، خوشه‌بندی سلسه مراتبی^۲، خوشه‌بندی دینامیک^۳ و خوشه بندی

^۱ Multi resolution graph- based clustering (MRGC)

^۲ Ascendant hierarchical clustering (AHC)

^۳ Dynamic clustering (DC)

پویا^۱ وجود دارد، که در این میان روش MRGC به دلیل نحوه عملکرد آن یکی از مفیدترین روش‌ها می‌باشد. این الگوریتم براساس روش‌های هوشمند، تعداد رخساره‌های الکتریکی را با توجه به داده‌های محدود اولیه در هر چاه، بدون دخالت ناظر ارائه می‌دهد. در صورتی که در سایر الگوریتم‌ها ناظر با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند مطالعات پتروفیزیکی و رخساره‌های رسوبی تعداد رخساره‌های الکتریکی که حدس می‌زند به تعداد واقعی نزدیک باشد را به نرم‌افزار ارائه داده و نرم‌افزار با اطلاعات وارد شده توسط ناظر، الگوی پیشنهادی خود را معرفی می‌نماید.

تعیین رخساره‌های الکتریکی بر مبنای شناسایی گروه داده‌هایی با خصوصیات یکسان در داده‌های حاصل از نگارهای پتروفیزیکی انجام می‌گیرد. هدف از آنالیز خوشه‌ای، تقسیم‌بندی مجموعه داده‌ها به گروه‌هایی مشخص بر اساس شباهت یا تفاوت بین گروه‌ها می‌باشد بدین صورت که داده‌های موجود در هر گروه دارای بیش‌ترین شباهت با یکدیگر و بیش‌ترین تفاوت با داده‌های موجود در گروه‌های دیگر هستند.

روش خوشه‌بندی MRGC الگوهای نقطه‌ای را به دلیل تغییرات در پاسخ رفتاری نگارهای پتروفیزیکی با استفاده از روش‌های زمین‌آماري و شبکه عصبی، خوشه‌بندی می‌کند. این خوشه‌های نقطه‌ای تحت عنوان رخساره‌های الکتریکی نیز نامگذاری می‌شوند و به تغییرات کیفیت سنگ مرتبط هستند و با رخساره‌های رسوبی کالیبره می‌شوند. مدل‌های رخساره‌های الکتریکی متعددی وجود دارد که از جمله مهم‌ترین آنها، می‌توان به سه مورد زیر اشاره کرد [۴۶]؛

۱- مدل‌های رخساره‌های الکتریکی ساخته شده با نگارهای چاه‌پیمایی متداول و کالیبره شده با رخساره‌های رسوبی.

۲- مدل‌های رخساره‌های الکتریکی بافتی ساخته شده با نگارهای تصویری FMI و کالیبره شده با رخساره‌های رسوبی، رخساره‌های سنگی یا پتروفاسیس‌ها و داده‌های تداخل مغزه.

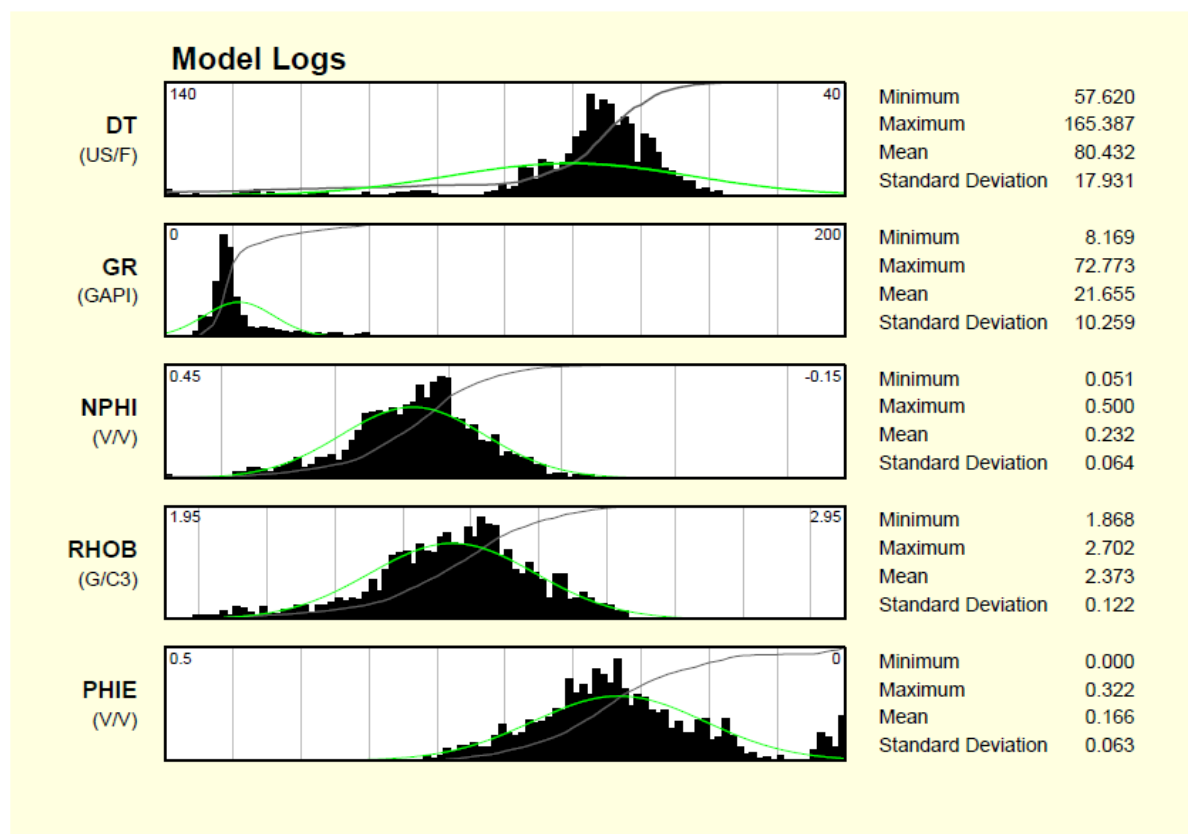
^۱ Self organizing map (SOM)

۳- پیش‌بینی تراوایی در چاه‌های فاقد مغزه، بر اساس مدل رخساره‌های رسوبی در چاه‌های دارای مغزه.

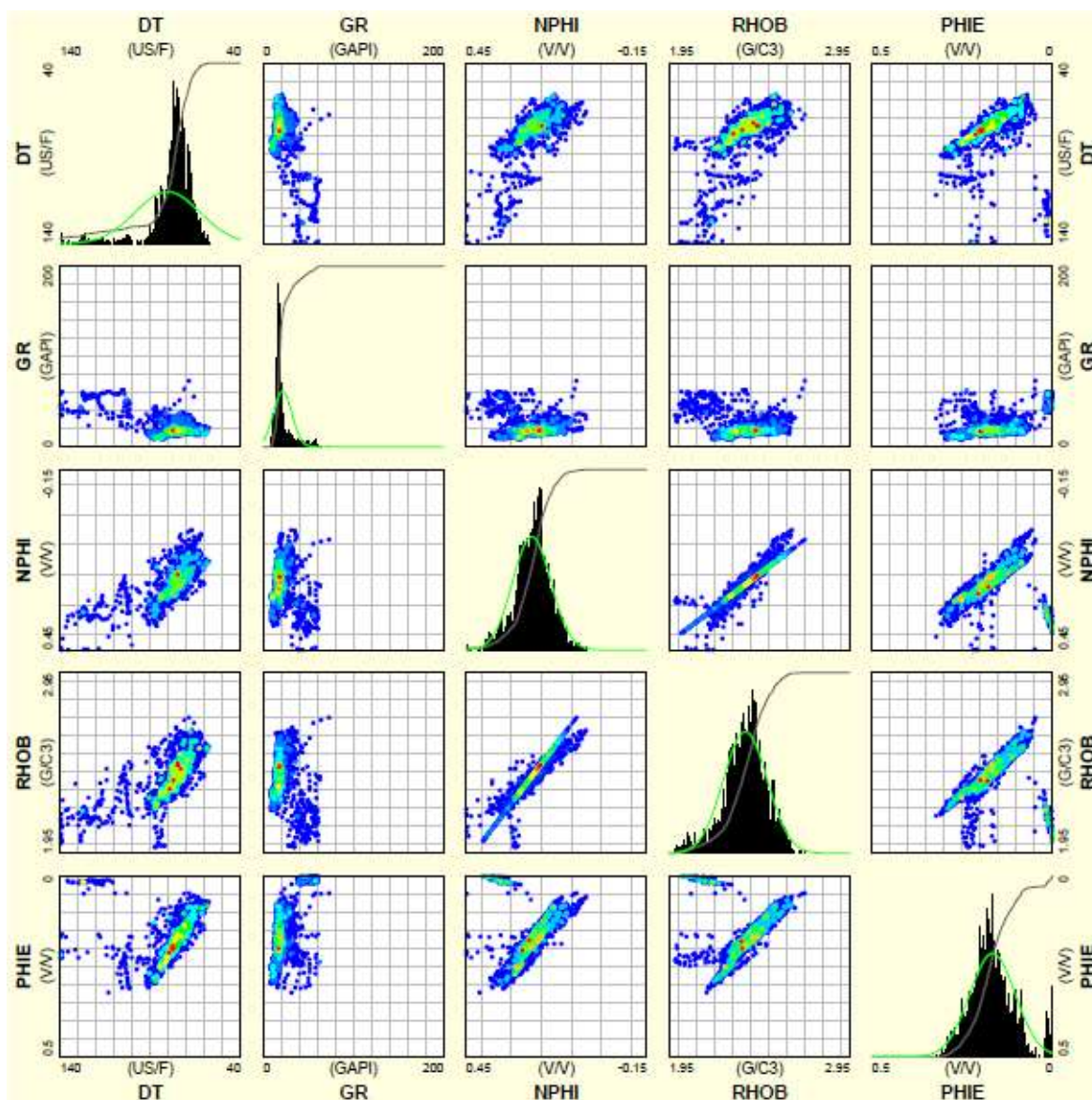
۳-۷-۱- تعیین رخساره‌های الکتریکی با استفاده از نرم‌افزار Geolog

به منظور تعیین رخساره‌های سازند مورد بررسی در این مطالعه، از روش خوشه‌بندی چند تفکیکی بر پایه گراف (MRGC)، استفاده شده است.

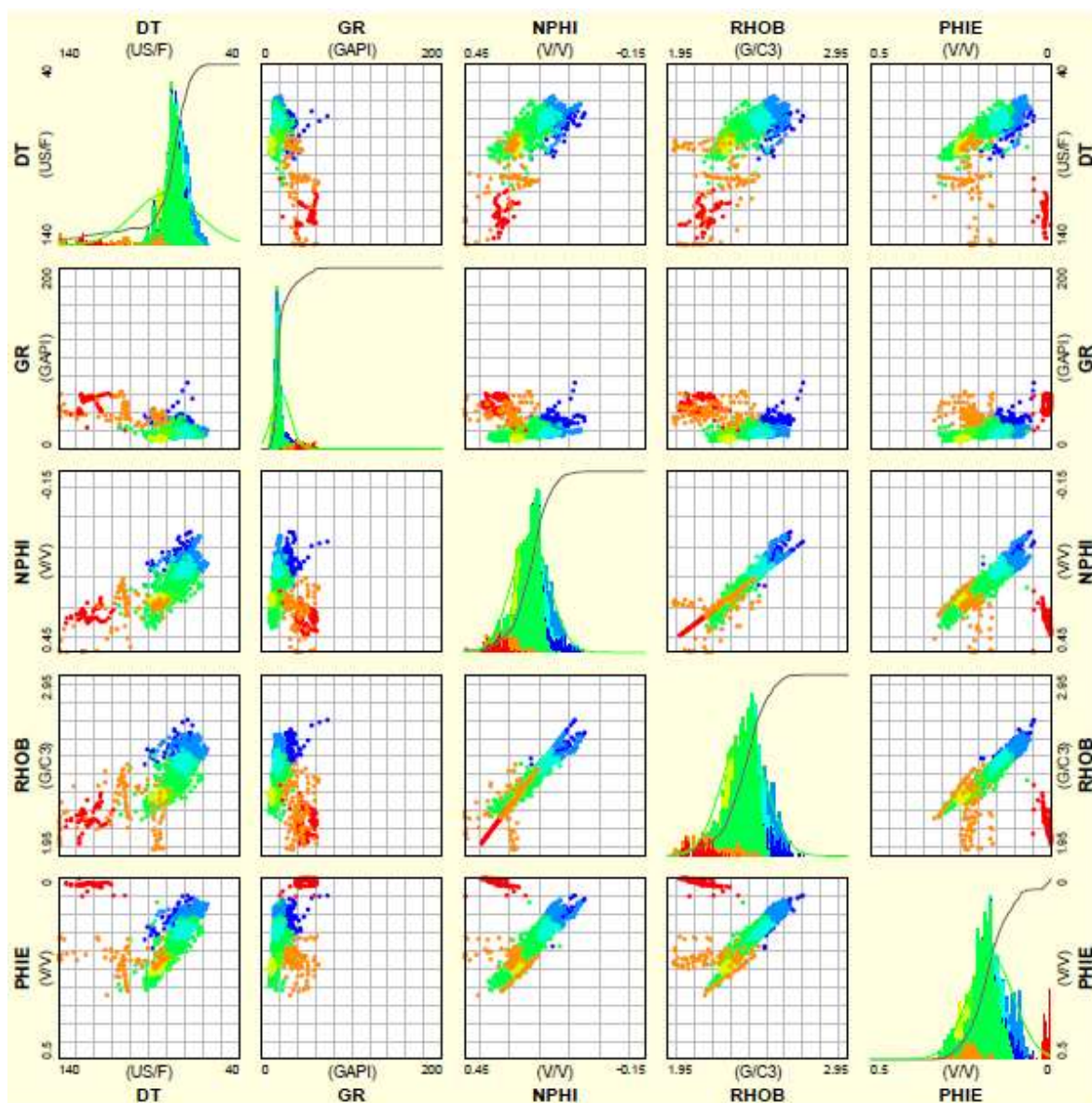
در این مرحله از پروژه تعداد بهینه رخساره‌های الکتریکی با استفاده از روش MRGC در نرم‌افزار Geolog برای چاه‌های W-1، W-2 و W-3 و با استفاده از نگارهای صوتی، پرتوی گاما، نوترون، چگالی و تخلخل مؤثر به دست آمد. شکل‌های (۳-۵۱) و (۳-۵۲) به ترتیب هیستوگرام و نمودار همبستگی نگارهای انتخابی به منظور آنالیز خوشه‌ای در مرحله آموزش و شکل (۳-۵۳) و نمودار همبستگی نگارهای انتخابی به منظور آنالیز خوشه‌ای در مرحله مدل‌سازی را نمایش می‌دهند.



شکل ۳-۵۱- هیستوگرام نگارهای مورد استفاده در آنالیز خوشه‌ای در مرحله آموزش

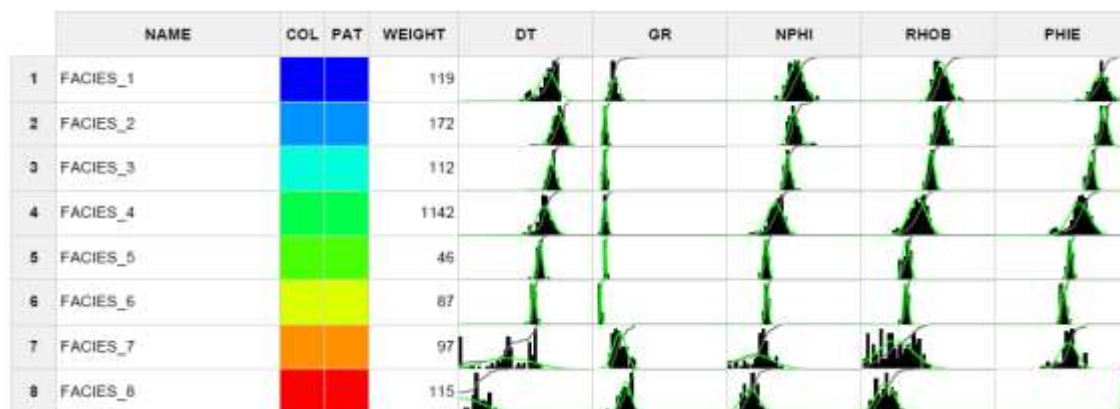


شکل ۳-۵۲- نمودار همبستگی نگارهای مورد استفاده در آنالیز خوشه‌ای در مرحله آموزش



شکل ۳-۵۳- نمودار همبستگی نگارهای مورد استفاده در آنالیز خوشه‌ای در مرحله مدل‌سازی

سپس، تعداد بهینه رخساره‌های الکتریکی با استفاده از روش خوشه‌بندی MRGC در نرم‌افزار Geolog برای سه حلقه چاه میدان مورد مطالعه و با استفاده از نگارهای صوتی، پرتوی گاما، نوترون، چگالی و تخلخل مؤثر به دست آمد. در نتیجه این خوشه‌بندی تعداد ۸ رخساره الکتریکی مشخص گردید. در شکل (۳-۵۴) ویژگی‌هایی از جمله اسم و رنگ هر یک از این رخساره‌ها، وزن عددی داده‌های ورودی برای هر رخساره و نمودار فراوانی داده‌های نگارهای پتروفیزیکی ورودی نشان داده شده است.



شکل ۳-۵۴- نتایج حاصل از خوشه‌بندی MRGC

در نهایت با استفاده از روش گسترش رخساره‌های نزدیک‌ترین همسایه^۱، زون‌های مختلف چاه‌های مورد مطالعه به صورت شکل (۳-۵۵) تعیین گردید. طبقه‌بندی K نزدیک‌ترین همسایه^۲ یکی از بهترین و شناخته شده‌ترین روش‌های طبقه‌بندی است. با توجه به تمایل یا بایاس کم^۳، قابل فهم بودن آن و این واقعیت که هیچ فرضی بر روی داده‌ها تحمیل نمی‌کند، روش KNN به طور گسترده‌ای در بسیاری از کاربردها استفاده می‌شود [۴۷]. روش K نزدیک‌ترین همسایه، نمونه تست را متعلق به کلاسی می‌داند که بیش‌ترین آرا را در بین K نزدیک‌ترین همسایگان آن داشته باشد. برای به‌دست آوردن نزدیک‌ترین همسایگی‌های یک نمونه، معمولاً از تابع فاصله‌سنجی اقلیدوسی استفاده می‌شود [۴۸]. تابع فاصله‌سنجی اقلیدوسی بر مبنای فاصله متریک دو نمونه در فضای اقلیدوسی تعریف می‌شود [۴۹].

	FACIES	WEIGHT	DT	GR	NPHI	RHOB	PHIE
1	1	119	73.65	32.19	0.14	2.55	0.11
2	2	172	66.04	18.29	0.15	2.54	0.10
3	3	112	70.71	17.53	0.18	2.47	0.14
4	4	1142	76.33	18.10	0.23	2.37	0.19
5	5	46	79.60	18.65	0.28	2.29	0.22
6	6	87	84.06	11.04	0.27	2.28	0.25
7	7	97	103.27	39.71	0.33	2.20	0.23
8	8	115	137.53	49.15	0.35	2.13	0.01

شکل ۳-۵۵- رخساره‌های الکتریکی تفکیک شده با روش MRGC

¹ KNN facies propagation

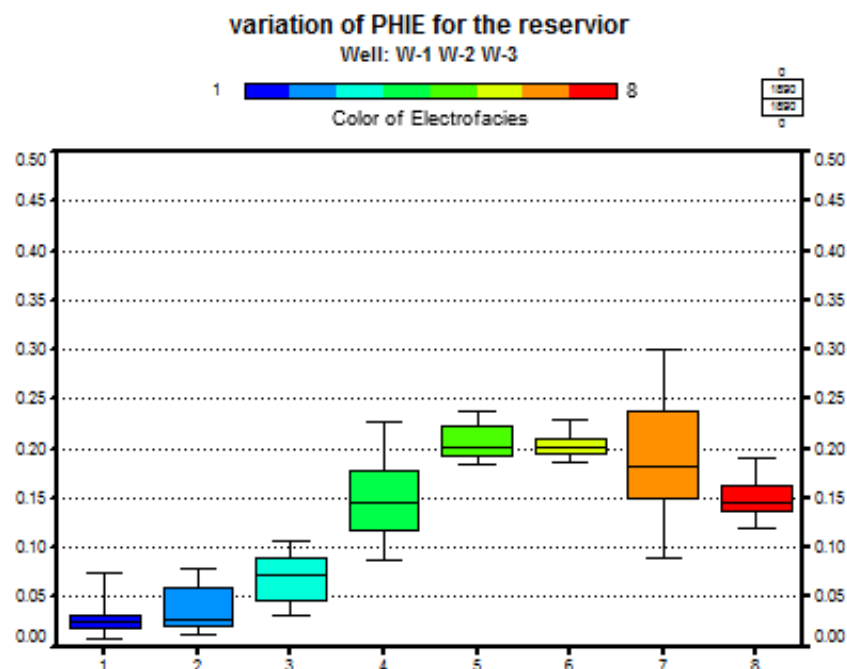
³ low bias

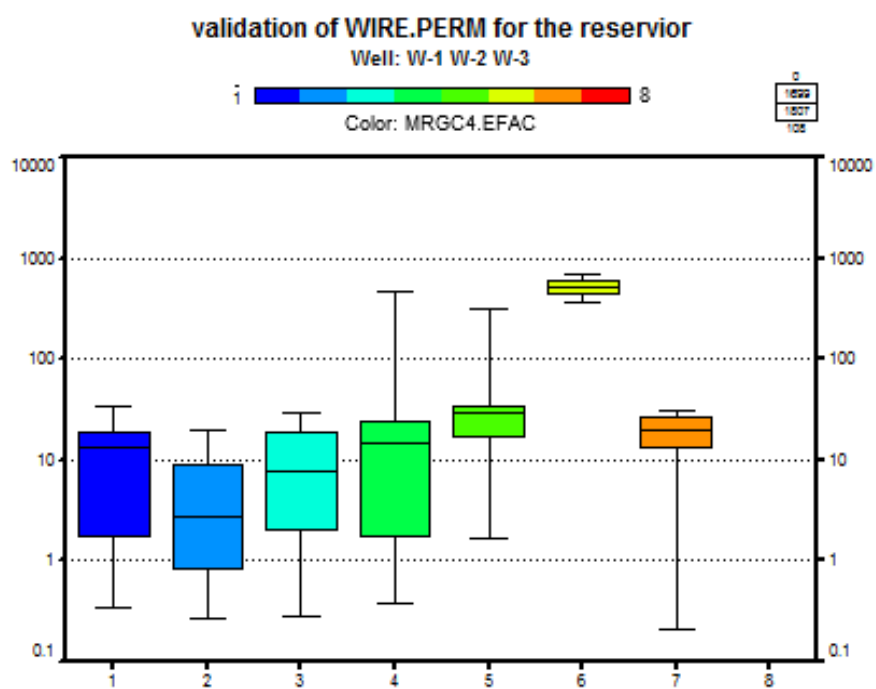
² K nearest neighbor (KNN)

رخساره‌های دارای بالاترین میزان DT، PHIE و NPHI و کم‌ترین میزان RHOB و GR دارای بهترین کیفیت مخزنی می‌باشند. بنابراین با توجه به شکل (۳-۵۵) رخساره‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ دارای کیفیت مخزنی بهتری نسبت به سایر رخساره‌ها می‌باشند.

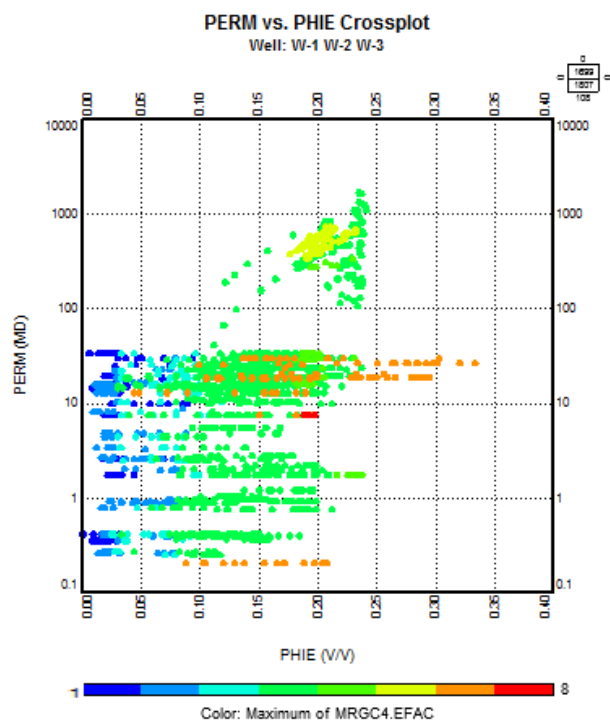
شکل (۳-۵۶) نمودارهای جعبه‌ای تغییرات تخلخل مؤثر و تراوایی در هر یک رخساره‌های الکتریکی به‌دست آمده از روش MRGC، در مخزن مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۳-۵۶) تغییرات تخلخل مؤثر در محدوده ۰/۰۱ تا ۲۴ درصد و تغییرات تراوایی حدود ۰/۷۸ تا حدود ۶۰۰ میلی داری است. نمودارهای شکل (۳-۵۶) نیز بالا بودن کیفیت مخزنی رخساره‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ را تأیید می‌کند.

شکل (۳-۵۷) نمودار تخلخل- تراوایی در سه چاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.





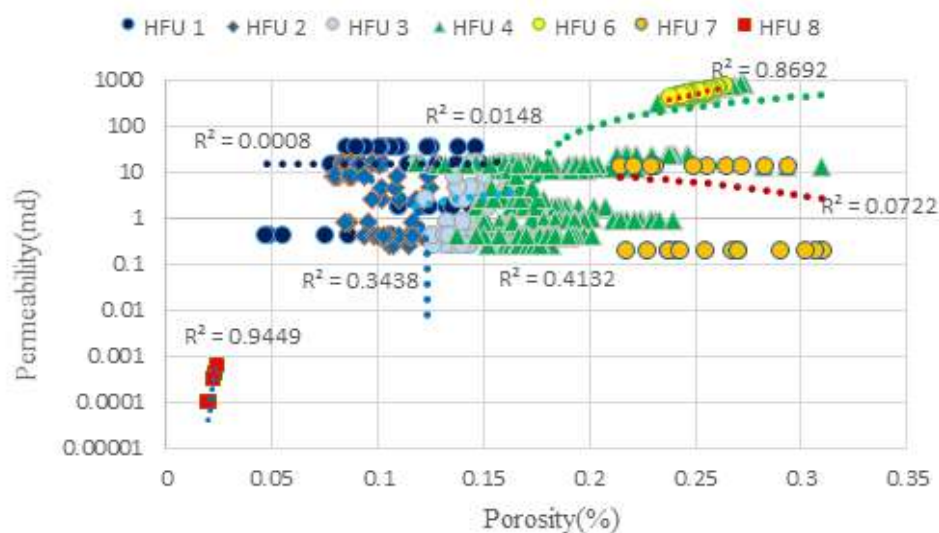
شکل ۳-۵۶- تغییرات تخلخل مؤثر و تراوایی در مخزن مورد مطالعه



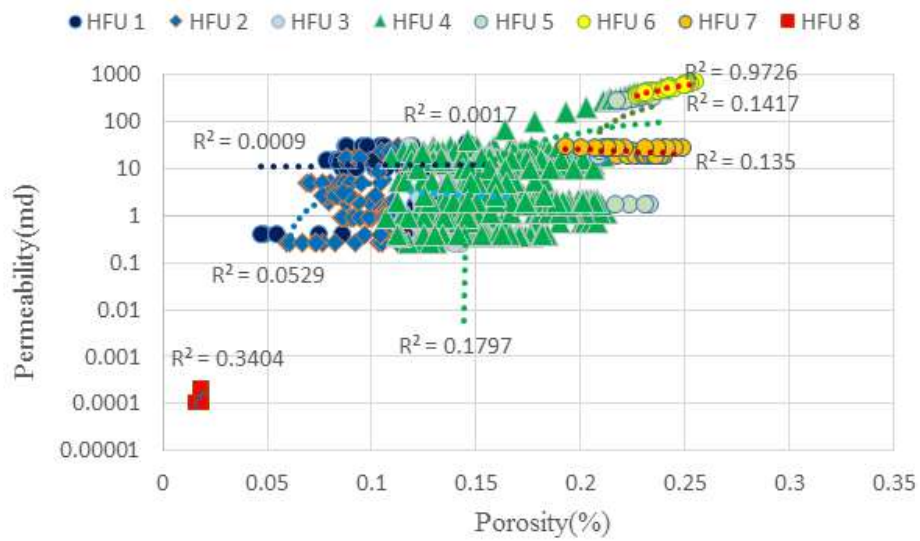
شکل ۳-۵۷- نمودار تخلخل مؤثر درمقابل تراوایی در مخزن مورد مطالعه

۳-۷-۱-۱- بررسی رابطه تخلخل - تراوایی با استفاده از رخساره‌های الکتریکی

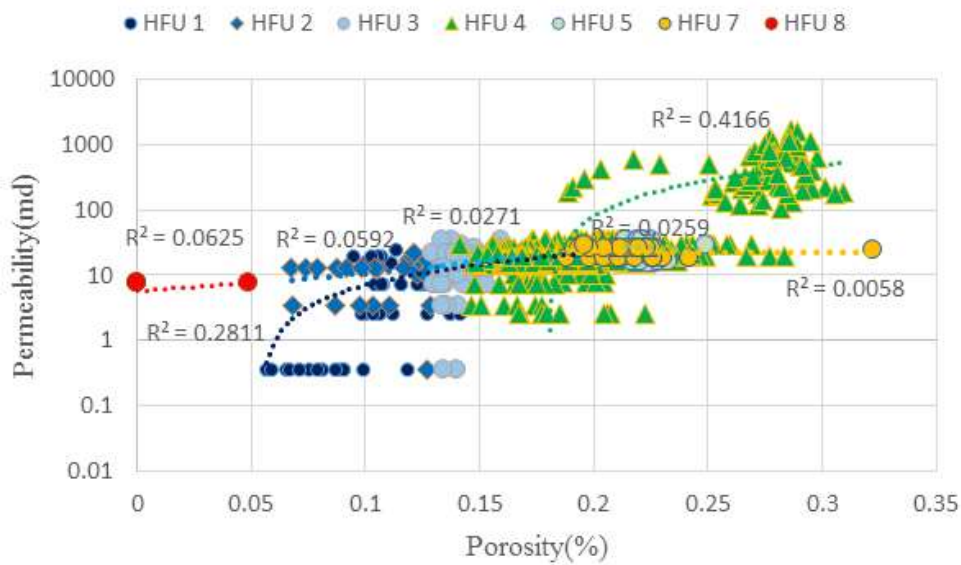
به منظور تعیین رابطه میان تخلخل و تراوایی در هریک از این واحدهای جریان، نمودار نیمه لگاریتمی تخلخل- تراوایی در هر یک از این واحدها برای هر یک از سه چاه مورد بررسی رسم گردید که نتایج آن در شکل‌های (۳-۵۸) تا (۳-۶۰) نشان داده شده است. میزان همبستگی بین تراوایی و تخلخل در اکثر واحدهای جریان چاه‌های مورد نظر به جز در موارد معدودی پایین می‌باشد.



شکل ۳-۵۸- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه W-1



شکل ۳-۵۹- نمودار توزیع تخلخل - تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه W-2



شکل ۳-۶۰- نمودار توزیع تخلخل - تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه W-3

۳-۷-۱-۲- مدل سازی رخساره های الکتریکی

در این مرحله، به منظور مدل سازی رخساره های الکتریکی با استفاده از نرم افزار HRS، از رخساره های الکتریکی تعیین شده در نرم افزار Geolog خروجی las تهیه و در نرم افزار HRS فراخوانی گردید. همچنین به منظور بهبود نتایج مدل سازی رخساره های الکتریکی، از مدل سه بعدی شاخص زون جریان تخمین زده شده در مرحله قبل (مدل PNN) به عنوان یک نشانگر خارجی در این مرحله استفاده گردید. سپس مراحل مدل سازی در نرم افزار HRS برای تخمین شاخص زون جریان به طور مشابه برای تخمین رخساره های الکتریکی انجام شد که نتایج آن در شکل های (۳-۶۱) تا (۳-۶۶) آمده است.

Single Attribute Correlation Results

Target	Attribute	Error	Correlation
EFAC	Quadrature Trace	1.096184	-0.386346
Sqrt(EFAC)	Quadrature Trace	1.096282	-0.392867
Log(EFAC)	Quadrature Trace	1.101827	-0.397133
Sqrt(EFAC)	1 / (Inversion Result)	1.105090	0.345876
EFAC	1 / (Inversion Result)	1.106559	0.364807
Log(EFAC)	1 / (Inversion Result)	1.110892	0.321894
EFAC	Second Derivative	1.113631	0.349239
Sqrt(EFAC)	Log(Inversion Result)	1.115769	-0.326837
Sqrt(EFAC)	Second Derivative	1.115808	0.358134
EFAC	Log(Inversion Result)	1.116266	-0.343232
Sqrt(EFAC)	Sqrt(Inversion Result)	1.120564	-0.317784
EFAC	Sqrt(Inversion Result)	1.120649	-0.332965
EFAC	Derivative Instantaneous Amplitude	1.121916	0.329930

There are 185 samples.

شکل ۳-۶۱- نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیر خطی تک نشانگری برای تخمین رخساره های الکتریکی به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف، قبل از اعمال شیفت

Target Log Shift Times

Well Name	Log Shift (ms)
W-1	-10
W-2	-2
W-3	-10

Ok Reset Optimize Cancel

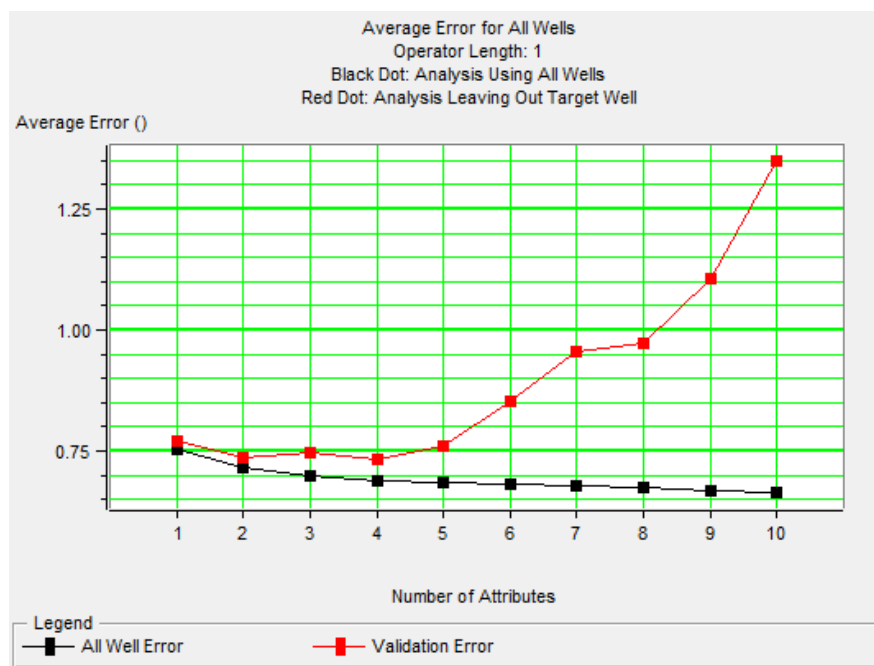
شکل ۳-۶۲- میزان شیفت برای هر چاه به منظور افزایش همبستگی

Single Attribute Correlation Results

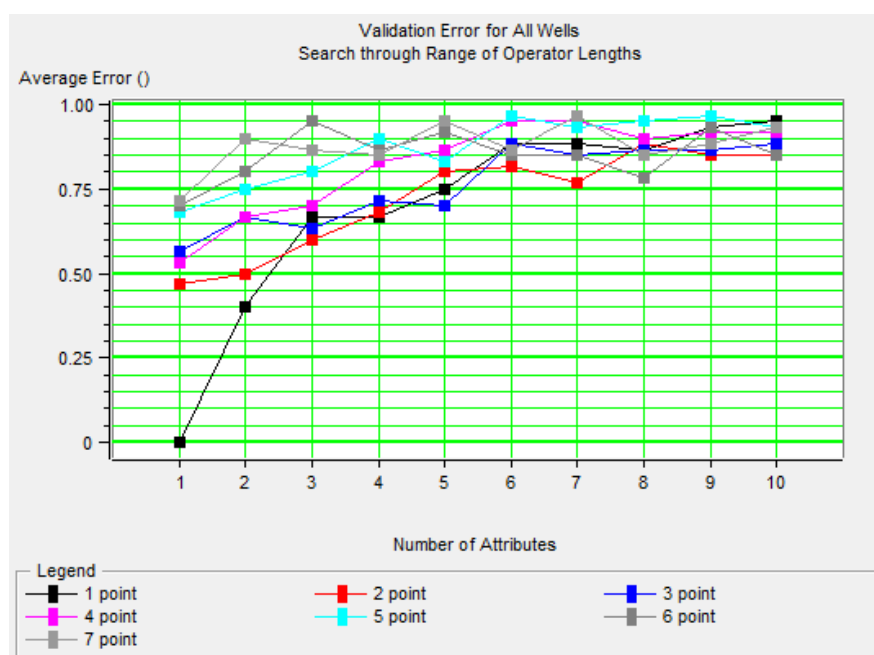
Target	Attribute	Error	Correlation
Sqrt(EFAC)	Filter 25/30-35/40	0.752961	0.429031
EFAC	Filter 25/30-35/40	0.753558	0.428489
Log(EFAC)	Filter 25/30-35/40	0.754341	0.423870
(EFAC)**2	Filter 25/30-35/40	0.761607	0.413145
1 / (EFAC)	Filter 25/30-35/40	0.762579	-0.396003
EFAC	Filter 15/20-25/30	0.778968	-0.357235
Sqrt(EFAC)	Filter 15/20-25/30	0.779205	-0.349150
Log(EFAC)	Filter 15/20-25/30	0.781703	-0.335642
(EFAC)**2	Filter 15/20-25/30	0.785915	-0.358218
Sqrt(EFAC)	(Inversion Result)**2	0.793088	0.285447
EFAC	(Inversion Result)**2	0.793138	0.309175
1 / (EFAC)	Filter 15/20-25/30	0.793277	0.293720
Log(EFAC)	(Inversion Result)**2	0.796270	0.257884

There are 185 samples.

شکل ۳-۶۳- نشانگرهای حاصل از روش تبدیلات غیر خطی تک نشانگری برای تخمین رخساره‌های الکتریکی به همراه میزان خطا و همبستگی با نگار هدف، پس از اعمال شیفت



شکل ۳-۶۴- نمودار میزان خطا براساس تعداد نشانگرها برای تخمین رخساره‌های الکتریکی



شکل ۳-۶۵- نتایج حاصل از طول عملگرهای متفاوت در میزان خطای تخمین رخساره‌های الکتریکی با استفاده از روش تحلیل چند نشانگری

Multi-Attribute List Multi Attribute List 9

	Target	Final Attribute	Training Error	Validation Error
1	Sqrt(EFAC)	Filter 25/30-35/40	0.752972	0.772142
2	Sqrt(EFAC)	(Inversion Result)**2	0.715577	0.735346
3	Sqrt(EFAC)	Derivative	0.697752	0.745575
4	Sqrt(EFAC)	Integrated Absolute Amplitude	0.688698	0.734854
5	Sqrt(EFAC)	Filter 35/40-45/50	0.685497	0.759034
6	Sqrt(EFAC)	Dominant Frequency	0.682271	0.851386
7	Sqrt(EFAC)	Integrate	0.678806	0.955471
8	Sqrt(EFAC)	Amplitude Weighted Frequency	0.674563	0.973064
9	Sqrt(EFAC)	Filter 45/50-55/60	0.668560	1.105349
10	Sqrt(EFAC)	Filter 55/60-65/70	0.664753	1.349183

There are 10 transforms.

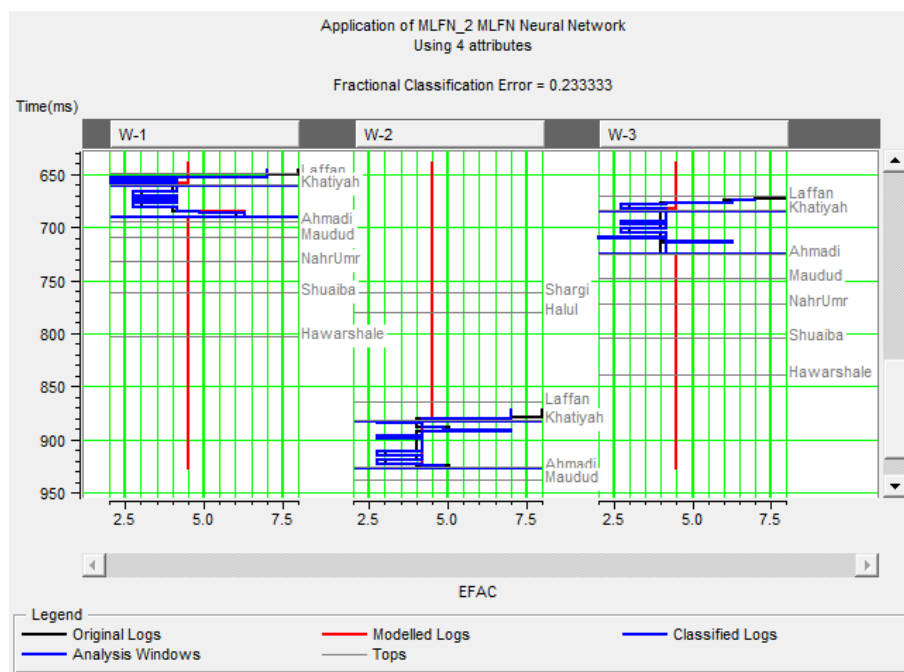
شکل ۳-۶۶- نشانگرهای انتخاب شده برای تخمین رخساره‌های الکتریکی برای مخزن مورد مطالعه

پس از انتخاب نشانگرهای مناسب با استفاده از روش‌های شبکه عصبی MLFN (۳ لایه) و PNN، مدل سه‌بعدی رخساره‌های الکتریکی با استفاده از روش کلاس‌بندی در مخزن مورد مطالعه تخمین زده شد که نتایج آن در جدول (۳-۴) آمده است.

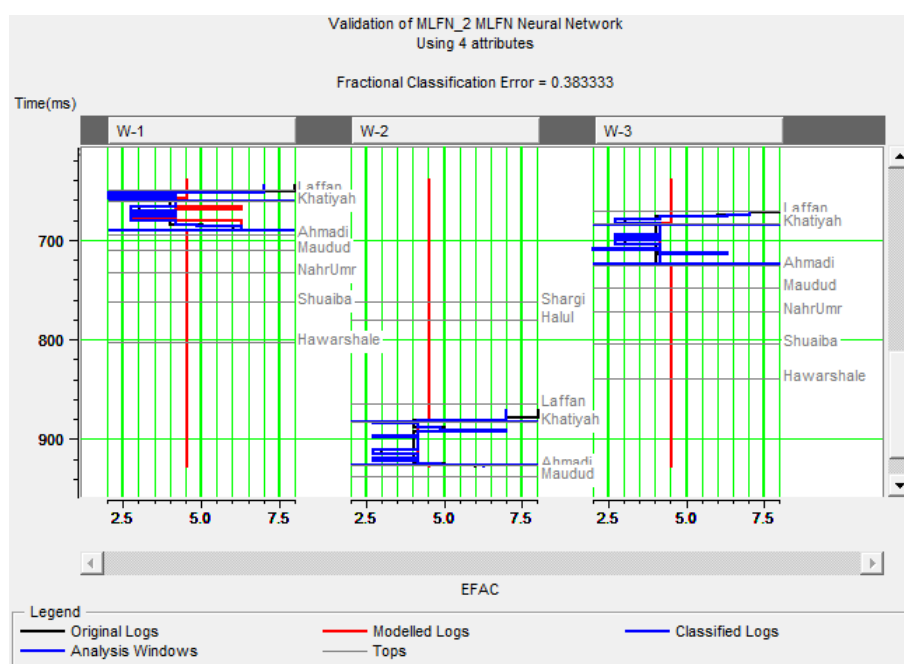
جدول ۳-۴- نتایج به‌دست آمده از انواع شبکه‌های عصبی برای مدل سه بعدی رخساره‌های الکتریکی

	آموزش (Training)	اعتبارسنجی (Validation)
مدل سه بعدی EFAC	خطای طبقه بندی	خطای طبقه بندی
MLFN	۰/۲۳	۰/۳۸
PNN	۰/۸۵	۰/۸

با توجه به نتایج حاصل از جدول (۳-۴)، مدل ساخته شده به روش MLFN، با داشتن خطای طبقه‌بندی ۰/۲۳ در مرحله آموزش و ۰/۳۸ در مرحله اعتبارسنجی به عنوان بهترین مدل در نظر گرفته شده است. میزان همبستگی نگار رخساره‌های الکتریکی واقعی و محاسبه شده با روش MLFN، در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های آموزش و اعتبارسنجی به ترتیب در شکل‌های (۳-۶۷) و (۳-۶۸) نمایش داده شده است.

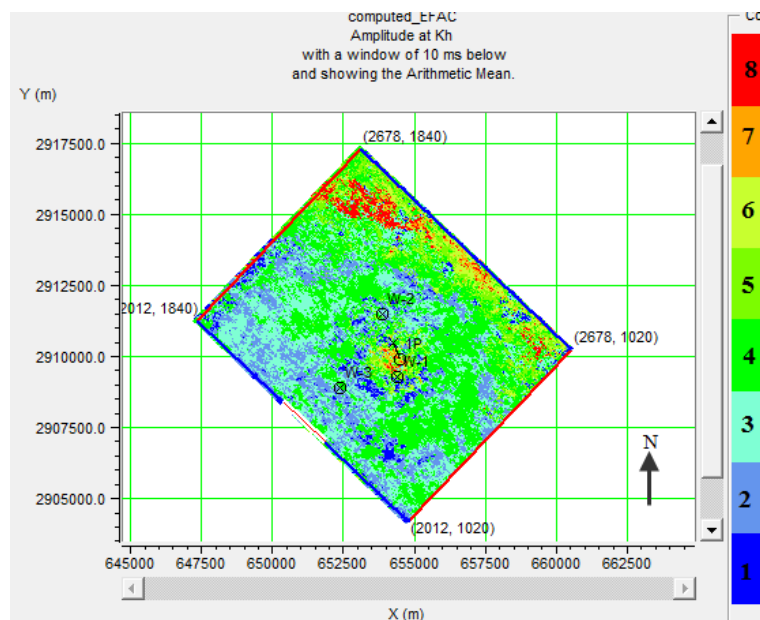


شکل ۳-۶۷- نمایش میزان همبستگی نگار رخساره‌های الکتریکی واقعی و محاسبه شده در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های آموزشی

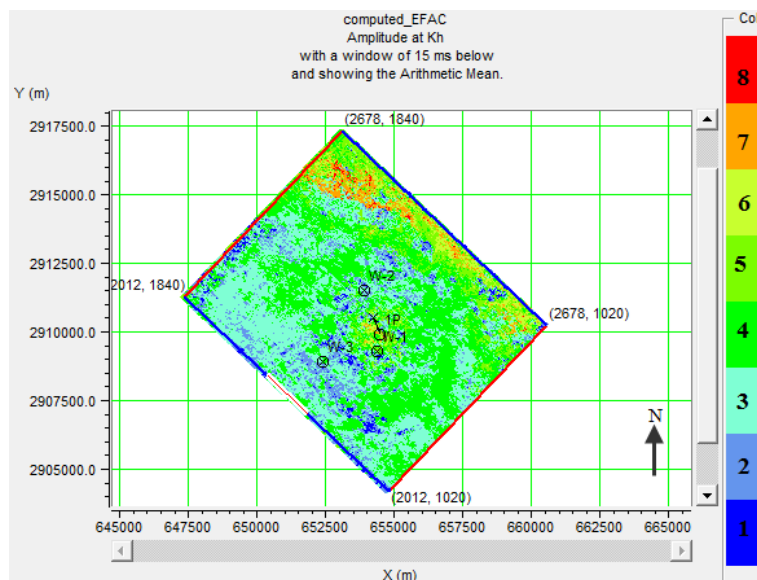


شکل ۳-۶۸- نمایش میزان همبستگی نگار رخساره‌های الکتریکی واقعی و محاسبه شده در مخزن مورد مطالعه برای داده‌های اعتبارسنجی

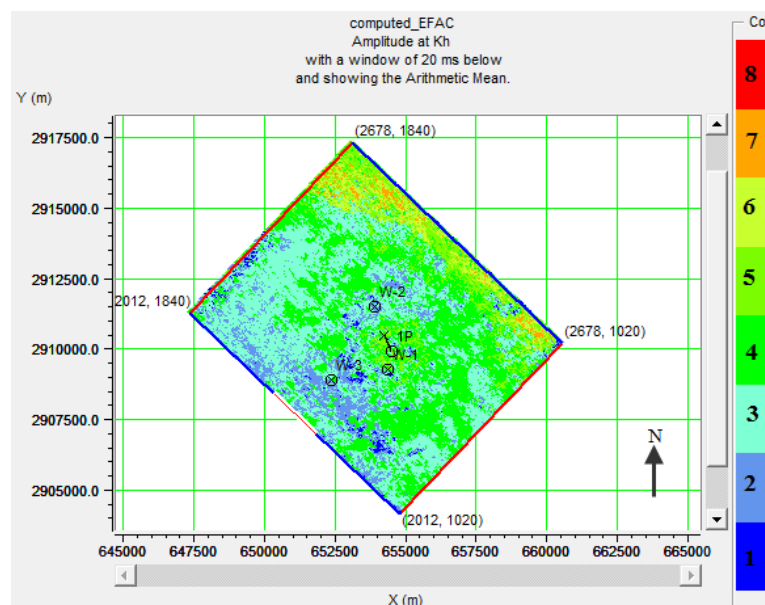
سپس نقشه حاصل از توزیع رخساره‌های الکتریکی در افق‌های زمانی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌ثانیه زیر سازند مورد مطالعه در شکل‌های (۳-۶۹) تا (۳-۷۱) آمده است.



شکل ۳-۶۹- نقشه توزیع رخساره‌های الکتریکی در افق ۱۰ میلی‌ثانیه زیر سازند مخزنی مورد مطالعه، با استفاده از روش MLFN



شکل ۳-۷۰- نقشه توزیع رخساره‌های الکتریکی در افق ۱۵ میلی‌ثانیه زیر سازند مخزنی مورد مطالعه، با استفاده از روش MLFN

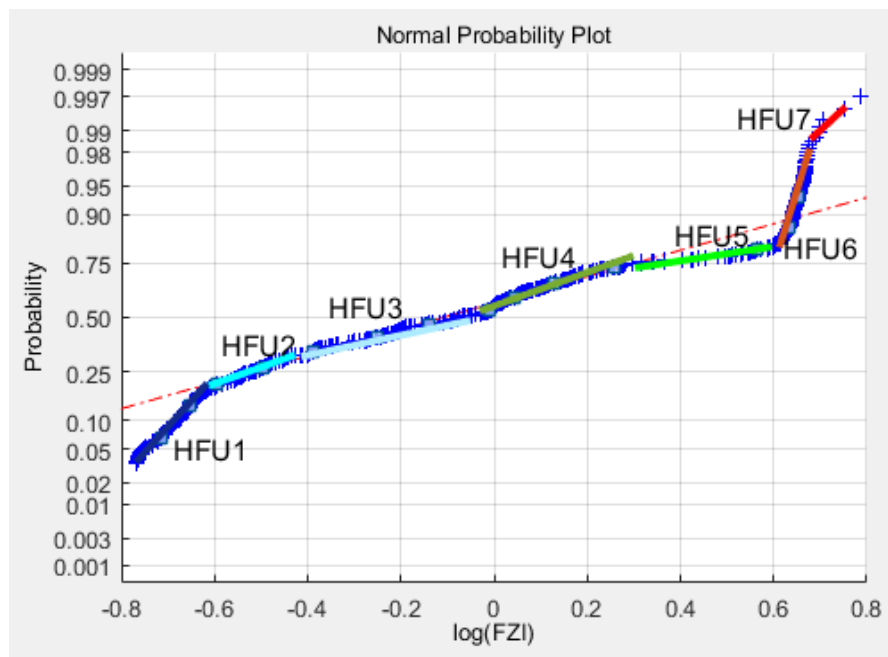


شکل ۳-۷۱- نقشه توزیع رخساره‌های الکتریکی در افق ۲۰ میلی‌ثانیه زیر سازند مخزنی مورد مطالعه، با استفاده از روش MLFN

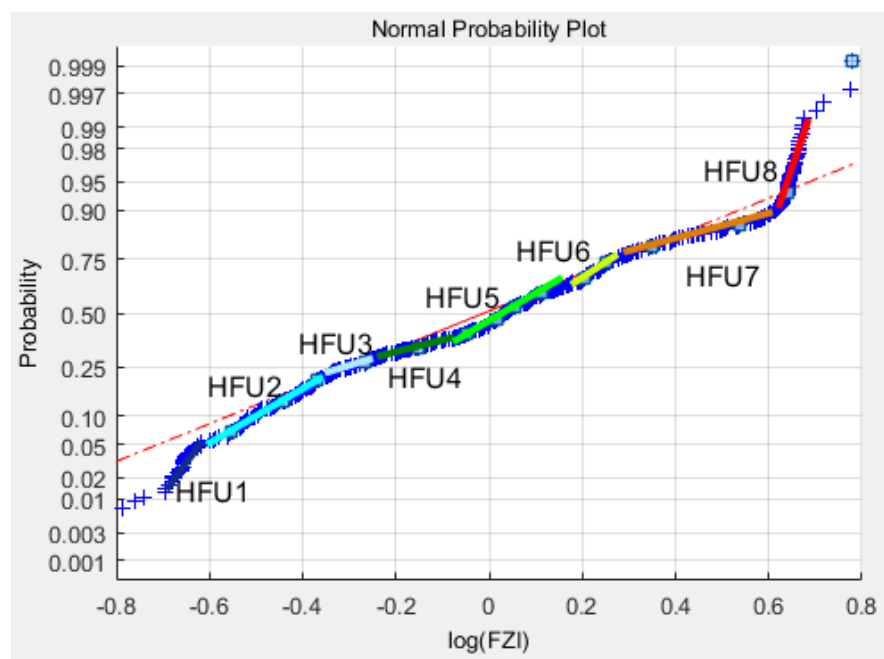
۳-۸- تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی با روش آنالیز احتمال

روش رسم نمودار احتمال لگاریتم شاخص زون جریان، روش دیگری برای به‌دست آوردن تعداد واحدهای جریان بر مبنای شاخص زون جریان است. بدین ترتیب که اگر شاخص زون جریان با احتمال تجزیه و تحلیل شود، n توزیع خطی به‌دست می‌آید که نشان‌دهنده n واحد جریان هیدرولیکی است. نمودار احتمال (تابع توزیع تجمعی)، انتگرال تابع چگالی احتمال (هیستوگرام) است. توزیع نرمال به شکل یک خط مستقیم مجزا در یک نمودار احتمال است. بنابراین، تعداد خطوط مستقیم در نمودار احتمال برای تعیین تعداد واحدهای هیدرولیکی جریان در مخزن استفاده می‌شوند [۱۸].

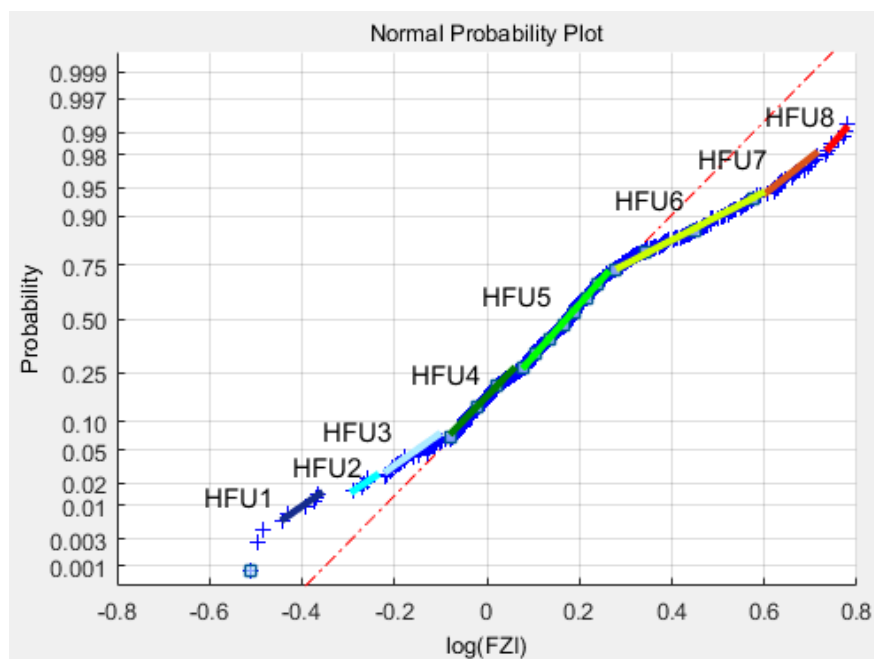
با استفاده از روش شاخص زون جریانی (FZI) و با رسم نمودار احتمال برای لگاریتم FZI تعداد واحدهای جریانی هیدرولیکی (HFU) برای مخزن مورد مطالعه در چاه W-1، ۷ واحد هیدرولیک جریان و در چاه‌های W-2 و W-3، ۸ واحد به‌دست آمده که در شکل‌های (۳-۷۲) تا (۳-۷۴) نشان داده شده است.



شکل ۳-۷۲- نمودار احتمال لگاریتم شاخص زون جریان در چاه W-1

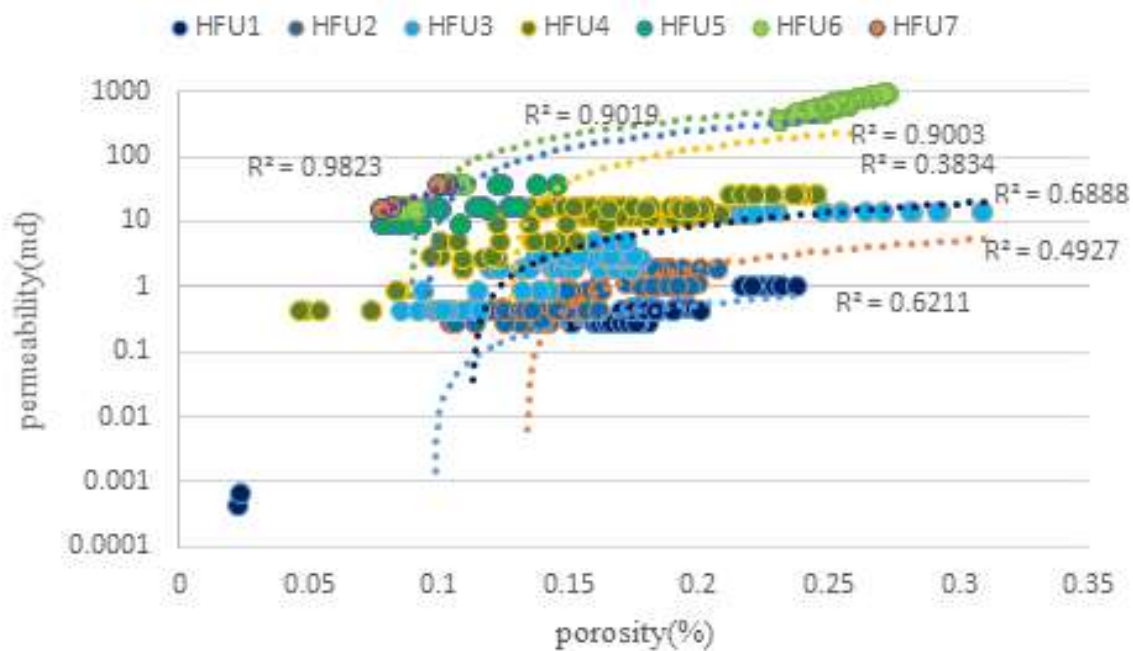


شکل ۳-۷۳- نمودار احتمال لگاریتم شاخص زون جریان در چاه W-2



شکل ۳-۷۴- نمودار احتمال لگاریتم شاخص زون جریان در چاه W-3

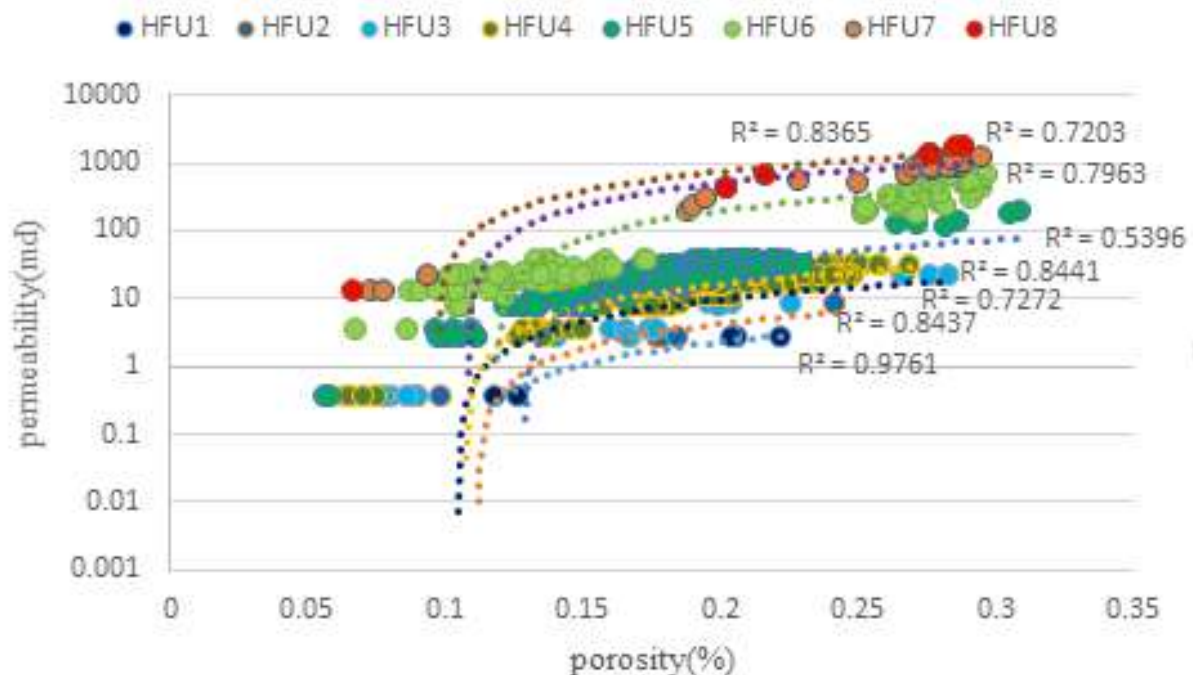
سپس به منظور تعیین رابطه میان تخلخل و تراوایی در هریک از این واحدهای جریان، نمودار نیمه لگاریتمی تخلخل - تراوایی در هر یک از این واحدها برای هر یک از سه چاه مورد بررسی رسم گردید. شکل‌های (۳-۷۵) تا (۳-۷۷) به ترتیب نمودارهای نیمه لگاریتمی تخلخل - تراوایی در چاه‌های W-1 تا W-3 را نشان می‌دهد. همان‌طور که از روی شکل‌های مزبور دیده می‌شود میزان همبستگی بین تراوایی و تخلخل در اکثر واحدهای جریان چاه‌های مورد نظر بالا می‌باشد.



شکل ۳-۷۵- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه W- 1



شکل ۳-۷۶- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه W- 2



شکل ۳-۷۷- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه W-
3

۳-۹- تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی با استفاده از شاخص کیفیت

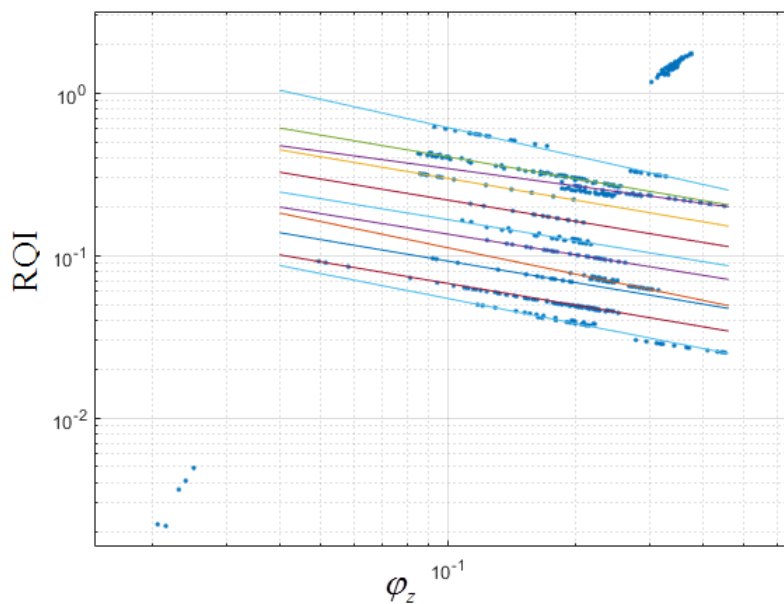
مخزن (RQI)

در شرایط ایده‌آل نمودار لگاریتمی RQI بر حسب φ_z یک نمودار خطی با شیب واحد^۱ خواهد بود که هر خط یک واحد جریان هیدرولیکی است و محل تلاقی هر یک از این خطوط با خط $\varphi_z = 1$ مقدار متوسط FZI برای این واحد جریان هیدرولیکی می‌باشد [۵۰]. نمونه‌های با مقادیر مختلف FZI بر روی سایر خطوط موازی قرار دارند. نمونه‌هایی که روی یک خط مستقیم قرار دارند دارای ویژگی‌های دهانه خلل و فرج مشابه هستند و بنابراین یک واحد جریان را تشکیل می‌دهند. هر خط مستقیم با شیب برابر واحد به‌طور اولیه یک سازنده ماسه‌سنگی تمیز محسوب می‌شود و شیب‌های بزرگ‌تر از یک نشان‌دهنده سازندهای شیلی خواهند بود.

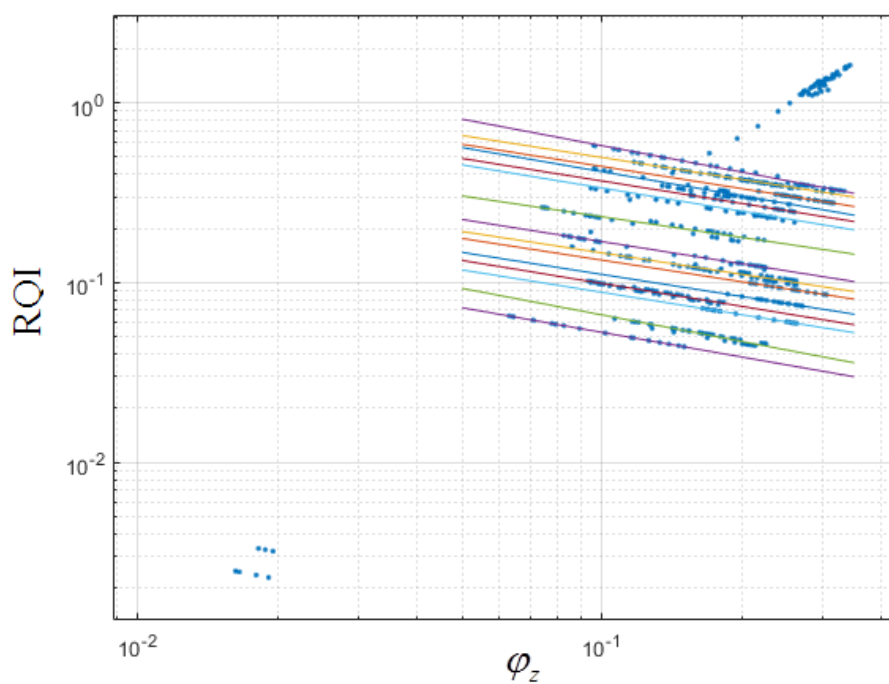
¹ unit slope

شاخص کیفیت مخزنی (RQI) پارامتر منحصر به فردی است که شامل ویژگی‌های زمین‌شناسی بافت و کانی‌شناسی در ساختار رخساره‌های هندسی دارای خلل و فرج مجزا می‌باشد. به طور کلی، سنگ‌هایی که شامل خلل و فرج ذاتی ریز، خلل و فرج پرشده با ذرات کانی‌ها و دارای رس به عنوان پلی بین خلل و فرج باشند، از RQI پایینی برخوردارند. ماسه‌های ریزدانه و جورنشده، با توجه به این که معمولاً از مساحت سطح و ضریب پیچاپیچی بالایی برخوردارند، در نتیجه RQI پایینی دارند. در مقابل، ماسه‌های درشت‌دانه و جورشده که حاوی شیل کم‌تری می‌باشند، با توجه به مساحت سطح، ضریب پیچاپیچی و فاکتور شکل کم‌تر، در نتیجه RQI بالاتری دارند. به طور کلی، محیط‌های رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی مختلف، هندسه مخزن و در نتیجه، RQI (یا FZI) را کنترل می‌نمایند [۶].

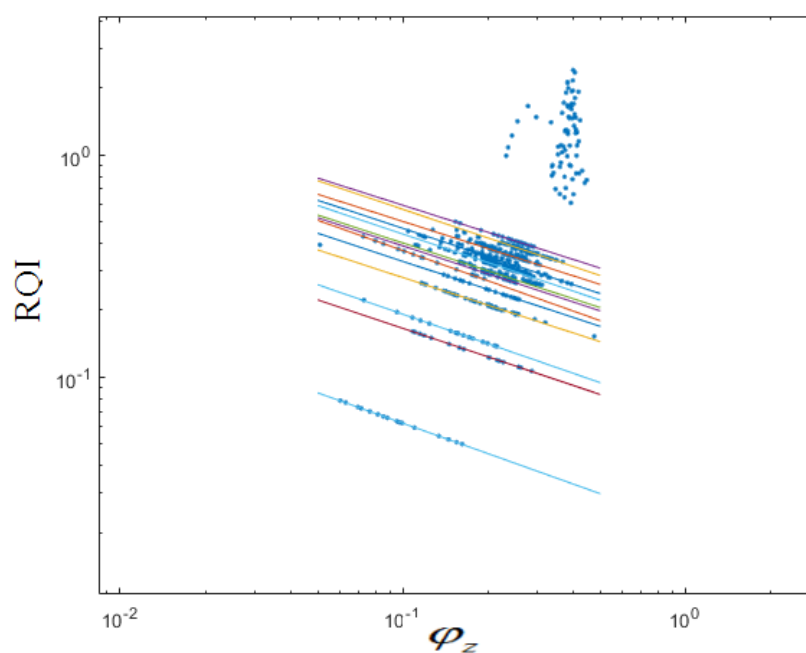
در شکل‌های (۷۸-۳) تا (۸۰-۳) به ترتیب نمودارهای لگاریتمی شاخص کیفیت مخزنی (RQI) در مقابل تخلخل نرمال شده در چاه‌های W-1 تا W-3 نشان داده شده است.



شکل ۷۸-۳- نمودار شاخص کیفیت مخزنی در مقابل تخلخل نرمال شده در چاه W-1



شکل ۳-۷۹- نمودار شاخص کیفیت مخزنی در مقابل تخلخل نرمال شده در چاه W-2

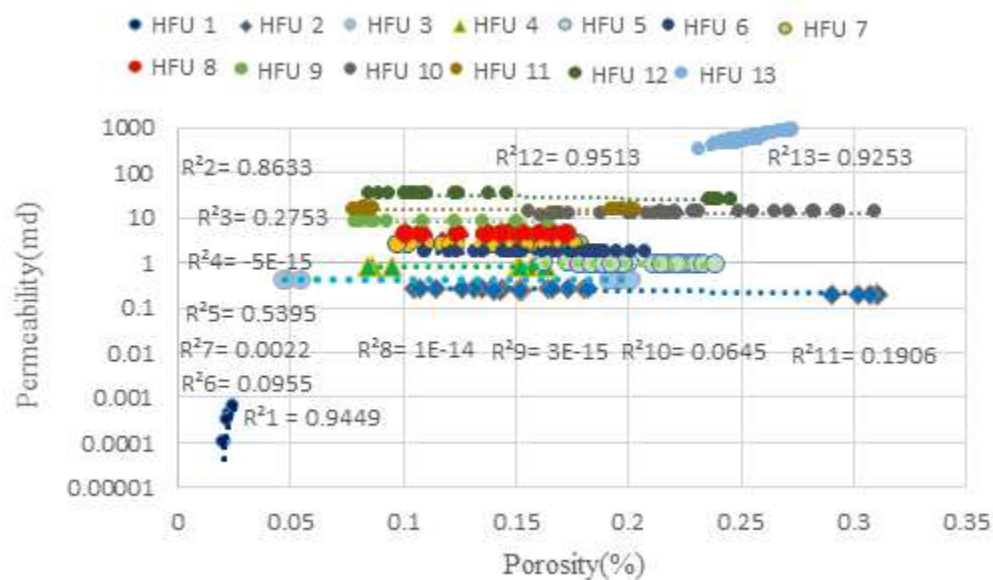


شکل ۳-۸۰- نمودار شاخص کیفیت مخزنی در مقابل تخلخل نرمال شده در چاه W-3

سپس به منظور تعیین رابطه میان تخلخل و تراوایی در هر یک از این واحدهای جریانی، نمودار نیمه لگاریتمی تخلخل- تراوایی در هر یک از این واحدها برای هر یک از سه چاه مورد بررسی به صورت

نمایش داده در شکل‌های (۸۱-۳) تا (۸۳-۳) رسم گردید. همان‌طور که از روی شکل‌های مزبور دیده می‌شود میزان همبستگی بین تراوایی و تخلخل در اکثر واحدهای جریان چاه‌های مورد نظر پایین می‌باشد.

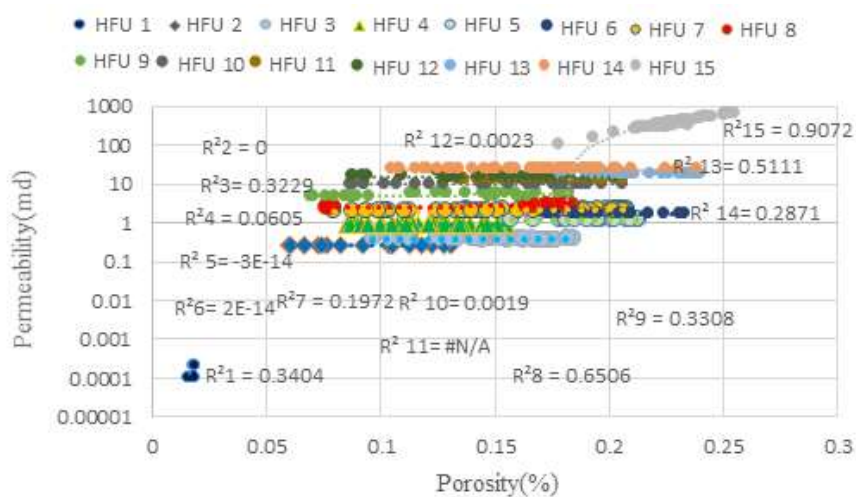
همچنین ضرایب همبستگی (R^2) بین پارامترهای تخلخل مؤثر و تراوایی در هر یک از واحدهای جریان هیدرولیکی دره‌ریک از سه چاه مورد مطالعه، در جدول‌های (۵-۳) تا (۷-۳) ارائه شده و واحدهای جریان با ضریب همبستگی بالاتر، پررنگ‌تر از سایر ضرایب همبستگی مشخص شده است.



شکل ۳-۸۱- نمودار توزیع تخلخل - تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه W-1

جدول ۳-۵- ضرایب همبستگی میان تخلخل مؤثر و تراوایی در بخش مخزنی چاه W-1

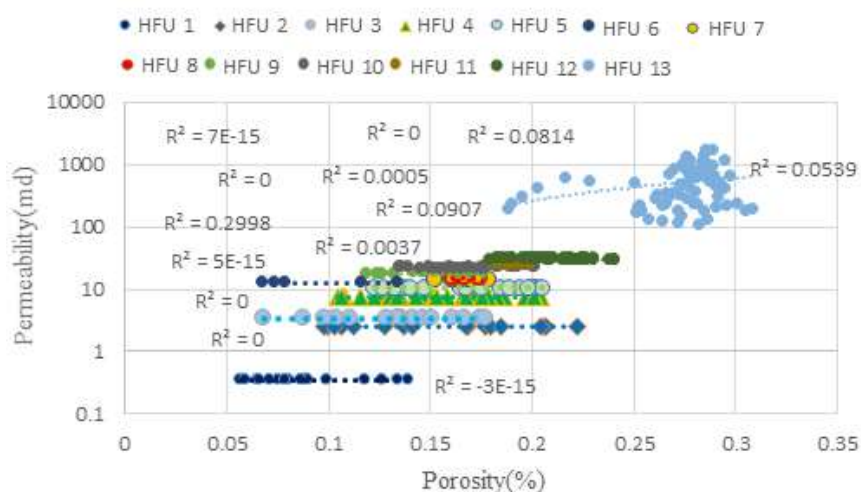
واحد های جریان هیدرولیکی (HFU)	ضریب همبستگی (R^2)
HFU 1	0.9449
HFU 2	0.8633
HFU 3	0.2753
HFU 4	-5.00E-15
HFU 5	0.5395
HFU 6	0.0955
HFU 7	0.0022
HFU 8	1.00E-14
HFU 9	3.00E-15
HFU 10	0.0645
HFU 11	0.1906
HFU 12	0.9513
HFU 13	0.9253



شکل ۳-۸۲- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه W-

جدول ۳-۶- ضرایب همبستگی میان تخلخل مؤثر و تراوایی در بخش مخزنی چاه W-2

واحد‌های جریان هیدرولیکی (HFU)	ضریب همبستگی (R^2)
HFU 1	0.3404
HFU 2	0
HFU 3	0.3229
HFU 4	0.0605
HFU 5	-3E-14
HFU 6	2E-14
HFU 7	0.1972
HFU 8	0.6506
HFU 9	0.3308
HFU 10	0.0019
HFU 11	0.0037
HFU 12	0.0023
HFU 13	0.5111
HFU 14	0.2871
HFU 15	0.9072



شکل ۳-۸۳- نمودار توزیع تخلخل- تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی مربوط به مخزن مورد مطالعه در چاه W-

جدول ۳-۷- ضرایب همبستگی میان تخلخل مؤثر و تراوایی در بخش مخزنی چاه W-3

واحدهای جریان هیدرولیکی (HFU)	ضریب همبستگی (R^2)
HFU 1	-3E-15
HFU 2	7E-15
HFU 3	0
HFU 4	0.2998
HFU 5	5E-15
HFU 6	0
HFU 7	0
HFU 8	0
HFU 9	0.0005
HFU 10	0.0907
HFU 11	0.0037
HFU 12	0.0814
HFU 13	0.0539

۳-۱۰- محاسبه عدم قطعیت نگارهای تخلخل مؤثر و تراوایی با استفاده از

روش مونت کارلو

در هر تفسیر پتروفیزیکی، همواره در مورد این که کدام معادله و یا تبدیل، مقادیر دقیق تری برای ویژگی- های ساختاری مشخص می کند و یا همچنین کدام مقادیر برای هر پارامتر در هر معادله مناسب است، مقداری عدم قطعیت وجود دارد. همواره پارامترهای دارای بیشترین احتمال یا شباهت، که در معادلات مورد استفاده قرار می گیرند، به همراه پارامترهایی که تحلیل گر آشنایی بیشتری با آنها دارد، منجر به تفسیر واحد همراه با ارزش واحد برای مقدار هیدروکربن برجا می شوند. زمانی که هزینه پروژه در نظر گرفته می شود، محاسبه محدوده امکان پذیر در تفسیر ضروری می باشد. بدین منظور، به روشی جهت اندازه گیری عدم قطعیت ها و اثر آنها بر نتایج نهایی، نیاز است.

یکی از جنبه‌های عدم قطعیت پتروفیزیکی به صورت میزان احتمال نادرست بودن اندازه‌گیری‌ها تعریف می‌شود. این اندازه‌گیری‌ها شامل نگارها، اطلاعات مربوط به کالیبراسیون مانند داده‌های مغزه، اطلاعات مورد نیاز جهت تصحیح شرایط محیطی نگارها و موقعیت سازند یا مخزن برای این اندازه‌گیری‌ها، می‌باشد.

جنبه دیگر عدم قطعیت پتروفیزیکی به عدم قطعیت در طبیعت داده‌ها بر می‌گردد. واقعیت این است که در حفاری چاه‌های اکتشافی که در مناطق جدید صورت می‌گیرد، اطلاعات چندانی برای استفاده در تفاسیر مربوط به آنها وجود ندارد.

شکل اول عدم قطعیت پتروفیزیکی، یعنی احتمال نادرست بودن اندازه‌گیری‌ها، باعث ایجاد خطاهای احتمالی و شکل دوم آن، یعنی عدم وجود اطلاعات قبلی از منطقه، باعث ایجاد عدم قطعیت ناشی از نبود دانش قبلی می‌شود. هر دو شکل عدم قطعیت، در هنگام تعیین بازه نتایج احتمالی، در نظر گرفته می‌شوند.

بسیاری از جنبه‌های عدم قطعیت در تفسیر پتروفیزیکی را می‌توان به سه دسته گروه تقسیم‌بندی کرد:

۱- عدم قطعیت تصادفی^۱: یک نویز تصادفی در اندازه‌گیری‌های نگار می‌تواند منجر به بروز عدم قطعیت در نتایج مربوط به یک عمق خاص گردد. در سازندهای همگن، بسیاری از نگارها به دلیل وجود انحرافات آماری در نرخ‌های شمارش و یا وجود نویز به همراه سیگنال، منحنی‌هایی دارای نویز تولید می‌کنند. این نمودارها حتی زمانی که ابزار اندازه‌گیری در عمق خاص به صورت ساکن قرار دارد نیز می‌توانند دارای نویز باشند. این مسأله در سازندهای ناهمگن مانند مقاطع چند لایه که در آنها تفکیک‌پذیری قائم ابزار برای تشخیص نوع سنگ مناسب نیست، پیچیده‌تر می‌شود. در تفسیرها جهت شمارش نویزهای

¹ Random uncertainty

تصادفی، معمولاً ستون‌های خطا در نظر گرفته شده‌اند. یک ستون خطا در اصل مقادیر هر دو طرف اندازه‌گیری است و شامل بازه کاملی که آن اندازه‌گیری می‌تواند داشته باشد، می‌شود.

هنگامی که عدم قطعیت نتایج یک فاصله^۱ از مخزن اندازه‌گیری می‌شود، عدم قطعیت تصادفی، به دلیل طبیعت خطاهای تصادفی، کاهش می‌یابد که با عملیات میانگین‌گیری زون، خنثی می‌شوند. تنها حالتی که خطاهای تصادفی بر نتایج زون تأثیر گذارند، زمانی است که انحراف منحنی از مقدار حد آستانه حین عملیات خلاصه مخزن و در اثر نویز تصادفی، افزایش یابد.

۲- عدم قطعیت سیستمی^۲: خطاهای سیستماتیک اختلاف زیادی بین مقدار اندازه‌گیری شده یک پارامتر و مقدار صحیح آن ایجاد می‌کنند. این نوع خطاها می‌توانند در هر دو نوع پارامترهای اندازه‌گیری و تفسیری به وجود آیند. این نوع خطاها، در نگارها، می‌تواند ناشی از خطاهای کالیبراسیون و آثار محیطی باشد در حالی که در پارامترها، ناشی از عدم وجود اطلاعات قبلی از سازند یا فقدان داده معرف جهت مدل کردن سازند مورد نظر باشد. خطاهای سیستماتیک باعث ایجاد عدم قطعیت سیستماتیک می‌گردد. عدم قطعیت سیستماتیک تأثیر زیادی بر نتایج دارد و بارها به هنگام اندازه‌گیری عدم قطعیت مدل می‌شود.

۳- عدم قطعیت بر پایه مدل^۳: عدم قطعیت بر پایه مدل در حالتی ایجاد می‌گردد که مدل تفسیری مورد استفاده برای سازند مورد بررسی مناسب نباشد. این نوع عدم قطعیت با خطا رابطه‌ای نداشته و تنها به مدل و یا رابطه انتخاب شده بستگی دارد. هر چه مدل تفسیری با مخزن سازگارتر باشد، میزان تأثیر این نوع عدم قطعیت کمتر خواهد بود. در آغاز ارزیابی این نوع عدم قطعیت بیش‌ترین تأثیر را بر نتایج داشته و اندازه‌گیری آن بسیار دشوار خواهد بود و در نتیجه اغلب کم‌ترین آنالیز بر روی آن صورت می‌گیرد [۷ و ۵۱].

¹ Interval

² Systematic uncertainty

³ Model based uncertainty

مونت کارلو یک روش آماری قوی است که در صنعت نفت به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. روش مونت کارلو با یک مدل ریاضی که در آن یک متغیر وابسته تابعی از متغیرهای مستقل است، آغاز می‌شود. متغیر وابسته معمولاً کمیت مورد نظر مانند هیدروکربن‌های اصلی^۱ در محل و یا نفت تولیدی قابل ذخیره در یک زمان آینده است. متغیرهای مستقل پارامترهای مخزن، مانند تخلخل، تراوایی و اشباع هستند. متغیرهای مستقل مختلف ممکن است توزیع‌های آماری مختلف و یا حتی با یک نوع توزیع یکسان، ممکن است پارامترهای مختلف داشته باشند. برای مثال دو توزیع نرمال می‌توانند پارامترهای مختلف (میانگین و انحراف معیار) داشته باشند. پس از اینکه مدل ریاضی ساخته شد، اعداد تصادفی زیادی برای هر متغیر مستقل بر اساس توزیع‌های آماری خاص آنها، تولید می‌شود. برای تولید اعداد تصادفی برای متغیرهای مستقل، به تابع چگالی احتمال آنها نیاز است. بنابراین، آن توابع چگالی احتمال قبل از اینکه روش مونت کارلو استفاده شود، تعیین می‌شوند. توزیع‌های آماری توسط پارامترهای مختلف تعیین می‌شوند. توزیع نرمال دارای دو پارامتر مشخص میانگین و واریانس است. توزیع مثلثی دارای سه پارامتر حد پایین، محتمل‌ترین مقدار و حد بالا است. بسیاری از مقادیر متغیر وابسته با استفاده از مقادیر متغیرهای مستقل به دست آمده است [۵۲].

در پتروفیزیک عدم قطعیت معمولاً نامتقارن است. همانند زمانی که از اشعه گاما برای شیل استفاده شود. در این حالت مقدار واقعی احتمالاً نمی‌تواند از بیشترین مقدار اشعه گامای ثبت شده کمتر باشد، در صورتی که در فاصله مذکور در سازند شیلی، شیل واقعی وجود نداشته باشد، می‌تواند بسیار بیشتر باشد. در چنین مواردی از توزیع مثلثی استفاده می‌گردد. در تصحیحات محیطی، فرض بر این است که برای عدم قطعیت اندازه‌گیری‌ها از توزیع‌های نرمال و برای عدم قطعیت پارامترها (مثل درجه شوری، دما و غیره) از توزیع مثلثی استفاده شود.

^۱ Original hydrocarbons

پردازش مونت کارلو شامل اجرای چندباره یک سری محاسبات است، به صورتی که هر پارامتر با اندازه-گیری در محدوده توزیع آماری مشخصی به صورت تصادفی تغییر نماید. از این عملیات نتایج زیادی حاصل می‌شود که توزیع و محدوده پاسخ‌های ممکن جهت توصیف عدم قطعیت را نشان می‌دهند. تفسیرهای پتروفیزیکی شامل محاسبات بسیار زیادی می‌باشد که یا با استفاده از پردازش قطعی مرحله به مرحله و یا با استفاده از یک راه حل بهینه صورت می‌گیرد.

تعداد دفعات لازم جهت تفسیر به عوامل زیادی مانند نوع اجرای عملیات مونت کارلو، پیچیدگی مدل، تعداد پارامترها و اندازه‌گیری‌های غیر قطعی و مقدار پتانسیل خطای مرتبط با پیچیدگی یا هتروژنتیکی سازند، بستگی دارد. تعداد تکرارهای مورد نیاز در سیستم‌های ماژولار مونت کارلو به دلیل سادگی نسبی عملیات در هر مرحله، نسبتاً کم است. در عملیات مونت کارلو با روند واحد به علت تعدد پارامترها و نگارهای متغیر در تفسیر کلی و در نتیجه افزایش پیچیدگی، به تکرارهای بیشتری جهت پایداری مدل نیاز می‌باشد. پایداری مدل هنگامی رخ می‌دهد که تعداد تکرارها به قدری زیاد باشد تا در زمان اجرای عملیات کامل، توزیع نتایج تکرار گردد. اگر چه آنالیز مونت کارلوی قطعی تا ۵۰۰۰ تکرار مجاز است اما تصحیحات محیطی به علت دارا بودن متغیرهای کمتر به پردازش کمتری نیاز دارند. علاوه بر این، بسیاری از توابع ذاتاً از طریق جداول استاندارد اجرا می‌شوند، که این مسئله در صورت تکرار زیاد، عملیات زمان‌بری خواهد بود. به همین دلیل این ماژول‌ها نهایتاً مجاز به انجام ۱۰۰۰ تکرار می‌باشند. اگرچه ۲۵۰ تا ۵۰۰ تکرار معمولاً کفایت می‌کند.

اندازه‌گیری‌های نگار، به دلیل آفست‌های سیستماتیک، می‌توانند در معرض نویزهای تصادفی قرار گیرند. اگر نتایج تفسیر نهایی شامل خلاصه فاصله‌های اندازه‌گیری و متوسط ویژگی‌های سازند برای زون مورد نظر باشند، اکثر خطاهای تصادفی حذف خواهند شد.

بنابراین در پردازش مونت کارلو، در نگارها خطاهای سیستماتیک مدل می‌شوند. این خطاها می‌توانند به دلیل فقدان صحت در اندازه‌گیری‌ها، خطاهای کالیبراسیون و یا عدم قطعیت در پارامترهای مورد

استفاده در آفست‌های محیطی باشد. عدم قطعیت سیستماتیک نگار به شکل سه منحنی قراردادی و نسخه‌های مینیمم و ماکزیمم وارد می‌شود. این منحنی‌ها می‌توانند توسط کاربر ایجاد شده و یا خروجی ماژول‌های تصحیحات محیطی باشند.

با در نظر گرفتن مفهوم پردازش قائم، از یک آفست تصادفی واحد مورد استفاده در کل مقطع جهت انتخاب یک نسخه نگار در هر تکرار پردازش مونت کارلو استفاده می‌شود. این امر با استفاده از تولید کننده اعداد تصادفی جهت انتخاب آفست‌پذیر است. سپس از آن برای تولید سه منحنی جدید بر اساس موقعیت نسبی بین سه منحنی ورودی استفاده می‌شود.

ماژول Determin MC، اکثر ماژول‌های روش قطعی^۱ موجود در نرم‌افزار را با استفاده از پردازش مونت کارلو اجرا کرده و امکان تعیین عدم قطعیت‌ها و توزیع عدم قطعیت‌های اغلب متغیرها و مقادیر نگارها را به کاربر می‌دهد. تفسیر می‌تواند تا ۵۰۰۰ بار به همراه مقادیر متغیرها و نگارهای انتخابی از توزیع‌های تعیین شده از هر تکرار به صورت تصادفی، اجرا شود.

عدم قطعیت‌های پارامترها بسته به نوع متغیر یا روش اندازه‌گیری، به صورت خطاهای low_side و high_side و یا به صورت درصد‌های مقادیر اندازه‌گیری وارد می‌شود. عدم قطعیت نگارها نیز به صورت سه منحنی معمول یا رایج^۲ و نسخه‌های low و high وارد می‌شود. نسخه‌های low و high می‌توانند توسط کاربر تولید شده و یا خروجی تصحیحات محیطی مونت کارلو باشند. منحنی واقعی مورد استفاده در هر تکرار به صورت تصادفی از توزیع تعیین شده، حاصل می‌شود.

این ماژول طوری طراحی شده که پس از تکمیل یک تفسیر قطعی قراردادی، اجرا شود. در این ماژول تمام پارامترهای ورودی Determin با توزیع‌ها و ستون‌های خطای ورودی توسط کاربر به منظور بدست

^۱ Determin

^۲ Conventional

آوردن توزیعی از نتایج ممکن، ترکیب می‌شوند. همواره آخرین تکرار با استفاده از پارامترهای ورودی اولیه برای تفسیر، مورد مبنا^۱ را تشکیل می‌دهد [۷ و ۵۱].

به منظور محاسبه عدم قطعیت نگارهای تخلخل مؤثر و تراوایی در چاه W-3، ابتدا ارزیابی نگارهای مورد نظر به روش قطعی صورت گرفته است. سپس با استفاده از روش عدم قطعیت قطعی^۲، عدم قطعیت آن‌ها محاسبه گردید. لازم به ذکر است که کلیه این مراحل در نرم‌افزار Geolog انجام گرفته و به علت عدم وجود اطلاعات مورد نیاز در این مرحله برای همه چاه‌ها، تنها از یک چاه استفاده شده است.

۳-۱۰-۱- مرحله پیش محاسباتی^۳

مرحله پیش محاسباتی به کمک اطلاعات سربرگ چاه، به جهت محاسبه پارامترهای دما، فشار و شرایط گل حفاری موجود در توالی سازند مورد بررسی، انجام شد. اطلاعات ورودی مورد نیاز در این مرحله شامل پارامترهای عمق ابتدا و انتهای سازند مورد بررسی، دمای این نقاط، چگالی گل حفاری، مقاومت ویژه و درجه حرارت نمونه گل، فیلتره گل و کیک گل در چاه مورد نظر و همچنین نگارهای قطر سنج دیواره چاه، چگالی، مقاومت ویژه ناحیه عمیق^۴ (R_t) و مقاومت ویژه ناحیه کم عمق سازند^۵ (R_{xo}) می-باشند. خروجی این مرحله نگارهای درجه حرارت، فشار، اطلاعات مربوط به گل حفاری در سازند، رسانندگی ناحیه عمیق (C_t) و رسانندگی ناحیه کم عمق (C_{xo}) سازند مورد بررسی است. نگارهای رسانندگی ناحیه عمیق و کم عمق معکوس مقاومت ویژه سازند در این اعماق است و از روی نگارهای مقاومت ناحیه عمیق و کم عمق محاسبه می‌گردند. نتایج حاصل از مرحله پیش مقدماتی برای چاه مورد مطالعه، در شکل (۳-۸۴) نمایش داده شده است. که در آن، ستون اول از سمت چپ شامل نگارهای اشعه گاما، قطر سنج دیواره چاه و سائز مته، ستون دوم عمق مورد بررسی، ستون سوم شامل نگارهای مقاومت گل، فیلتره گل و کیک گل، ستون چهارم شامل نگارهای درجه حرارت سازند و فشار سازند

¹ Base case

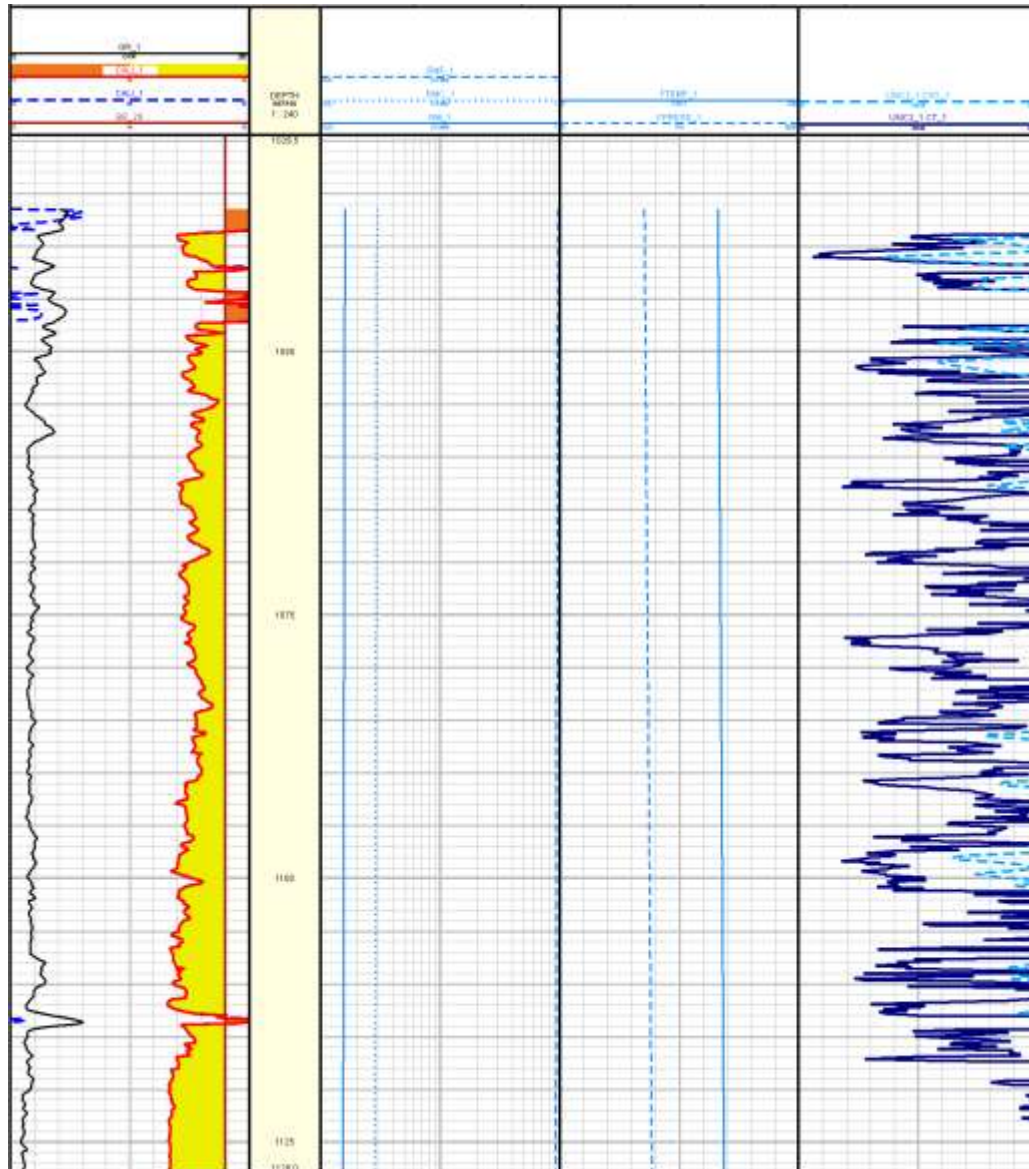
² Determin uncertainty

³ Precalc

⁴ LLD

⁵ MLL

مورد بررسی و ستون پنجم شامل نگارهای رسانایی ناحیه عمیق (C_I) و رسانندگی ناحیه کم عمق (C_{X0}) می باشد.

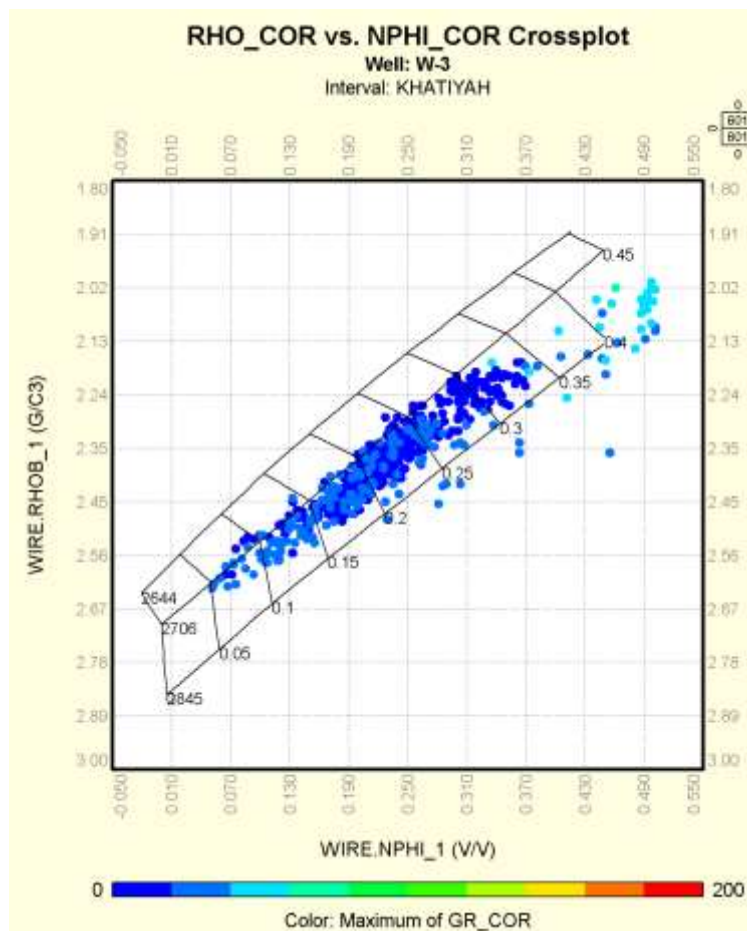


شکل ۳-۸۴- نتایج حاصل از مرحله پیش محاسباتی در چاه W-3

اطلاعات به دست آمده از این مرحله در مراحل ارزیابی و محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی و محاسبه عدم قطعیت به روش مونت کارلو، مورد استفاده قرار می گیرند.

۳-۱۰-۲- تعیین لیتولوژی سازند مورد مطالعه

در میان نمودارهای دوتایی، نمودار متقاطع یا کراس پلات نوترون-چگالی معروفترین نمودار متقاطع در ارزیابی‌های پتروفیزیکی است که با استفاده از آن متغیرهای تخلخل و سنگ‌شناسی یا لیتولوژی به‌دست می‌آیند و بسیاری از روش‌های اندازه‌گیری این دو متغیر، بر مبنای این نمودار متقاطع ایجاد شده‌اند. خطوط مورب در این نمودار متقاطع، توابع هستند. خطوط مورب پایینی، وسطی و بالایی به ترتیب مربوط به دولومیت، آهک و ماسه‌سنگ می‌باشند و خطوطی که به صورت شبکه‌ای آن‌ها را قطع می‌کنند، درصد تخلخل را نشان می‌دهند. با توجه به موقعیت قرارگیری هر کدام از نقاط این نمودار متقاطع، سنگ‌شناسی و درصد تخلخل آن‌ها قابل تشخیص است. نمودار متقاطع نوترون-چگالی برای سازند مورد بررسی در شکل (۳-۸۵) نشان داده شده است که با توجه به نمودار متقاطع رسم شده در این شکل، لیتولوژی بخش مخزنی در این چاه آهکی تا دولومیتی به همراه مقادیر نسبتاً کمی شیل است.



شکل ۳-۸۵- نمودار مقاطع نوترون- چگالی برای بخش مخزنی در چاه W-3

تخلخل شیل‌ها بین ۳۰ تا ۳۵ درصد و چگالی آن‌ها بین ۲/۵ تا ۲/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. این مقادیر برای ارزیابی‌های بیش‌تر در مراحل بعدی استفاده می‌شوند.

۳-۱۰-۳- ارزیابی به روش قطعی

در این روش به صورت مرحله به مرحله، پارامترهای پتروفیزیکی مخزن با استفاده از تعداد محدودی نگار محاسبه می‌گردد. داشتن راه حل واحد و پارامترهای تحلیلی ثابت از مزایای این روش و استفاده از تعداد نگارهای محدود و بیش‌تر بودن تعداد خطای تصادفی استفاده از این نگارها از تعداد نگارها، از معایب این روش است. بنابراین روش‌های قطعی، اغلب تفسیری با کیفیت پایین ارائه می‌دهند. علاوه بر این، در این روش عملاً در محاسبات، پاسخ ابزارها از قرائت بخش‌های دارای پاسخ‌های ضعیف، تحت پوشش یک مدل ساده، چشم‌پوشی می‌شود. یعنی در هر مرحله از فرآیندهای زنجیره‌ای این روش،

گرایش زیادی به سمت تنها یکی از خصوصیات سازند احساس می‌شود و منشأ آن به یک یا دو ابزار نمودارگیری باز می‌گردد. به عنوان مثال پاسخ امواج گاما اغلب به عنوان تابعی از حجم شیل مطرح می‌شود و اثر دولومیت‌های رادیواکتیو، کانی‌های فلدسپات، فیلتره گل حفاری و یا گل حاوی کلرید پتاسیم بر آن در نظر گرفته نمی‌شود [۷].

در این مطالعه پارامترهای پتروفیزیکی زیر با استفاده از روش قطعی محاسبه شده است.

۱- محاسبه حجم شیل

برای محاسبه حجم شیل چندین روش در نرم‌افزار Geolog تعریف شده است. رایج‌ترین و دقیق‌ترین روش محاسبه حجم شیل، استفاده از نگارهای رادیواکتیویته است که در این میان نگار گامای تصحیح شده (CGR) به دلیل حساسیت بیش‌تر نسبت به توریم و پتاسیم سازند، دقت بالاتری جهت محاسبه حجم شیل دارد. به منظور تعیین حجم شیل، در این مطالعه از روش نگار گاما استفاده گردید. معادله مربوط به این روش به صورت رابطه (۳-۹) است [۷]:

$$V_{sh} = \frac{CGR - CGR_{min}}{CGR_{max} - CGR_{min}} \quad (۳-۹)$$

میانگین حجم شیل محاسبه شده در این مرحله برابر ۰/۲۰۶۸ درصد می‌باشد.

۲- محاسبه تخلخل

جهت محاسبه تخلخل نیز روش‌های مختلفی وجود دارد که به نوع نگارهای موجود بستگی دارد. برای محاسبه تخلخل، عمدتاً از نگارهای نوترون، چگالی و صوتی استفاده می‌شود. همچنین می‌توان از یک یا ترکیبی از چند نگار استفاده کرد.

در این مطالعه ابتدا تخلخل اولیه با استفاده از نگار صوتی محاسبه شد و به کمک رابطه (۴-۱۰) تخلخل تصحیح شده حاصل شد [۷]:

$$PHI_{Sonic(shc)} = \left[\frac{DT_{shc} - DT_{ma}}{DT_{FL} - DT_{ma}} \right] \times (1 - V_{sh}) \quad (۱۰-۳)$$

سپس تخلخل کل (شامل تخلخل اولیه و ثانویه) با استفاده از نگارهای چگالی و نوترون از طریق رابطه (۱۱-۳) محاسبه گردید [۵۳]:

$$PHIT_{N-D} = \left(\frac{(DT_{ma} \times Nphi) - (Nphi_{ma} \times DT)}{(Nphi_{ma} \times DT_{ma})} \right) \quad (۱۱-۴)$$

در نهایت از اختلاف تخلخل اولیه و تخلخل کل محاسبه شده، تخلخل ثانویه تعیین شده است. که نتایج مربوط به میانگین تخلخل کل، مؤثر و ثانویه (SPI) در جدول (۸-۳) آمده است.

جدول ۸-۳- مقادیر میانگین تخلخل در بخش مخزنی چاه W-3

Well Name	PHIT (v/v)	PHIE (v/v)	SPI (v/v)
W-3	0.2628	0.1831	0.1527

۳- محاسبه اشباع آب

محاسبه اشباع آب از روابط مختلفی صورت می‌گیرد که مهم‌ترین آنها رابطه آرچی می‌باشد. اما از آنجا که رابطه آرچی برای سازندهای تمیز و عاری از شیل طراحی شده و سازند مورد مطالعه حاوی کانی‌های رسی است، در این مطالعه، از روش ایندونیازیا که در سازندهای حاوی کانی‌های رسی مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده شده است. به منظور تعیین اشباع آب سازندهای شیلی، از فرمولی که بیان‌کننده رابطه بین مقاومت واقعی (R_t) و پارامترهای سازندی مؤثر بر این مقاومت استفاده می‌شود. این پارامترها شامل مقاومت آب (R_w)، مقاومت شیل (R_{sh})، تخلخل (ϕ_e)، محتوای شیل یا حجم شیل (V_{sh}) و اشباع آب (S_w) می‌باشند. این رابطه به صورت رابطه (۱۲-۳) توسط پوپان^۱ و لوکس^۲ (۱۹۷۱) ارائه شده است [۵۴].

^۱ Poupon

^۲ Leveaux

$$S_w = \left[\frac{R_w}{R_t} \times \frac{R_{sh}}{\left(V_{sh}^{1-V_{sh}/2} \sqrt{R_w} + \phi_e^{m/2} \sqrt{R_{sh}} \right)^2} \right] \quad (12-3)$$

در این رابطه m ضریب سیمان شدگی و n توان اشباع شدگی است. میانگین اشباع آب به دست آمده در مخزن مورد مطالعه ۵۰/۱۴ درصد می باشد.

۴- محاسبه تراوایی

در این مرحله، از روش کوتس-دومانویر^۱، به منظور محاسبه تراوایی، استفاده شده است. معادله کوتس-دومانویر به صورت رابطه (۱۳-۳) تعریف می شود [۷].

$$PERM_{CD} = \left[\left(CONST_CD / W^4 \right) \times \left(PHIE^W / SWE_IRR^W \right) \right]^2 \quad (13-3)$$

(۱۳)

در این رابطه، ثابت کوتس، برابر با ۳۰۰ در نظر گرفته می شود. W پارامتر وابسته به بافت سنگ، $PHIE$ تخلخل مؤثر و SWE_IRR اشباع آب کاهش نیافتنی می باشند. میانگین تراوایی به دست آمده از این روش در چاه W-3 برابر ۴۴۶/۲۶۶۵ میلی داریسی است.

۳-۱۱- آماده سازی داده ها و محاسبه عدم قطعیت نگارهای پتروفیزیکی به

روش مونت کارلو

همان گونه که ذکر شد، در پردازش مونت کارلو خطاهای سیستماتیک نگارهای پتروفیزیکی مدل می-شوند. عدم قطعیت سیستماتیک نگارهای مورد نظر به صورت سه منحنی شامل منحنی های معمول یا رایج (اندازه گیری های اولیه)، مقادیر حداقل (lo) و مقادیر حداکثر (hi) نگار مورد نظر با تعداد تکرارهای

¹ Coates-Dumanoir

محاسبات در روش مونت کارلو محاسبه می‌گردد. آنالیز مونت کارلو از طریق تکرار محاسبات و استفاده از اعداد تصادفی انجام می‌شود. یکی از مهم‌ترین نکات در اجرای این روش، تعیین تعداد تکرارها می‌باشد. بر اساس مطالب ذکر شده، تعداد تکرارها در این مطالعه، ۵۰۰ تکرار در نظر گرفته شد. آماده سازی داده‌ها در این روش، شامل مراحل پیش محاسباتی و تصحیحات محیطی است که هر دو در یک مرحله و به صورت هم‌زمان صورت می‌گیرد. پارامترهای ورودی در این مرحله، همان پارامترهای ورودی در مرحله ارزیابی قطعی است. تفاوت این دو مرحله در خروجی آنها می‌باشد بدین صورت که خروجی این مرحله شامل مقادیر حداقل و حداکثر است که بر اساس میزان خطای در نظر گرفته شده برای پارامترها و نگارهای مورد نظر محاسبه می‌گردند. میزان خطای در نظر گرفته شده برای پارامترها در جدول (۳-۹) و برای نگارهای پتروفیزیکی در جدول (۳-۱۰) آمده است. با توجه به کمبود اطلاعات و ناقص بودن داده‌ها و همچنین عدم وجود دانش کافی، میزان خطایی که باید برای هر پارامتر و نگار پتروفیزیکی در نظر گرفته شود، مطابق مقادیر پیش فرض نرم افزار Geolog در نظر گرفته شده و در جدول‌های (۳-۹) و (۳-۱۰) آورده شده است. لازم به ذکر است که در عمل میزان خطای در نظر گرفته شده برای هر پارامتر و نگار پتروفیزیکی از یک میدان به میدان دیگر متفاوت است.

جدول ۳-۹- میزان خطای در نظر گرفته شده برای هر پارامتر

Parameter	Caliper (in)	TLT (%)	BHT (%)	DFD (lb/g)	Rm (%)
Possible Error	0.472441	5	10	1.66908	1

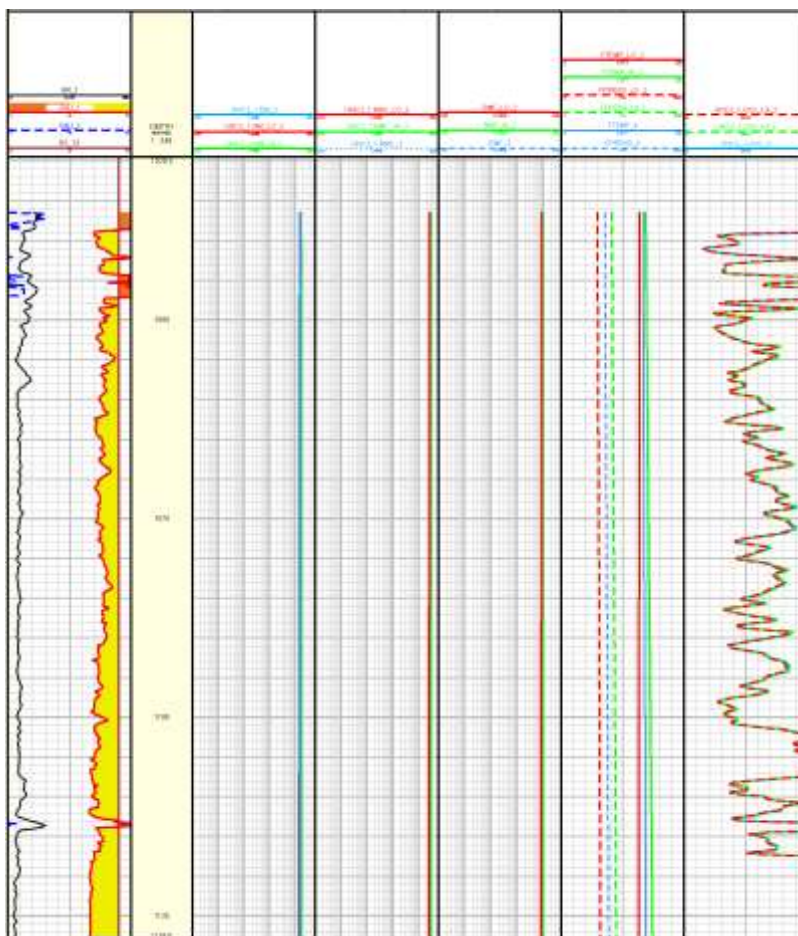
در جدول (۳-۹)، ستون‌ها به ترتیب از چپ به راست، میزان خطای اندازه‌گیری قطر دیواره چاه، میزان خطای اندازه‌گیری دمای ابتدای سازند، میزان خطای اندازه‌گیری دمای انتهای سازند، میزان خطای اندازه‌گیری چگالی گل حفاری و میزان خطای اندازه‌گیری مقاومت گل حفاری را نشان می‌دهند.

جدول ۳-۱۰- میزان خطای در نظر گرفته شده برای نگارهای پتروفیزیکی

Log	GR (gapi)	RHOB (g/c ³)	NPHI (v/v)	DT (us/f)	LLD (ohm)	LLS (ohm)	MLL (ohmm)
Possible Error	5	0.01	0.02	1.524	5	5	2

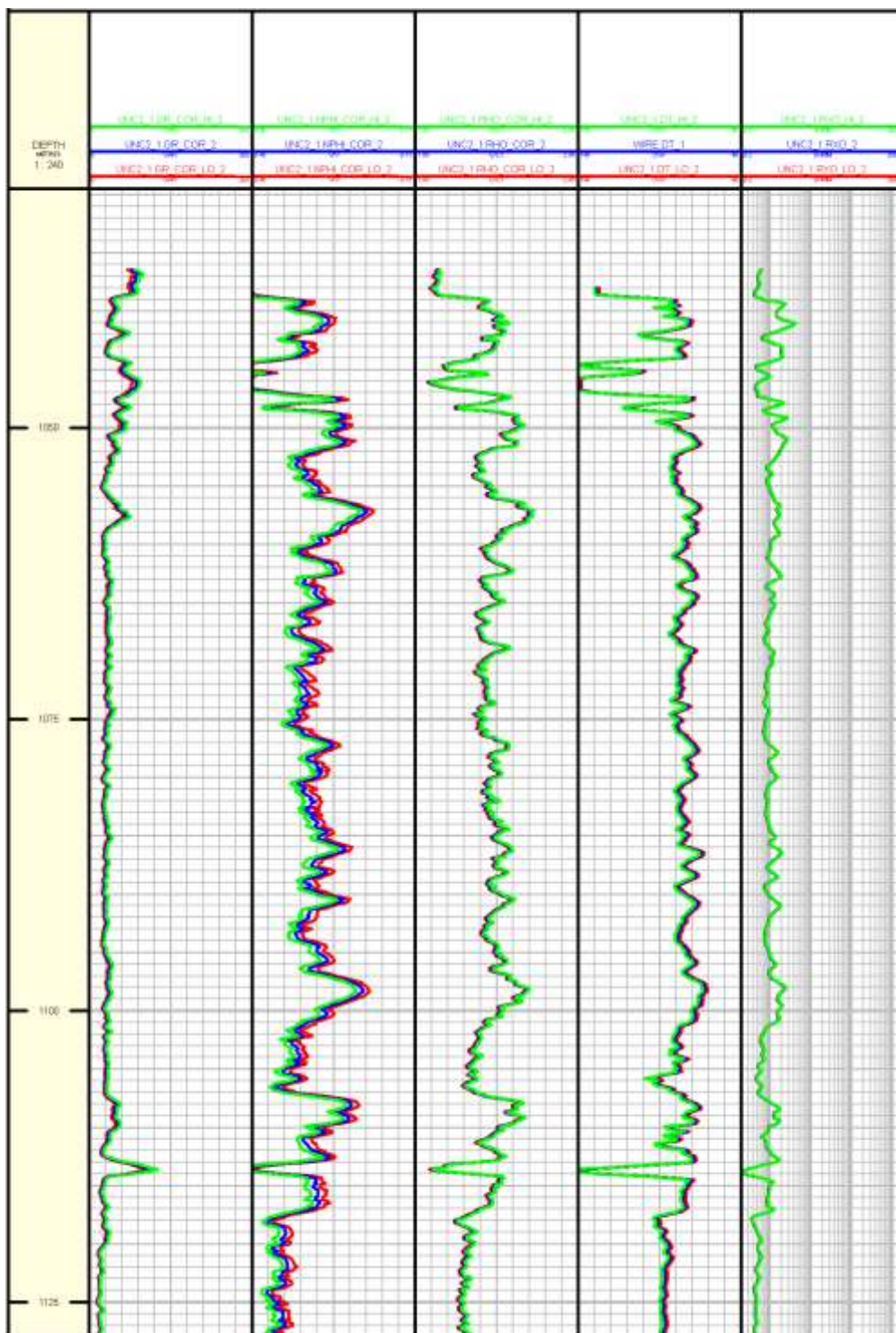
جهت تصحیح نگارهای پتروفیزیکی، میزان خطای هر یک از نگارها در بازه‌های مثبت و منفی در نظر گرفته می‌شود و بر اساس چگالی گل حفاری، قطر چاه و میزان ریختگی دیواره چاه در تکرارهای مورد نظر برای نگارهای پتروفیزیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سپس با محاسبه مقادیر تصحیح شده و مقادیر حداکثر و حداقل نگارهای پتروفیزیکی، عدم قطعیت نگارها برای محاسبه یا تعیین پارامترهای پتروفیزیکی تعیین می‌گردد. عدم قطعیت نگارهای پتروفیزیکی در فواصلی از چاه که ریختگی بیش‌تری دارد، افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از مرحله پیش محاسباتی در شکل (۳-۸۶) و همچنین نگارهای تصحیح شده و مقادیر حداقل و حداکثر آنها برای چاه مورد نظر در شکل (۳-۸۷) نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که نگارهای اصلی با رنگ آبی و نگارهای حداقل و حداکثر آنها به ترتیب با رنگ‌های قرمز و سبز نشان داده شده است.

در شکل (۳-۸۶) از چپ به راست، ستون اول نگارهای اشعه گاما، کالیپر و سائز مته، ستون دوم عمق، ستون‌های سوم تا پنجم مقاومت گل، کیک گل و فیلتره گل به همراه مقادیر حداقل و حداکثر آنها، ستون ششم نگارهای درجه حرارت و فشار سازند همراه با مقادیر حداقل و حداکثر آنها و ستون هفتم نگار رسانندگی ناحیه کم عمق سازند به همراه مقادیر حداقل و حداکثر آنها را نمایش می‌دهند.



شکل ۳-۸۶- نتایج مرحله پیش محاسباتی با استفاده از آنالیز مونت کارلو در چاه W-3

همان طور که شکل (۳-۸۶) نشان می دهد، اختلاف میان نگار مربوط به فشار سازندی و مقادیر نگارهای حداقل و حداکثر آنها بیشتر از این اختلاف در سایر نگارها با مقادیر حداقل و حداکثر آنها است. لذا بیش ترین میزان عدم قطعیت مربوط به این نگار است. نتایج حاصل از مرحله پیش محاسباتی به منظور انجام تصحیحات محیطی در مرحله بعد استفاده می شود.



شکل ۳-۸۷- نگارهای پتروفیزیکی تصحیح شده به روش مونت کارلو در چاه W-3
در شکل (۳-۸۷) ستون‌ها به ترتیب از چپ به راست نشان‌دهنده عمق، نگارهای اشعه گاما، نوترون، چگالی، صوتی و مقاومت ویژه ناحیه کم عمق، همراه با عدم قطعیت هر یک از این نگارها به صورت

مقادیر حداقل و حداکثر محاسبه شده به روش آنالیز مونت کارلو می‌باشد. میانگین مقادیر تصحیح شده و مقادیر حداقل و حداکثر برای هر یک از این نگارهای پتروفیزیکی در جدول (۱۱-۳) ارائه شده است.

جدول ۱۱-۳- میانگین مقادیر تصحیح شده و مقادیر حداقل و حداکثر برای هر یک از این نگارهای پتروفیزیکی

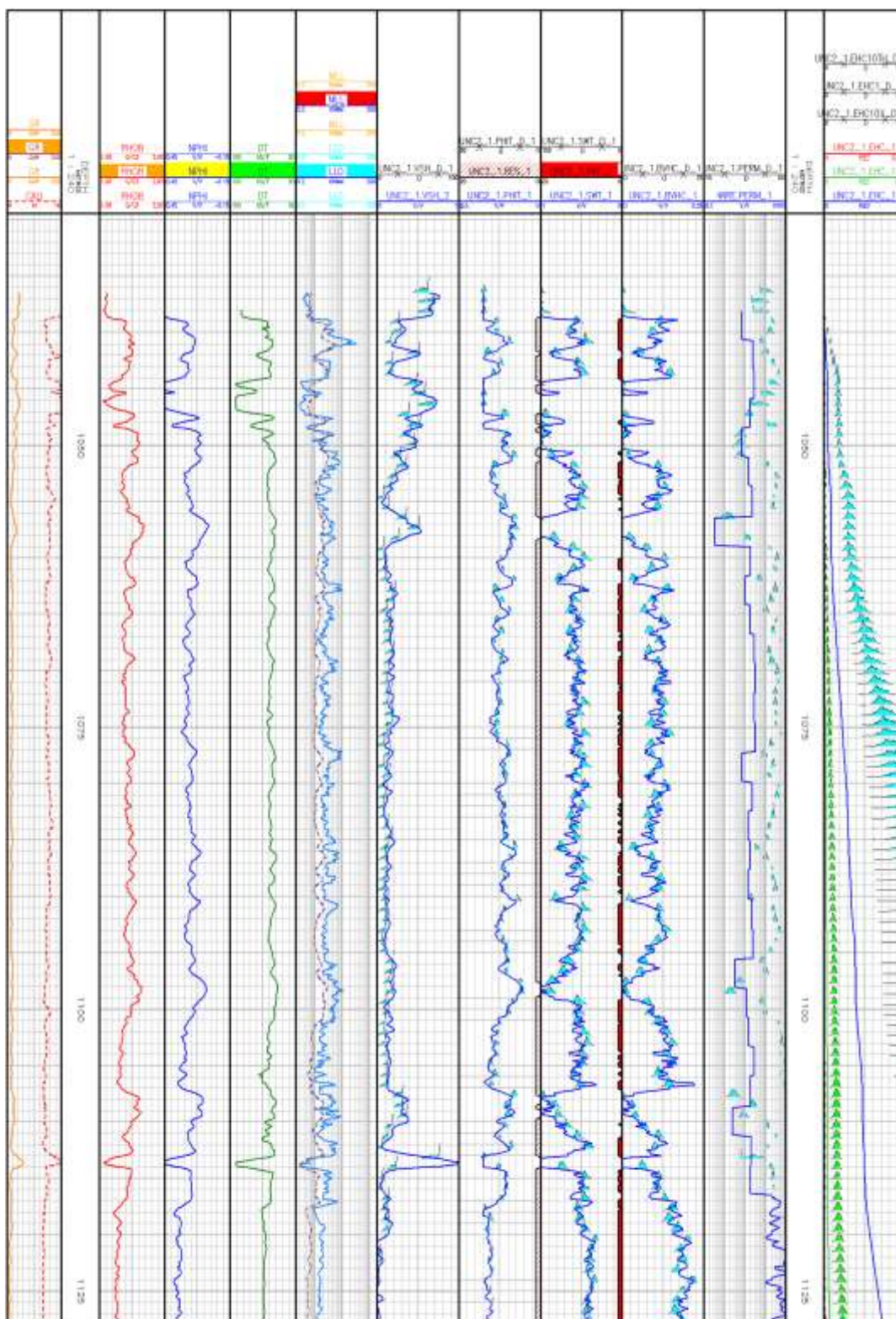
Log	value	Log	value
NPHI-COR	0.2517	DT	74.9146
NPHI-COR-HI	0.2778	DT-HI	81.2794
NPHI-COR-LO	0.2255	DT-LO	78.2314

Log	value	Log	value
GR	24.6282	RHOB	2.392
GR-HI	27.0019	RHOB-HI	2.4021
GR-LO	22.4816	RHOB-LO	2.3816

در این مرحله، همان‌طور که شکل (۸۷-۳) و همچنین جدول (۱۱-۳) نشان می‌دهند، بیش‌ترین میزان عدم قطعیت مربوط به نگار تخلخل نوترون می‌باشد.

۱۲-۳- محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی به روش آنالیز مونت کارلو

پارامترهای پتروفیزیکی با استفاده از نتایج حاصل از مرحله قبل، یعنی به کمک نگارهای تصحیح شده و مقادیر حداقل و حداکثر آنها محاسبه می‌شوند. معادلات مورد استفاده در این مرحله، معادلات به کار رفته در مرحله ارزیابی قطعی است. تعداد تکرارهای آنالیز مونت کارلو در این مرحله نیز ۵۰۰ در نظر گرفته شده است. در این مرحله عدم قطعیت و یا توزیع متغیرهای ورودی و مقادیر نگارهای پتروفیزیکی، تعیین می‌شود. نتایج حاصل از آنالیز مونت کارلو به منظور محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی در مخزن مورد مطالعه در توالی چاه مورد نظر، در شکل (۸۸-۳) نمایش داده شده است.



شکل ۳-۸۸- پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده به روش آنالیز مونت کارلو در چاه W-3

در شکل (۳-۸۸) از سمت چپ، ستون‌های اول و سوم تا ششم به ترتیب، مقادیر تصحیح شده و حداقل و حداکثر نگارهای پتروفیزیکی به کار رفته در محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی می‌باشند. ستون دوم عمق و ستون‌های هفتم تا انتها به ترتیب حجم شیل، تخلخل، اشباع آب به همراه زون‌های تولیدی، حجم هیدروکربور، تراوایی و مقدار ستون هیدروکربور را نشان می‌دهند. نتایج ارزیابی صورت گرفته در این مرحله با مقادیر توزیع نامتقارن نگارهای پتروفیزیکی به صورت توزیع مثلی در نظر گرفته شده است.

پارامترهای مخزنی به دست آمده در این مرحله به خصوص دو پارامتر مورد نظر در این مطالعه (تخلخل و تراوایی) با مقادیر توزیع مثلی هم‌خوانی بالایی داشته که بیانگر دقت آنالیز مونت کارلو در محاسبه این دو پارامتر است. میانگین پارامترهای پتروفیزیکی به همراه مقادیر قطعی (1P)، احتمالی (2P) و ممکن (3P) محاسبه شده در این مرحله در جدول (۳-۱۲) ارائه شده است.

جدول ۳-۱۲- میانگین پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در مخزن مورد مطالعه

Parameter	value	Parameter	value
PERM	468.1218	PHIE	0.1808
PERM-1P	521.9026	PHIE-1P	0.1867
PERM-2P	480.7628	PHIE-2P	0.1831
PERM-3P	544.0291	PHIE-3P	0.1907

Parameter	value	Parameter	value
Vsh	0.2267	SWE	0.5345
Vsh-1P	0.1795	SWE-1P	0.5629
Vsh-2P	0.2267	SWE-2P	0.5271
Vsh-3P	0.1694	SWE-3P	0.5104

Parameter	value	Parameter	value
EHC	8.877	BVHC	0.212
EHC-1P	7.5022	BVHC-1P	0.2082
EHC-2P	9.4309	BVHC-2P	0.2115
EHC-3P	10.8388	BVHC-3P	0.2144

با توجه به جدول (۱۱-۳) مشاهده می‌شود که اختلاف میانگین مقادیر تراوایی قطعی، احتمالی و ممکن بیش‌تر از این اختلاف برای سایر پارامترها می‌باشد که این موضوع بیانگر بالا بودن میزان خطای تخمین نگار تراوایی و بالا بودن عدم قطعیت آن در چاه مورد مطالعه است. با توجه به اینکه این نگار را نمی‌توان از روی نگارهای دیگر به طور مستقیم تخمین زد و مقادیر آن از طریق روابط تجربی محاسبه شده، این اختلاف مقادیر (عدم قطعیت) قابل توجیه و امری طبیعی است زیرا مطمئن‌ترین داده‌های مربوط به تراوایی از طریق مغزه‌ها و یا از طریق اطلاعات نگار تشدید مغناطیسی هسته‌ای^۱ به‌دست می‌آید.

از طرفی کم‌ترین اختلاف میان مقادیر قطعی، احتمالی و ممکن مربوط به پارامتر تخلخل مؤثر است که بیانگر بالا بودن دقت محاسبه و پایین بودن میزان عدم قطعیت آن در چاه مورد مطالعه می‌باشد. علت پایین بودن عدم قطعیت در پارامتر تخلخل، وجود نگارهای تخلخل شامل چگالی، صوتی و نوترون برای محاسبه مستقیم این پارامتر می‌باشد.

^۱ Nuclear magnetic resonance (NMR)

فصل چهارم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱- بحث و نتیجه گیری

نتایج مدل سازی تخلخل مؤثر با استفاده از دو روش کریجینگ و SGS حاکی از بالا بودن میزان تخلخل مؤثر در بخش مرکزی میدان مورد مطالعه و خصوصاً در محل چاه های W-1، 1P، 2P، 5P و W-2 است. مدل سازی تخلخل مؤثر در نرم افزار Petrel با استفاده از روش شبکه های عصبی مصنوعی نشان دهنده این موضوع است که میزان تخلخل مؤثر در بخش های مرکزی میدان و در قسمت شمال غرب به سمت جنوب شرق میدان مورد مطالعه بالا می باشد و در محل چاه های W-1، W-2 و 1P در حدود ۲۰ تا ۲۳ درصد است.

واحدهای جریان هیدرولیکی در یک میدان هیدروکربنی در جنوب ایران، با استفاده از روش های رخساره های الکتریکی، شاخص زون جریان و شاخص کیفیت مخزنی تعیین شده و سپس رابطه تخلخل-تراوایی در این میدان مورد بررسی قرار گرفت. واحدهای جریانی به دست آمده از روش رخساره های الکتریکی بیانگر این موضوع است که در هر واحد جریان به ازای یک مقدار مشخص تراوایی، تخلخل افزایش می یابد. در واقع این واحدها تغییرات تخلخل را به ازای مقادیر مشخص تراوایی بررسی می کنند. برای واحدهای جریانی به دست آمده از روش شاخص زون جریانی نیز این قضیه صادق است. تفاوت این دو روش در تعداد واحدهای تخمین زده شده می باشد.

در روش رخساره های الکتریکی با وجود این که برای هر سه چاه مورد مطالعه تعداد ۸ رخساره الکتریکی یا به عبارت دیگر ۸ واحد جریانی تعیین شده است، با بررسی داده های ورودی مشخص شد که در برخی از این واحدها، نگارهای تخلخل، در دسترس یا موجود نبوده است، ولی با توجه به این که در این روش علاوه بر نگار تخلخل، نگارهای دیگری هم چون نگارهای صوتی، اشعه گاما، تخلخل نوترونی و چگالی نیز در خوشه بندی تأثیرگذار بوده اند، پس این عدم تطابق بین تعداد رخساره های الکتریکی و تعداد واحدهای جریانی در نمودارهای تخلخل- تراوایی هر چاه قابل توجیه است. با توجه به نمودارهای

تخلخل - تراوایی برای واحدهای جریان هیدرولیکی به دست آمده از روش رخساره‌های الکتریکی (شکل - های (۵۸-۴) تا (۶۰-۴))، واحد HFU 5 در چاه W-1 و واحد HFU 6 در چاه W-3، به دلیل عدم وجود داده‌های تخلخل حذف شده‌اند.

در روش شاخص زون جریان، از طریق رسم نمودار احتمال لگاریتم شاخص زون جریان و در روش شاخص کیفیت مخزنی، از طریق رسم نمودار لگاریتمی شاخص کیفیت مخزنی در مقابل تخلخل نرمال شده، تعداد واحدهای جریانی مشخص می‌شوند که با توجه به روابط ذکر شده در بخش (۴-۶-۱)، شاخص زون جریانی و شاخص کیفیت مخزنی خود تابعی از تخلخل و تراوایی هستند. بنابراین در این روش‌ها به صورت خودکار بخش‌هایی از مخزن که فاقد داده‌های تخلخل و تراوایی هستند، از روند مطالعه خارج شده و واحدهای به دست آمده تنها ناشی از بخش‌هایی از مخزن که دارای داده‌های تخلخل و تراوایی هستند، می‌باشد. بنابراین تعداد واحدهای جریانی حاصل از نمودار احتمال و نمودار شاخص کیفیت مخزنی و واحدهای موجود در نمودارهای تخلخل - تراوایی یکسان است.

با توجه به مطالب ذکر شده بررسی واحدهای جریانی با استفاده از روش‌های مختلف به منظور توصیف مشخصات پتروفیزیکی مخزن و ارزیابی کیفیت مخزنی امری ضروری است.

واحدهای جریان هیدرولیکی با استفاده از روش رخساره‌های الکتریکی در بخش‌هایی از مخزن نیز که فاقد داده‌های تخلخل و تراوایی بوده، با به کارگیری داده‌های نگارهای صوتی، اشعه گاما، تخلخل نوترونی و چگالی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اما در روش شاخص زون جریان و روش شاخص کیفیت مخزنی، واحدهای جریان هیدرولیکی در بخش‌هایی از مخزن که فاقد داده‌های تخلخل و تراوایی می‌باشند، قابل تعیین یا بررسی نیستند. بنابراین با مقایسه این سه روش می‌توان ارزیابی بهتری از واحدهای جریان هیدرولیکی و رابطه تخلخل - تراوایی در کل مخزن ارائه نمود.

عدم قطعیت نگارهای پتروفیزیکی به روش آنالیز مونت کارلو در یکی از چاههای میدان مورد مطالعه محاسبه شد که بر اساس آن پایین ترین میزان عدم قطعیت مربوط به نگار چگالی و بالاترین میزان عدم قطعیت مربوط به نگار تخلخل نوترونی می باشد.

پارامترهای پتروفیزیکی به روش آنالیز مونت کارلو به همراه مقادیر قطعی، احتمالی و ممکن محاسبه گردید و بر اساس آن بیشترین اختلاف میان این مقادیر، مربوط به پارامتر تراوایی و کمترین میزان اختلاف مربوط به پارامتر تخلخل به دست آمده است.

۴-۲- پیشنهادها

با توجه به نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر، می توان پیشنهادهای زیر را برای ادامه این تحقیق توصیه نمود:

۱- در این تحقیق، مدل سازی تخلخل، ارائه مدل تخلخل- تراوایی و تعیین میزان عدم قطعیت تخلخل و تراوایی بر اساس یک سری داده های محدود یا نسبتاً کم لرزه نگاری و پتروفیزیکی در یکی از میادین هیدروکربوری جنوب ایران انجام شده است و بنابراین، نتایج به دست آمده از دقت پایینی برخوردارند. به همین دلیل، توصیه می شود از داده های لرزه نگاری و پتروفیزیکی بیش تری برای به دست آوردن و بهبود نتایج استفاده گردد مخصوصاً با توجه به این که چاه های بیش تری در میدان مورد مطالعه وجود دارد و در صورت لحاظ نمودن نگارهای پتروفیزیکی حاصل از آن چاه ها می توان به نتایج بهتری در میدان مورد مطالعه دست یافت.

۲- با لحاظ کردن داده های تخلخل حاصل از مغزه ها، مدل سازی تخلخل و توزیع تخلخل در میدان مورد مطالعه با دقت و اطمینان بالاتری صورت گیرد و نتایج حاصل با نتایج به دست آمده از این تحقیق مقایسه گردد.

۳- از آنجا که پارامتر تراوایی ارتباط مستقیم با میزان تولید هیدروکربور دارد و حساس‌ترین پارامتر پتروفیزیکی است، به منظور کاهش میزان عدم قطعیت آن به حداقل مقدار، بهتر است با استفاده از نگار تشدید مغناطیس هسته‌ای برآورد گردد.

۴- همچنین در صورت وجود داده‌های چاه‌آزمایی مانند داده‌های حاصل از آزمایش اندازه‌گیری فشار با زمان در چاه‌ها و نیز با در نظر گرفتن نتایج تعیین تراوایی حاصل از آنالیز مغزه‌ها (در صورت موجود بودن)، تعیین تراوایی به منظور بهره‌برداری و تولید و همچنین به منظور تعیین محل حفر چاه‌های تولیدی و ارزیابی‌های اقتصادی با دقت مطمئن‌تر و بالاتری انجام شود.

۵- از آنجایی که فرآیند تعیین عدم قطعیت پارامترهای پتروفیزیکی با استفاده از آنالیز مونت کارلو در نرم‌افزار IP کمی متفاوت از نرم‌افزار Geolog است بنابراین توصیه می‌شود نتایج تعیین عدم قطعیت به‌دست آمده از این دو نرم‌افزار با یکدیگر مقایسه گردد.

منابع

- ۱- مؤمن زاده، ح.، کمالی، م. ر. و کدخدایی، ع.، (۱۳۹۳)، "مدل سازی سه بعدی تخلخل مؤثر سازند سروک در یکی از میادین نفتی جنوب ایران"، هجدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- رحیمی دلخانی، ا. و کشاورز فرج خواه، ن.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی روش های تخمین تخلخل با تلفیق داده های چاه پیمایی و لرزه نگاری"، نهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن ایران، بیرجند، دانشگاه بیرجند.
- 3- Amini, A., Puranfar, A. and Imani, M., (2011), "Application of back-propagation and generalized regression artificial neural networks in prediction of porosity from wire line log data and core plug analysis: case study from the Gachsaran oilfield", **Journal of Environmental Geology**, 17, 5, pp. 11.
- ۴- مومن زاده، ح.، (۱۳۹۳)، "مدل سازی سه بعدی استاتیکی رخنه های الکتریکی میدان یاران جنوبی"، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.
- ۵- حسنی پاک، ع. ا.، (۱۳۸۹)، **زمین آمار (ژئواستاتیسیتیک)**، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- 6- Tiab, D. and Donaldson, E. C., (2012), **Petrophysics, Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties**, Third edition, pp.107-121.
- ۷- هنربخش، ا. ر.، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "تعیین میزان عدم قطعیت تخمین پارامترهای پتروفیزیکی با استفاده از آنالیز مونت کارلو (مطالعه موردی یکی از مخازن هیدروکربوری جنوب ایران)"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود.
- ۸- اکور، ای. جی. پیترز، (۱۳۹۱)، **پتروفیزیک (خواص فیزیکی سنگ های مخزن)**، شبانی نژاد، م.، باقری پور حقیقی، م.، سینایی، م. و کلانتری اصل، ع.، چاپ اول، انتشارات راه نوین.
- 9- Zhao, S., Zhou, Y., Wang, M., Xin, X., and Chen, F., (2014), "Thickness, porosity, and permeability prediction: comparative studies and application of the geostatistical modeling in an Oil field", *Environmental Systems Research* 2014, 3, 7, <http://www.environmentalsystemsresearch.com/content/3/1/7> pp. 24.
- 10- Lopez, A. G. T., Marchesi, V. R., Domingues, D. L. P., Fontoura, S. A. B., Gonçalves, C. J. and Alcure, M. F., (2014), "3D Geological Modeling of Subsurface for Drilling Purposes Using Neural Networks and Fuzzy Logic", *Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure, SBMR 2014 – ISRM Specialized Conference* 09-13 September, Goiania, Brazil, pp. 9.

11- Xu, Q., Guo, Y., Zhang, Y., Li, S., Zhang, F., Ma, J., Qin, G. and Hu, J., (2015), "Seismic Reservoir Characterization of the Low Porosity and Permeability Reservoir – A Case Study outside Daqing Oilfield, China", **International Journal of Engineering Practical Research**, 1, 4, pp 67-74.

۱۲- شکرانه، ف. و روستایی، س.، (۱۳۸۸)، "ارزیابی خصوصیات پترفیزیکی مخزن و تعیین نوع تخلخل در یکی از چاه‌های نفتی خلیج فارس"، **ماهنامه اکتشاف و تولید**، شماره ۶۴، ص ۴۹-۵۵.

۱۳- موسوی، س.ا.، (۱۳۹۱)، "تخمین تخلخل نگار NMR از نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی در میدان گازی پارس جنوبی"، **ماهنامه اکتشاف و تولید**، شماره ۸۸، ص ۷۲-۷۷.

۱۴- پیامی، ک.، کدخدایی، ع.، حمدی، ب.، حسنی گیو، م. و رشیدی نژاد، آ.، (۱۳۹۲)، "مدل‌سازی سه بعدی تخلخل و تراوایی با استفاده از روش‌های زمین‌آماري در یکی از میادین گازی در خلیج فارس"، **مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته**، اهواز، شماره ۹، ص ۲۰-۳۰.

۱۵- صادقی، م. و فتحیان پور، ن.، (۱۳۹۰)، "استفاده از شبکه عصبی برای تخمین تخلخل سنگ‌ها به کمک داده‌های چاه‌نگاری و مقایسه آن با روش‌های لاگ نوترون و لاگ چگالی"، **پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم**.

16- Amaefule J. O., Altunbay M., Tiab D., Kersey D. G. & Kedan D. K., (1993), "Enhanced Reservoir Description: Using Core and Log Data to Identify Hydraulic (Flow) Units and Predict Permeability in Uncored Intervals/Wells", **SPE Annual Technical Conference and Exhibition**, Houston, Texas, pp 16.

17- Fahad, A., and Stephen, A., (2000), "Permeability Estimation Using Hydraulic Flow Units in a Central Arabia Reservoir", **SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Dallas**, Texas, pp 1-4.

18- Abed, A. A., (2014), "Hydraulic flow units and permeability prediction in a carbonate reservoir, Southern Iraq from well log data using non-parametric correlation", **International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering**, Vol. 3, Issue 1, pp 480-486.

۱۹- ذاکری، م.، موسوی حرمی، س. ر.، خانه‌باد، م. و محبوبی، ا.، (۱۳۹۳)، "تعیین واحدهای جریان‌ی و بررسی کیفیت مخزنی آنها در مخزن بنگستان میدان نفتی کوپال"، **هشتمین همایش ملی تخصصی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور**.

۲۰- ایزدی، م. و خراط، ر.، (۱۳۹۱)، "محاسبه تراوایی در چاه‌های فاقد مغزه با استفاده از مفهوم واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی"، **ماهنامه اکتشاف و تولید**، شماره ۹۸، ص ۶۵-۶۸.

۲۱- نوریان، ی.، موسوی حرمی، س. ر.، محبوبی، ا.، کدخدایی، ع. و عبدالحی موسوی، س. ع. ا.، (۱۳۹۳)، "تفکیک گروه‌های سنگی با استفاده از واحدهای جریان و روش خوشه‌بندی: مطالعه موردی، مخزن بنگستان در میدان منصوری"، **مجله چینه‌شناسی و رسوب‌شناسی**، ۹۵ (۲۴)، ۱۹۹-۲۰۸.

22- Abbaszadeh, M., Fujii, H. & Fujimoto, F., (1996), "Permeability prediction by hydrolic flow units theory and applications", **SPE Formation Evaluate**, v.11, pp 263-271.

23- Serra, O and Abbott, H. T., (1982), "The Contribution of Logging Data to Sedimentology and Stratigraphy", **Society of Petroleum Engineers Journal**, 1, 22, pp. 15.

24- Ye S. J., and Rabiller P., (2000), "A new tool for electro-facies analysis: multi-resolution graph-based clustering", SPWLA 41st Annual Logging Symposium.

۲۵- کدخدائی ایلخچی، ع.، (۱۳۹۳)، "بررسی رخساره‌های الکتریکی مخزنی در قالب واحدهای جریان هیدرولیکی در میدان ویچرنج مربوط به حوضه پرت واقع در استرالایای غربی"، **مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی**، ۱، ۲۲-۱.

۲۶- سلیمانی، ب.، غبیشاوی، ع. و توسلی کجانی، ا. ر.، (۱۳۹۲)، "رخساره‌های الکتریکی و انطباق آنها با تراکم شکستگی‌ها در مخزن آسماری میدان نفتی لالی"، **مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته**، ۱۰.

۲۷- فرازانی، ن.، خوشبخت، ف. و توکلی، و.، (۱۳۹۳)، "بهبود تعیین نوع رخساره‌های الکتریکی با تلفیق لاگ‌های چاه‌پیمایی و تصویرگر در سازند آسماری با استفاده از روش خوشه‌بندی گرافیکی MRGC"، **مجله پژوهش نفت**، ۸۳.

۲۸- صالحی، م. ع.، (۱۳۹۴)، "تلفیق روش‌های مختلف در تعیین گونه‌های سنگی پتروفیزیکی برای بخش بالایی سازند سورمه در یکی از میادین نفتی بخش مرکزی خلیج فارس"، **مجله پژوهش نفت**، ۸۴، ۷۲-۸۷.

۲۹- زحمت‌کش، ا.، سلیمانی، ب.، غبیشاوی، ع. و شیخ‌زاده، ح.، (۱۳۹۴)، "شناسایی و تفسیر رخساره‌های الکتریکی و استفاده از آن جهت پیش‌بینی رخساره‌های رسوبی"، در مخزن آسماری یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران، **مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته**، ۱۶.

30- Khoshbakht, F. and Mohammadnia, M., (2012), "Assessment of Clustering Methods for Predicting Permeability in a Heterogeneous Carbonate Reservoir", **Journal of Petroleum Science and Technology**, 2, 2, pp 50-57.

31- Bastani Karizak, A. and Nabi Bidhendi, M., (2015), "Determination of rock typing in one of carbonate reservoirs in South of Iran by using of MRGC method and hydraulic flow", **Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)**, **6**, **4**, pp 571-575.

32- Rastegarnia, M, Sanati, A. and Javani, D., (2016), "A Comparative Study of 3D FZI and Electrofacies Modeling Using seismic attribute analysis and neural network technique: A case study of Cheshmeh-Khosh Oil field in Iran", *Petroleum xxx*, In press, pp 1-11.

33- Ehrenberg, S. N. and Nadeau, P. H., (2005), "Sandstone vs. carbonate petroleum reservoirs: A global perspective on porosity-depth and porosity-permeability relationships", **AAPG Bulletin**, **4**, **89**, pp. 435-445.

34- Ehrenberg, S. N., Eberli, G. P., Keramati, M. and Moallemi, S. A., (2006), "Porosity-permeability relationships in interlayered limestone-dolostone reservoirs", **AAPG Bulletin**, **1**, **90**, pp. 91-114.

35- Jamialahmadi, M., Javadpour, F.G., (1999), "Relationship of permeability, porosity and depth using an artificial neural network", **Journal of Petroleum Science and Engineering**, **26**, pp. 235-239.

36- Kennedy, J., Pujiyono, Cox, A. and Aldred, R., (2010), "Using quantified 'Model Based' petrophysical uncertainty to aid in conflict resolution", *SPWLA 51st Annual Logging Symposium*.

37- Kamali, M.R., Omidvar, A. and Kazemzadeh, E., (2013), "3D Geostatistical Modeling and Uncertainty Analysis in a Carbonate Reservoir, SW Iran", **Journal of Geological Research**, pp. 7.

۳۸- سیدی، پ. س. و نوذری، ا.، (۱۳۹۴)، "مدل سازی خواص پتروفیزیکی و بررسی عدم قطعیت و آنالیز حساسیت در یکی از مخازن نفتی جنوب ایران"، چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی، هم اندیشان انرژی کیمیا، مرکز همایش های صدا و سیما، تهران.

۳۹- جباری، م.، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "تحلیل ساختاری و آنالیز شکستگی مخزن در میدان نفتی بلال با تکیه بر شکستگی های زیر سطحی"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

۴۰- شعبانی، ف.، بشیری، غ. ر.، کرامتی، م. و ایزدخواه، م.، (۱۳۹۰)، شبیه سازی پارامترهای پتروفیزیکی مخازن هیدروکربنی با استفاده از روش SGS در یکی از میادین جنوب غرب ایران، **مجله پژوهش نفت**، سال بیست و یکم، شماره ۶۶، ۵۳-۶۶.

۴۱- خسروی، ی. و عباسی، ا.، (۱۳۹۴)، **تحلیل فضایی داده های محیطی با زمین آمار**، چاپ اول، نشر آذر کلک، زنجان.

۴۲- پیامنی. ک، (۱۳۹۱)، مدل سازی سه بعدی تخلخل، تراوایی و رخساره ها با استفاده از روش های زمین آماری در میدان گازی پارس جنوبی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامس واحد تهران شمال.

43- Al-Baldawi, B. A., Nasser, M. E., (2013), "Investigation of Reservoir Flow Unit and Rock Types of Mishrif Formation in Amara Oil Field and Prediction of Performance", Proceeding of the 2nd International Conference on Iraq Oil Studies, 10-24.

44- Carman, P.C., (1937), "Fluid Flow Through A Granular Bed", Trans. **Inst. Chem. Eng.**, **15**, pp. **150-156**.

45- Orodu, O. D., Tang, Z. and Fei, Q., (2009), "Hydraulic (Flow) Unit Determination and Permeability Prediction: A Case Study of Block Shen-95", Liaohe Oilfield, North-East China, **Journal of Applied Sciences**, **9**, **10**, pp **1801-1816**.

46- Paradigm Company, Electrofacies Modeling: Using Multi-Resolution Graph-based Clustering (MRGC) Analysis in a Carbonate Field in Venezuela, www.pdgm.com/resource-library/customer-stories/.

47- Verbiest, N., Cornelis, Ch. and Jensen, R., (2012), Fuzzy Rough Positive Region based Nearest Neighbour Classification, **IEEE World Congress on Computational Intelligence**, Australia, pp **10-15**.

۴۸- عارفیان، ف. و افتخاری، م.، (۱۳۹۲)، روش جدید K نزدیکترین همسایه فازی و ناهموار برای طبقه بندی نیمه نظارتی، مهندسی کامپیوتر و توسعه پایدار با محوریت شبکه های کامپیوتری، مدل سازی و امنیت سیستم ها، مؤسسه آموزش عالی خاوران.

۴۹- عزمی، م.، عراقی نژاد، ش.، (۱۳۹۰)، توسعه روش رگرسیون K- نزدیک ترین همسایگی در پیش بینی جریان رودخانه، مجله آب و فاضلاب، ۲، ۱۰۸-۱۱۹.

۵۰- کاظم زاده، ع.ا.، نبی بیدهندی، م.، رضایی، م. ر.، (۱۳۸۷)، مطالعه مقاومت ویژه سازندی با استفاده روش واحدهای جریان هیدرولیکی در مخازن کربناته، **مجله علوم دانشگاه تهران**، جلد ۳۴، شماره ۱، ۱۳-۲۱.

51- Geolog Paradigm Help, (2011.3), "Determin uncertainty analysis technical reference".

52- Zhang, G., "Estimating Uncertainties in integrated reservoir studies", (2003), submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.

۵۳- عرب سالاری، س.، محمد، م. ح. و موحد، ب.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی خواص مخزنی سازند فلهیان در میادین واقع در دشت آبادان (دارخوین و جفیر)"، **ماهنامه علمی- ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز**، شماره ۱۰۳.

54- Poupon, A. and Leveaux, J., (1971), "Evaluation of Water Saturation in Shaly Formations", SPWLA 12th Annual Logging Symposium, Dallas, Texas.

Abstract:

The spatial distribution of petrophysical parameters in a hydrocarbon reservoir is one of the most important effective factors for description of the reservoir properties. The reservoir modeling is an integrated engineering and geological comprehensive modeling. A comprehensive reservoir model requires knowledge of geology, rock and fluid properties, fluid flow in the reservoir, mechanism of production, drilling and completion, and so on. In order to characterize the reservoir, well log and seismic data are usually used. Well data are sufficiently accurate but they cover a limited space of the reservoir. Considering the geological complexity of the reservoir, the well data or information can not simply be extrapolated to the entire reservoir. On the other hand, seismic data are less accurate but cover a large area of the reservoir. In this study, first, the porosity has been modeled in the reservoir zone of the study wells using well data and seismic information with the help of geostatistical methods by the Petrel software, and also, with the help of the method of artificial neural networks (ANNs) by the Hampson Russell suite (HRS) software. Then, the results of these two methods have been compared.

For the development of hydrocarbon fields, a more and better comprehensive study and management of the reservoir is essential. One of useful methods in the classification of reservoir rocks and separation of productive and non-productive zones is the introduction of the reservoir zones based on the concept of hydraulic flow units using cluster analysis that presents a new concept to define the rock types and the reservoir zones, and removes the disadvantages of geological and petrophysical common zoning. The hydraulic flow unit is a specific volume of reservoir in which geological and petrophysical properties of the reservoir are the same. Accordingly, the accurate prediction of hydraulic flow units in a reservoir is a major task to achieve reliable petrophysical descriptions of the reservoir. There is normally no simple relationship between porosity and permeability. Thus, determination of hydraulic flow units is a suitable method for evaluation of permeability-porosity relationship in a reservoir. In this research, to present permeability-porosity relationship, we, first, determine hydraulic flow units using the methods of flow zone indicator (FZI), electrofacies and reservoir quality index (RQI) in three wells of the study hydrocarbon field, and then, obtain and analyze permeability-porosity relationship in each of the hydraulic flow units. The results of this study indicate the equal number of hydraulic flow units in both FZI and electrofacies methods, but number of hydraulic flow units in RQI method is more than the other two methods. Furthermore, the number of hydraulic flow units in one of wells is different from the other two wells. In addition, the results obtained from investigation of permeability-porosity relationship using the above-mentioned methods in the hydrocarbon field indicate that the FZI method establishes this relationship with a higher correlation coefficient compared to the electrofacies and RQI methods. Moreover, determination of hydraulic flow units from well logging data using the electrofacies method is possible even if the porosity and permeability data are not available.

Since one of the most important steps in reservoir studies is to accurately compute petrophysical parameters, and also, to reduce their computation errors, the measurement accuracy of well logging tools and the existence of uncertainty in the results are important factor in increasing the accuracy of the computation of petrophysical parameters. In final

stage of this study, the reservoir petrophysical parameters in one of the wells of the study field have been calculated using deterministic method. The results have shown high reservoir quality in the well. Then, the uncertainties of the computed petrophysical logs using Monte Carlo analysis have been calculated. Eventually, using the uncertainty values of the petrophysical logs in the study reservoir, petrophysical parameters have been calculated using Monte Carlo analysis and proved (1P), probable (2P) and possible (3P) values have been estimated for each of these petrophysical parameters. Using the differences between these values, the uncertainty in each petrophysical parameter has been investigated, and based on this investigation, the maximum and minimum amounts of uncertainty have been obtained that are related to permeability and porosity parameters, respectively.

Key words: Porosity and permeability modeling, Hydraulic flow units, Flow zone indicator (FZI), Electrofacies, Reservoir quality index (RQI), Uncertainty, Monte Carlo analysis.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

**Porosity modeling, presentation of porosity - permeability model
determination of the porosity and permeability of uncertainty using
Monte Carlo method in one of hydrocarbon fields in south of Iran**

Somayeh Zamanpour

Supervisors:

Dr. Abolghasem Kamkar Rouhani

Dr. Seyed Reza Ghavami Riyabi

February 2017