دانشکده‌ی مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد

تفکیک انواع تخلخل‌ها از تخلخل حفره‌ای با استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی

یوسف عسگری نژاد

اساتید راهنما:

دکتر بهزاد تخم‌چی

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

استاد مشاور:

دکتر کاوه کاوسی

شهریور ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده‌ی مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه مهندسی اکتشاف

تفکیک انواع تخلخل‌ها از تخلخل حفره‌ای با استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی

یوسف عسگری‌نژاد

اساتید راهنما:

دکتر بهزاد تخم‌چی

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

استاد مشاور:

دکتر کاوه کاوسی

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۰

پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده::: مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه: اکتشاف

پایان نامه کارشناسی ارشد::: آقای یوسف عسگری نژاد

تحت عنوان:

تفکیک انواع تخلخل‌ها از تخلخل حفره‌ای با استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی

در تاریخ ۱۳۹۰/۰۶/۲۳ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه -- مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
دکتر بهزاد تخم‌چی		دکتر کاوه کاوسی	
دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی		-	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
دکتر علی مرادزاده		دکتر علیرضا عرب امیری	
دکتر علیرضا الفی			

با تحیت و احترام؛

تقدیم به پدر، مادر و برادران مهربانم

من لم یشکر المخلوق، لم یشکر الخالق

تشکر و قدردانی

خداوند متعال را سپاسگزارم از این‌که توانستم این پایان‌نامه را به اتمام برسانم. همچنین خدا را شاکرم که در حین انجام این پایان‌نامه افراد خبره و شایسته‌ای را در سر راه پروژه قرار داد تا با راهنمایی و مشاوره آن‌ها این پروژه در مسیر مناسب خود قرار گیرد. به رسم ادب و احترام، در ابتدای این پایان‌نامه باید از زحمات بزرگوارانی که بنده را در انجام این پایان‌نامه یاری نمودند، تشکر و قدردانی نمایم.

از جناب آقایان **دکتر بهزاد تخم‌چی** و **دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی** که فراتر از یک استاد راهنما از هیچ راهنمایی دریغ ننمودند، آقای **دکتر کاوه کاوسی** که بعنوان مشاور در بخش پردازش سیگنال و طبقه‌بندی الگو این پروژه را یاری نمودند، آقای **دکتر عمادی** که در راستای اخذ پروژه به بنده یاری رساندند، آقای **دکتر شهرام شرکتی** که راهنمایی‌های ارزشمندی در اطلاعات زمین‌شناسی و ساختمان مخازن و میادین نفتی مورد مطالعه داشتند، آقای **مهندس امین جمالی** که بعنوان مشاور صنعتی اطلاعات و داده‌های مورد نیاز را در اختیار پروژه قرار دادند، جناب آقای **دکتر غلامحسین نوروزی باغکمه** که در مسائل پتروفیزیکی کمک شایانی نمودند، آقایان **مهندسین امیر ملاجان** و **محمدحسین پیش‌آهنگ** که در کُدنویسی بنده را یاری نمودند، آقای **مهندس پدرام مسعودی** که در تحلیل‌های زمین‌شناسی بنده را یاری نمودند و آقای **مهندس محمد جودی نصراله بیگلو** که در ویرایش متن این پایان‌نامه تاثیرگذار بودند و از سایر دوستانی که به اتمام این پروژه یاری رساندند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در نهایت از مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران بدلیل همکاری صمیمانه، تشکر می‌نمایم.

با آرزوی موفقیت روزافزون

یوسف عسگری‌نژاد

تعهدنامه

اینجانب **یوسف عسگری نژاد** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته‌ی **مهندسی اکتشاف معدن** دانشکده‌ی **مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده‌ی پایان‌نامه‌ی **تفکیک انواع تخلخل‌ها از تخلخل حفره‌ای با استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی** تحت راهنمایی **دکتر بهزاد تخم‌چی** و **دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه‌ی حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد 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 پایان‌نامه تاثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج رعایت می‌گردد.
- در کلیه‌ی مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه‌ی مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه‌ی اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه‌ی حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحود مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

اکثر مخازن هیدروکربوری ایران کربناته و شکسته‌اند. شکستگی‌ها از عوامل توسعه تخلخل در این نوع مخازن هستند. از دیگر عوامل مهم توسعه تخلخل در مخازن هیدروکربوری کربناته، حفره‌ای[1] شدن است. بر طبق نظر کارشناسان، برخی مخازن نفتی ایران تحت تأثیر تخلخل حفره‌ای هستند. از میان تخلخل‌های موجود، تخلخل حفره‌ای نقش موثری در پارامترهایی چون اشباع آب، تراوایی، بازیابی و میزان تولید مخزن دارد. بنابراین شناخت این نوع تخلخل در مخازن ایران مهم است. در حال حاضر شناسایی این نوع تخلخل توسط روش‌های پرهزینه‌ای از قبیل مطالعه مغزه‌های حفاری و یا چاه-نمودارهای تصویری انجام می‌شود.

در این پایان‌نامه با بکارگیری روش‌های پردازش سیگنال و تکنیک‌های طبقه‌بندی الگو با استفاده از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی دو میدان نفتی در غرب ایران برای شناسایی تخلخل‌های حفره‌ای استفاده و نسبت به تفکیک آن از سایر تخلخل‌ها اقدام شده است. دقت این تفکیک با بکارگیری طبقه کننده پارزن و استفاده از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی خام نسبت به روش‌های مرسوم مطالعه تخلخل حفره‌ای حداقل ۷٪ افزایش یافته است. پس از اعمال تبدیل موجک و طبقه‌بندی به روش پارزن دقت بررسی بطورمیانگین ۱۰٪ بالاتر رفت. در مورد تعمیم‌پذیری روش پیشنهادی در این پروژه دو بخش بررسی شده است که در بخش اول تعمیم پذیری بین چاهی در یک میدان مطالعه گردید که دقتی در حدود ۷۷٪ بدست آمد. در بخش دوم قابلیت تعمیم روش بین چاه‌های دو میدان بررسی و دقتی در حدود ۷۰٪ نتیجه شد. تمام این نتایج نشان دهنده برتری این روش نسبت به روش‌های دیگر است.

کلمات کلیدی: چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی، طبقه‌بندی کننده پارزن، موجک، تخلخل حفره‌ای

[1] *Vuggy*

لیست مقالات مستخرج شده از این پایان‌نامه

۱. عسگری نژاد ی.، تخم‌چی ب.، کامکار روحانی أ.، شرکتی ش.، جمالی أ.، (۱۳۸۹) **" اولویت بندی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی در جدایش تخلخل های حفره ای"** بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، تهران، ایران.

۲. عسگری نژاد ی.، تخم‌چی ب.، کامکار روحانی أ.، شرکتی ش.، کاوسی ک.، (۱۳۹۰) **"بررسی نقش تخلخل حفره‌ای در میزان بازیابی مخازن کربناته شکسته پس از ذخیره‌سازی هیدروکربورها"** اولین کنفرانس مجازی ذخیره‌سازی زیرزمینی مواد هیدروکربوری، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۳. عسگری نژاد ی.، (۱۳۹۰) **" کاربرد طبقه‌بندی الگو در اکتشاف موادهیدروکربوری"** هشتمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن، دانشکده معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴. عسگری نژاد ی.، تخم‌چی ب.، کامکار روحانی أ.، شرکتی ش.، (۱۳۹۰) **"نقش تخلخل حفره‌ای در میزان اشباع آب در مخازن کربناته شکسته به منظور تعیین زون‌های مناسب ذخیره سازی"** اولین کنفرانس مجازی ذخیره‌سازی زیرزمینی مواد هیدروکربوری، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

فهرست مطالب

تشکر و قدردانی ..... أ

چکیده ..... ج

فهرست مطالب ..... ه

فهرست اشکال ..... ط

فهرست جداول ..... ک

فصل اول: تخلخل در مخازن کربناته ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۱-۱ تعریف تخلخل ۲

۱-۱-۲ روش های اندازه گیری تخلخل ۳

۱-۱-۳ انواع شکستگی‌های طبیعی در سنگ‌های کربناته ۵

۱-۲ طبقه بندی تخلخل در سنگ‌های کربناتی ۸

۱-۲-۱ طبقه بندی پتروفیزیکی تخلخل در سنگ‌های کربناتی ۹

۱-۲-۱-۱ طبقه بندی تخلخل قابل رویت ۹

۱-۲-۲ طبقه بندی تخلخل در سنگ‌های کربناتی ۱۰

۱-۳ مرور ادبیات ۱۴

۱-۳-۱ مقدمه ۱۴

۱-۳-۲ اهمیت تخلخل حفره ای ۱۵

۱-۴ ساختار پایان نامه ۱۸

فصل دوم: روش شناسی ۲۰

۲-۱ مقدمه ۲۱

۲-۲ تبدیل موجک ۲۱

۲-۲-۱ **آنالیز چندتفکیکی ۲۲**

۲-۲-۲ تبدیل موجک گسسته ۲۴

۲-۳ طبقه‌بندی کننده پارزن ۲۶

۲-۳-۱ مقدمه ۲۶

۲-۳-۲ طبقه بندی، تابع تفکیک و سطح جدایش ۲۷

۲-۳-۲-۱ مسئله چند کلاسه ۲۷

۲-۳-۲-۲ مسئله دوکلاسه ۲۸

۲-۳-۳ روش های طبقه بندی ۲۹

۲-۳-۳-۱ تئوری تصمیم بیز- ویژگیهای مجزا ۲۹

۲-۳-۴ روش های غیرپارامتری ۳۰

۲-۳-۴-۱ مقدمه ۳۰

۲-۳-۴-۲ تخمین چگالی ۳۱

۲-۳-۴-۳ پنجره‌های پارزن ۳۳

۲-۳-۴-۳-۱ انتخاب تابع پنجره ۳۶

فصل سوم: توصیف میدان و داده‌های مورد مطالعه ۳۷

۳-۱ میادین مورد مطالعه ۳۸

۳-۱-۱ موقعیت میادین ۳۸

۳-۱-۲ زمین شناسی میدان B ۳۸

۳-۱-۲-۱ چینه شناسی ۳۸

۳-۲ مخازن مورد مطالعه ۴۱

۳-۲-۱ سازند سروک ۴۱

۳-۲-۲ سازند **ایلام** ۴۳

۳-۳ داده‌ها **۴۴**

فصل چهارم: شناسایی تخلخل حفره‌ای از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی ۴۶

۴-۱ مقدمه ۴۷

۴-۲ مطالعه یک بُعدی ۴۷

۴-۳ مطالعه دو بُعدی ۴۹
۴-۴ مطالعه سه بُعدی ۵۲
۴-۵ انتخاب داده ۵۴
۴-۶ تجزیه با تبدیل موجک ۵۹
۴-۶-۱ انتخاب موجک مادر بهینه ۵۹
۴-۷ مطالعه چند بُعدی ۶۱
۴-۷-۱ مقدمه ۶۱
۴-۷-۲ مطالعه درون چاهی ۶۲
۴-۷-۳ آماده سازی داده‌ها ۶۲
۴-۷-۴ تقسیم داده‌ها ۶۴
۴-۷-۵ طبقه‌بندی ۶۵
۴-۷-۶ بهینه سازی شعاع پنجره پارزن ۶۵
۴-۷-۷ تصمیم بر اساس ماتریس طبقه‌بندی(با استفاده از داده‌های خام) ۶۷
۴-۸ بررسی درون‌چاهی پس از تبدیل موجک ۶۹
۴-۹ بررسی بین چاهی با داده‌های خام ۷۳
۴-۱۰ **بررسی بین چاهی پس از تبدیل موجک** ۷۵
۴-۱۱ مقایسه نتایج ۷۷
۴-۱۱-۱ بررسی نتایج درون چاهی قبل از اعمال تبدیل موجک ۷۸
۴-۱۱-۲ بررسی نتایج درون چاهی پس از اعمال تبدیل موجک ۸۱
۴-۱۱-۳ بررسی نتایج بین چاه‌ها قبل از اعمال تبدیل موجک ۸۲
۴-۱۱-۴ بررسی نتایج بین چاهی پس از اعمال تبدیل موجک ۸۴
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۶
۵-۱ نتیجه‌گیری ۸۷
۵-۲ پیشنهادات ۸۹
منابع ۹۰

پیوست‌ها ۹۵

پیوست یک: مطالعات یک، دو و سه بُعدی در جدایش تخلخل حفره‌ای از دیگر تخلخل‌ها ۹۶

پیوست دو: تعیین موجک مادر بهینه ۱۱۷

پیوست سه: سیگنال‌های تجزیه شده برای چاه‌نمودارهای مختلف ۱۲۱

فهرست اشکال

شکل۱-۱ انواع تخلخل در کربنات ها ۶

شکل۱-۲ سطح سازند سروک در غرب کشور. ۷

شکل۱-۳ طبقه‌بندی تخلخل‌ها و سیستم‌های تخلخل در سنگ‌های کربناته . ۱۰

شکل۲-۱ نحوه کارکرد آنالیز چندطیفی به لحاظ قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی . ۲۳

شکل۲-۲ تجزیه یک سیگنال تا مرحله سوم با استفاده از تبدیل موجک گسسته . ۲۵

شکل۲-۳ ساختار تابعی طبقه‌بندی کننده آماری عمومی شامل d ورودی و c تابع تفکیک g(x). ۲۷

شکل۲-۴ تابع احتمالی گوسی. مرز تصمیم شامل دو چند لایه ای است. . ۲۸

شکل۲-۵ تابع توزیع نرمال . ۲۹

شکل۲-۶ احتمال P_k برای یافتن k الگو در یک حجم که احتمال میانگین فضا P بعنوان تابعی از k/n است . ۳۲

شکل۲-۷ دو روش برای تخمین چگالی در نقطه x . ۳۳

شکل۲-۸ نمونه هایی از پنجره پارزن نرمال متقارن مدور برای یه مقدار مختلف h ۳۵

شکل۲-۹ تخمین‌های پنجره پارزن یک توزیع دو مدی با استفاده از عرض پنجره‌ها و تعداد نمونه‌های مختلف . ۳۶

شکل۳-۱ انطباق عمقی نهشته‌های زاگرس . ۴۳

شکل۴-۱ مطالعه یک بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها . ۴۸

شکل۴-۲ مطالعه دو بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها . ۵۰

شکل۴-۳ مطالعه سه بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها ۵۲

شکل۴-۴ سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه خاص تعیین شده برای چاه‌نمودارهای مختلف در چاه‌های مورد مطالعه . ۶۱

شکل۴-۵ Pdf چاه‌نمودارهای GR, RHOB, NPHI, DT و بررسی محدوده تغییرات آن‌ها در چاه W1. ۶۳

شکل۴-۶ Pdf چاه‌نمودارهای GR, RHOB, NPHI, DT پس از نرمال سازی در چاه W1. ۶۳

شکل۴-۷ نمودار دقت- شعاع برای چاه‌های مورد استفاده به منظور بهینه‌سازی شعاع پنجره پارزن . ۶۶

شکل۴-۸ تعیین شعاع بهینه پارزن برای داده‌های تجزیه شده توسط تبدیل موجک(تقریب۲) در چاه‌های مورد مطالعه . ۷۰

شکل۴-۹ نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن وقتی که چاه W1 آموزش و چاه‌های دیگر آزمون باشند. ۷۴

شکل۴-۱۰ نمودار دقت شعاع پارزن پس از تبدیل موجک وقتی که چاه W1 آموزش و چاه‌های دیگر آزمون باشند. . ۷۶

شکل۴-۱۱ نتایج قرار گیری تخلخل‌های حفره‌ای در چاه‌های مورد مطالعه. ۸۰

شکل۴-۱۲ نتایج قرار گیری تخلخل‌های حفره‌ای در چاه‌های مورد مطالعه. ۸۲

شکل یک-۱مطالعه یک بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها . ۹۷

شکل یک-۲ مطالعه دو بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها ۱۰۳

شکل یک-۳ مطالعه سه‌بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها ۱۱۲

شکل سه-۱ سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه خاص تعیین شده برای چاه‌نمودارهای مختلف در چاه‌های مورد مطالعه..... ۱۲۲

فهرست جداول

جدول ۳-۱ داده‌ها ۴۵

جدول ۴-۱ طبقه‌بندی با استفاده از RHOB, DT ,NPHI ۵۶

جدول ۴-۲ طبقه‌بندی با استفاده از GR,RHOB, DT ,NPHI ۵۶

جدول ۴-۳ طبقه‌بندی با استفاده از CALI,GR,RHOB, DT ,NPHI ۵۶

جدول ۴-۴ طبقه‌بندی با استفاده از DRHO,CALI,GR,RHOB, DT ,NPHI ۵۶

جدول ۴-۵ طبقه‌بندی با استفاده از ILE,DRHO,CALI,GR,RHOB, DT ,NPHI ۵۶

جدول ۴-۶ نتایج کلی حاصل از کلاسه‌بندی چاه‌نمودارهای مختلف ۵۷

جدول ۴-۷ تعیین موجک مادر بهینه برای چاه‌نمودارهای مختلف در چاه W1 ..... ۶۰

جدول ۴-۸ نتایج تقسیم داده‌ها در ۶ چاه موجود بر اساس نسبت ۷۰٪ و ۳۰٪ به ترتیب برای داده‌های آموزش و آزمون. ۶۵

جدول ۴-۹ ماتریس طبقه‌بندی برای چاه W1. ..... ۶۸

جدول ۴-۱۰ ماتریس طبقه‌بندی برای چاه W2. ..... ۶۸

جدول ۴-۱۱ ماتریس طبقه‌بندی برای چاه W3. ..... ۶۸

جدول ۴-۱۲ ماتریس طبقه‌بندی برای چاه W4. ..... ۶۸

جدول ۴-۱۳ ماتریس طبقه‌بندی برای چاه W5. ..... ۶۸

جدول ۴-۱۴ ماتریس طبقه‌بندی برای چاه W6. ..... ۶۸

جدول ۴-۱۵دقت طبقه‌بندی کننده پارزن برای داده‌های پس ازتبدیل موجک بااستفاده از داده‌های جزئیات و تقریب۱و۲ ..... ۶۹

جدول ۴-۱۶ ماتریس طبقه‌بندی برای چاه W1 درحالتی که از داده‌های تقریب سطح دو استفاده شده است. ۷۲

جدول ۴-۱۷ ماتریس طبقه‌بندی برای چاه W2 درحالتی که از داده‌های تقریب سطح دو استفاده شده است. ۷۲

جدول ۴-۱۸ ماتریس طبقه‌بندی برای چاه W3 درحالتی که از داده‌های تقریب سطح دو استفاده شده است. ۷۲

جدول ۴-۱۹ ماتریس طبقه‌بندی برای چاه W4 درحالتی که از داده‌های تقریب سطح دو استفاده شده است. ۷۲

جدول ۴-۲۰ ماتریس طبقه‌بندی برای چاه W5 درحالتی که از داده‌های تقریب سطح دو استفاده شده است. ۷۲

جدول ۴-۲۱ ماتریس طبقه‌بندی برای چاه W6 درحالتی که از داده‌های تقریب سطح دو استفاده شده است. ۷۰

جدول ۴-۲۲ نتایج طبقه‌بندی کننده پارزن درون چاه‌های مورد بررسی با استفاده داده‌های تقریب سطح دو ۷۳

جدول ۴-۲۳ نتایج طبقه‌بندی کننده پارزن درون چاه‌های مورد بررسی با استفاده داده‌های خام ۷۸

جدول ۴-۲۴ مقایسه نتایج طبقه‌بندی کننده پارزن قبل و بعد از اعمال تبدیل موجک با استفاده داده‌های تقریب دو ۸۱

جدول ۴-۲۵ نتایج آنالیز چند چاهه و بررسی قابلیت تعمیم الگوریتم بین چاه‌ها ۸۳
جدول ۴-۲۶ نتایج آنالیز چند چاهه و بررسی قابلیت تعمیم الگوریتم بین چاه‌ها پس از اعمال تبدیل موجک ۸۴
جدول دو-۱ تعیین موجک مادر بهینه برای چاه‌نمودارهای مختلف در چاه W2 ..... ۱۱۸
جدول دو-۲ تعیین موجک مادر بهینه برای چاه‌نمودارهای مختلف در چاه W3 ..... ۱۱۸
جدول دو-۳ تعیین موجک مادر بهینه برای چاه‌نمودارهای مختلف در چاه W4 ..... ۱۱۹
جدول دو-۴ تعیین موجک مادر بهینه برای چاه‌نمودارهای مختلف در چاه W5 ..... ۱۱۹
جدول دو-۵ تعیین موجک مادر بهینه برای چاه‌نمودارهای مختلف در چاه W6 ..... ۱۲۰

فصل اول

تخلخل در مخازن کربناته

۱-۱ مقدمه

در سال ۲۰۱۰ شرکت استاتویل هیدرو[۲] گزارشی به شرکت ملی نفت ایران ارائه نمود که در آن به نقش تخلخل حفره‌ای[۳] در مخازن غرب کشور اشاره نمود. این شرکت در گزارش خود بیان داشت که در مخازن کربناته، نقش تخلخل زمینه[۴] در تخلخل مفید کم است. در ضمن حجم بالای تولید از مخازن سروک و ایلام در غرب کشور صرفاً نمی‌تواند به دلیل تخلخل ناشی از شکستگی‌ها باشد. لذا علت عمده در درصد تخلخل و حجم فضای خالی ایجاد شده در مخازن، وجود تخلخل حفره‌ای است. لذا مطالعه و بررسی این نوع تخلخل و شناسایی و جدایش آن از سایر تخلخل‌ها در این مخازن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است *(StatoilHydro, 2010)*. در این فصل ابتدا مختصری راجع به تخلخل، انواع آن و نحوه طبقه‌بندی آن از دیدگاه‌های مختلف بحث می‌شود و در ادامه به نقش و اهمیت تخلخل حفره‌ای و روش‌های مختلفی که تا کنون برای شناسایی آن استفاده شده، اشاره می‌شود.

۱-۱-۱ تعریف تخلخل

تخلخل مهم‌ترین خاصیت سنگ است، زیرا ظرفیت و حجم تجمع نفت در سنگ، تابعی از آن است. تخلخل در مخازن کربناتی ایران اعم از آسماری، بنگستان، سروک، ایلام، خامی و دهرم از حداقل صفر تا حداکثر ۲۵ درصد گزارش شده است *(Shourab, 2009)*.

بنا به تعریف، تخلخل برابر با نسبت حجم فضای خالی به حجم کل سنگ است. حجم فضای خالی خود برابر با تفاضل حجم کانی‌ها از حجم کل سنگ می‌باشد. معمولاً تخلخل به‌صورت درصدی بدون بُعد نشان داده می‌شود. تخلخل مفید و یا تخلخل مرتبط، فضای متخلخلی را توصیف می‌نماید که در آن سیال جریان می‌یابد (مطیعی، ۱۳۸۷).

---

[2] *Statoil Hydro*
[3] *Vuggy porosity*
[4] *matrix porosity*

۱-۱-۲ روش‌های اندازه‌گیری تخلخل

تخلخل کمیتی قابل اندازه‌گیری است، زیرا تابعی از حجم سنگی است که بعنوان نمونه انتخاب شده است. به عنوان مثال قطر یک مغزه کامل حدود ۵ اینچ است. در چنین حالتی درصد تخلخل تابعی از طول مغزه خواهد بود. تصور کنید از یک شکستگی که دهانه آن ۶ اینچ و طول آن چندین فوت است، مغزه‌هایی به قطر ۵ اینچ و طول یک فوت گرفته شود. در این مغزه تخلخل صد در صد است ولی اگر قطر مغزه ۸ اینچ باشد، تخلخل کاهش می‌یابد.

برای اندازه‌گیری تخلخل، از روش‌های دیداری و آزمایشگاهی استفاده می‌شود. روش دیداری تقریبی بوده و آشکارسازی تخلخل بستگی زیادی به درشت‌نمایی ذره‌بین دارد. هر چه درشت‌نمایی ذره‌بین بیشتر باشد، فضاهای متخلخل بیشتر آشکار می‌شوند. تخلخل عموماً با بکارگیری قطعات بریده مغزه و به کمک میکروسکوپ‌هایی با بزرگنمایی کم مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (مطیعی، ۱۳۸۷).

آرچی (*Archie, 1952*) طبقه‌بندی و روشی را مرکب از خواص بافتی و تخلخل قابل رویت ارائه نمود که به کمک آن می‌توان به مقدار تخلخل کل دست یافت. تخلخل قابل رویت را می‌توان با روش شمارش نقاط از مقاطع تیغه نازک سنگ تخمین زد. همچنین برش‌های نازک سنگ در زیر میکروسکوپ را با نرم‌افزار ویژه تجزیه و تحلیل تصاویر، بررسی و حجم فضای تخلخل را محاسبه نمود. ولی باید به خاطر داشت تخمین تخلخل با چشم و یا ذره‌بین معمولاً فاقد دقت است، مگر آنکه تخمین‌های چشمی در مقابل روش شمارش نقاط کالیبره شده باشد. چرا که گاهی خطای تخمین چشمی در مقابل روش شمارش نقاط به دو برابر می‌رسد.

سنجش مقدار تخلخل در آزمایشگاه منجر به شناخت پارامترهایی نظیر حجم کل سنگ، حجم فضای متخلخل و حجم خمیره (ماتریکس) یا به عبارت دیگر حجم دانه‌ها می‌شود.

حجم کل را می‌توان با روش‌های حجمی یعنی وارد کردن نمونه در سیالی که فاقد خواص ترکنندگی باشد، بدست آورد. روش‌هایی مانند جیوه و اندازه‌گیری افزایش حجم و یا آن‌را بصورت

مستقیم (از نظر هندسی) محاسبه نمود. دقت اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی خود بستگی به روش بکار گرفته شده و دقت بکار رفته، دارد. یکی از کم دقت‌ترین این روش‌ها، بدست آوردن حاصل جمع سیال استخراج شده از سنگ است و دقیق‌ترین آن‌ها روشی است که بر اساس انبساط گازها و بکارگیری قانون بویل[5] می‌باشد. از دیگر روش‌های دقیق، تزریق جیوه در فشار زیاد در نمونه است، که می‌توان حجم تخلخل و نیز انتشار تخلخل را در آن اندازه‌گیری نمود. معمولاً مقدار تخلخلی که از نتایج آزمایشگاهی بدست می‌آید، از تخلخل اندازه‌گیری شده با چشم و ذره‌بین بیشتر است. چرا که خلل و فرج بسیار ریز با روش‌های چشمی قابل رویت نیستند. البته اگر تخلخل در نمونه بزرگ و قابل رویت باشد تا حدی می‌توان آن را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه نمود.

عدم دقت در اندازه‌گیری آزمایشگاهی، خود تابع دو عامل: نحوه نمونه‌گیری و آماده سازی نمونه‌ها می‌باشد. مسئله آماده‌سازی اولاً شامل عدم استخراج کامل سیالات درون فضای متخلخل است و ثانیاً مربوط به وجود کانی‌هایی در زمینه سنگ - مانند ژیپس و کانی‌های رسی - که در ترکیب شیمیایی خود حاوی آب می‌باشند، است.

گاهی دیده شده است اگر نمونه از سیالات موجود دو بار تخلیه شود، مقدار تخلخل بین صفر تا چهار درصد در آزمایشات بعدی بیشتر نشان داده می‌شود. نمونه‌هایی که حاوی ژیپس باشند در حرارت‌های بالا آب مولکولی ترخیص می‌کنند و تخلخل کاذب در نتایج آزمایشات ظاهر می‌شود.

$$Gypsum \xrightarrow{Temp} Bassenite + H_2O$$

$$CaSO_4, 2H_2O \xrightarrow{Temp} CaSO_4, 0.5H_2O + 1.5\, H_2O$$

از سوی دیگر می‌دانیم که مغزه بریده شده و به سطح آورده شده بدلیل این‌که فشار وزن طبقات فوقانی از روی آن برداشته شده است، دچار انبساط می‌شود. حال اگر نمونه‌ای را تحت فشار محل

[5] *Boyle*

واقعی قرار داده و فشار فضای تخلخل را نیز ثابت نگه داریم، حجم تخلخل در این شرایط حدود ۲٪ از تخلخل اندازه‌گیری شده در شرایط آزمایشگاهی کمتر خواهد شد *(Archie, 1952)*.

۱-۱-۳ انواع فضاهای خالی در سنگ‌های کربناته

فضاهای خالی در سنگ‌های کربناته بر اساس نوع سیستم تخلخل موجود در آن‌ها به سه بخش اصلی تقسیم می‌شوند:

الف- درون دانه‌ای(درون بلوری)

ب- شکستگی[۶]

ج- حفره‌ای- انحلال *(Donaldson and Erle, 2004)*

الف- درون دانه‌ای (درون بلوری)

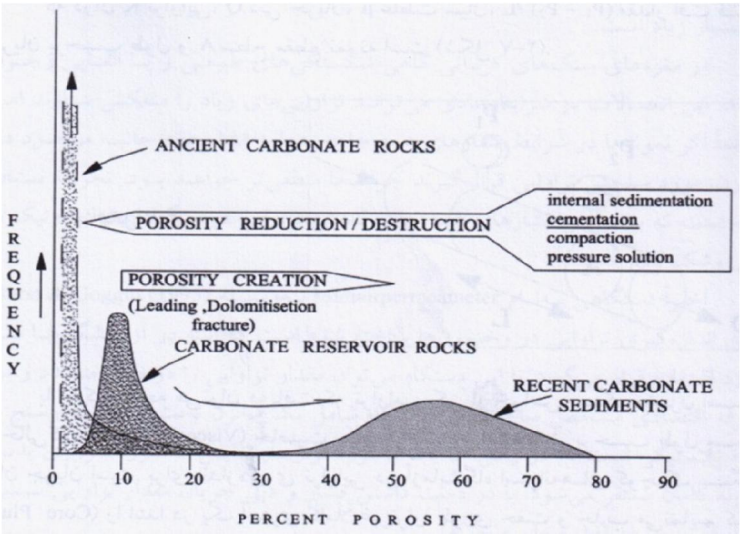
معمول‌ترین نوع تخلخل در سنگ‌های رسوبی از نوع بین دانه‌ای است. اگر به طور مثال در یک ماسه-سنگ، دانه‌ها را کرات هم‌شکل و هم اندازه تصور کنیم، مقدار تخلخل بین‌دانه‌ای آن ماسه، تابعی خواهد بود از شکل حجمی که ماسه‌ها در آن استقرار یافته‌اند. یعنی اگر ماسه‌ها در یک مکعب قرار گیرند، تخلخل بین دانه‌ای در آن‌ها ۴۷/۶٪ و اگر آن حجم بصورت موازی‌السطوح[۷] باشد تخلخل بین دانه‌ای ۲۵/۹٪ است. البته این حالات را در ماسه‌های بدون سیمان نیز می‌توان فرض نمود. در هر صورت بر اساس تجارب بیرد[۸] و وال[۹] در ۱۹۷۳ در ماسه‌ای که دانه‌های آن دارای جورشدگی فوق-العاده خوب است، تخلخل به ۴۲٪ و در ماسه‌های با دانه‌های بسیار بد جور شده به ۲۷٪ می‌رسد. در رسوبات کربناتی سخت نشده، شکل دانه‌ها و تخلخل درون دانه‌ای و همچنین حجم آرایش دانه‌ها

---

[6] *fracture*
[7] *rhombohedral*
[8] *Beard*
[9] *Waal*

تاثیر زیادی بر تخلخل آن‌ها دارد. مقدار تخلخل در گرینستون‌های اُاُییدی عهد حاضر به ۴۵٪ می‌رسد و برعکس در رسوبات تخریبی سیلیسی موجود در رسوبات کربناتی عهد حاضر، هر چه جورشدگی دانه‌ها کمتر باشد تخلخل بیشتر می‌شود و حتی به ۷۰٪ هم می‌رسد *(Enos and Sawatsky, 1981)*.

این افزایش تخلخل از سویی مرتبط با تخلخل درون دانه‌ای و از طرفی دیگر مرتبط با بلورهای سوزنی آراگونیت در ابعاد گل است. فرایندهای دیاژنزی مانند سیمان شدن و متراکم شدن تخلخل اولیه را بشدت کاهش می‌دهند (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱ انواع تخلخل در کربنات‌ها

در هر صورت تخلخل بین دانه‌ای از اندازه دانه‌ها تبعیت نمی‌کند. ولی اندازه و ابعاد تخلخل بین دانه‌ای تابعی از اندازه دانه‌ها، جورشدگی آن‌ها و تخلخل درون دانه‌ای است. کاهش اندازه فضای تخلخل زمانی صورت می‌گیرد که اندازه دانه‌ها و جورشدگی کم شود. علاوه بر آن، اندازه تخلخل بین دانه‌ای مرتباً با افزایش سیمان درون فضای تخلخل کاهش می‌یابد. از سوی دیگر تراکم موجب نزدیک شدن دانه‌ها شده و موجب کاهش تخلخل می‌گردد (*Lucia, 1995*).

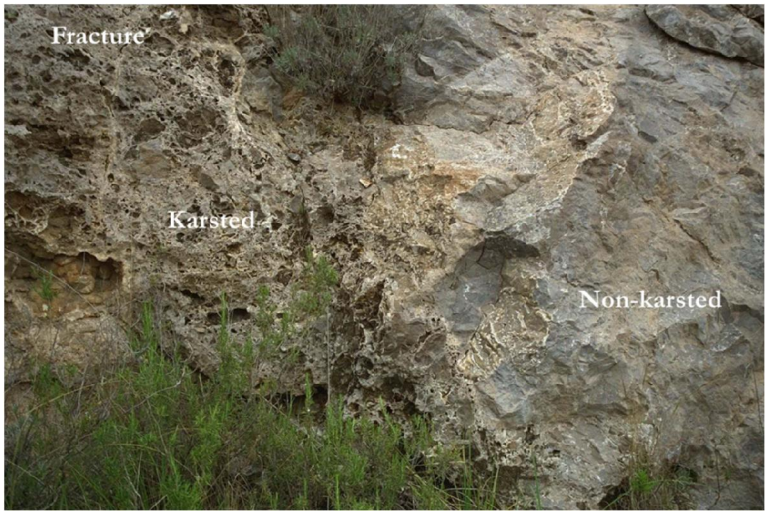
ب- شکستگی

شکستگی‌ها جانشین ناپیوستگی‌ها در سنگ می‌شوند و بعنوان ترک‌های محلی در سکانس طبیعی مشخصات سنگ ظاهر می‌شوند. بیشتر سازندهای زمین‌شناسی در بالای پوسته زمین، شکسته هستند. عوامل به وجود آورنده شکستگی‌های طبیعی عبارتند از::: حرکات تکتونیکی، تغییرات فشار لیتواستاتیک، تنش‌های حرارتی، فشار سیال و تاثیر حفاری (بر اساس وزن روباره بالای مخزن برخی سنگ‌ها نمی‌توانند فشارهای برشی را تحمل نمایند).

شکستگی‌ها از ریزترک‌های در حد میلی‌متر تا شکاف‌های با مقیاس قاره‌ای دیده می‌شوند. آن‌ها ممکن است در یک سنگ (لایه) و یا چندین لایه انتشار یابند *(Donaldson and Erle, 2004)*.

ج- تخلخل حفره‌ای- انحلالی

طبق تعریف لوسیا تخلخل حفره‌ای تخلخلی است که با چشم غیر مسلح دیده نشود و از دانه‌های اطرافش بزرگتر باشد*(Lucia,1983)*. (شکل ۱-۲) سنگ‌های دارای سیستم تخلخل حفره‌ای دارای محدوده وسیعی از تغییرات توزیع تراوایی یکنواخت تا بسیار نامنظم هستند *(Donaldson and Erle, 2004)*.



شکل ۱-۲ سطح سازند سروک در غرب کشور. مناطق حاوی تخلخل‌های حفره‌ای با عنوان کارست مشخص شده‌اند (*Statoil Hydro, 2010*)

با توجه به این‌که مخازن مورد بررسی (سروک و ایلام) از نوع کربناته می‌باشند، در ادامه در مورد انواع تخلخل توضیح داده می‌شود.

۱-۲ طبقه‌بندی تخلخل در سنگ‌های کربناته

طبقه‌بندی‌های مختلفی برای تخلخل ارائه شده است. به عنوان مثال وِبِر و همکارانش در سال ۱۹۸۱، ژنز تخلخل‌های موجود در ساختارهای زمین‌شناسی را به هفت دسته تقسیم نمودند:

الف- طاقدیس‌های با شیب کم،

ب- طاقدیس‌های به شدت چین خورده،

ج- تخلخل ناشی از شسته شدن شکستگی‌ها،

د- کارست‌های گسترش یافته توسط سفره‌های آب زیرزمینی،

ه- برش‌های تخریب شده و سقوط کرده،

و- چرت‌های شکسته شده،

ز- توف‌های شکسته در سنگ های آذرین.

با توجه به طبقه‌بندی ایشان بر اساس ژنز، انواع تخلخل ایجاد خواهد شد که تخلخل حفره‌ای یکی از انواع آن است*(Weber and Bakker, 1981)*. در ادامه برخی دیگر از انواع طبقه‌بندی‌های تخلخل آورده شده است.

۱-۲-۱ طبقه‌بندی پتروفیزیکی تخلخل در سنگ‌های کربناتی

طبقه‌بندی آرچی[10] دارای دو قسمت است: بخش اول دربرگیرنده بافت و خمیره سنگ‌های کربناتی که شامل اندازه دانه‌ها، بلورها و غیره است. بخش دوم به توصیف و تشخیص انواع و فراوانی و ساختمان تخلخل قابل رویت می‌پردازد. از آن‌جا که این طبقه‌بندی اطلاعات مناسبی را در اختیار می‌گذارد، لذا در شرکت‌های نفتی بکارگیری آن در توصیف سنگ‌های مخزنی بسیار رایج می‌باشد.

در طبقه‌بندی آرچی، خمیره به سنگ شناسی و تخلخلی گفته می‌شود که بوسیله ذره‌بین با درشت-نمایی ۱۰ قابل رویت نباشد.

۱-۲-۱-۱ طبقه‌بندی تخلخل قابل رویت (در زیر ذره‌بین با درشت‌نمایی ۱۰)

در این طبقه‌بندی تخلخل بر حسب قطر آن به چهار طبقه به شرح ذیل تقسیم شده است:

تخلخل نوع *A*::: اگر سنگی فاقد تخلخل قابل رویت در زیر ذره‌بین با درشت‌نمایی ۱۰ باشد به تخلخل آن نوع *A* می‌گویند. بعبارتی دیگر در چنین سنگی قطر تخلخل از ۰/۰۱ میلی‌متر کوچک‌تر است.

تخلخل نوع *B*::: به تخلخل قابل رویتی در زیر درشت‌نمایی ۱۰ گویند که ابعاد تخلخل از ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ میلی‌متر باشد.

تخلخل نوع *C*::: به تخلخل قابل رویت در زیر ذره‌بین با درشت‌نمایی ۱۰ می‌گویند که ابعاد آن از ۲-۰/۰۵ میلی‌متر باشد.

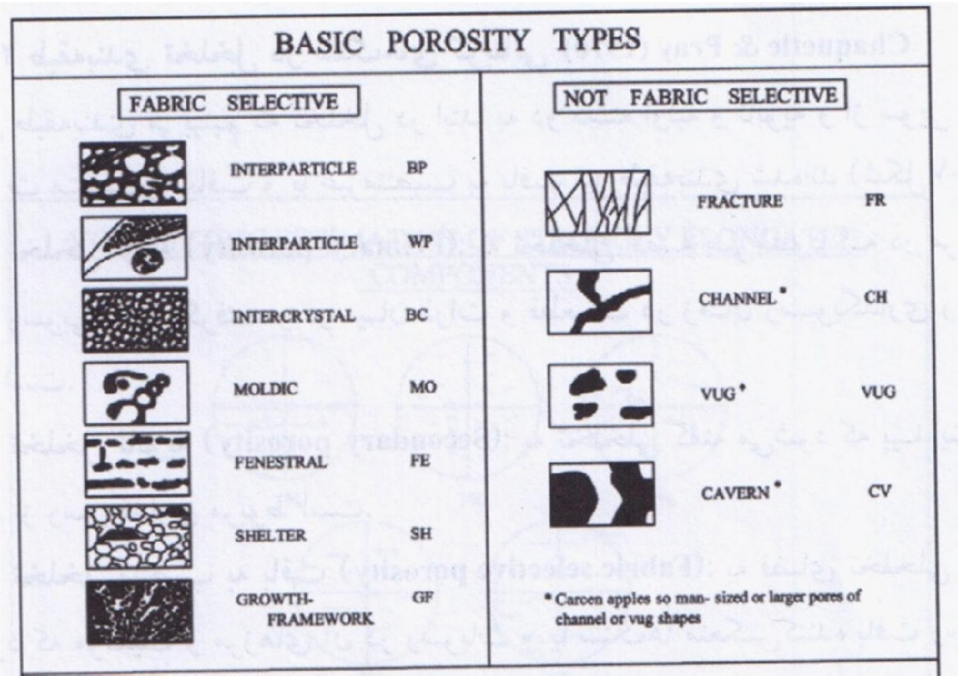
تخلخل نوع *D*::: تخلخل قابل رویت بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر را می‌گویند که در سطح این فضای تخلخل و یا حفره آثار رویش بلورهای ثانویه دیده می‌شود. ممکن است در سطح، خرده سنگ‌های

[10] *Archie*

ناشی از حفاری آثاری از شکستگی و انحلال کانالی در سطح فضای متخلخل دیده شود *(Archie, 1952)*.

۱-۲-۲ طبقه‌بندی تخلخل در سنگ‌های کربناتی

در این طبقه‌بندی مشاهده می‌شود که تخلخل در ابتدا به دو دسته اولیه و ثانویه و از سویی دیگر بصورت منتصب به بافت و یا غیر منتصب به بافت نیز طبقه‌بندی شده‌اند (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳ طبقه‌بندی تخلخل‌ها و سیستم های تخلخل در سنگ‌های کربناته

تخلخل اولیه[11]::: به تخلخلی گفته می‌شود که در مراحل پایانی رسوبی شکل گرفته و در میان ذرات و قطعات در زمان رسوب‌گذاری وجود داشته است *(Choquette and Pray, 1970)*. این تخلخل به پنج دسته‌ی زیر تقسیم می شود:

[11] *primary porosity*

الف- تخلخل بین دانه‌ای[۱۲] *(Beard and Weyl, 1973)*

ب- تخلخل درون دانه‌ای[۱۳]

ج- تخلخل فنسترال[۱۴] *(Tebbutt and Conley, 1965)*

د- تخلخل حفاظت شده[۱۵]

ه- تخلخل رشد چارچوبی[۱۶]

تخلخل ثانویه[۱۷]::: به تخلخلی گفته می‌شود که پیدایش آن به بعد از رسوب‌گذاری مربوط است. این تخلخل به دو دسته‌ی زیر تقسیم می شود:

الف- منتصب به بافت[۱۸]

- تخلخل قالبی[۱۹]
- تخلخل بین بلوری

ب- غیر منتصب به بافت[۲۰]

- تخلخل ناشی از شکستگی‌ها
- تخلخل کانالی[۲۱]
- تخلخل حفره‌ای

---

[12] *inter particle – Inter granular*
[13] *intraparticle*
[14] *fenestral*
[15] *shelter*
[16] *growth framework*
[17] *secondary porosity*
[18] *fabric selective porosity*
[19] *moldic*
[20] *non - Fabric selective porosity*
[21] *channel porosity*

- تخلخل غاری[۲۲]

تخلخل منتصب به بافت::: به فضای تخلخلی گفته می‌شود که موقعیت و مرزهای آن در رسوبات و یا سنگ‌ها منعکس کننده بافت رسوبی و یا دیاژنزی موثر باشند.

تخلخل غیر منتصب به بافت::: به فضای تخلخلی گفته می‌شود که فاقد هرگونه ارتباط تخلخل با بافت رسوبی و یا عناصر دیاژنزی یک رسوب و یا سنگ باشد.

بطورکلی زایش و تخریب تخلخل در رسوبات و سنگ‌ها در قلمرو فاکتورهای موثری چون محیط رسوبی، بافت رخساره‌ای و تاریخچه دیاژنز می‌باشد. قبل از تشریح انواع تخلخل، تذکر این نکته لازم است که بافت در مقابل فابریک آورده شده است. فابریک مترادف آرایش دانه‌ها و دربرگیرنده دو عامل جهت یافتگی دانه‌ها و جفت و جذب آن‌ها می‌باشد *(Choquette and Pray, 1970)*.

در طبقه‌بندی *Lucia* در سال ۱۹۸۳ بطورکلی در سنگ‌های آهکی به دو دسته بزرگ تقسیم می‌شوند: دسته اول تخلخل بین ذره‌ای شامل تخلخل بین دانه‌ای و تخلخل بین بلوری و دسته دیگر تخلخل حفره‌ای که شامل انواع تخلخل بجز دسته اول است. تخلخل حفره‌ای خود به دو دسته کوچک‌تر متصل و غیر متصل مستقیم می‌شود.

تخلخل حفره‌ای غیر متصل[۲۳] ::: در این نوع، تخلخل حفره‌ای بوسیله یک شبکه از تخلخل بین ذره‌ای به هم متصل می‌شود. این نوع تخلخل دارای مشخصات زیر است*(Lucia, 1983)*:

الف- این نوع تخلخل در بین ذرات است و اندازه آن معمولاً دو برابر اندازه متوسط ذرات می‌باشد.

ب- این نوع تخلخل‌ها معمولاً از طریق تخلخل‌های نوع بین ذره‌ای به هم متصل می‌شوند.

---

[22] *cavern porosity*
[23] *separate Vugs*

در ساختار سنگ‌هایی که گل در آن‌ها غلبه دارد تخلخل‌های نوع حفاظت شده مسلماً از ابعاد ذرات محاط بزرگ‌تر هستند و در رده تخلخل حفره‌ای غیر متصل منظور می‌گردند. ولی همین نوع تخلخل اگر در ساختارسنگی که دانه‌ها غلبه دارند واقع شود، فضای تخلخل، مرتبط با اندازه دانه‌ها می‌شود. لذا تحت عنوان تخلخل بین دانه‌ای طبقه‌بندی می‌گردد.

در ساختارهای سنگی که دانه‌ها غالب هستند انحلال انتخابی شدید دانه‌ها ممکن است مرز بین آن‌ها را هم از بین بَرد و ایجاد تخلخل قالبی مرکب نماید.

تخلخل حفره‌ای متصل[۲۴]::: تخلخل‌های حفره‌ای، بدون واسطه به هم متصل و سیستم تخلخل را بوجود می‌آورند. سیستم تخلخل حفره‌ای متصل، فضایی متخلخل است که اولاً به مراتب، بزرگ‌تر از ابعاد ذرات تشکیل دهنده سنگ است، ثانیاً این تخلخل‌ها بطور بهم متصل بخوبی گسترش یافته‌اند. تخلخل حفره‌ای متصل در ذات، غیر منتصب به بافت و ساختار سنگ می‌باشد. انواع تخلخل‌های غاری، شکستگی‌ها و شکستگی‌های گشاد شده در اثر انحلال، عموماً سیستم متصلی از تخلخل را در ابعاد یک مخزن هیدروکربوری بوجود می‌آورند و از انواع تخلخل متصل بحساب می‌آیند. تخلخل‌های فنسترال که در ابعاد یک مخزن نفتی به هم متصل می‌باشند، در گروه تخلخل‌های حفره‌ای متصل در نظر گرفته می‌شوند؛ زیرا حداقل، ابعاد تخلخل از ابعاد دانه‌ها بزرگ‌تر است. تخلخل‌های ناشی از شکستگی‌ها نیز در زمره تخلخل‌های حفره‌ای متصل در نظر گرفته می‌شوند *(Lucia, 1983)*.

پس از تعریف مقدماتی از تخلخل حفره‌ای و طبقه‌بندی انواع تخلخل‌ها در این بخش به تاریخچه و مطالعاتی که روی تخلخل حفره‌ای شده است، پرداخته می‌شود. این بخش به چند قسمت تقسیم می‌شود که در قسمت اول سعی می‌شود تعاریف مختلف از این نوع تخلخل ارائه شود. در قسمت دوم اهیمت و جایگاه مطالعات روی تخلخل حفره‌ای و نحوه تشخیص آن بررسی می‌شود.

[24] *touching Vugs*

۱-۳ مرور ادبیات

۱-۳-۱ مقدمه

بر اساس مطالعات صورت گرفته مخازن شکسته حفره‌ای از مهم‌ترین مخازن در تولید نفت جهان هستند. این نوع از مخازن در ایران، عربستان، عراق، عمان، سوریه و مکزیک وجود دارند. از این‌رو مطالعه بر روی شناخت، خواص هندسی، ظرفیت ذخیره، خصوصیات سیال و تخلخل آن‌ها حائز اهمیت است (*Perez et al., 2002*).

چوکویت و پری تخلخل حفره‌ای را برای اولین بار این‌طور تعریف نمودند: تخلخل حفره‌ای تخلخلی است که سه ویژگی زیر را دارا باشد:

الف) دارای کشیدگی محسوس نباشد.

ب) با چشم غیر مسلح دیده شود.

ج) با شیب، مرز و موقعیت بافت سنگ میزبان انطباق نداشته باشد (*Choquette and Pray, 1970*).

بر طبق نظر لوسیا که تعریف جامع‌تری ارائه نمود، تخلخل حفره‌ای تخلخلی است که با چشم غیر مسلح دیده نشود و از دانه‌های اطرافش بزرگتر باشد. وی رفتار تراوایی در انواع تخلخل‌های حفره‌ای متصل و غیر متصل متفاوت دانست (*Lucia, 1983; 1995*).

تفاوت عمده تخلخل حفره‌ای و تخلخل قالبی در این است که تخلخل‌های حفره‌ای غیر منتصب به بافت است، ولی برعکس تخلخل قالبی وابسته به بافت سنگ میزبان است *(Delhomme, 1992)*.

لوسیا در سال ۱۹۸۳ توضیح داد هنگامی که تخلخل حفره‌ای به شبکه شکستگی‌ها متصل می‌گردد، شرح دادن هندسه و شبکه تخلخل بسیار مشکل می‌شود. وی اشاره نمود که حضور تخلخل حفره‌ای متصل می‌تواند تولید را نسبت به زون‌های دیگر بالا برد. اما شناخت این زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای به کمک چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بسیار مشکل بنظر می‌رسد *(Lucia, 1983)*.

۱-۳-۲ اهمیت تخلخل حفره‌ای

حضور تخلخل حفره‌ای در مخازن شکسته طبیعی می‌تواند یک جایگاه مناسب برای ذخیره شدن هیدروکربور محسوب گردد. بازیابی نفت از تخلخل‌های حفره‌ای بشدت وابسته به زمین‌شناسی و اشباع سیال است. مکانیزم بازیابی از تخلخل‌های حفره‌ای در یک سیستم تخلخل سه گانه وابسته به موقعیت تخلخل‌های حفره‌ای و ارتباط آن‌ها با شبکه شکستگی می‌باشد *(Gurpina et al,. 1999)*. کوساک و گورپینا شبیه‌سازی جانشینی گاز در سیستم نفت – آب در تخلخل‌های حفره‌ای را بررسی نموده و دریافتند پیچیدگی این شبیه‌سازی بعلت رفتار متنوع تخلخل‌های حفره‌ای است *(Kossack and Gurpina, 2001)*.

اینگز و همکارانش تاثیر توزیع اندازه تخلخل (از تخلخل با اندازه کوچک تا تخلخل‌های حفره‌ای بزرگ) در کربنات‌ها را بر تولید، تراوایی و تخمین اشباع هیدروکربن، بررسی نمودند. آنان دریافتند در سیستم‌های پیچیده که دارای تخلخل حفره‌ای هستند، بدست آوردن مشخصات از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بدون استفاده از مغزه بسیار مشکل است *(Ings et al., 2000)*.

در مورد نقش تخلخل حفره‌ای بر تراوایی مخزن باید اشاره نمود که مخازن کربناته حاوی تخلخل حفره‌ای نیاز به شناخت و دانش از توزیع تراوایی برای هر رخساره خاص با مقیاس مناسب دارند *(Greder et al,. 1996)*.

جابجایی و جریان سیالات چند فازی بدلیل حضور تخلخل حفره‌ای بسیار پیچیده می‌شود. هندسه، موقعیت و ارتباط تخلخل‌های حفره‌ای عموماً بر این جریان تاثیر گذار هستند. ارتباط بین تخلخل‌های حفره‌ای می‌تواند یک کانال برای جریان نفت ایجاد کند که تولید را متحول نماید. اما تعیین هندسه و موقعیت این تخلخل‌های حفره‌ای و عددی ساختن آن‌ها بسیار مشکل است. لذا پیتر پوپوف و همکارانش در سال ۲۰۰۷ روش‌های بزرگ کردن مقیاس را برای شبیه‌سازی جریان سیال در مخازن حاوی تخلخل حفره‌ای پیشنهاد دادند *(Popov et al., 2007)*.

در سال ۲۰۰۶ گوما و همکارانش در مورد افزایش میزان تراوایی در مخازن شکسته با وصل شدن تخلخل‌های حفره‌ای به یکدیگر مطالعه نمودند. آن‌ها تخلخل‌های حفره‌ای مرتبط را با استفاده از فشار تزریق جیوه شناسایی نمودند. مطالعات آن‌ها نشان داد که با استفاده از چاه‌نمودارهای تصویری می-توان زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای (تخلخل‌های بزرگ‌تر از ۰/۱ اینچ) را از دیگر زون‌ها جدا نمود *(Gomaa et al., 2006)*.

همچنین هورلی و همکاران در ۱۹۹۸ با مطالعه روی مغزه‌ها توانست تخلخل‌های حفره‌ای را از شکستگی‌ها جدا نماید *(Hurley et al,. 1998)*. پینوس نیز با مطالعه میکروسکوپی مغزه‌های اخذ شده از چاه ضمن شناسایی تخلخل‌های حفره‌ای، مشخصه قطر دهانه تخلخل‌ها را ملاکی برای تفکیک آن‌ها از یکدیگر معرفی نمود که عبارت از محدوده ۲-۳ میلی‌متر تا ۲ سانتی‌متر است *(Pinous, 2007)*.

در سال ۱۹۶۲ تاول با فرض این‌که منحنی تخلخل آرچی بصورت نمایی می‌باشد، مقدار m را برای مخازن حاوی تخلخل حفره‌ای ۲/۶۷ تا ۷/۳ بدست آورد. در حالی که این مقدار برای مخازن دارای شکستگی کمتر از ۲ می‌باشد *(Towle, 1962)*.

آگولاریا برای مخازنی که دارای سه نوع تخلخل ماتریکس، شکستگی و حفره‌ای می‌باشند، با استفاده از میکرو لوگ، مغزه و چاه‌نمودار تصویری صوتی شناسایی تخلخل حفره‌ای را انجام داد و مدلی بر اساس آن ارائه نمود *(Aguilera and Aguilera, 2004)*.

پرز و همکاران فاکتور سازندی در مخازن دارای شکستگی و مخازن دارای تخلخل حفره‌ای را محاسبه نموده و پس از مقایسه با یکدیگر، تاثیر تخلخل حفره‌ای را بر این فاکتور بررسی نمودند *(Perez et al., 2002)*.

دلهوم در ۱۹۹۲ اظهار داشت که یکی از نتایج فازهای دیاژنزی یا تکتونیکی پس از رسوب‌گذاری کربنات‌ها، بوجود آمدن شکستگی‌ها، تخلخل‌های حفره‌ای، کانالی و دولومیتی شدن است که می‌توان آن‌ها را با چاه‌نمودارهای تصویری تشخیص داد*(Delhomme, 1992)*.

موت و همکارانش در ۱۹۹۲ تاثیرات تخلخل‌های حفره‌ای بر پارامترهای پتروفیزیکی و سرشت‌های تولیدی را بررسی نمودند. از نظر آن‌ها طبیعت سیمانی شدن و متراکم شدن در شبکه تخلخل حفره‌ای بسیار مهم در تراوایی است. اگر این تخلخل از نوع متصل باشد تراوایی را افزایش داده، ولی اگر غیر متصل باشد تراوایی کاهش می‌یابد*(Maute et al., 1992)* .

در سال ۲۰۰۰ با داده‌های چاه‌نمودار تصویری و استفاده از روش‌های زمین‌آماری، گونزالز و پرز مخزن حاوی تخلخل حفره‌ای را مدل نمودند. آن‌ها با استفاده از آنالیزهای آماری و واریوگرام‌های شاخص این نوع تخلخل توانستند مدل‌سازی را انجام دهند. آنان دریافتند ذخیره و ظرفیت مخزن مورد بررسی با ارتباط تخلخل‌های حفره‌ای با یکدیگر رابطه نزدیک دارند*(Gonzalez and Perez, 2000)* .

ایور و همکاران در ۲۰۰۲ نقش تخلخل حفره‌ای و محدوده توزیع اندازه‌ای تخلخل از میکروکریستالی تا تخلخل غاری را بررسی نمودند *(Iwere et al., 2002)*. هسل و همکاران جدایش تخلخل حفره‌ای را مهم دانستند؛ زیرا حضور این نوع تخلخل و نوع ارتباط آن‌ها با شبکه تخلخل بسیار در تراوایی مؤثرند. آن‌ها نشان دادند که تراوایی در زمانی که تخلخل حفره‌ای از نوع متصل می‌باشند افزایش می‌یابد *(Hassall et al., 2004)*.

شو و همکاران در سال ۲۰۰۶ با بررسی تاثیر تخلخل‌های حفره‌ای و غاری بر فرایند جریان‌های چند فازی مدلی ارائه نمودند که در آن بر اساس تراوایی مخزن به سه بخش تقسیم شد:

الف. شکستگی‌های با تراوایی بالا

ب. ماتریکس با تراوایی پایین

ج. تخلخل‌های حفره‌ای با اندازه‌های متنوع *(Shu et al., 2006)*.

تانگ و همکاران در ۲۰۰۹ نیز به علت حضور تخلخل حفره‌ای و پیچیدگی مطالعه در مخازن کربناته-ای که دارای سیستم سه‌گانه تخلخل می‌باشند، بررسی این نوع مخازن را با استفاده از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بسیار مشکل دانستند *(Tang et al., 2009)*.

لین‌لیو و همکاران در سال ۲۰۰۹ میدان نفتی تاریم که شکسته و دارای تخلخل حفره‌ای است را ارزیابی نمودند. اساس روش آن‌ها بر درصد تخلخل حفره‌ای و ارتباط آن‌ها با یکدیگر است *(Lin Liu et al., 2009)*.

۱-۴ ساختار پایان نامه

در فصل اول این پایان‌نامه توضیحاتی در مورد انواع تخلخل و نیز تعریف و تاثیر تخلخل حفره‌ای در مخازن هیدروکربوری ارائه شد. در ادامه‌ی این فصل مطالعات انجام گرفته درباره تخلخل حفره‌ای و نحوه جدایش آن‌ها تا کنون اشاره شد.

فصل دوم در مورد تکنیک‌های بکارگیری شده در این پایان‌نامه شامل: تبدیل موجک برای کاهش نوفه‌ها و طبقه‌بندی کننده پارزن به منظور طبقه‌بندی و جدایش تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌ها، توضیحات مختصری ارائه شده است. در فصل سوم به اطلاعات و داده‌های مورد بررسی پرداخته می‌شود. همچنین مختصری راجع به میادین و مخازن مورد مطالعه توضیح داده می‌شود.

در فصل چهارم نحوه انجام پایان‌نامه و چگونگی استفاده از روش‌های مذکور ارائه می‌گردد و نتایج با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

در فصل پنجم که فصل پایانی است نتیجه‌گیری (حاصل کار پایان‌نامه) و همچنین پیشنهاداتی برای محققین در این زمینه ارائه شده است.

پس از آشنایی مقدماتی با تخلخل حفره‌ای و بررسی اهمیت آن و چگونگی جدایش و تفکیک این نوع از تخلخل از سایر تخلخل‌ها توسط محققین در سال‌های مختلف، حال به معرفی میادین مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

فصل دوم

روش شناسی

۲-۱ مقدمه

در این بخش به بررسی اصول روش‌های استفاده شده در این مطالعه پرداخته می‌شود. بطورکلی روش-های بکارگیری شده در این پایان نامه به دو بخش پردازش سیگنال[۲۵] و طبقه‌بندی الگو[۲۶] تقسیم می-شوند. در بخش پردازش سیگنال از تبدیل موجک[۲۷] و در بخش طبقه‌بندی الگو از روش پارزن استفاده شده است که در ذیل به اختصار توضیح داده می‌شوند.

۲-۲ تبدیل موجک

با گذشت زمان، ضعف پایه‌های فوریه نمایان شد. محققان رشته های مختلف به مرور پی بردند پایه های فوریه و نمایش توابع سینوس وار در مورد سیگنال‌های پیچیده نظیر تصاویر، نه تنها ایده‌آل نیستند، بلکه از شرایط مطلوب دورند. چرا که تبدیل فوریه فقط برای توابع پایه مورد استفاده قرار می گیرد و برای توابع غیر پایه کار آمد نیست. در سال ۱۹۷۰یک ژئوفیزیکدان فرانسوی به نام ژان مورله که در آزمایشگاهی متعلق به الف آکیلن با هدف اکتشاف مواد معدنی کار می‌کرد، متوجه شد که در زمینه مطالعاتی او استفاده از پایه‌های تبدیل فوریه ابزار مناسبی برای مطالعات طیفی نیستند *(Brémaud, 2002)*. درهمین سال‌ها مورله مفهوم موجک و تبدیل موجک را به عنوان ابزاری برای آنالیز سیگنال زمین لرزه و گراسمن فیزیکدان نظری فرانسه نیز فرمول وارونی را برای تبدیل موجک ارائه کردند *(Grossmann, 1984)*. درسال۱۹۷۶ میرو و مالت با استفاده از پایه های موجک متعامد توانستند آنالیز چند تفکیکی را پایه گذاری کنند و مالت تجزیه موجک ها و الگوریتم های بازسازی را با بکار بردن آنالیز چند تفکیکی بوجود آورد *(Mallat, 1989)*. در سال ۱۹۹۰ مورنزی همراه با آنتوان

---

[25] *signal proccesing*
[26] *pattern classification*
[27] *wavelet transform*

موجک ها را به دو بُعد و سپس به فضاهایی با ابعاد دیگر گسترش دادند و بدین ترتیب بود که آنالیز موجکی پایه گذاری گردید *(Sweldness, 1998)*.

مستقل از این نظریه که درون ریاضیات محض جای دارد، صورت‌های مختلفی از این رهیافت چند مقیاسی در طی دهه‌ی گذشته در پردازش تصویر، آکوستیک، کدگذاری (به شکل فیلترهای آیینه ای متعامد و الگوریتم‌های هرمی)، و اکتشاف نفت مورد استفاده قرار گرفته است (ابراهیم زاده، ۱۳۸۹).

۲-۲-۱ آنالیز چندتفکیکی[۲۸]

یکی از مشکلات اصلی تکنیک پنجره گذاری فوریه زمان - کوتاه عدم پویایی ابعاد پنجره انتخابی در محدوده های فرکانسی متغیر است. شاید علت اینکه نمی‌توان تکنیکی را یافت که به صورت توامان قدرت تفکیک فرکانسی و زمانی آن بهترین باشد در اصل عدم قطعیت هایزنبرگ (که بیان می‌کند مقدار حرکت و مکان ذرات متحرک به طور لحظه ای شناخته نمی‌شود) نهفته باشد.

طبق این اصل نمی‌توان روشی را یافت که توصیف زمان - فرکانس یک سیگنال را به طور دقیق بدست دهد. به عبارت دیگر، نمی‌توان فهمید که در یک سیگنال به طور دقیق چه مؤلفه های فرکانسی در چه زمان‌هایی وجود دارد. بلکه تنها می‌توان فهمید که در کدام بازه های زمانی، چه باند فرکانسی موجود است. به بیان ریاضیاتی این اصل را می‌توان بصورت نامساوی زیر نشان داد *(Shaw, 1975)*.

$$\Delta t \cdot \Delta f \geq \frac{1}{4\pi} \qquad (۱-۲)$$

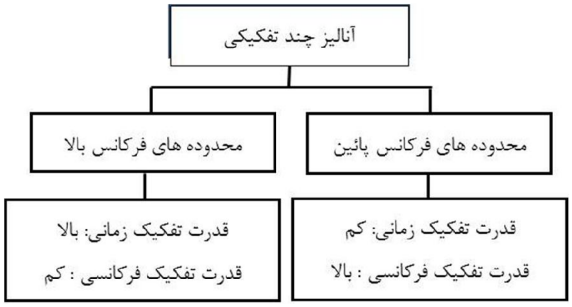
که در آن منظور از جمله Δt میزان قدرت تفکیک زمانی یک تبدیل بوده وΔf میزان قدرت تفکیک فرکانسی آن در جدایش دو مؤلفه فرکانسی است. این اصل به طور مستقیم به مفهوم قدرت تفکیک بر می‌گردد. اگرچه مشکلات قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی در نتیجه یک پدیده فیزیکی (اصل عدم

[28] multi-resolution analysis

قطعیت هایزنبرگ) بوده و ارتباطی به نوع تبدیل مورد استفاده ندارد، می‌توان از یک رویکرد جایگزین برای تحلیل سیگنال‌ها استفاده نمود، که اصطلاحاً آنالیز چندتفکیکی نامیده می‌شود که از آن به عنوان سنگ بنای تبدیل موجک یاد می‌شود.

منظور از آنالیز چند تفکیکی، تحلیل سیگنال در فرکانس‌های مختلف با قدرت تفکیک‌های متفاوت است. بدین ترتیب همانطور که در شکل آورده شده است، بر خلاف تبدیل فوریه زمان-کوتاه، در آنالیز چند تفکیکی، با هر یک از مؤلفه های فرکانسی به طور یکسان رفتار نمی‌شود. در حقیقت هدف این تکنیک، ارائه قدرت تفکیک زمانی مناسب ولی فرکانسی نادقیق در فرکانس‌های بالا و در مقابل، قدرت تفکیک فرکانسی خوب ولی قدرت تفکیک زمانی ضعیف در فرکانس‌های پائین است (شکل ۲-۱).

از دیدگاه ریاضیاتی تبدیل موجک، حلقه تابع موجک با سیگنال مورد نظر است. موجک‌ها را می‌توان با جابه‌جایی به نقاط مختلف در سیگنال و انقباض و انبساط تغییر داد. اگر موجک با شکل سیگنال در یک مقیاس یا مکان مشخص به خوبی مطابقت داشته باشد، یک مقدار تبدیل بزرگ به دست می‌آید و اگر مطابقت نداشته باشد، یک مقدار کوچک به دست می‌آید *(Burrus, 1997)*.



شکل۲-۱ نحوه کارکرد آنالیز چند طیفی به لحاظ قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی

اگراین فرآیند به صورت پیوسته انجام شود، تبدیل پیوسته موجک (*CWT*) و اگر به صورت گسسته انجام شود، تبدیل گسسته موجک (*DWT*) نامیده می‌شود *(Johansson, 2005)*.

۲-۲-۲ تبدیل موجک گسسته[۲۹]

نسخه گسسته در حقیقت موجکی است که با نمونه گرفتن از تبدیل موجک به دست می‌آید. تبدیل موجک گسسته نسبت به نوع پیوسته از لحاظ پیاده سازی بسیار ساده‌تر و بهینه تر است.

اصول تبدیل موجک گسسته به روشی تحت عنوان کدینگ زیرباند[۳۰] برمی‌گردد *(Daubechies., 1992)*. ایده اصلی این روش نیز مشابه تبدیل موجک پیوسته است که در آن نوعی توصیف زمان-مقیاس از سیگنال گسسته با استفاده از فیلترهای دیجیتال ارائه می‌گردد. به خاطر داریم که تبدیل موجک، حاصل شباهت سنجی بین محتوای فرکانسی سیگنال و تابع موجک در مقیاس‌های مختلف است.

روند پردازش با تبدیل موجک گسسته چنین آغاز می‌شود: در ابتدا سیگنال از یک فیلتر دیجیتال پائین گذر نیم باند عبور می‌کند، و لذا خروجی فیلتر برابر با کانولوشن ورودی و پاسخ ضربه فیلتر است.

در نتیجه این عمل فیلترینگ، تمام مؤلفه های فرکانسی که بیشتر از نصف بزرگترین فرکانس موجود در سیگنال باشند، حذف می‌شوند. از آنجا که بیشترین فرکانس موجود در سیگنال خروجی فیلتر برابر با $\pi/2$ رادیان است، نیمی از نمونه ها قابل حذف‌اند. لذا با حذف یکی در میان نمونه‌ها، طول سیگنال نصف خواهد شد بدون اینکه اطلاعاتی را از دست داده شود. روند مشابهی نیز با استفاده از یک فیلتر دیجیتال بالاگذر نیم باند با پاسخ ضربه $g[n]$ انجام می‌پذیرد. در نتیجه در خروجی اولین مرحله از اعمال تبدیل موجک، دو نسخه (یکی بالاگذر و دیگری پائین‌گذر) با طول کاهش یافته (نصف شده) از سیگنال اولیه به فرم زیر بدست می‌آیند:

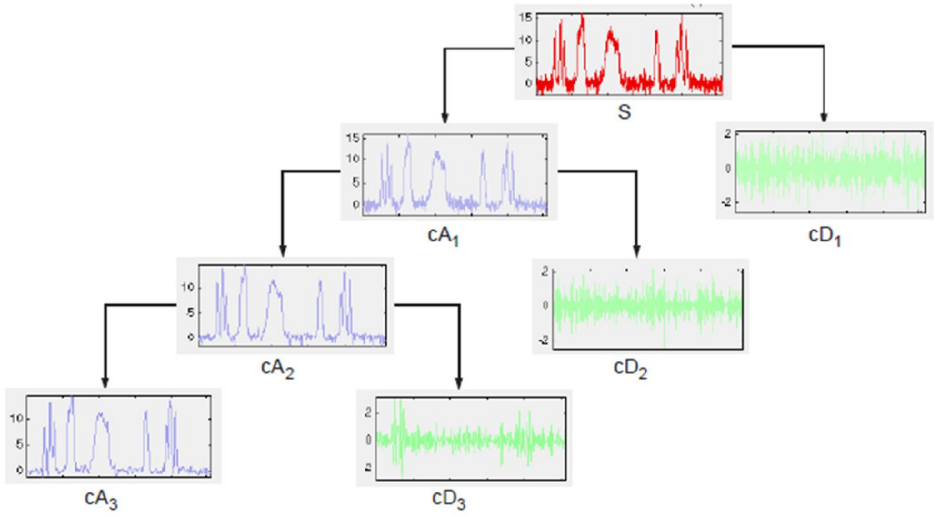
$$y_{low}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]g[2n-k] \qquad (۲-۲)$$

[29] discreet wavelet transform
[30] sub band coding

$$y_{high}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]h[2n+1-k] \qquad (۳-۲)$$

با این عمل، قدرت تفکیک زمانی نصف شده و در مقابل قدرت تفکیک فرکانسی دو برابر می‌شود. این روند را می‌توان مجدداً برروی نسخه پائین‌گذر شده اعمال نمود و در هر مرحله، با کاهش قدرت تفکیک زمانی به میزان نصف مرحله قبل، قدرت تفکیک فرکانسی را دو برابر نمود. این ایده برای محاسبه تبدیل موجک گسسته، به روش بانک فیلتر مشهور است که در شکل ۲-۲ برای یک سیگنال دلخواه و برای سه مرحله نشان داده شده است.

می‌توان دید که ضرایب خروجی فیلتر پائین گذر، شکل اولیه سیگنال را دنبال می‌کنند، به همین دلیل به این ضرایب، تقریب[۳۱] (cA) گفته می‌شود. همچنین ضرایب خروجی فیلتر بالاگذر، جزئیات فرکانس بالای سیگنال را دربردارند. به همین دلیل به این ضرایب، جزئیات[۳۲] (cD) گفته می‌شود *(Daubechies, 1988)*.



شکل ۲-۲ تجزیه چاه‌نمودار نوترون در چاه *W3* تا مرحله سوم با استفاده از تبدیل موجک گسسته

با افزایش تعداد مراحل تبدیل، میزان جزئیات نیز کاهش می‌یابد. باید دقت داشت که تعداد مراحل مورد نیاز برای تبدیل موجک گسسته، به خصوصیات فرکانسی سیگنال مورد تحلیل بستگی دارد. در

[31] approximation
[32] details

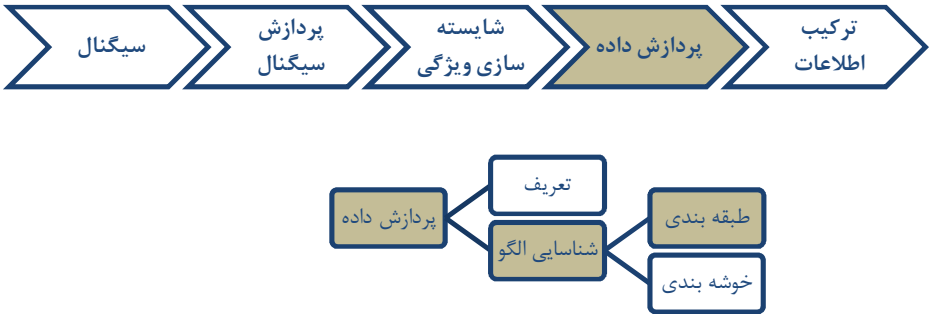
نهایت تبدیل موجک گسسته سیگنال از کنار یکدیگر قرار دادن خروجی فیلترهای مرحله اول اعمال فیلترینگ بدست می‌آید. به این صورت، تعداد ضرایب تبدیل موجک با تعداد نمونه‌های سیگنال گسسته ورودی برابر خواهد بود *(Sidney et al., 1997)*.

۲-۳ طبقه‌بندی کننده پارزن[۳۳]

۲-۳-۱ مقدمه

نیاز به طبقه‌بندی و شناسایی الگو در حوزه علوم و مهندسی اجتناب ناپذیر است. لذا این طبیعی است که طراحی ماشینی که بتواند شناسایی الگو را انجام دهد، اهمیت یابد. به هرحال در ده‌ها هزار مسئله نیاز به طراحی یک سیستم برای شناسایی الگو است *(Duda, 1997)*.

اهمیت و جایگاه طبقه‌بندی و شناسایی الگو در چارت زیر نشان داده می‌شود:



در حوزه مهندسی اکتشاف با توجه به حجم کم فضای مشاهده شده نسبت به فضای مشاهده نشده، بررسی و شناسایی الگوهای مناسب لازم به نظر می‌رسد. توصیف و شناسایی الگو در اکتشاف وابسته به مدل‌های بسیار پیچیده است که هر چقدر که دقت کار بالاتر رود این مدل پیچیده‌تر می‌شود. برای حل این مشکل همان طور که در بالا گفته شد باید بُعد فضای ورودی را افزایش داد *(Duda, 1997)*.

[33] *parzen Classifier*

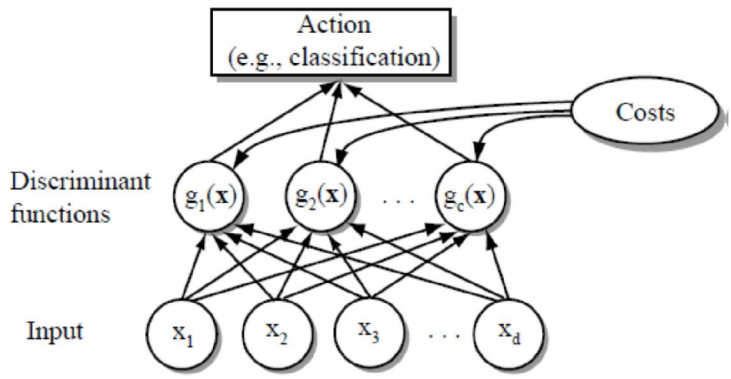
۲-۳-۲ طبقه‌بندی، تابع تفکیک[۳۴] و سطح جدایش

۲-۳-۲-۱ مسئله چند کلاسه

راه‌های زیادی برای نشان دادن طبقه‌بندی کننده‌ها وجود دارد. یکی از مفید ترین آن‌ها تابع تفکیک $g_i(x),\ i = 1,\dots,c$ است. طبقه‌بندی کننده، بردار ویژگی X را به کلاس w_i نسبت می‌دهد اگر:::

$$gi(x) > gj(x) \qquad for\ all\ j \neq i \qquad (۴-۲)$$

یک شبکه که نمایانگر یک طبقه‌بندی کننده است را در شکل زیر دیده می‌شود:::



شکل ۲-۳ ساختار تابعی طبقه‌بندی کننده آماری عمومی شامل d ورودی و c تابع تفکیک $g_i(x)$.. در گام بعدی بیشترین مقدار تابع تفکیک برای کلاسه بندی داده ورودی تعیین می‌شود *(Duda, 1997)*.

طبقه‌بندی کننده بیز در این روش خیلی آسان و طبیعی نشان داده شده است. بدیهی است که انتخاب تابع تفکیک، واحد نیست. همیشه می‌توان چندین تابع با دقت و نتیجه‌ی یکسان بر تصمیم-گیری انتخاب نمود. اگر هر $g_i(x)$ را با $f(g_i(x))$ جایگزین نمود، بطوری که $f(0)$ به طور یکنواخت افزایش یابد نتایج طبقه‌بندی بدون تغییر مانده است. با این کار می‌توان در طبقه‌بندی تابعی را انتخاب نمود که در دقت ثابت محاسبات ساده‌تری دارد.

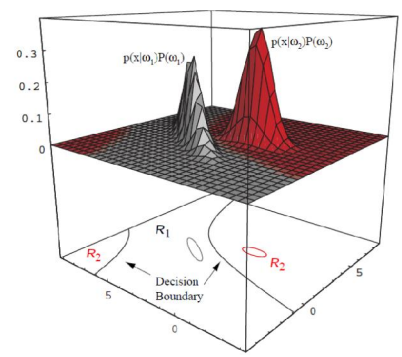
$$g_i(x) = P(w_i|x) = \frac{p(x|w_i)P(w_i)}{\sum_{j=1}^{c} P(X|w_i)P(w_i)} \qquad (۵-۲)$$

[34] *discriminate Function*

$$g_i(x) = p(x|w_i)P(w_i) \qquad (۶-۲)$$

$$g_i(x) = ln\, p(x|w_i) + ln\, P(w_i) \qquad (۷-۲)$$

زمانی که $g_i(x)>g_j(x)$ برای همه $i \neq j$ وقتی که X در R_i است، x را در کلاس w_i قرار می‌دهد. دراین جا فضا با مرزهای جدایش جدا شوند. سطوح در فضای ویژگی در میان بیشترین تابع تفکیک جدا شده‌اند *(Duda, 1997)*.



شکل ۲-۴ تابع احتمال گوسی. در این فضای دو بُعدی دو کلاس است. مرز تصمیم شامل دو چندلایه‌ای است *(Duda, 1997)*.

۲-۳-۲-۲ مسئله دوکلاسه

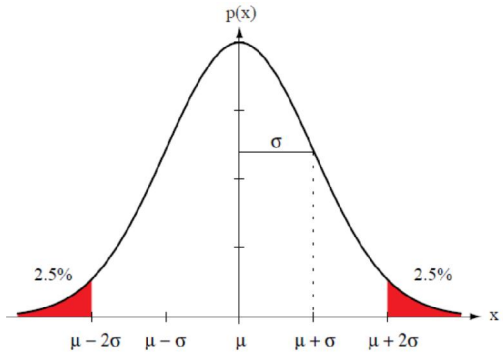
وقتی دو کلاس به جای چند کلاس است، رفتار جداگانه‌ای دیده می‌شود. طبقه‌بندی کننده در فضاها یک الگو فقط برای یکی از دو کلاس دارد که جداکننده نامیده می‌شود. به عنوان مثال اگر $g_1>g_2$ پس x متعلق به کلاس w_1 است و یک تابع تفکیک تعریف می‌شود.

$$g(x) \equiv g_1(x) - g_2(x) \qquad (۸-۲)$$

هرگاه $g(x)>0$ شد، آن‌گاه بردار ویژگی متعلق به کلاس w_1 است. در غیر این صورت متعلق به کلاس w_2 می‌باشد. تقسیم کننده به دوبخش می‌تواند به عنوان یک ماشین که یک تابع تفکیک محاسبه می-نماید عمل کند و x را در یک کلاس طبقه‌بندی نماید. در مورد کمترین خطا می‌توان تابع تفکیک را به صورت زیر تعریف نمود:::

$$g(x)=P(w_1|x) - P(w_2|x) \qquad (۹-۲)$$

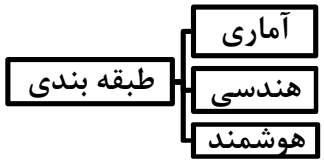
$$g(x)=ln\frac{p(x|w_1)}{p(x|w_2)} + ln\frac{P(w_1)}{P(w_2)} \qquad (۱۰-۲)$$



شکل ۲-۵ تابع توزیع نرمال

۲-۳-۳ روش‌های طبقه‌بندی

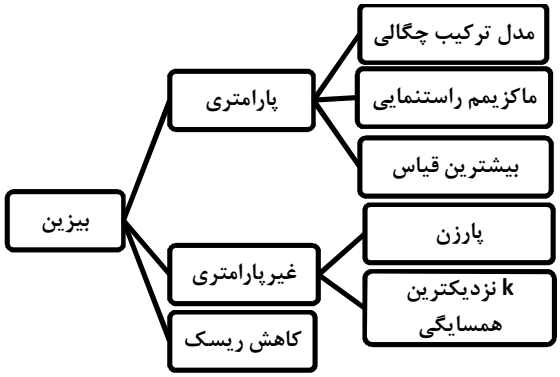
بطورکلی روش‌های طبقه‌بندی به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند:



۲-۳-۳-۱ تئوری تصمیم بیز[۳۵]- ویژگی‌های مجزا

بطور کلی روش‌های طبقه‌بندی بر مبنای تئوری بیز (در دسته طبقه‌بندی کننده‌های آماری) به سه صورت هستند:

[35] Bayes



فرض می‌شود که بردار ویژگی X می‌تواند در هر نقطه‌ای از یک d بُعدی در فضای اقلیدسی باشد. به‌هرترتیب در بسیاری از کاربردهای عملی اجزای X دوگانه، سه‌گانه و یا بیشتر هستند که X می‌تواند فقط یکی از m مقدار گسسته $v_1,\dots,v_m$ فرض شود. در این مورد تابع چگالی احتمال $P(X|w_i)$ منفرد می‌شود *(Koutroumbos, 2002)*.

$$P\,(w_j|x) = \frac{P(x|w_j)P(w_j)}{P(x)} \qquad (۱۱-۲)$$

$$P(X) = \sum_{j=1}^{c} P(X|w_i)P(w_i) \qquad (۱۲-۲)$$

که در آن wiکلاس iام و x ویژگی مورد نظر است که طبقه بندی می‌شود و به عبارت دیگر هدف محاسبه $p(wi|\,x)$ احتمال قرار گرفتن داده مورد نظر در کلاس i به شرط ویژگی x است.

۲-۳-۴ روش‌های غیرپارامتری[۳۶]

۲-۳-۴-۱ مقدمه

تا اینجا بحث با این فرض انجام شد که اشکال توابع چگالی شناخته شده‌اند. البته در بیشتر کاربردهای تشخیص الگو این فرض مورد تردید است. در عمل ندرتاً با شکل‌های پارامتری رایج، برای برازش مواجهه می‌شود. علی الخصوص همه چگالی‌های پارامتری کلاسیک یک نمایی هستند(داشتن یک ماکزیمم محلی منفرد)، درحالی‌که بسیاری از مسائل عملی با چگالی‌های چند مدی درگیر می‌شوند.

[36] *non Parametric Method*

چندین نوع از روش‌های غیرپارامتری در تشخیص الگو وجود دارد. یک شیوه تخمین توابع چگالی $p(X|wi)$ از الگوهای نمونه‌ها است. اگر این تخمین‌ها رضایت‌بخش بودند، آن‌ها می‌توانند جانشین چگالی صحیح در هنگام طراحی طبقه‌بندی باشند. شیوه دیگر برای تخمین مستقیم احتمالات پسین $P(w_j|X)$ است. این وابسته به فرایندهای طراحی غیرپارامتری از قبیل نزدیکترین همسایگی است. در نهایت فرایندهای غیرپارامتری برای تبدیل فضای ویژگی، امیدوارانه وجود دارند که محتمل باشد روش پارامتری را در تبدیل فضا استخدام نماید. این روش‌های آنالیز تفکیک شامل جداکننده خطی فیشر، که یک ارتباط مهم بین تکنیک‌های پارامتری را فراهم می‌سازد است.

۲-۳-۴-۲ تخمین چگالی

ایده بنیادی پشت بسیاری از روش‌های تخمین، یک تابع چگالی احتمالی بسیار ساده است (هرچند اثبات تخمین‌ها نیازمند توجه بسیاری است.). بیشتر تکنیک‌های بنیادی وابسته به این حقیقت هستند که به احتمال P بردار X در محدوده R افتاده است:::

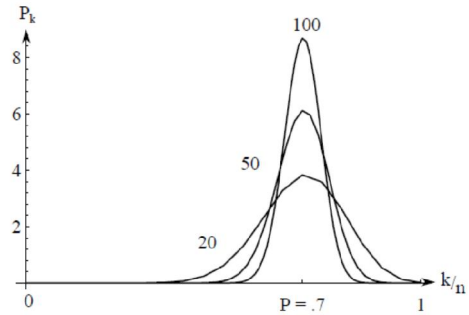
$$P=\int_R p(x')dx' \qquad (۱۳-۲)$$

پس P میانگین یا هموارشده تابع چگالی $p(x)$ است و می‌توان این مقدار هموار شده p را با احتمال P تخمین زد. احتمال این‌که k عدد از nبرداری که در فضای R افتاده اند با قوانین چندجمله‌ای بدست آیند:

$$P_k = \binom{n}{k} P^k(1-P)^{n-k} \qquad (۱۴-۲)$$

مقدار k از رابطه زیر بدست می‌آید::: :

$$\varepsilon[k] = nP \qquad (۱۵-۲)$$



شکل ۲-۶ احتمال P_k برای یافتن k الگو در یک حجم که احتمال میانگین فضا P بعنوان تابعی از k/n است. هر منحنی با تعداد کل الگوهای n برچسب خورده است. برای nهای بزرگ از قبیل توابع چند جمله‌ای قله قوی و بلندی در $k/n=P$(در اینجا ۰.۷ انتخاب شده است.)نشان داده است *(Duda, 1997)*.

اگر $p_n(x)$ nامین تخمین برای $p(x)$، k_n تعداد نمونه‌هایی که در R_n افتاده اند و V_n حجم فضای R_n باشد پس : (رابطه۲-۱۶)

$$p_n(x) = \frac{k_n/n}{V_n} \qquad (۱۶-۲)$$

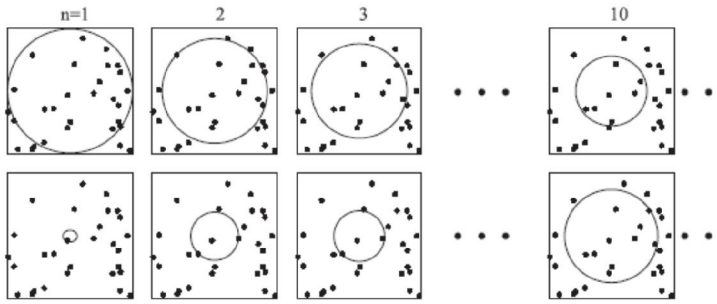
اگر $p_n(x)$ همگرا به $p(x)$ شود، سه شرط نیاز دارد:

$$lim_{n\to\infty} V_n = 0 \qquad lim_{n\to\infty} k_n = \infty \qquad lim_{n\to\infty} k_n/n = 0$$

شرط اول، این اطمینان را به ما می‌دهد که میانگین فضا P/V به $p(x)$ همگرا شده است و نشان دهنده پیوسته بودن $p(.)$ در x است. شرط دوم، این اطمینان را به ما می‌دهد که نسبت فرکانس همگرا به احتمال P خواهد شد. شرط سوم، در این معادله ضروری است اگر $p_n(x)$ همواره همگرا باشد که می-گوید هرچند تعداد بزرگی از نمونه‌ها نهایتاً درون محدوده کوچک R_n می‌افتند ولی آن‌ها یک جزء کوچکی از تعداد کل داده‌ها هستند.

دو راه رایج برای انجام شروط فوق وجود دارد(شکل ۲-۷). نخست کوچک کردن نخستین فضا با تعیین V_n بعنوان تابعی از n مثلاً $V_n=1/\sqrt{n}$. سپس باید عملکرد متغیرهای تصادفی k_n و k_n/n به موقع یا بیشتر در آن نقطه نشان داده شود که $p_n(x)$ همگرا به $p(x)$ شود. این اساس روش پنجره پارزن

است. دومین روش، تعیین k_n بعنوان تابع n از قبیل $k_n = \sqrt{n}$ ... اینجا حجم V_n رشد کرده تا همسایه‌های x به k_n بپیوندد. این روش تخمین نزدیک‌ترین همسایگی k است. هر دو روش در حقیقت همگرا هستند، هرچند شرح معنی دار در مورد رفتار نمونه‌های کوچک سخت است *(Duda, 1997)*.



شکل ۲-۷ دو روش برای تخمین چگالی در نقطه x (در مرکز هر مربع) *(Duda, 1997)*

۲-۳-۴-۳ پنجره‌های پارزن[۳۷]

روش پنجره پارزن برای تخمین چگالی‌ها می‌تواند با فرض این‌که ناحیه R_n یک مکعب چند بُعدی است مطرح شده باشد. اگر h_n طول ضلع این مکعب باشد حجم آن از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$V_n = h_n^d \qquad (۱۷-۲)$$

می‌توان بیان تحلیلی برای k_n بدین صورت که تعداد نمونه‌هایی که درون مکعب چند بُعدی می‌افتند را با تعریف تابع پنجره به صورت زیر بدست آورد:::

$$\varphi(u) = \begin{cases} 1 & |u_j| \le \frac{1}{2} \quad j = 1, \dots, d \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (۱۸-۲)$$

[37] *Parzen Window*

پس $\varphi(u)$ یک مکعب چند بُعدی با یک مرکز را تعریف می‌نماید. یعنی $\varphi((x-x_i)/h_n)$ اگر x_i داخل حجم V_n با مرکز x قرار گیرد برابر واحد خواهد شد و در غیر این صورت برابر صفر می‌شود. تعداد نمونه‌ها در این مکعب چند بُعدی با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$k_n = \sum_{i=1}^{n} \varphi\left(\frac{x-x_i}{h_n}\right) \qquad (۱۹-۲)$$

با جایگذاری این مقدار در معادله (۲-۱۶) بدست می‌آید:

$$p_n(x) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{V_n}\varphi\left(\frac{x-x_i}{h_n}\right) \qquad (۲۰-۲)$$

این معادله یک روش کلی تر برای تخمین توابع چگالی پیشنهاد می‌دهد. در ذات تابع پنجره از درون-یابی استفاده شده است که هر نمونه در تخمین بر اساس فاصله‌اش از x شرکت داده می‌شود.

پرسش در مورد دقت تابع چگالی تخمین زده شده بدیهی به نظر می‌رسد و انتگرال باید بزرگتر یا مساوی صفر باشد. برای دقت بیشتر اگر $\varphi(x) \geq 0$ باشد::: (رابطه ۲-۱۴)

$$\int \varphi(u)du = 1 \qquad (۲۱-۲)$$

حال اثر عرض پنجره (h_n) بر روی $p_n(x)$ بررسی می‌شود. اگر تابع $\delta_n(x)$ به صورت زیر تعریف شود:

$$\delta_n(x) = \frac{1}{V_n}\varphi\left(\frac{x}{h_n}\right) \qquad (۲۲-۲)$$

پس می‌توان $p_n(x)$ را بعنوان میانگین در نظر گرفت:

$$p_n(x) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \delta_n(x-x_i) \qquad (۲۳-۲)$$

از رابطه $V_n = h_n^d$، h_n دقیقاً بر دامنه و محدوده $\delta_n(x)$ تاثیر می‌گذارد(شکل۲-۸). اگر h_n خیلی بزرگ باشد دامنه δ_n کوچک و x دور از x_i باید باشد قبل از این که $\delta_n(x-x_i)$ بیشتر از $\delta_n(0)$ تغییر نماید. در این مورد، $p_n(x)$ انطباق n پهنا است. تغییرات تابع آرام و بصورت هموار $p(x)$ را تخمین می‌زند. از طرف دیگر اگر h_n خیلی کوچک باشد مقدار قله $\delta_n(x-x_i)$ خیلی بزرگ و

نزدیک $x=x_i$ اتفاق می‌افتد. در این مورد $p(x)$ انطباق n ضربه مرکزی در نمونه‌ها به طور نامنظم و نوفه‌ای است(شکل۲-۹). برای هر مقدار h_n توزیع نرمال شده است:

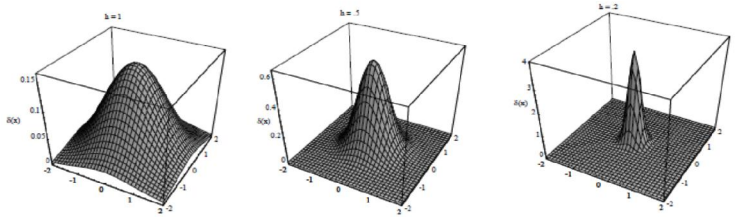
$$\int \delta_n(x-x_i)dx = \int \frac{1}{V_n}\varphi\left(\frac{x-x_i}{h_n}\right)dx = \int \varphi(u)du = 1 \qquad (۲۳-۲)$$

پس وقتی h_n نزدیک به صفر شد $\delta_n(x-x_i)$ به یک تابع دلتاب دیراک در مرکز x_i و $p_n(x)$ به انطباق تابع دلتا به مرکز نمونه‌ها نزدیک می‌شود.

دقیقاً انتخاب h_n (V_n) تاثیر مهمی بر $p_n(x)$ دارد. اگر V_n خیلی بزرگ باشد، تخمین دارای قدرت تفکیک پایینی می‌شود. اگر V_n خیلی کوچک باشد، تخمین از بسیاری از تغییرپذیری های آماری متاثر می‌شود. با یک تعداد محدود از نمونه‌ها، بهترین کاری که می‌توان انجام داد توافق قابل قبول است. به هرترتیب با یک تعداد داده نامحدود از نمونه‌ها، ممکن است بتوان V_n را به آرامی با افزایش n به صفر نزدیک کرد و $p_n(x)$ را به سمت چگالی نامعلوم $p(x)$ همگرا نمود.

در بحث همگرایی باید دانست که درباره همگرایی توالی متغیرهای تصادفی صحبت می‌شود و برای هر X ثابت مقدار $p_n(x)$ بستگی به نمونه‌های تصادفی $x_1,\ldots,x_n$ دارد. پس $p_n(x)$ چند میانگین $\overline{p_n}(x)$ و واریانس $\sigma_n^2(x)$ دارد. باید گفت که تخمین $p_n(x)$ به $p(x)$ همگرا می‌شود اگر:::

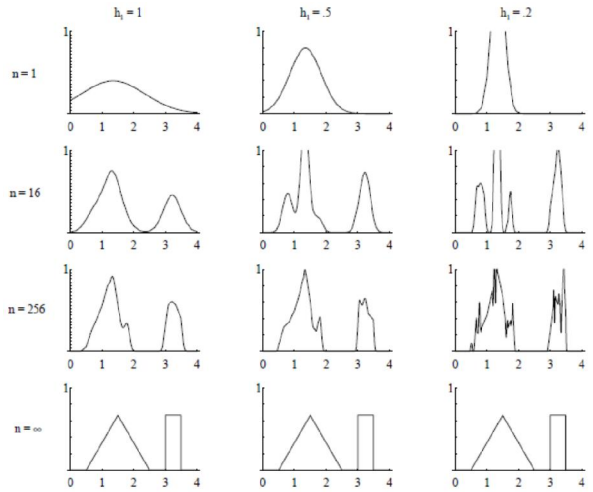
$Lim\ \overline{p_n}(x) = p(x)$ و n به سمت بی نهایت میل می‌کند. و $lim_{n\to\infty}\sigma_n^2(x) = 0$



شکل ۲-۸ نمونه‌هایی از پنجره پارزن نرمال متقارن مدور $\varphi(\frac{x}{h})$ برای سه مقدار مختلف h. توجه شود که $\delta(.)$ نرمالایز هستند، مقیاس‌های عمودی مختلف باید برای نشان دادن ساختارهایش استفاده شوند *(Duda, 1997)*.

۲-۳-۴-۳-۱ انتخاب تابع پنجره

یکی از مسائلی که در روش پنجره پارزن با آن برخورد می‌شود، انتخاب توالی اندازه حجم سلول های $V_1,\dots,V_n$ یا همان اندازه پنجره‌ها است. برای مثال اگر $V_n = V_n/\sqrt{n}$ ، نتایج برای هر جزء n خیلی حساس به حجم اولیه V_1 است. اگر V_1 خیلی کوچک باشد، بیشتر حجم‌ها خالی خواهد ماند و تخمین $p_n(x)$ بسیار نامنظم خواهد شد(شکل۲-۹). از طرف دیگر اگر V_1 خیلی بزرگ باشد متغیرهای فضای مهم در $p(x)$ به علت میانگین بالای حجم سلول شاید از دست بروند *(Duda, 1997)*.



شکل ۲-۹ تخمین‌های پنجره پارزن یک توزیع دو مدی با استفاده از عرض پنجره‌های و تعداد نمونه‌های مختلف. وقتی $n \to \infty$ بدون توجه به h (عرض پنجره) تخمین‌ها یکسان می‌شود *(Duda, 1997)*.

فصل سوم

توصیف میدان

و

داده‌های مورد مطالعه

۳-۱ میادین مورد مطالعه

داده‌های این پایان‌نامه مربوط به دو میدان در غرب کشور است. برای شناخت بیشتر از میادین نفتی مورد مطالعه علاوه بر مختصری راجع به تاریخچه آن‌ها باید در مورد زمین‌شناسی کلی آن‌ها نیز بحث شود. در نهایت نیز راجع به زمین‌شناسی و چینه‌شناسی مخازن مورد بررسی که در سازندهای کربناته سروک و ایلام واقع شده‌اند، توضیح مختصری داده می‌شود.

۳-۱-۱ موقعیت میادین

میدان *A*:

این میدان در حاشیه شمال شرقی فروافتادگی دزفول قرار دارد و تاقدیس کوچکی است که در سطح از سازندهای گروه فارس تشکیل شده است (مطیعی، ۱۳۸۹). چاه‌های W5,W6 مربوط به این میدان می‌باشند که چاه W5 مربوط به مخزن ایلام و چاه W6 مربوط به مخزن سروک است.

میدان *B*:

تاقدیس *B* در شمال تاقدیس ماله کوه قرار دارد و در سطح زمین از سازندهای آسماری – شهبازان، کشکان، تله زنگ و امیران تشکیل شده است. این تاقدیس در عرض دارای دو کوهان بوده که از این بابت کاملاً منحصر بفرد است. یکی از مهم‌ترین مسائل میدان *B* غیریکنواخت و ناهمگن بودن مخزن است (مطیعی، ۱۳۸۹). چاه‌های *W1,W2,W3,W4* مربوط به این میدان می‌باشند که چاه *W1, W3* مربوط به مخزن سروک و چاه *W2, W4* مربوط به مخزن ایلام می‌باشد.

۳-۱-۲ زمین شناسی در میدان *B*

۳-۱-۲-۱ چینه شناسی

سازند امیران در ساختمان B بیرون زدگی دارد. در چاه $W3$، سکانس چینه شناسی شبیه سطح است(در سازند امیران) و در تمام عمق (سازند سروک) همراه با تغییرات ضخامت در سازندهای پابده و گورپی است. سازند ایلام پس از حفاری ۱۳۵ متر بالاتر از حد پیش‌بینی شده تخمین زده شد.

خلاصه‌ای از سکانس‌های چینه‌شناسی این میدان در ذیل توضیح داده شده است:

الف- سازند امیران(پالئوسن):

این مقطع شامل لای‌های مارنی قهوه‌ای تیره و زیتونی تا خاکستری، ماسه‌سنگ‌های درشت و زاویه‌دار همراه با لایه‌های آهکی و ماسه‌سنگ‌های خاکستری روشن و قهوه‌ای روشن است.

ب. سازند پابده(پالئوسن بالایی- میوسن):

بالای این مقطع، آخرین لایه‌های ماسه‌ای سازند امیران بر روی چاه‌نمودارهای GR و DT دیده می-شود. بخش‌های اصلی این بخش شامل شیل‌های بیتومنی قهوه‌ای تیره است.

ج. سازند گورپی:

سازند گورپی شامل سه بخش است:

ج.۱. گورپی بالایی[۳۸] (کامپانین- پالئوسن):

این بخش شامل آهک‌های خاکستری تیره تا آبی و شیل‌های پیریتی و فسیل‌های مارنی چسبناک می‌باشد.

عضو امام حسن(ع): (کامپانین- پالئوسن)

عضو امام حسن (ع) عمدتاً شامل آهک‌های رسی خاکستری تا قهوه‌ای همراه قطعات گلوله‌ای مجدداً بلوری شده و مارن‌های قهوه‌ای تیره چسبناک است.

ج.۲.گورپی میانی[۳۹]: (کامپانین - پالئوسن)

---

[38] *u. Gurpi*

این بخش شامل شیل‌های فسیل دار سفت شده و قهوه‌ای تیره است.

عضو لوفا (کامپانین - پالئوسن):

عضو آهکی لوفا شامل آهک‌های رسی میکریتی قهوه‌ای روشن و قطعات گلوله‌ای مجدداً بلوری شده است.

ج.۳. گورپی پایینی[۴۰]::: (کامپانین - پالئوسن)

پایین‌ترین بخش سازند گورپی عموماً شامل مارن‌های سیلتی قهوه‌ای تیره است.

د. سازند ایلام: (سانتونین - کامپانین)

بالای سازند ایلام با یک تغییر سنگ‌شناسی از مارن قهوه‌ای تیره به آهک‌های قهوه‌ای روشن مشخص شده است. این بخش عمدتاً شامل دانه‌های ریز، آهک‌های رسی، آهک‌های فرسایشی همراه رگه‌های کلسیتی دوباره بلوری شده، قطعات گلوله‌ای و بخش‌های بیتومنی است.

ه. سازند سورگاه (تورونین- سانتونین پایینی):

از نظر سنگ‌شناسی عمدتاً شامل شیل‌های آهکی قهوه‌ای تیره تا خاکستری و آهک‌های رسی قهوه‌ای است. سازند سورگاه میان لایه‌ای بین سازندهای ایلام و سروک است.

و. سازند سروک (آلبین-تورونین):

این بخش شامل دانه‌های ریز تیپ *A* آرچی، آهک‌های پرتیک و بخش‌های گلوکونیتی است. بخش پایین این مقطع عمدتاً شامل آهک‌های تیپ *1A* آرچی همراه با ندول‌های چرتی است که به طرف پایین آن به آهک‌های رسی می‌رود.

ز. سازند گرو (آلبین- نئوکمین):

---

[39] *m. Gurpi*
[40] *l.Gurpi*

این سازند به طورکلی شامل شیل‌های قهوه‌ای تیره و آهک‌های رسی که بخش‌هایی از آن نفتی شده است و رادیولاریت‌ها در آن فراوان یافت می‌شوند *(Shourab, 2009)*.

۳-۲ مخازن مورد مطالعه

۳-۲-۱ سازند سروک

سازند سروک گفته می‌شود دارای سن اواخر آلبین به سنومانین است. اما بصورت محلی مربوط به سن تورونین است. بر اساس مطالعه استون‌لی ۱۹۸۱ پلت‌فرم سروک به سرعت با هر دو رخساره رادیولارین و مارن‌های دریایی پوشیده شده است *(Stoneley, 1981)*.

سازند سروک بخشی از آهک‌های کرتاسه میانی است که در بُرش الگوی تنگ سروک دریای جنوب غرب بنگستان به ضخامت ۲۵۴/۵ متر اندازه‌گیری شده است *(James & Wynd 1965)*. از سنگ آهک رسی ندولار ریزدانه به رنگ خاکستری تیره همراه لایه‌های نازک مارن که به طرف بالا به سنگ آهک‌های ضخیم سفید لایه تا کرم با ندول‌های سیلیس پراکنده بدل شده، تشکیل می‌شود. رد بالای لایه‌های حاوی ندول‌های چرت، سنگ آهک کرم تا قهوه‌ای ضخیم لایه حاوی قطعات رودیسیت قرار گرفته است. مرز زیرین با کژدمی هم‌شیب و تدریجی است.

در خوزستان و فارس ناپیوستگی هم‌شیب با سن اواخر سنومانین اوایل تورونین در مرز بالای سروک قرار دارد. در ناحیه لرستان نبود ناپیوستگی خیلی مشخص نیست و سازند سروک دارای رخساره عمیق است. در فارس ساحلی دارای دو بخش احمدی و مدود است. در لرستان مرزهای سروک با سازندهای سروگاه-گرو در مقاطع سطحی و گاه از روی تغییرات سنگ‌شناسی قابل تشخیص است. مرز بین سروک و کژدمی در قسمتی که لایه‌ها بیشتر شیلی شده‌اند، انتخاب می‌شود*(Wynd, 1965)*.

در شمال خلیج فارس بصورت یک کمربند باریکی در امتداد فارس ساحلی، سازند ایلام و سروک توسط شیل‌های کم عمق سازند لافان جدا می‌گردند. در فارس ساحلی بخش بالایی سروک بواسطه ناپیوستگی انتهایی سنومانین – ابتدای تورونین از بین رفته است. بخش مدود متشکل از سنگ آهک خاکستری تا قهوه‌ای ضخیم لایه غنی از اربیتولینا بطور هم‌شیب بر روی سازند کژدمی قرار گرفته است.

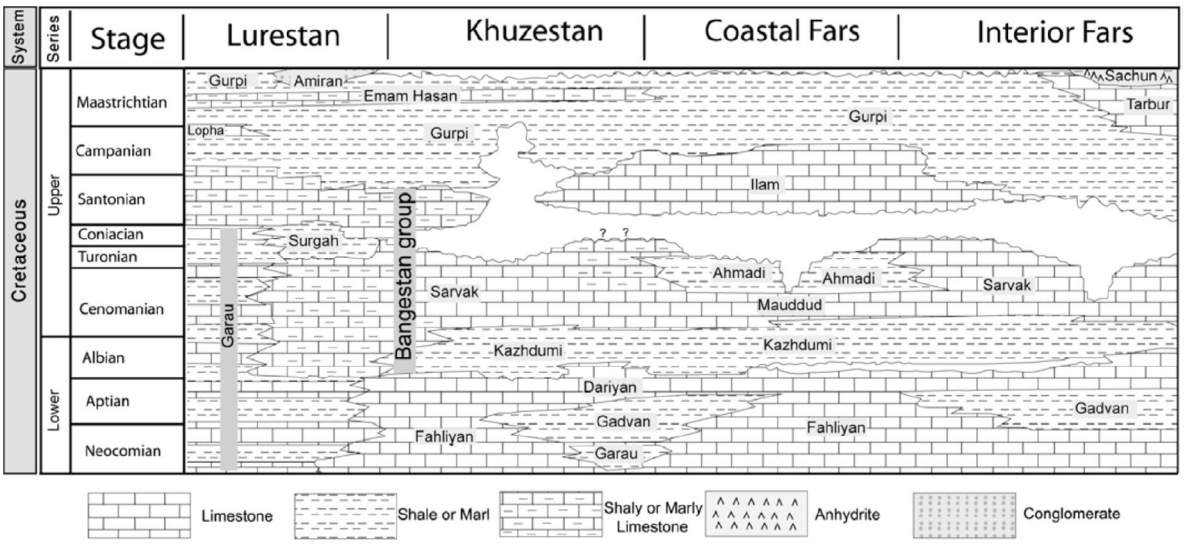
بخش احمدی متشکل از شیل‌های خاکستری تا سبز با لایه‌های آهکی بطور بین لایه‌ای قرار گرفته است. قاعده بخش احمدی بطور هم‌شیب بر روی مدود قرار دارد. سازند سروک قابل مقایسه با سازند گروه واسیا در کشورهای هم‌جوار خلیج فارس است *(Motiei, 1993)*.

تخلخل‌های موجود در سازند سروک بر اساس تقسیم‌بندی چوکت و پری(۱۹۷۰م) عبارتند از تخلخل‌های انتخاب شده توسط فابریک شامل بین دانه‌ای، قالبی، بین بلوری و تخلخل بدون انتخاب فابریک شامل تخلخل حفره‌ای شکستگی و استیلولیتی *(Choquette and pray, 1970)*.

این سازند شامل دو واحد اصلی رسوبی است:

- پایین ترین عضو مَدود از پلت‌فرم توده‌ای کربناته شامل نهشته‌های اوربیتالینا و تروچولینا در رمپ پلت‌فرمی گلی ترکیب شده است. این واحد رخساره‌های فرعی و تغییرات باریک را در مقابل واحد بالایی نشان می‌دهد.
- عضو بالایی احمدی از لایه‌های ضخیم، ریزدانه، آهک‌های رسی تیره غنی از جانوران دریایی شامل اولیگوستجینا تشکیل شده است. این واحدها دارای ضخامت متغیر بین ۰ تا ۷۰۰ متر در زاگرس هستند. بصورت محلی عضو احمدی توسط واحد کربناته کم‌عمق دیگری از سروک پوشیده شده که می‌توان آن‌را بعنوان معادل سازند میشریف معرفی نمود (شیرودی و همکاران، ۱۳۸۸).

سازند سروک یکی از مهم‌ترین مخازن نفتی در جنوب غرب ایران است*(Motiei, 1993)* . این سازند نهشته شده بر پلت‌فرم کربناته در عرض زاگرس گسترده شده است. مطالعات روی سازند سروک بر چینه شناسی سنگی، بیواستراتیگرافی و دیرین شناسی متمرکز شده‌اند. به هر ترتیب رسوب شناسی جزئی و میکرو فاسیس‌ها هنوز مورد نیاز هستند *(Hart, 1972)*. رسوبات سازند سروک بر پلت‌فرم‌ها و درون شلف‌ها در حاشیه صفحه عربی نهشته شده‌اند (شکل۳-۱) *(Van buchem, 1996)* و *(Ziegler, 2001)*.



شکل ۳-۱ انطباق عمقی نهشته های زاگرس.. جایگاه مخازن سروک و ایلام در این نهشته ها دیده می شود. *(Ziegler, 2001)*

در این سازند مناطق معدنی نیز دیده می‌شود بطوری‌که افق های بوکسیتی بیشتر در تاقدیس‌های با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی که فرسایش یافته اند، قرار دارند و در حفره های کارستی واقع در مرز بین سازندهای ایلام و سروک و یا نزدیک به آن ایجاد شده اند *(Zarasvandi. A)*.

۳-۲-۲ سازند ایلام

این سازند شامل پلات‌فرم‌های کربناتی که توسط روتالیا، جلبک و آرچیکیکلاس جمع آوری شده-اند(زون‌های ۳۰ و ۳۱ ویند ۱۹۶۵) که در بخش جنوب غربی توسعه یافته‌اند، می‌باشد. رخساره‌های اساسی ایلام شامل لایه‌های منظم و خاکستری هستند *(Wynd, 1965)*.

آهک‌های رسی ریزدانه همراه با جانوران دریایی *Planoglobina*،*Globotruncana* و *Calcisphaerula* وجود دارند. این رخساره‌ها در شمال زاگرس غالب هستند و از رسوبات دریایی سازند گورپی عبور می‌کنند. در این میدان سازند ایلام بتدریج با امتداد *SW-NE* ظاهر می‌شوند *(Van-Buchem, 2006)*.

۳-۳ داده‌ها

بطور کلی داده‌ها در دو میدان *A* (چاه‌های *W5,W6*) و *B* (چاه‌های *W1,W2,W3,W4*) قرار گرفته‌اند. جدول۳-۱ بطور مختصر،کُل داده‌های موجود را نشان می‌دهد. از میان این داده‌ها باید داده‌های لازم استخراج شوند که در فصل چهارم توضیح داده می‌شود.

جدول ۳-۱ داده‌ها

	W1	W2	W3	W4	W5	W6
Depth	1717.08 - 2132.98	1657.01-1808.13	1193.9-1314.5	914.25-1116.94	3333.14-3380.38	3382.36-3470.6
Logs	ILE ,DRHO ,CALI ,GR , RHOB ,DT,NPHI	ILE ,DRHO ,CALI ,GR , HOB ,NPHI	CGR,DF,HCAL,HDRA,NPHI, PEFZ,POTA,RHOZ, SGR,THOR,TPRA,TURA, URAN,SP,AO, AE,DT	CGR,DF,HCAL,HDRA, NPHI,PEFZ,POTA,RHOZ, SGR,THOR,TPRA,TURA ,URAN,SP,AO, AE,DT	BS, CALI-POR, DRHO, DT,GR-POR, LLD, LLS, MSFL, NPHI, PEFZ, RHOB	BS, CALI-POR, DRHO, DT,GR-POR, LLD, LLS, MSFL, NPHI, PEFZ, RHOB
core	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Formation	Sarvak	ILLam	Sarvak	ILLam	ILLam	Sarvak
Field	B	B	B	B	A	A

فصل چهارم

شناسایی تخلخل حفره‌ای از چاه-نمودارهای پتروفیزیکی

۴-۱ مقدمه

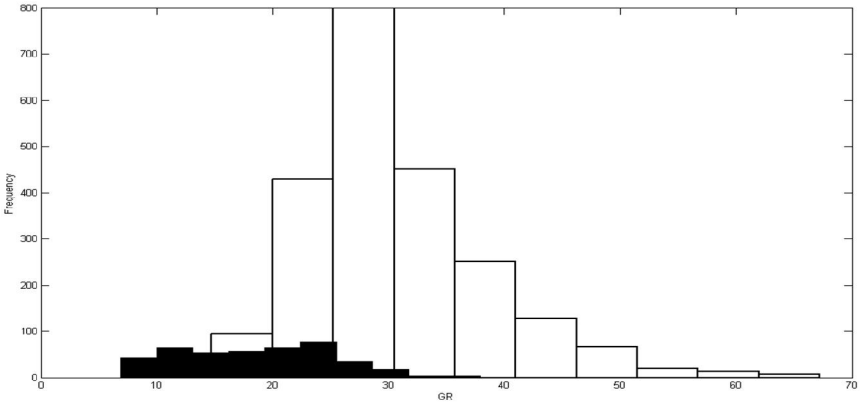
برای مطالعه و بررسی تاثیر تخلخل حفره‌ای بر روی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی و جدایش این نوع از تخلخل با استفاده از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی، ابتدا مطالعه از بررسی‌های تک‌بُعدی، دو و سه بُعدی آغاز شد. دلیل انجام این مطالعات آن است که بتوان میزان جدایش و قابلیت تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها در حالات یک، دو و سه بُعدی را بررسی کرد. در بررسی یک بُعدی هدف آن است که با کمترین داده ممکن، زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای را از دیگر زون‌ها جدا نمود.

در این نوع از مطالعه با رسم هیستوگرام چاه‌نمودار مورد مطالعه در دو زون مختلف، میزان همپوشانی این دو هیستوگرام بررسی می‌شود. چنانچه این محدوده همپوشانی گستردگی زیادی داشته باشد، نمی‌توان طبقه‌بندی مناسبی بین این دو زون ایجاد نمود چراکه محدوده ابهام، محدوده‌ای است که تعیین زون خاص در آن بصورت قطعی صورت نمی‌گیرد.

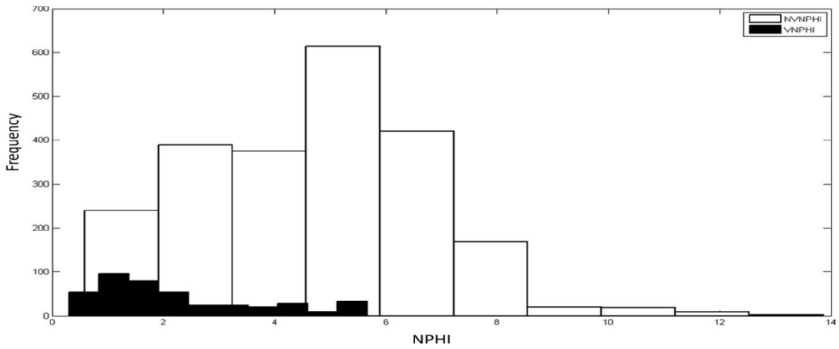
در مطالعات دو بُعدی سعی می‌شود که با افزودن یک چاه‌نمودار و افزودن بُعد فضای ورودی (بُعد ویژگی) به کاهش محدوه ابهام کمک نمود. با اضافه نمودن یک چاه‌نمودار دیگر به فضای ورودی و بررسی چاه‌نمودارها در سه بُعد امید است که دقت بررسی بالاتر رود.

۲-۴ مطالعه یک بُعدی

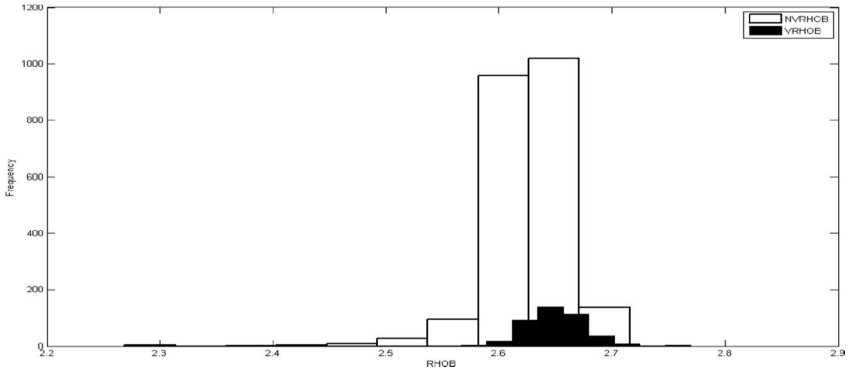
برای شروع کار مطالعه یک بُعدی ابتدا هیستوگرام هر چاه نمودار در هر دو زون حاوی تخلخل حفره-ای و غیر آن ترسیم شده است.. کم بودن همپوشانی هیستوگرام‌های دو زون (محدوده ابهام) نشان دهنده‌ی قدرت آن چاه نمودار در تفکیک دو زون از یکدیگر است. همان‌طور که در شکل ۳-۱ دیده می‌شود در حالت یک بُعدی در چاه *W1* محدوده ابهام بسیار گسترده است. همچنین با توجه به این نمودارها می‌توان دریافت که هیچ‌یک از این چاه‌نمودارها به تنهایی نمی‌توانند جدایش مناسبی بین زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و دیگر زون‌ها نشان دهند. این موضوع دقیقاً به علت وجود محدوده ابهام بالا بین این دو بخش است. هیستوگرام مربوط به چاه‌های دیگر در پیوست یک آمده است که در تمام موارد محدوده ابهام وسیع بوده و امکان جدایش مناسب بین زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و تخلخل غیر حفره‌ای نمی‌باشد.



الف) هیستوگرام چاه‌نمودار گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W1*

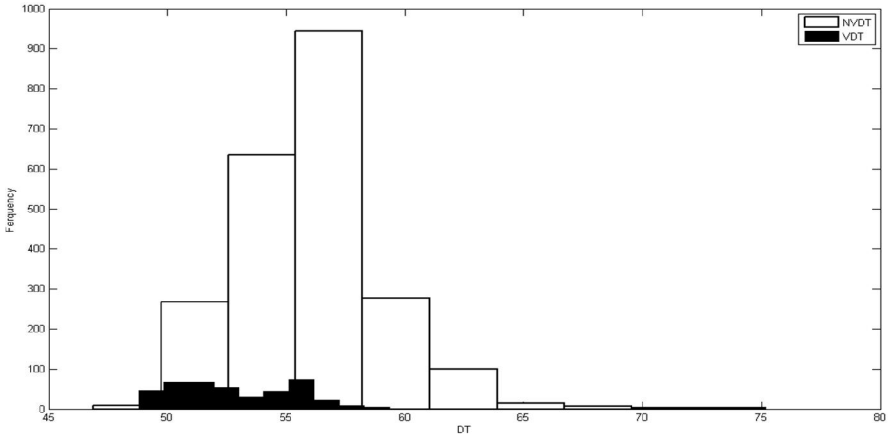


ب) هیستوگرام چاه‌نمودار نوترون مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) وسایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W1*



پ) هیستوگرام چاه‌نمودار چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W1*

شکل۴-۱. مطالعه یک بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها

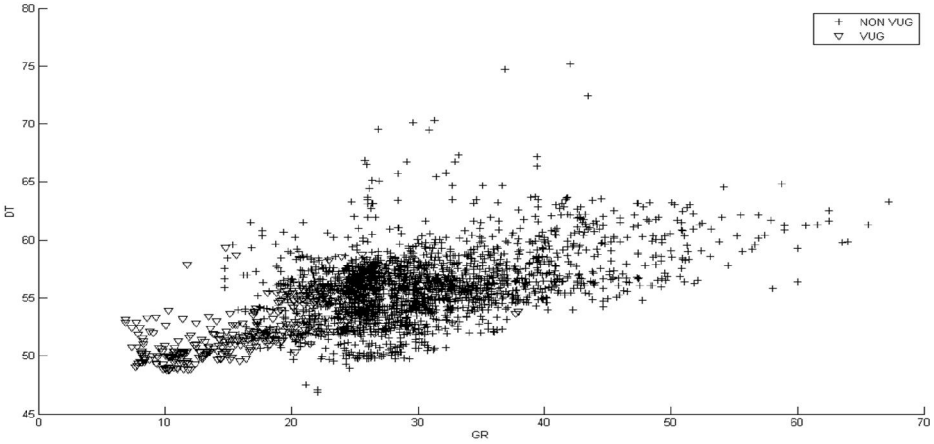


ت) هیستوگرام چاه‌نمودار صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W1*

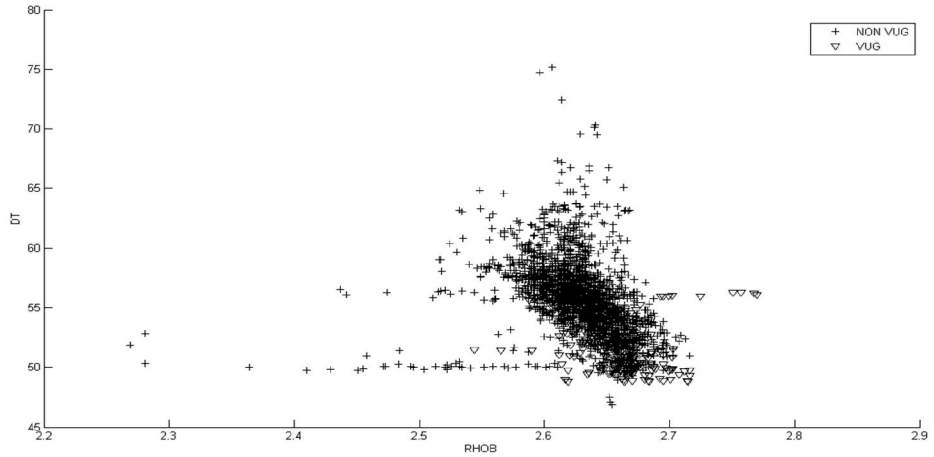
ادامه شکل۴-۱. مطالعه یک بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها

۴-۳ مطالعه دو بُعدی

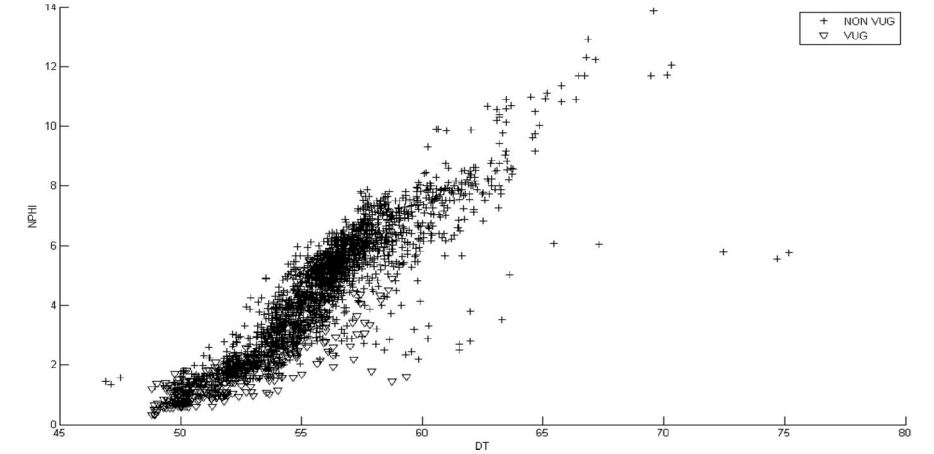
پس از مشاهده نتایج بررسی‌های یک بُعدی و ناتوانی آن در جدایش این نوع از تخلخل باید بررسی دو بُعدی صورت گیرد. در بررسی‌های دو بُعدی در زون‌های مورد مطالعه، چاه‌نمودارهای مختلف را در مقابل یکدیگر قرار داده و با توجه به محدوده‌های ایجاد شده در این نمودارها، سعی در جدایش تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌های موجود در مخزن می‌شود(شکل۴-۲). نتایج و نمودارها برای چاه *W1* بیانگر این موضوع است که در حالت دو بُعدی نیز طبق نظر هانگ و همکاران جدایش زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای با استفاده از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی امری سخت بنظر می‌رسد(*Hong et al, 2009*). در این حالت نیز زون ابهام گسترده‌تر از زون‌های جدایش است. لذا با این نمودار نیز جدایش مناسبی نخواهیم داشت. سایر نمودارهای مربوط به مطالعه دو بُعدی در پیوست یک آمده است که توضیح بالا را تایید می‌نمایند.



الف) نمودار دو بُعدی چاه‌نمودارهای صوتی- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W1*

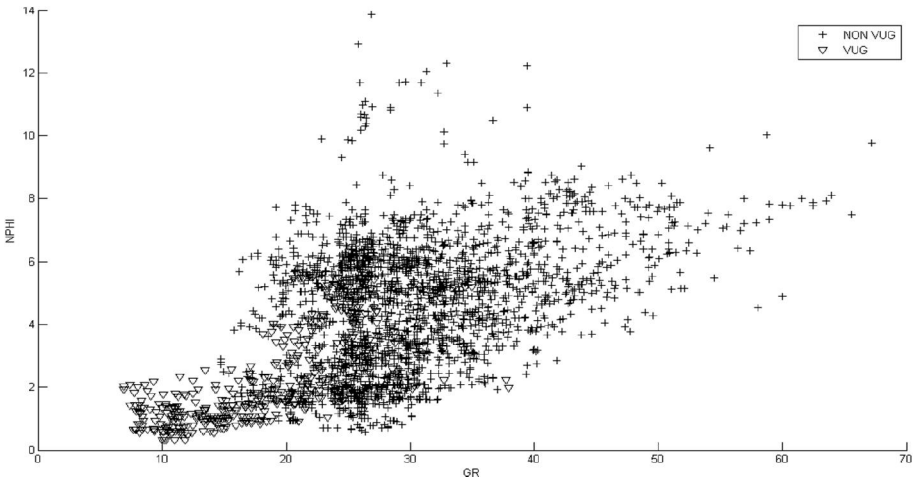


ب) نمودار دو بُعدی چاه‌نمودارهای صوتی- چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W1*

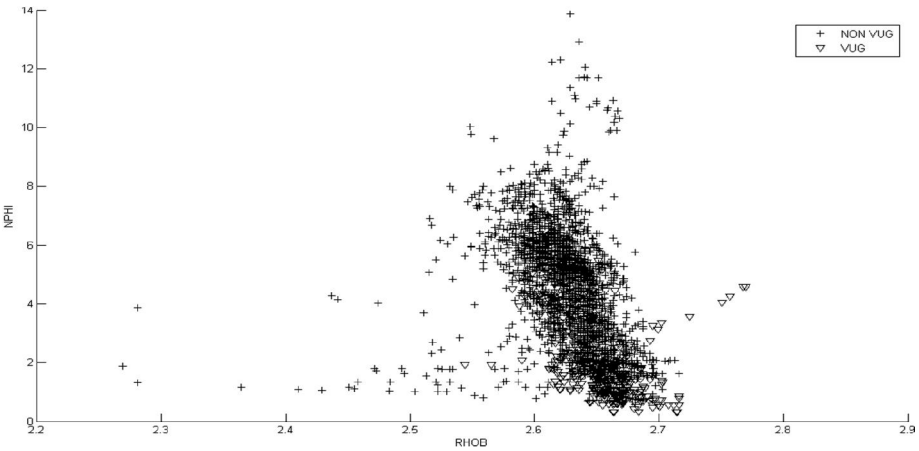


پ) نمودار دو بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W1*

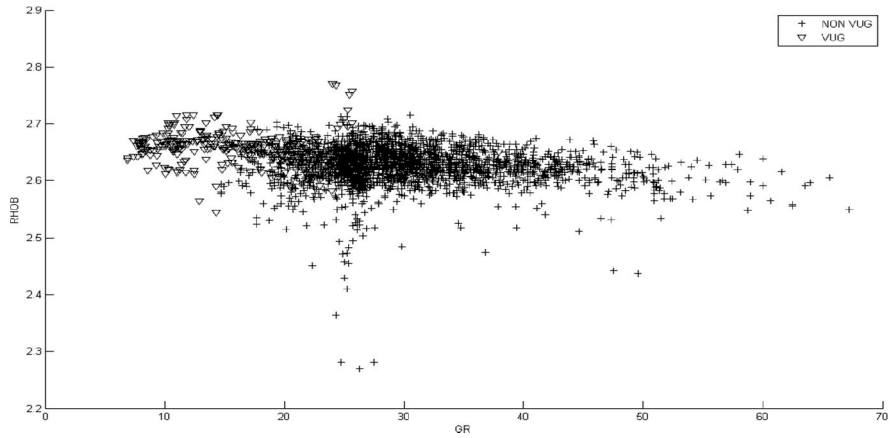
شکل۴-۲. مطالعه دو بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



ت) نمودار دو بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W1*



ث) نمودار دو بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W1*

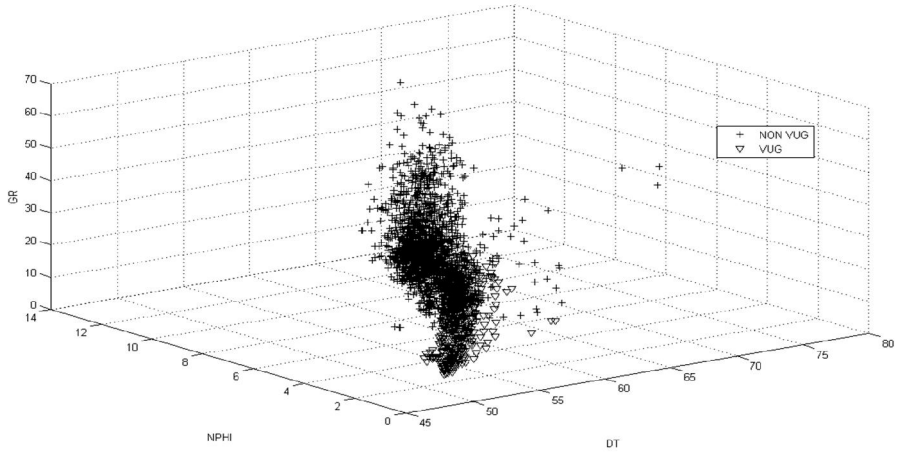


ج) نمودار دو بُعدی چاه‌نمودارهای چگالی- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W1*

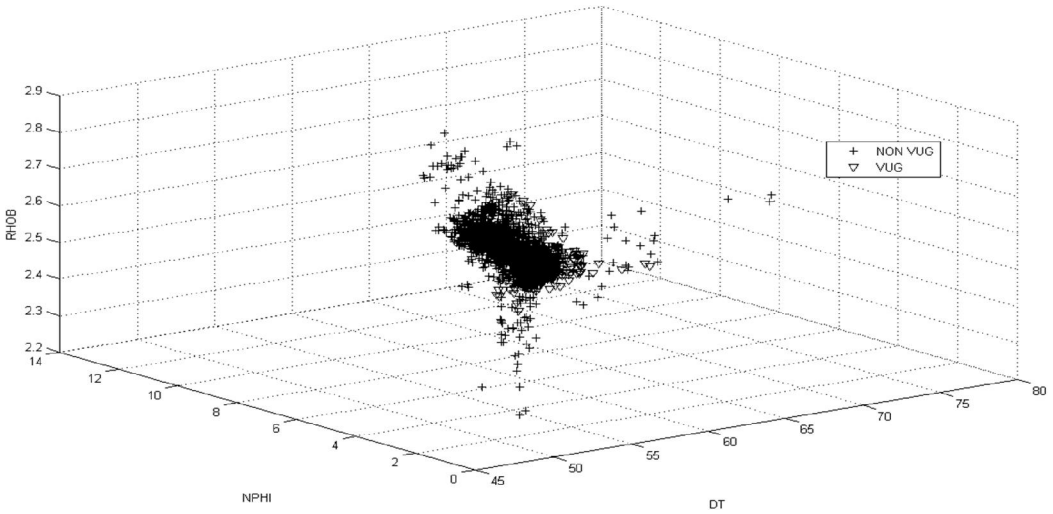
ادامه شکل۴-۲. مطالعه دو بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها

۴-۴ مطالعه سه بُعدی

در مطالعات یک و دو بُعدی نشان داده شده که جدایش بصورت مناسبی امکان پذیر نیست. برای بهبود کار بُعد فضا را افزایش داده تا با استفاده از ویژگی‌های بیشتری زون حاوی تخلخل حفره‌ای از دیگر زون‌ها تفکیک شود. در مطالعه سه بُعدی، چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی در هر زون نسبت به یکدیگر رسم شده و با توجه به تقسیم‌بندی نقاط، تفکیک صورت می‌گیرد. در این بخش نیز نمودارها در چاه *W1* مانند مطالعات یک و دو بُعدی، قابلیت تفکیک مناسبی را نشان نمی‌دهند.(شکل۴-۳).

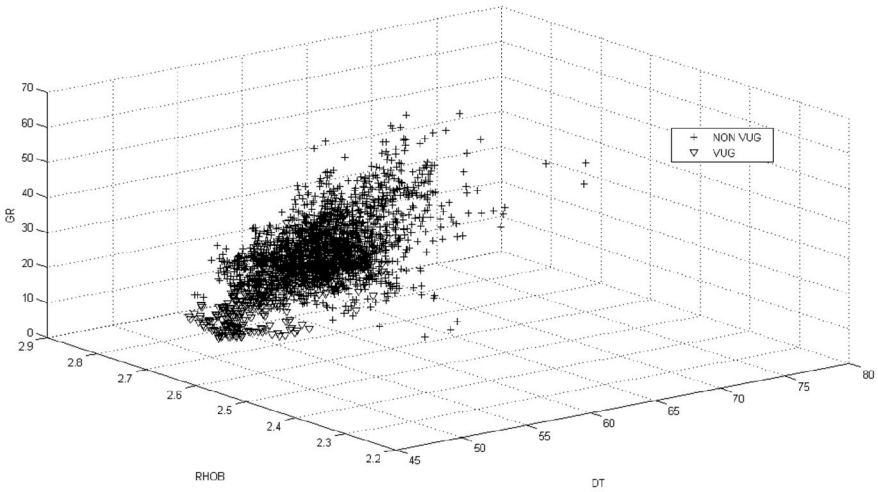


الف) نمودار سه بُعدی چاه‌نمودارهای گاما- نوترون- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W1*

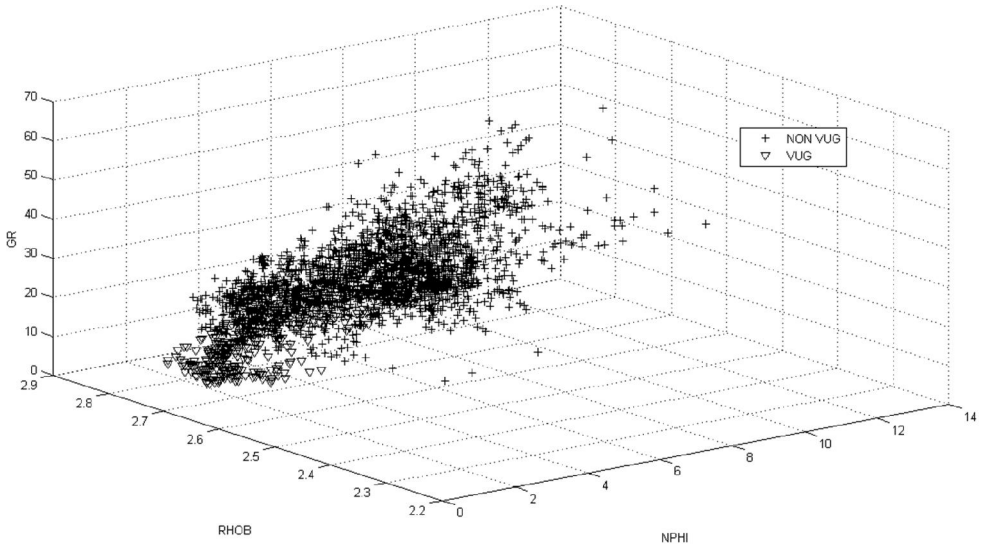


ب) نمودار سه بُعدی چاه‌نمودارهای چگالی- نوترون- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W1*

شکل۴-۳. مطالعه سه بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



پ) نمودار سه بُعدی چاه‌نمودارهای گاما- چگالی- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W1*



ت) نمودار سه بُعدی چاه‌نمودارهای گاما- چگالی- نوترون مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W1*

ادامه شکل۴-۳. مطالعه سه بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها

ادامه اشکال در پیوست یک آمده است. برای مطالعه در ابعاد بالاتر ابتدا لازم است که داده‌های مناسب تعیین و انتخاب شوند؛ یعنی مهم است که از کدام‌یک از داده‌ها (چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی) استفاده شود. برای این‌کار روش زیر انتخاب داده شده است:

۴-۵ انتخاب داده

به طور کلی دو شیوه مستقیم و غیرمستقیم در اکتشافات وجود دارد. شیوه مستقیم اکتشاف استفاده از خصوصیات ذاتی سیستم که همان مغزه و یا انواع نگارهای تصویری است. اما در شیوه غیرمستقیم برای تفسیر پدیده‌ها و رخدادهای داخل مخزن، از خصوصیات صفاتی استفاده می‌شود. که در این پروژه، تاثیر پارامتر مورد نظر (تخلخل حفره‌ای) بر روی نگارهای مختلف منعکس شده، می‌شود.

روش اول یک روش مطلق است که اطلاعات مستقیم از داخل چاه و یا مخزن می‌دهد. اما این روش‌ها بسیار هزینه‌بر و برخی از آن‌ها مانند روش‌های برداشت نگارهای تصویری در دسترس نبوده و همچنین در چاه‌های قدیمی وجود ندارند.

در روش دوم به صورت غیر مستقیم اطلاعات مخزن برداشت می‌گردند. در مطالعات مخزنی ابتدا از این روش استفاده می‌نمایند؛ زیرا علاوه بر در دسترس بودن داده‌ها، هزینه انجام آن نیز از روش‌های مستقیم کمتر است. طبیعتاً هنگامی که نتایج بدست آمده از روش دوم نزدیک به روش اول باشد اعتبار خواهند داشت (حسنی پاک، ۱۳۸۲).

در این پروژه نیز با استفاده از داده‌های چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی (که نوعی از داده‌های غیر مستقیم مخزن می‌باشد) به تفکیک تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌های موجود در مخزن کربناته مورد بررسی پرداخته شده است. در نهایت نتایج با داده‌های مغزه که مستقیماً از چاه برداشت شده‌اند مقایسه می‌شوند.

برای مطالعه این داده‌ها همان‌طور که در بخش قبل مشاهده شد، بررسی چاه‌نمودارها به صورت یک، دو و سه بُعدی جدایش مناسبی را نشان ندادند. لذا باید بُعد فضا را افزایش داد تا با انتخاب ویژگی‌های بیشتر بتوان تفکیک بهتری در زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها انجام داد. زمانی‌که تعداد این خصوصیات و به عبارتی بُعد فضای تفسیر افزایش می‌یابد، می‌توان مجموعه خصوصیات صفاتی را نزدیک به خصوصیات ذاتی سیستم نمود. البته باید در نظر داشت که ممکن است افزودن برخی از

داده‌ها (چاه‌نمودارها) نه تنها دقت کار را بالا نبرد بلکه گاهی دقت را کاهش می‌دهد. بنابراین انتخاب داده‌ها یکی از پیش پردازش‌های مهم است.

برای انتخاب چاه‌نمودارهای مناسب در یکی از چاه‌ها (*W1*) با استفاده از روش پارزن با یک، دو و سپس سه چاه‌نمودار صوتی، نوترون و چگالی طبقه‌بندی انجام گرفته و دقت عملیات تعیین شد. بتدریج به آن‌ها چاه‌نمودارهای *GR* و سپس *CALI* و در نهایت *DRHO* (چاه‌نمودار چگالی تصحیح شده) اضافه گردید و برای هر قسمت یک ماتریس طبقه‌بندی جهت جدایش دو کلاس تخلخل حفره-ای (کلاس۱) و کلاس تخلخل غیر حفره‌ای (کلاس۲) محاسبه گردید. نتایج اولیه در جداول ۴-۱ تا ۴-۵ آورده شده است.

در جدول ۴-۱ از چاه‌نمودارهای نوترون، چگالی و صوتی استفاده شده است که به طور محسوسی داده‌ها را با انحراف در کلاس ۱ قرار می‌دهد. با اضافه کردن چاه‌نمودار گاما این وضعیت کمی بهبود یافته ولی هنوز هم این انحراف وجود دارد (جدول ۴-۲). در ادامه افزودن چاه‌نمودار قطرسنج این موضوع را تا حد قابل قبولی برطرف ساخت (جدول ۴-۳). افزودن چاه‌نمودار چگالی تصحیح شده (*DRHO*) وضعیت قبل را کمی بهبود داد. این موضوع در جدول ۴-۴ مشاهده می‌شود. جدول ۴-۵ نشان می‌دهد که با افزودن چاه‌نمودار پتانسیل الکتریکی نسبت به حالت قبل، کیفیت طبقه‌بندی در کل قدری بهتر شده است. برای مقایسه بهتر به جدول ۴-۶ مراجعه شود.

دقت بر اساس نتایج ماتریس طبقه‌بندی که در جداول ۴-۱ تا ۴-۵ آمده است بررسی می‌شود. ماتریس طبقه‌بندی، ماتریسی است که در آن درایه‌های واقعی و طبقه‌بندی شده در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند. قطر اصلی این ماتریس در تعیین دقت طبقه‌بندی استفاده می‌شود. بدین ترتیب که دقت عبارت از میانگین عناصر روی قطر اصلی است.

جدول۴-۱) استفاده از *RHOB, DT ,NPHI*

		کلاس تصمیم	
	کلاس	*Vug*	*Non Vug*
کلاس واقعیت	*Vug*	۰/۹۵۸۸	۰/۰۴۱۲
	Non Vug	۰/۳۱۴	۰/۶۸۶

جدول۴-۲) استفاده از *GR,RHOB, DT,NPHI*

		کلاس تصمیم	
	کلاس	*Vug*	*Non Vug*
کلاس واقعیت	*Vug*	۰/۹۴۲۶	۰/۰۵۷۴
	Non Vug	۰/۲۶۲۳	۰/۷۴۷۷

جدول ۴-۳)استفاده از*CALI , GR ,RHOB ,DT,NPHI*

		کلاس تصمیم	
	کلاس	*Vug*	*Non Vug*
کلاس واقعیت	*Vug*	۰/۹۵۲	۰/۰۴۸
	Non Vug	۰/۰۷۹۶	۰/۹۲۰۴

جدول۴-۴) استفاده از*DRHO ,CALI,GR,RHOB, DT,NPHI*

		کلاس تصمیم	
	کلاس	*Vug*	*Non Vug*
کلاس واقعیت	*Vug*	۰/۹۵۳۵	۰/۰۴۶۵
	Non Vug	۰/۰۶۷۲	۰/۹۳۲۸

جدول ۴-۵) استفاده از *ILE ,DRHO ,CALI ,GR ,RHOB ,DT,NPHI*

		کلاس تصمیم	
	کلاس	*Vug*	*Non Vug*
کلاس واقعیت	*Vug*	۰/۹۸۲۲	۰/۰۱۷۸
	Non Vug	۰/۰۸۵۹	۰/۹۱۴۱

جدول ۴-۶ نتایج کلی حاصل از کلاسه‌بندی چاه‌نمودارهای مختلف

چاه‌نمودارهای استفاده شده	دقت ٪	خطا ٪	زمان اجرای برنامه (S)
NPHI	۶۳	۳۷	۰/۰۳۴
DT,NPHI	۶۹/۸	۳۱/۲	۰/۰۳۹
RHOB, DT ,NPHI	۷۵/۰۲	۲۴/۹۸	۰/۹۲۲۲
GR,RHOB, DT,NPHI	۸۴/۲۴	۱۵/۷۶	۱/۰۳۹۷
CALI ,GR ,RHOB ,DT,NPHI	۹۳/۶۲	۶/۳۸	۱/۱۱۲۴
DRHO ,CALI,GR,RHOB, DT,NPHI	۹۴/۳۲	۵/۶۸	۱/۲۳۳۶
ILE ,DRHO ,CALI ,GR ,RHOB ,DT,NPHI	۹۴/۸۱	۵/۱۹	۱/۳۶۶۶

چنانکه در جدول ۴-۶ مشاهده می‌شود، مطالعات یک و دو بُعدی دقتی کمتر از ۷۰٪ دارند. همچنین اگر صرفاً با چاه‌نمودارهای تخصصی تخلخل، جدایش تخلخل ناشی از حفره‌ای شدن با سایر تخلخل‌ها انجام شود، دقت مناسبی بدست نمی‌آید. با اضافه نمودن چاه‌نمودار گاما دقت کمی بهتر شد. افزودن چاه‌نمودار قطرسنج، دقت را به بیش از ۹۰٪ افزایش داده است. با استفاده از چاه‌نمودارها چگالی تصحیح شده و پتانسیل الکتریکی دقت، کمی بالاتر رفته ولی تا حدی راندمان و زمان اجرای برنامه را بالا می برد. اما اگر تعداد داده‌ها خیلی زیاد شود، ممکن است مشکل راندمان ضعیف محاسباتی مشکل‌ساز شود. همچنین با اضافه کردن چاه‌نمودار پتانسیل الکتریکی میزان دقت در جدایش کلاس دوم تا حدی پایین می آید.

بنابراین بهترین مجموعه از مجموعه داده‌های موجود که در جدول ۳-۱ فصل سوم آورده شده-اند، برای جدایش تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌ها، مجموعه *CALI ,GR ,RHOB DT,NPHI* به نظر می‌رسد. اما چاه‌نمودار قطرسنجی (*CALI*) در برخی از چاه‌های مورد مطالعه در دسترس نیست.

بنابراین مطالعات با ۴ چاه‌نمودار *GR ,RHOB ,DT,NPHI* انجام می‌شود *(Asgari Nezhad et al., 2011)*.

البته در یکی از چاه‌ها (*W2*) چاه‌نمودار صوتی وجود ندارد اما بدلیل اهمیت این چاه‌نمودار در بررسی تخلخل‌ها و نیز اهمیت حضور این چاه در مطالعات، استثناءً از این چاه تنها با ۳ چاه‌نمودار استفاده می‌شود.

پس از انتخاب داده می‌توان مطالعات با ابعاد بیشتر (در این پروژه چهار بُعد) را آغاز نمود. اما قبل از شروع به مطالعه در چهار بُعد ابتدا به تعیین موجک مادر بهینه و باندهای فرکانسی بدست آمده از آن پرداخته می‌شود. سپس مطالعه چهاربُعدی با استفاده از چاه‌نمودارها و تقریب‌های بدست آمده از موجک مادر بهینه آن‌ها آغاز می‌شود.

۴-۶ تجزیه با تبدیل موجک

در مورد تبدیل موجک در فصل دوم به طور اجمالی توضیح داده شد. در این بخش به استفاده از این تبدیل در تجزیه چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی که به عنوان سیگنال با آن‌ها برخورد می‌شود، پرداخته می‌شود. مراحل استفاده از تبدیل موجک در این پروژه عبارت است از:::

أ. انتخاب موجک مادر بهینه

ب. تعیین سیگنال تجزیه شده مناسب

ج. استفاده از سیگنال تجزیه شده بعنوان ورودی طبقه‌بندی کننده پارزن

۴-۶-۱ انتخاب موجک مادر بهینه

برای تجزیه سیگنال‌ها که در این پروژه چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی نقش آن‌ها را ایفا می‌کنند، باید از یک سری توابع موج که موجک مادر نامیده می‌شوند، استفاده کرد. همان‌طور که در فصل دوم توضیح داده شد هر موجک مادر از یک رابطه مشخص استفاده می‌نماید، لذا تجزیه با هریک از آن‌ها نتیجه‌ی متفاوتی نسبت به دیگری می‌دهد. بنابراین باید به دنبال موجک مادر بهینه بود. برای تعیین موجک مادر بهینه تکنیک‌های مختلفی از قبیل تطبیق انرژی یا تطبیق انتروپی استفاده می‌شود *(Grossmann, 1984)*. در این پروژه از روش تطبیق انرژی بهره برده شده است.

در این روش بیشترین مقدار انرژی سیگنال مربوط به میانگین سیگنال که در حوزه علوم زمین عمدتاً وابسته به سنگ‌های موجود در منطقه است.

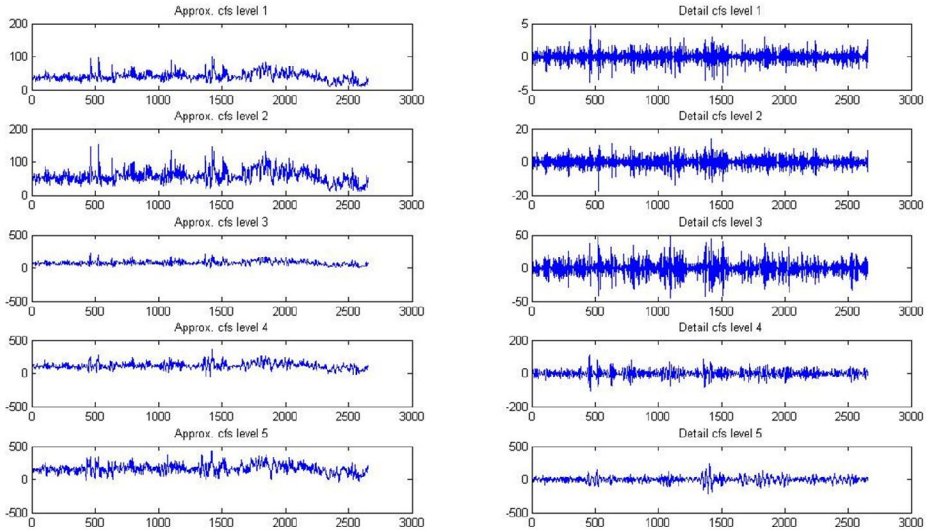
برای یافتن موجک مادر بهینه ابتدا با استفاده از تبدیل فوریه چاه‌نمودارها از حوزه عمق به حوزه فرکانس برده می‌شوند و سپس انرژی هر چاه‌نمودار در باند فرکانسی مشخص محاسبه می‌شود. سیگنال‌ها با موجک‌های مادر مختلف تحلیل می‌شوند و انرژی آن‌ها در باند فرکانسی معین محاسبه می‌شوند. موجک مادر بهینه همان موجکی است که بیشترین تطابق بین انرژی سیگنال بدست آمده از تبدیل فوریه و انرژی سیگنال در باندهای فرکانسی را نشان دهد. مقادیر انرژی برای هر چاه‌نمودار

(سیگنال) در جداول ۴-۷ و پیوست دو آمده است. در این جدول برای هر چاه‌نمودار(سیگنال) توابع موجک مادر مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. اعداد موجود در این جدول میزان انطباق انرژی می‌باشند.

جدول۴-۷ تعیین موجک مادر بهینه برای چاه‌نمودارهای مختلف در چاه *W1*

	W1			
GR	***RHOB***	***NPHI***	***DT***	
haar	*haar*	*haar*	*haar*	***haar***
1.08	*0*	*3.41*	*0.06*	
db5	*db3*	*db2*	*db4*	***db***
1.2	*0.01*	*1.87*	*0.06*	
sym5	*sym3*	*sym4*	*sym2*	***sym***
1.31	*0.01*	*2.11*	*0.05*	
ciof1	*ciof4*	*ciof1*	*ciof1*	***coif***
1.16	*0*	*2.07*	*0.05*	
bior3.1	*bior3.1*	*bior3.3*	*bior3.1*	***bior***
4.73	*0.25*	*3.84*	*0.85*	
rbio1.1	*rbio1.1*	*rbio1.1*	*rbio1.1*	***rbio***
1.08	*0*	*3.41*	*0.06*	
dmey	*dmey*	*dmey*	*dmey*	***dmey***
1.28	*0*	*7.32*	*0.18*	

تجزیه درهر درجه‌ای که صورت بگیرد تعداد موجک‌های کوچک همان مقدار خواهد بود. شکل ۴-۵ سیگنال‌های تجزیه شده تا درجه‌ی خاص تعیین شده را نشان می‌دهد.(مابقی اشکال مربوط به تجزیه سیگنال در پیوست سه آمده است.)



شکل۴-۵ سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه خاص تعیین شده برای چاه نمودارچگالی در چاه *W1*

پس از تعیین موجک مادر بهینه برای چاه‌نمودارهای مختلف در شش چاه مورد بررسی، باید مطالعات چند بُعدی که توسط طبقه‌بندی کننده پارزن انجام می‌گیرد را آغاز نمود.

۴-۷ مطالعات چند بُعدی

۴-۷-۱ مقدمه

در بخش قبل مشاهده شد مطالعات یک، دو و سه بُعدی روی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی نمی‌تواند شاخص مناسبی برای جدایش زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها در اختیار قرار دهد. در بخش قبل نتیجه آن شد که از چهار چاه‌نمودار گاما، چگالی، نوترون و صوتی استفاده شود. برای مطالعه در ابعاد بیشتر از سه بُعد و طبقه‌بندی با استفاده از آن‌ها، از روش‌های نوین طبقه‌بندی الگو مبتنی بر تئوری بیز باید استفاده شود. در این پروژه از روش غیرپارامتری پارزن برای طبقه‌بندی داده-ها در دو کلاس تخلخل حفره‌ای و غیر آن استفاده شده است.

مطالعات و طبقه‌بندی با روش‌های طبقه‌بندی الگو در این پروژه شامل دو قسمت می‌باشد:

الف. بررسی درون چاهی

ب. بررسی بین چاهی (قابلیت تعمیم روش)

که در ادامه به نحوه کار در هر قسمت پرداخته خواهد شد. اما مراحلی در هر دو بخش مشترک هستند که ابتدا به نحوه انجام این مراحل پرداخته می‌شود که عبات است از:

الف- آماده‌سازی داده‌ها

ب. تقسیم داده‌ها

ج. طبقه‌بندی

د. تعیین شعاع بهینه پنجره پارزن

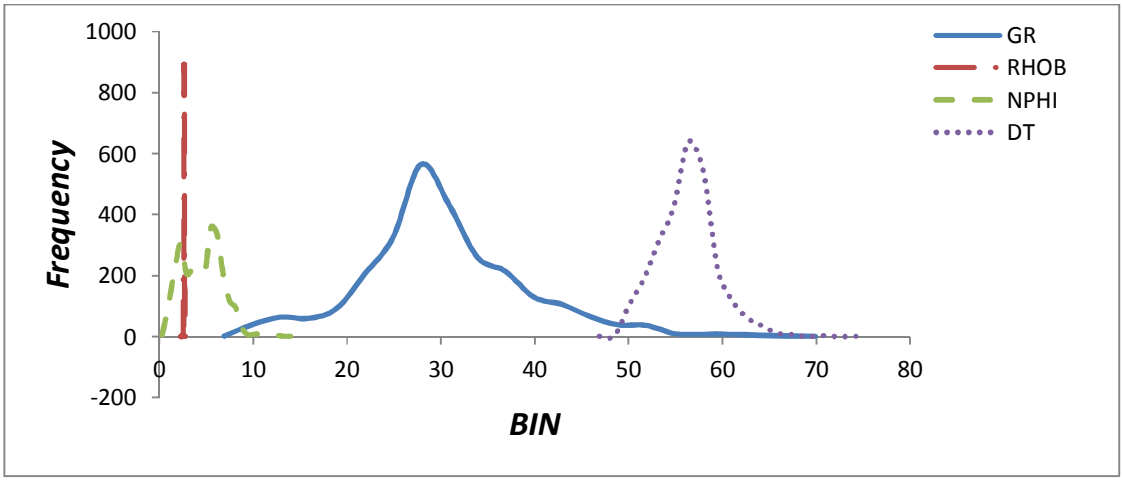
ه. تصمیم بر اساس ماتریس طبقه‌بندی *(Hayes, 1989)*.

۴-۷-۲ مطالعه درون چاهی

به منظور بررسی دقت الگوریتم مورد استفاده در هریک از چاه‌ها ابتدا باید این الگوریتم درون چاه مورد آزمایش قرار گیرد که برای این‌کار مراحل زیر باید انجام گیرد:

۴-۷-۳ آماده‌سازی داده‌ها

داده‌های موجود دارای تغییرپذیری‌های متنوعی می‌باشند. به طور مثال داده‌های مربوط به چاه‌نمودار گاما در محدوده ۶ تا ۶۷ تغییر می‌کنند و این در حالی است که داده‌های چاه‌نمودار نوترون در محدوده ۰/۳۱ تا ۱۳ متغیر هستند(شکل۴-۵). این محدوده تغییرات متنوع تاثیر زیادی بر روی نتایج می‌گذارند که باید اثر آن‌ها حذف شود. برای حذف این اثر باید محدوده تغییرات همه داده‌ها را یکی نمود که به این کار نرمال سازی داده‌ها گویند.

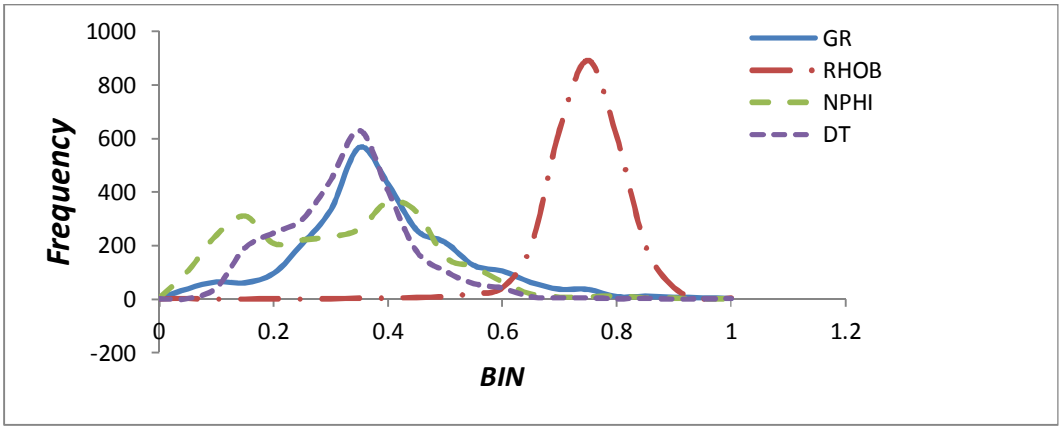


شکل۴-۵ *Pdf* چاه‌نمودارهای *GR, RHOB, NPHI, DT* و بررسی محدوده تغییرات آن‌ها در چاه *W1*

نرمال سازی داده‌ها به طرق مختلفی انجام می‌شود که در همه‌ی روش‌ها نتایج تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند چراکه پس از نرمال‌سازی همه داده‌ها در محدوده [۱و۰] قرار می‌گیرد(شکل۴-۶). در این پروژه از رابطه ۴-۱ استفاده شده است:

$$X_i = \frac{x_i - x_{MIN}}{x_{MAX} - x_{MIN}} \qquad (۱-۴)$$

که در آن X_i مقدار نرمالایز شده یک داده، x_i مقدار واقعی همان داده، x_{MIN} کمترین مقدار برای یک ویژگی و x_{MAX} بیشترین مقدار برای یک ویژگی است *(Bishop, 1998)*.



شکل۴-۶ *Pdf* چاه‌نمودارهای *GR, RHOB, NPHI, DT* پس از نرمال سازی و بررسی محدوده تغییرات آن‌ها در چاه *W1*

پس از این‌که داده‌ها نرمال شدند، آماده استفاده جهت طبقه‌بندی هستند. اما سوالی که مطرح می-شود این است که داده‌های آماده شده با چه نسبتی و به چه ترتیبی وارد الگوریتم طبقه‌بندی شوند؟

۴-۷-۴ تقسیم داده‌ها

با توجه به ماهیت روش که بر اساس آموزش و آزمون عمل می‌نماید *(Duda,1997)* باید داده‌ها به دو دسته آموزش و آزمون تقسیم شوند. این تقسیم‌بندی روی نتایج تاثیر بسزایی دارد. چنانچه داده‌های مربوط به آموزش کم انتخاب شوند، الگوریتم بطور مناسبی آموزش نخواهد دید و متعاقباً در آزمون پاسخ منطقی بدست نمی‌آید و بالعلکس. اگر داده‌های آزمون کم انتخاب شوند نمی‌توان بصورت کامل به پاسخ آن استناد نمود. همچنین اگر داده‌های انتخاب شده فقط از یک کلاس انتخاب شوند، الگوریتم در آموزش و یا حتی در آزمون نیز دچار مشکل می‌شود و نمی‌تواند به درستی جدایش و تفکیک کلاس‌ها را انجام دهد.

مطالب فوق اهمیت نوع تقسیم‌بندی و سهم هریک از کلاس‌ها از داده‌ها را نشان می‌دهد، لذا تعیین این سهم و تقسیم‌بندی در دستور کار قرار گرفته است.

در متون مرجع مرتبط با الگوریتم‌های هوشمند و روش‌های طبقه‌بندی (Bishop, 1998) & (Duda, 1997)نسبت ۷۰٪ به ۳۰٪ بترتیب برای آموزش و آزمون انتخاب گردیده است. بنابراین در این پروژه نیز با توجه به مراجع مذکور از این نسبت استفاده شده است و پس از تقسیم‌بندی داده‌ها با نسبت-های فوق نتایج مندرج در جدول ۴-۸ بدست آمد.

جدول۴-۸ نتایج تقسیم داده‌ها در ۶ چاه موجود بر اساس نسبت ۷۰٪ و ۳۰٪ بترتیب برای داده‌های آموزش و آزمون

	آزمون	آموزش	داده های هرچاه
w_1	۸۰۱	۱۸۷۰	۲۶۷۱
w_2	۲۹۸	۶۹۴	۹۹۲
w_3	۳۳۲	۷۷۴	۱۱۰۶
w_4	۳۹۹	۹۳۲	۱۳۳۱
w_5	۹۳	۲۱۸	۳۱۱
w_6	۱۷۴	۴۰۶	۵۸۰

۴-۷-۵ طبقه‌بندی

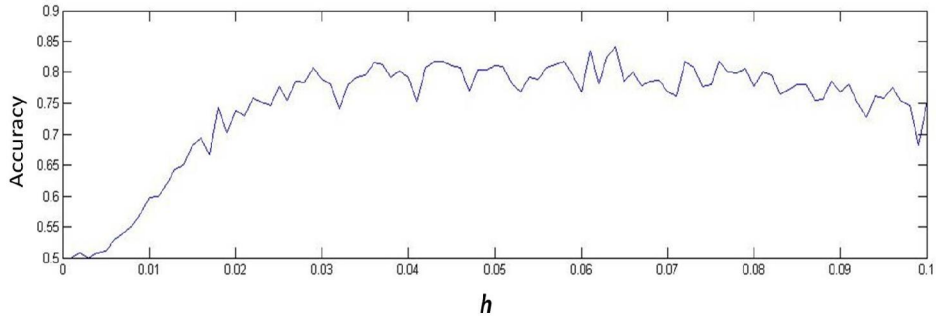
در مقدمه به طور کامل دلیل افزایش بُعد فضای کاری بیان گردید. برای مطالعه چند بُعدی نمی‌توان از روش‌های عادی استفاده نمود و باید از الگوریتم‌های نوین طبقه‌بندی الگو بهره برد.

در این پروژه برای طبقه‌بندی، از روش پارزن که در روش‌شناسی توضیح داده شد، استفاده شده است. ابتدا داده‌های نرمال شده چاه‌نمودارهای انتخاب شده در راستای عمق، مرتب شده و براساس وجود تخلخل حفره‌ای و عدم وجود آن بترتیب اعداد ۲ و ۱ تعیین شدند. سپس داده‌ها بر اساس نسبت تعیین شده ۷۰٪ و ۳۰٪ برای آموزش و آزمون تقسیم شدند. بعد از ورود داده‌ها به الگوریتم نوشته شده در نرم افزار MAT LAB2010b برنامه اجرا شده و پاسخ بر اساس میزان دقت تعیین شده برای تفکیک تخلخل حفره‌ای از دیگر انواع تخلخل از ماتریس طبقه‌بندی ارائه می‌شود. اما قبل از بررسی ماتریس طبقه‌بندی باید مختصری در مورد شعاع تاثیر بهینه بحث شود.

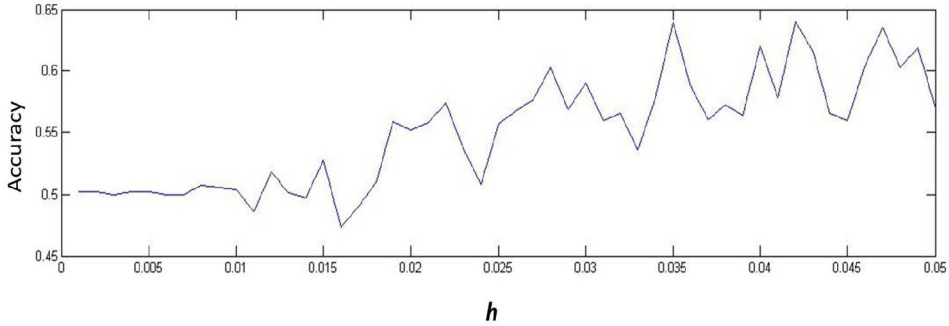
۴-۷-۶ بهینه‌سازی شعاع پنجره پارزن

همان‌طور که در فصل دوم بیان شد در روش پارزن، شعاع پنجره نقش بسیار مهمی در دقت طبقه-بندی ایفا می‌نماید، لذا مهم است که مقدار این شعاع بررسی بهینه گردد. در این پروژه با استفاده از

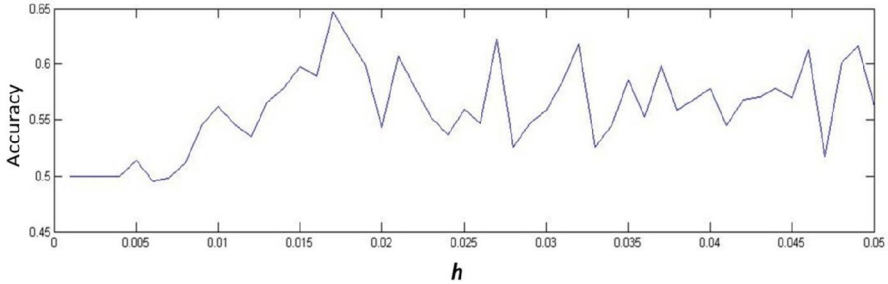
حلقه‌ی for در نرم‌افزار MAT LAB2010b دقت طبقه‌بندی برای محدوده‌ای از شعاع پنجره محاسبه گردید و بر روی نمودار دقت – شعاع (شکل ۴-۷)، شعاعی که بیشترین دقت را دارا بود به عنوان شعاع بهینه انتخاب می‌گردد.



الف) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن درون چاه *W1*

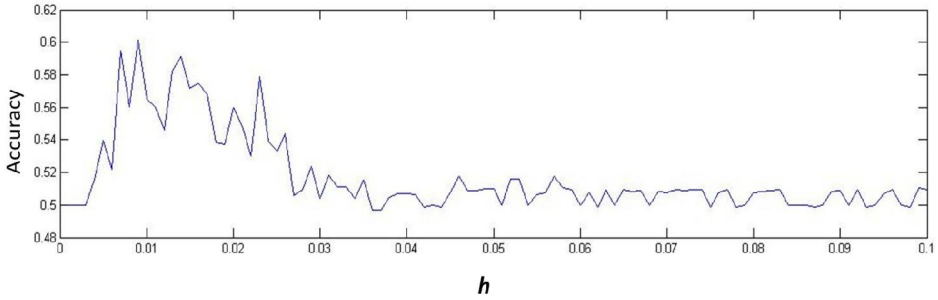


ب) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن درون چاه *W2*

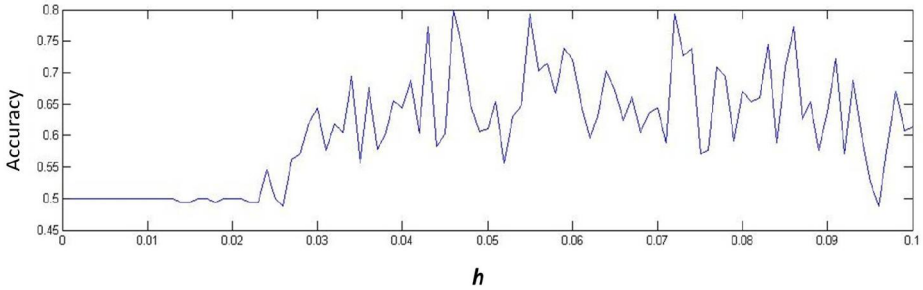


پ) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن درون چاه *W3*

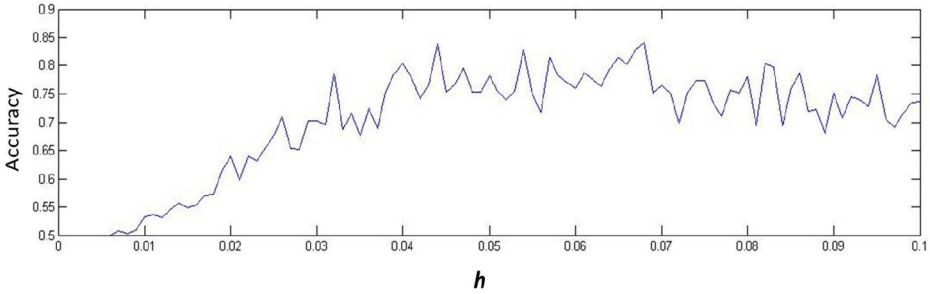
شکل ۴-۷ نمودار دقت – شعاع برای چاه‌های مورد بررسی به منظور بهینه‌سازی شعاع پنجره پارزن



ت) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن درون چاه *W4*



ث) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن درون چاه *W5*



ج) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن درون چاه *W6*

ادامه شکل ۴-۷ نمودار دقت – شعاع برای چاه‌های مورد بررسی به منظور بهینه‌سازی شعاع پنجره پارزن

۴-۷-۷ تصمیم بر اساس ماتریس طبقه‌بندی (با استفاده از داده‌های خام)

از ماتریس طبقه‌بندی به منظور بررسی دقت تفکیک تخلخل حفره‌ای از دیگر انواع تخلخل استفاده شده است. سطرهای این ماتریس معرف کلاس‌های واقعی و ستون‌های آن معرف کلاس-

های تصمیم برای داده‌های آزمون می‌باشد. درایه‌های روی قطر اصلی این ماتریس بیانگر تصمیم صحیح است. بنابراین با ضرب کردن عدد ۱۰۰ در آن درایه می‌توان میزان درصد دقت کلاسه-بندی برای آن کلاس خاص را بدست آورد. بنابراین درصد نسبت رَد ماتریس طبقه‌بندی (مجموع درایه‌های قطر اصلی) به تعداد کلاس‌ها، معرف درصد دقت طبقه‌بندی خواهد بود.

نتایج بدست آمده از الگوریتم پارزن در هر یک از چاه‌ها در جداول ۴-۹ تا ۴-۱۴ آمده است.

جدول۴-۹ ماتریس طبقه بندی برای چاه W_1

		کلاس تصمیم	
	کلاس	*Non Vug*	*Vug*
کلاس واقعیت	*Vug*	۰/۰۶	۰/۹۴
	Non Vug	۰/۷۴	۰/۲۶

جدول۴-۱۰ ماتریس طبقه بندی برای چاه W_2

		کلاس تصمیم	
	کلاس	*Non Vug*	*Vug*
کلاس واقعیت	*Vug*	۰/۱۲	۰/۸۸
	Non Vug	۰/۴۱	۰/۵۹

جدول۴-۱۱ ماتریس طبقه بندی برای چاه W_3

		کلاس تصمیم	
	کلاس	*Non Vug*	*Vug*
کلاس واقعیت	*Vug*	۰/۰۱	۰/۹۹
	Non Vug	۰/۳۳	۰/۶۷

جدول۴-۱۲ ماتریس طبقه بندی برای چاه W_4

		کلاس تصمیم	
	کلاس	*Non Vug*	*Vug*
کلاس واقعیت	*Vug*	۰/۰۴	۰/۹۶
	Non Vug	۰/۲۳	۰/۷۷

جدول۴-۱۳ ماتریس طبقه بندی برای چاه W_5

		کلاس تصمیم	
	کلاس	*Non Vug*	*Vug*
کلاس واقعیت	*Vug*	۰/۰۲	۰/۹۸
	Non Vug	۰/۶۷	۰/۳۷

جدول۴-۱۴ ماتریس طبقه بندی برای چاه W_6

		کلاس تصمیم	
	کلاس	*Non Vug*	*Vug*
کلاس واقعیت	*Vug*	۰/۰۵	۰/۹۵
	Non Vug	۰/۷۱	۰/۲۹

در ماتریس طبقه‌بندی در چاه‌های ۱، ۳، ۴ و ۵ و۶ (جداول ۲،۴،۵ و۶ و ۷) دقت در کلاس تخلخل حفره‌ای بالاتر از ۹۰٪ است. فقط در چاه W_2 میزان دقت در کلاس تخلخل حفره‌ای کمتر از ۹۰٪ (در حدود ۸۸٪) است که این نشان دهنده دقت مناسب (با میانگین دقت ۹۵٪) در جدایش زون حاوی

تخلخل حفره‌ای است. اما دقت در بخش کلاس غیر تخلخل حفره‌ای دقت در حد مناسبی نبوده است و از ۲۳٪ تا ۷۴٪ (بطور متوسط ۵۱٪) تغییر می‌نماید.

بعد از مشاهده نتایج بدست آمده از طبقه‌بندی کننده پارزن درون هر چاه باید میزان قابلیت تعمیم الگوریتم ارائه شده برای جدایش تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌ها را سنجید.

۴-۸ بررسی درون‌چاهی پس از تبدیل موجک

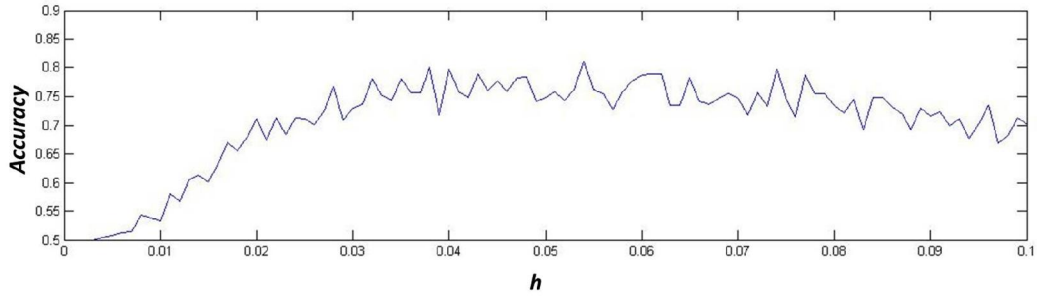
بعد از تجزیه چاه‌نمودارهای (سیگنال‌های) مختلف در چاه‌های مورد مطالعه باید بررسی نمود که کدام بخش از سیگنال تجزیه شده باید مورد بررسی قرار گیرد. برای این‌کار سه بخش تقریب۱، تقریب۲ و جزئیات۱ مورد آزمایش قرار گرفتند. بدین ترتیب که با هرکدام از بخش‌های فوق یک‌بار الگوریتم پارزن را اجرا کرده، دقت هر بخش که بالاتر بود، آن بخش برای جدایش تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. دقت‌های بدست آمده از این بخش‌ها در جدول ۴-۱۵ نشان داده شده است. در این جدول به طور واضح دیده می‌شود که دقت در تقریب ۲ بالاتر از بخش‌های دیگر است و همان‌طور که انتظار می‌رفت، بخش جزئیات ۱ مربوط به نوفه موجود در سیگنال است *(Elena et al., 2006)*.

جدول۴-۱۵ دقت طبقه‌بندی کننده پارزن برای داده‌های پس از تجزیه موجک با استفاده از داده‌های جزئیات۱، تقریب۱و تقریب۲

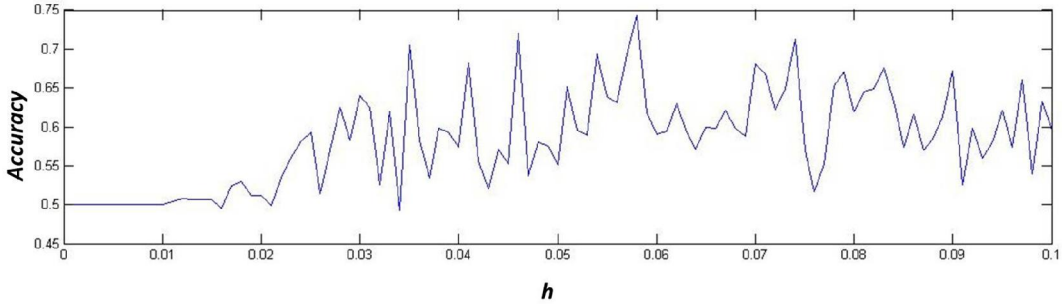
	نام چاه					
	W6	***W5***	***W4***	***W3***	***W2***	***W1***
جزئیات ۱	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۶۶	۰/۵۱
تقریب ۱	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۵۹	۰/۸۹	۰/۷۱	۰/۸۴
تقریب ۲	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۶۵	۰/۹۹	۰/۷۴	۰/۸۵

پس از تعیین موجک مادر بهینه و تعیین بخش مناسب تجزیه شده توسط آن برای جدایش تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌ها با استفاده از پارزن، باید شعاع پنجره پارزن بهینه گردد و برای این‌کار مانند

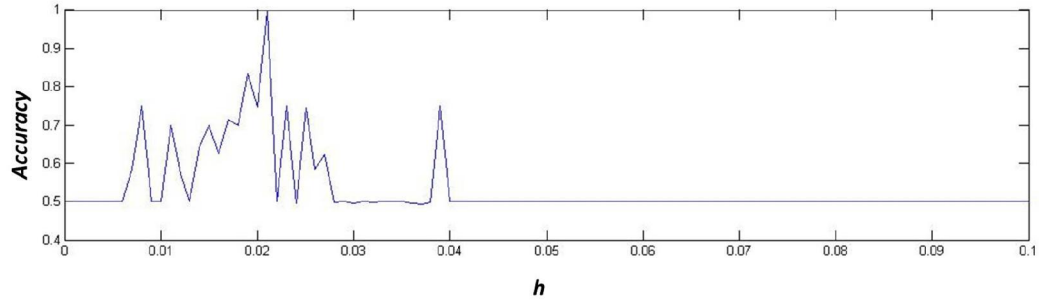
قبل عمل می‌شود. شعاع بهینه شعایی است که بیشترین دقت در آن دیده شود. نتایج در شکل ۴-۸ آورده شده است.



الف) تعیین شعاع بهینه پارزن برای داده‌های تجزیه شده توسط تبدیل موجک (تقریب ۲) در چاه *W1*

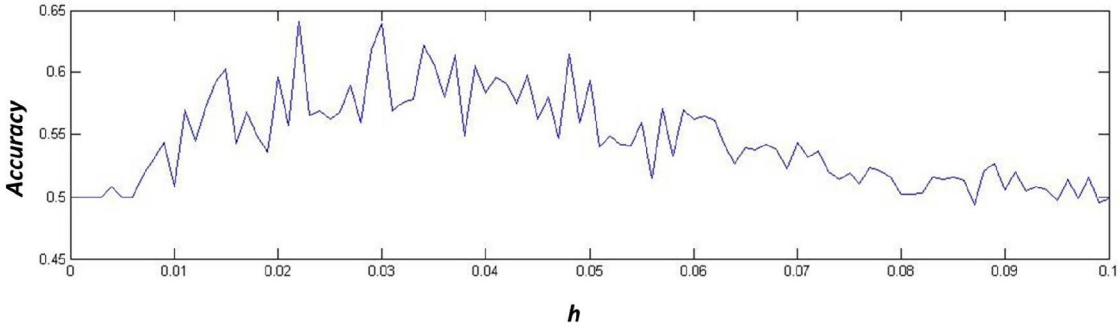


ب) تعیین شعاع بهینه پارزن برای داده‌های تجزیه شده توسط تبدیل موجک (تقریب ۲) در چاه *W2*

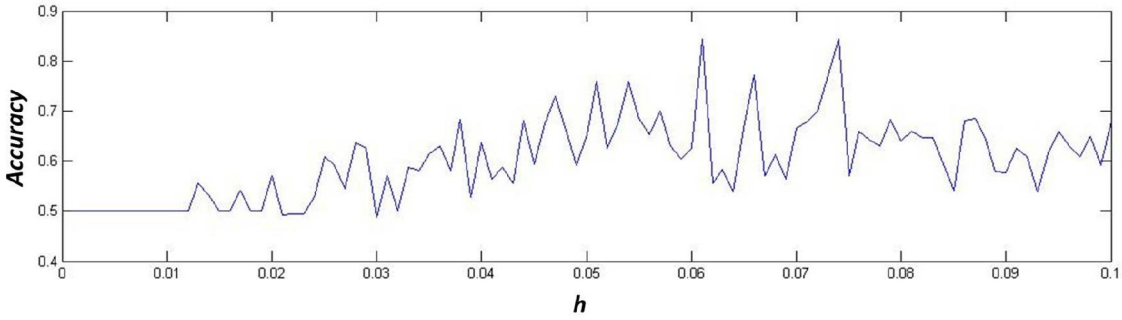


پ) تعیین شعاع بهینه پارزن برای داده‌های تجزیه شده توسط تبدیل موجک (تقریب ۲) در چاه *W3*

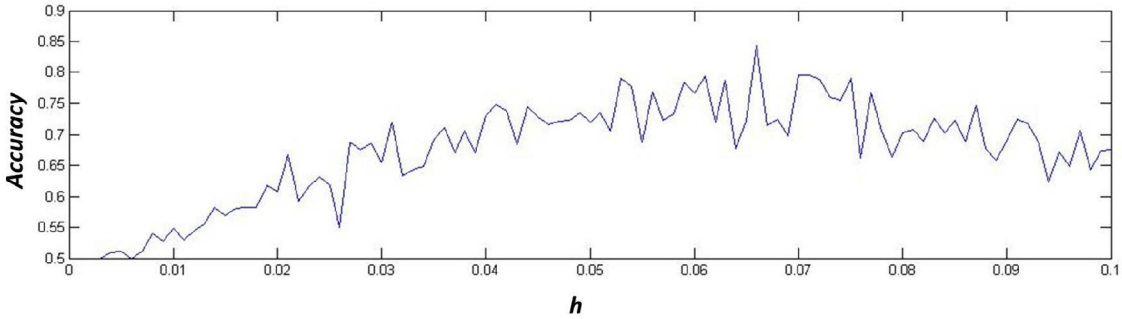
شکل۴-۸ تعیین شعاع بهینه پارزن برای داده‌های تجزیه شده توسط تبدیل موجک (تقریب ۲) در چاه‌های مورد مطالعه



ت) تعیین شعاع بهینه پارزن برای داده‌های تجزیه شده توسط تبدیل موجک (تقریب ۲) در چاه *W4*



ث) تعیین شعاع بهینه پارزن برای داده‌های تجزیه شده توسط تبدیل موجک (تقریب ۲) در چاه *W5*



ج) تعیین شعاع بهینه پارزن برای داده‌های تجزیه شده توسط تبدیل موجک (تقریب ۲) در چاه *W6*

ادامه شکل۴-۸ تعیین شعاع بهینه پارزن برای داده‌های تجزیه شده توسط تبدیل موجک (تقریب ۲) در چاه‌های مورد مطالعه

پس از تعیین شعاع بهینه پارزن با استفاده از این شعاع بهینه، الگوریتم پارزن را اجرا نموده و دقت الگوریتم بررسی می‌شود. نتایج بدست آمده از الگوریتم پارزن در هر یک از چاه‌ها در جداول ۴-۱۶ تا ۴-۲۱ آمده است.

جدول۴-۱۶ ماتریس طبقه بندی برای چاه *W1*
در حالتی که از داده‌های تقریب سطح دو استفاده شده است.

کلاس واقعیت	کلاس	کلاس تصمیم	
		Non Vug	*Vug*
	Vug	۰/۰۵	۰/۹۵
	Non Vug	۰/۷۵	۰/۲۵

جدول۴-۱۷ ماتریس طبقه بندی برای چاه *W2*
در حالتی که از داده‌های تقریب سطح دو استفاده شده است.

کلاس واقعیت	کلاس	کلاس تصمیم	
		Non Vug	*Vug*
	Vug	۰/۳۳	۰/۶۷
	Non Vug	۰/۸۱	۰/۱۹

جدول۴-۱۸ ماتریس طبقه بندی برای چاه *W3*
در حالتی که از داده‌های تقریب سطح دو استفاده شده است.

کلاس واقعیت	کلاس	کلاس تصمیم	
		Non Vug	*Vug*
	Vug	۰/۰۱	۰/۹۹
	Non Vug	۱	۰

جدول۴-۱۹ طبقه بندی برای چاه *W4*
در حالتی که از داده‌های تقریب سطح دو استفاده شده است.

کلاس واقعیت	کلاس	کلاس تصمیم	
		Non Vug	*Vug*
	Vug	۰/۰۵	۰/۹۵
	Non Vug	۰/۳۵	۰/۶۵

جدول۴-۲۰ ماتریس طبقه بندی برای چاه *W5*
در حالتی که از داده‌های تقریب سطح دو استفاده شده است.

کلاس واقعیت	کلاس	کلاس تصمیم	
		Non Vug	*Vug*
	Vug	۰	۱
	Non Vug	۰/۷۵	۰/۲۵

جدول۴-۲۱ ماتریس طبقه بندی برای چاه *W6*
در حالتی که از داده‌های تقریب سطح دو استفاده شده است.

کلاس واقعیت	کلاس	کلاس تصمیم	
		Non Vug	*Vug*
	Vug	۰/۰۷	۰/۹۳
	Non Vug	۰/۷۷	۰/۲۳

در ماتریس طبقه‌بندی در چاه‌های ۱، ۳، ۴، ۵ و ۶ (جداول ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳) دقت در کلاس تخلخل حفره‌ای بالاتر از ۹۳٪ است. فقط در چاه W_2 میزان دقت در کلاس تخلخل حفره‌ای کمتر از ۹۰٪ (در حدود ۶۷٪) است. این نشان دهنده دقت مناسب (با میانگین دقت ۹۵/۵٪) در جدایش زون حاوی تخلخل حفره‌ای است. اما دقت در بخش کلاس غیر تخلخل حفره‌ای دارای تغییرات وسیعی از ۳۵٪ تا ۱۰۰٪ است که به طور متوسط ۷۴٪ می‌باشد.

جدول ۴-۲۲ کلیه نتایج حاصل از ماتریس طبقه‌بندی برای مطالعه درون چاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. ردیف اول این جدول شعاع بهینه پنجره پارزن را در چاه خاص نمایش می‌دهد. همان-

طور که در این جدول مشاهده می‌شود دقت از کمترین مقدار خود در چاه W_4 ((با دقت۶۵٪) تا بیشترین مقدار خود در چاه W_3 (با دقت ۹۹٪) تغییر می‌نماید و به طور میانگین دقتی در حدود ۸۲/۵٪ داراست.

جدول۴-۲۲ نتایج طبقه‌بندی کننده پارزن در جدایش تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌ها در درون چاه‌های مورد مطالعه بر اساس ماتریس طبقه‌بندی کننده پس از اعمال تبدیل موجک با استفاده از تقریب۲

	نام چاه					
	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6
h	۰/۰۵۲	۰/۰۵۹	۰/۰۲۰	۰/۰۳۰	۰/۰۷۲	۰/۰۶۴
دقت	۰/۸۵	۰/۷۴	۰/۹۹	۰/۶۵	۰/۸۷	۰/۸۵

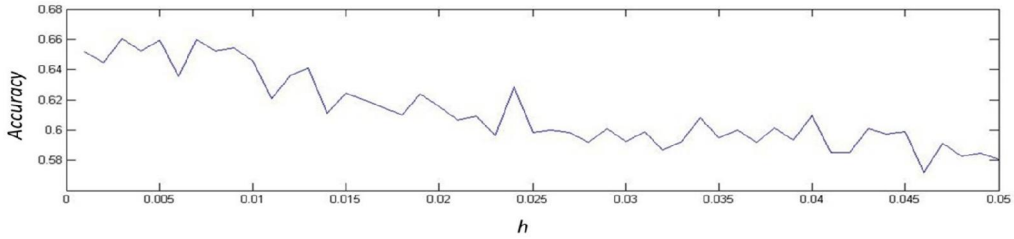
پس از مشاهده نتایج بدست آمده از طبقه‌بندی کننده پارزن درون هر چاه باید میزان قابلیت تعمیم الگوریتم ارائه شده برای جدایش تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌ها را سنجید.

۴-۹ بررسی بین چاهی (قابلیت تعمیم) با داده‌های خام

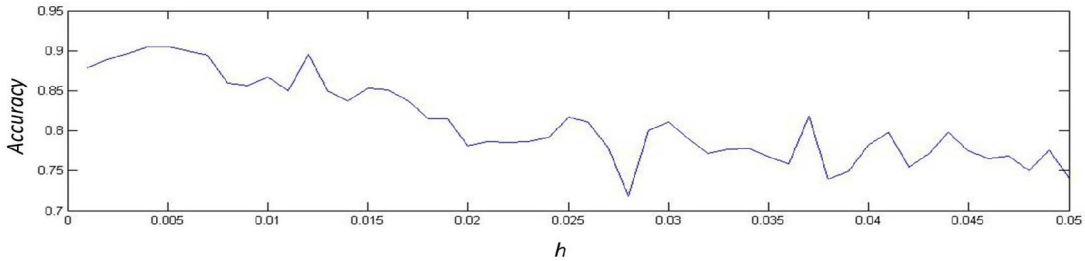
الگوریتمی برای جدایش زون‌های حاوی تخلخل از دیگر زون‌ها مناسب می‌باشد که علاوه بر دقت بالا در یک چاه، دارای قابلیت تعمیم بالا در چاه‌های دیگر باشد. به طور کلی تعمیم پذیری یک الگوریتم از دقت آن مهم‌تر است؛ یعنی اگر با کاهش کمی از دقت کار بتوان میزان قابلیت تعمیم الگوریتم را بالا برد، این کار مفید است؛ چرا که یک الگوریتم با قابلیت تعمیم بالا را می‌توان یک نسخه عمومی در یک یا چند میدان محسوب نمود.

برای بررسی روی میزان قابلیت تعمیم یک الگوریتم بدین صورت عمل می‌شود که یک چاه به عنوان داده‌های آموزش و چاه‌های دیگر مورد آزمون قرار می‌گیرند. با این کار می‌توان تاثیر الگوریتم را بر روی چاه‌های دیگر آزمود.

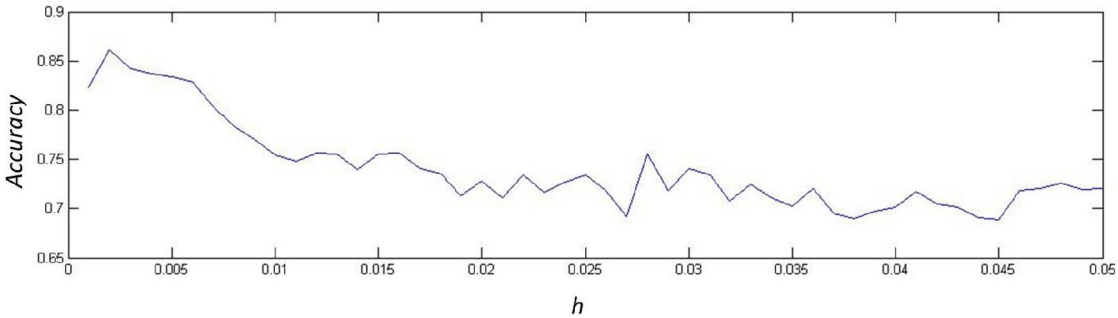
در این بخش باید یک شعاع پنجره پارزن بهینه برای تمامی چاه‌ها انتخاب شود و الگوریتمی با یک شعاع پنجره بهینه برای هر ۶ چاه مورد بررسی ارائه گردد. در این حالت نیز داده‌ها ابتدا باید نرمال-سازی شوند و سپس وارد الگوریتم شوند. مراحل بهینه‌سازی، طبقه‌بندی و دقت سنجی طبقه‌بندی مانند بخش درون چاهی انجام می‌شود که به جهت اختصار از ذکر مراحل خودداری شده و تنها به نمایش نمودار دقت بر حسب شعاع بهینه پنجره در حالت قابلیت تعمیم بسنده می‌شود. شکل ۴-۹ بخش‌هایی از این جستجو را نشان می‌دهد.



الف) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن وقتی‌که چاه *W1* آموزش و چاه *W2* آزمون باشد.

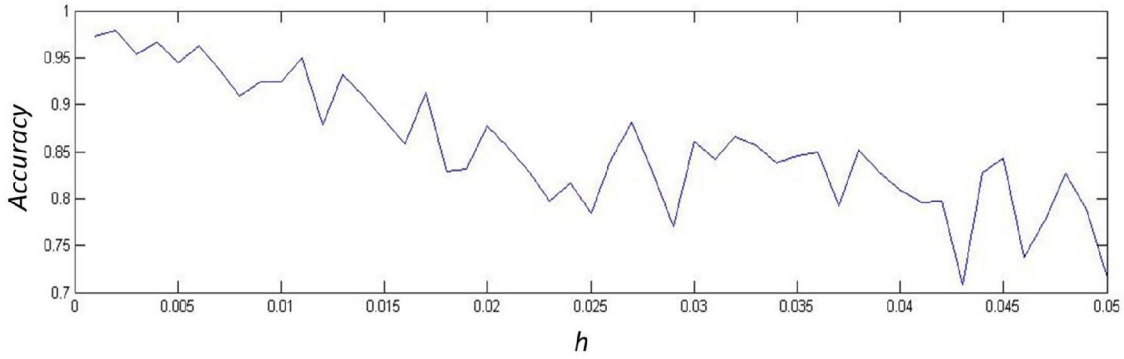


ب) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن وقتی‌که چاه *W1* آموزش و چاه *W3*آزمون باشد.

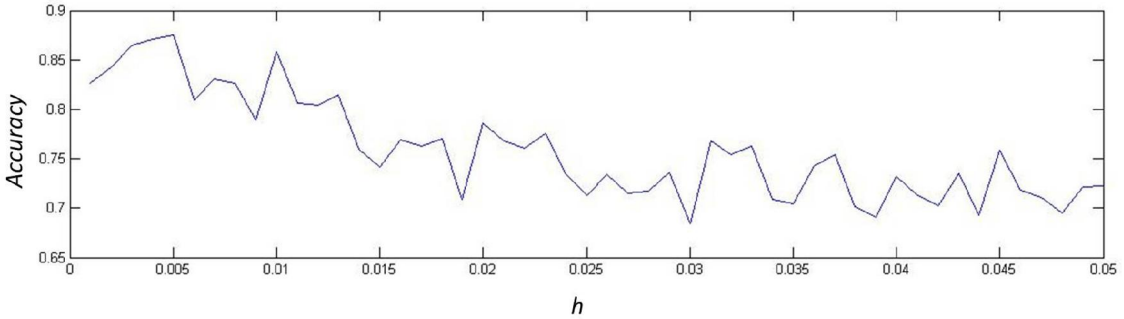


پ) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن وقتی‌که چاه *W1* آموزش و چاه *W4*آزمون باشد.

شکل۴-۹ نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن وقتی‌که چاه *W1* آموزش و چاه‌های دیگر آزمون باشند.



ت) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن وقتی‌که چاه *W1* آموزش و چاه *W5*آزمون باشد.



ث) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن وقتی‌که چاه *W1* آموزش و چاه *W6*آزمون باشد.

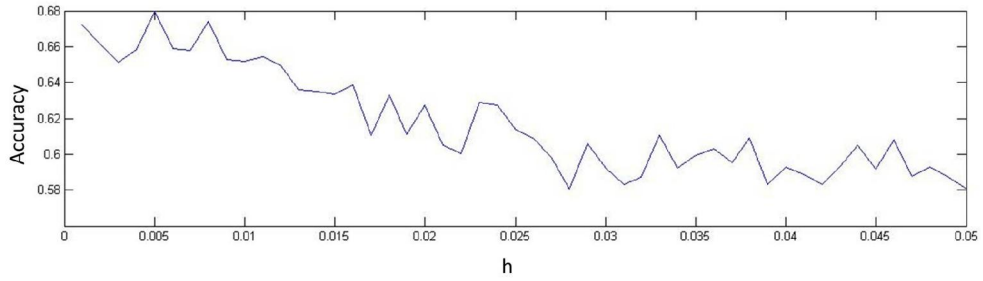
ادامه شکل۴-۹ نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن وقتی‌که چاه *W1* آموزش و چاه‌های دیگر آزمون باشند.

در این حالت شعاع بهینه، شعاعی که بیشترین دقت را دارا می‌باشد، نیست. بلکه شعاعی به عنوان شعاع بهینه انتخاب می‌شود که در تعداد چاه‌های بیشتری دارای دقت بالایی باشد.

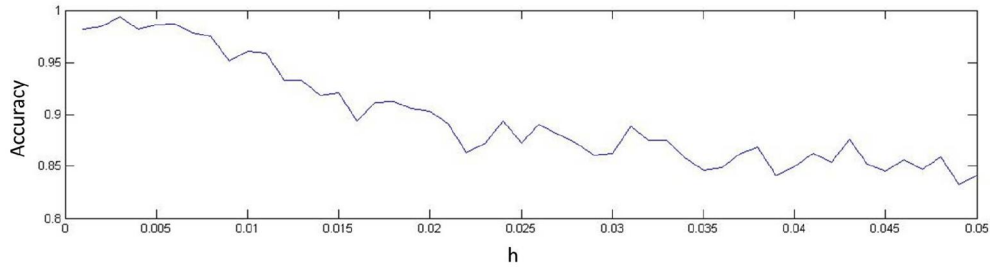
۴-۱۰ بررسی بین چاهی (قابلیت تعمیم روش) پس از تبدیل موجک

مانند قبل برای بررسی روی میزان قابلیت تعمیم یک الگوریتم بدین صورت عمل می‌شود که یک چاه بعنوان داده‌های آموزش و چاه‌های دیگر مورد آزمون قرار می‌گیرند. با این کار می‌توان تاثیر الگوریتم را بر روی چاه‌های دیگر آزمود.

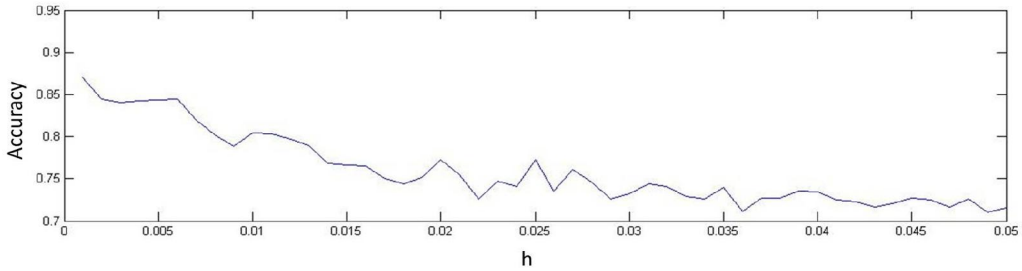
در این بخش باید یک شعاع پنجره پارزن بهینه برای تمامی چاه‌ها انتخاب شود و الگوریتمی با یک شعاع پنجره بهینه برای هر ۶ چاه مورد بررسی ارائه گردد. در این حالت نیز داده‌ها ابتدا باید نرمال-سازی شوند و سپس وارد الگوریتم شوند. مراحل بهینه‌سازی، طبقه‌بندی و دقت سنجی طبقه‌بندی مانند بخش درون چاهی انجام می‌شود که به جهت اختصار از ذکر مراحل خودداری شده و تنها به نمایش نمودار دقت بر حسب شعاع بهینه پنجره در حالت قابلیت تعمیم بسنده می‌شود. بخش‌هایی از نمودارهای بهینه‌سازی شعاع آن در شکل ۴-۱۰ آمده است.



الف) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن پس از اعمال تبدیل موجک وقتی‌که چاه *W1* آموزش و چاه *W2* آزمون باشد.

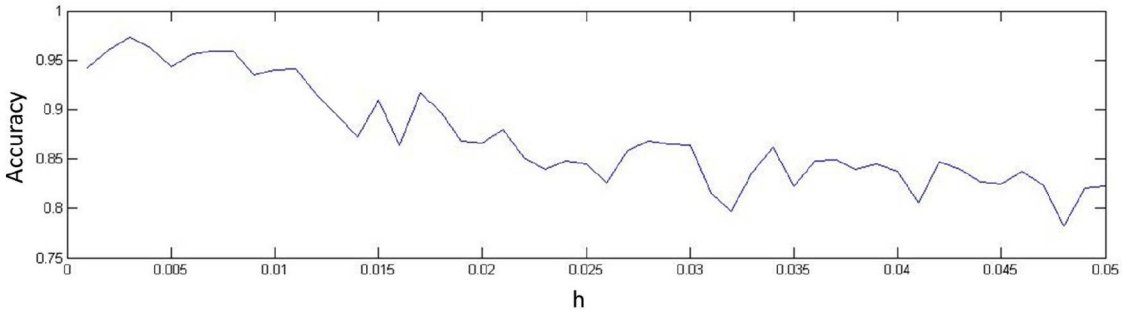


ب) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن پس از اعمال تبدیل موجک وقتی‌که چاه *W1* آموزش و چاه *W3*آزمون باشد.

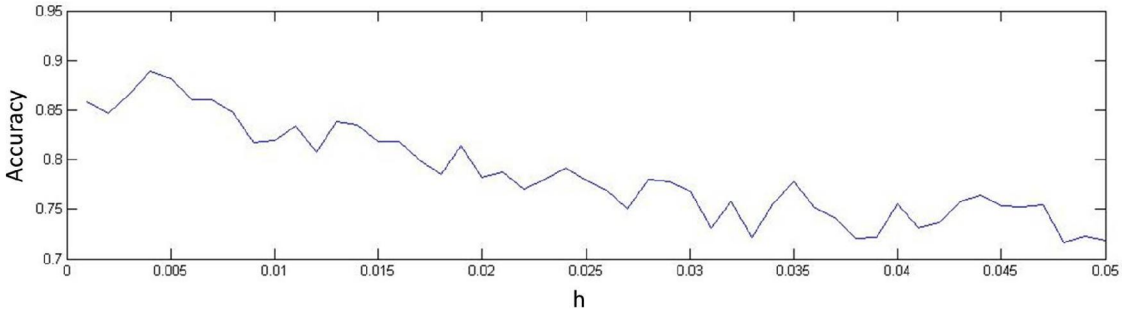


پ) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن پس از اعمال تبدیل موجک وقتی‌که چاه *W1* آموزش و چاه *W4*آزمون باشد.

شکل۴-۱۰ نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن پس از اعمال تبدیل موجک وقتی‌که چاه *W1* آموزش و چاه‌های دیگر آزمون باشند.



ت) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن پس از اعمال تبدیل موجک وقتی‌که چاه *W1* آموزش و چاه *W5*آزمون باشد.



ث) نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن پس از اعمال تبدیل موجک وقتی‌که چاه *W1* آموزش و چاه *W6*آزمون باشد.

ادامه شکل۴-۱۰ نمودار دقت بر حسب شعاع پنجره پارزن پس از اعمال تبدیل موجک وقتی‌که چاه *W1* آموزش و چاه‌های دیگر آزمون باشند.

در این حالت شعاع بهینه، شعاعی که بیشترین دقت را دارا می‌باشد، نیست بلکه شعاعی بعنوان شعاع بهینه انتخاب می‌شود که در تعدا چاه‌های بیشتری دارای دقت بالایی باشد.

۴-۱۱ مقایسه نتایج

پس از انجام طبقه‌بندی و استفاده از تبدیل موجک، در این بخش به مقایسه نتایج پرداخته خواهد شد. این مقایسه در چند بخش انجام‌پذیر است:

الف- بررسی نتایج داخل چاه قبل از اعمال تبدیل موجک

ب. مقایسه نتایج داخل چاه پس از اعمال تبدیل موجک

ج. بررسی نتایج بین چاه‌ها قبل از اعمال تبدیل موجک

د. بررسی نتایج بین چاه‌ها پس از اعمال تبدیل موجک

۴-۱۱-۱ بررسی نتایج درون چاهی قبل از اعمال تبدیل موجک

در مطالعات یک، دو و سه بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی نشان داده شد که زون ابهام گستردگی زیادی دارد؛ یعنی مرز بین زون حاوی تخلخل حفره‌ای و غیر از آن به خوبی قابل تشخیص نیست. برای جدایش این مرز، بُعد فضای کار بیشتر شد که با این افزایش بُعد دیگر نمی‌توان از نمودارهای ساده گرافیکی استفاده نمود. لذا تصمیم بر آن شد که از روش‌های نوین طبقه‌بندی الگو استفاده شود. اعتبار این روش‌ها در گرو دقت و قابلیت تعمیم آن روش است. در ابتدای این فصل هر دو قسمت مطالعه (دقت و قابلیت تعمیم) بررسی گردید. اکنون به بررسی نتایج بدست آمده از مطالعات درون چاهی در جدایش تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌های موجود در مخزن، توسط طبقه‌بندی کننده پارزن با استفاده از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی پرداخته خواهد شد.

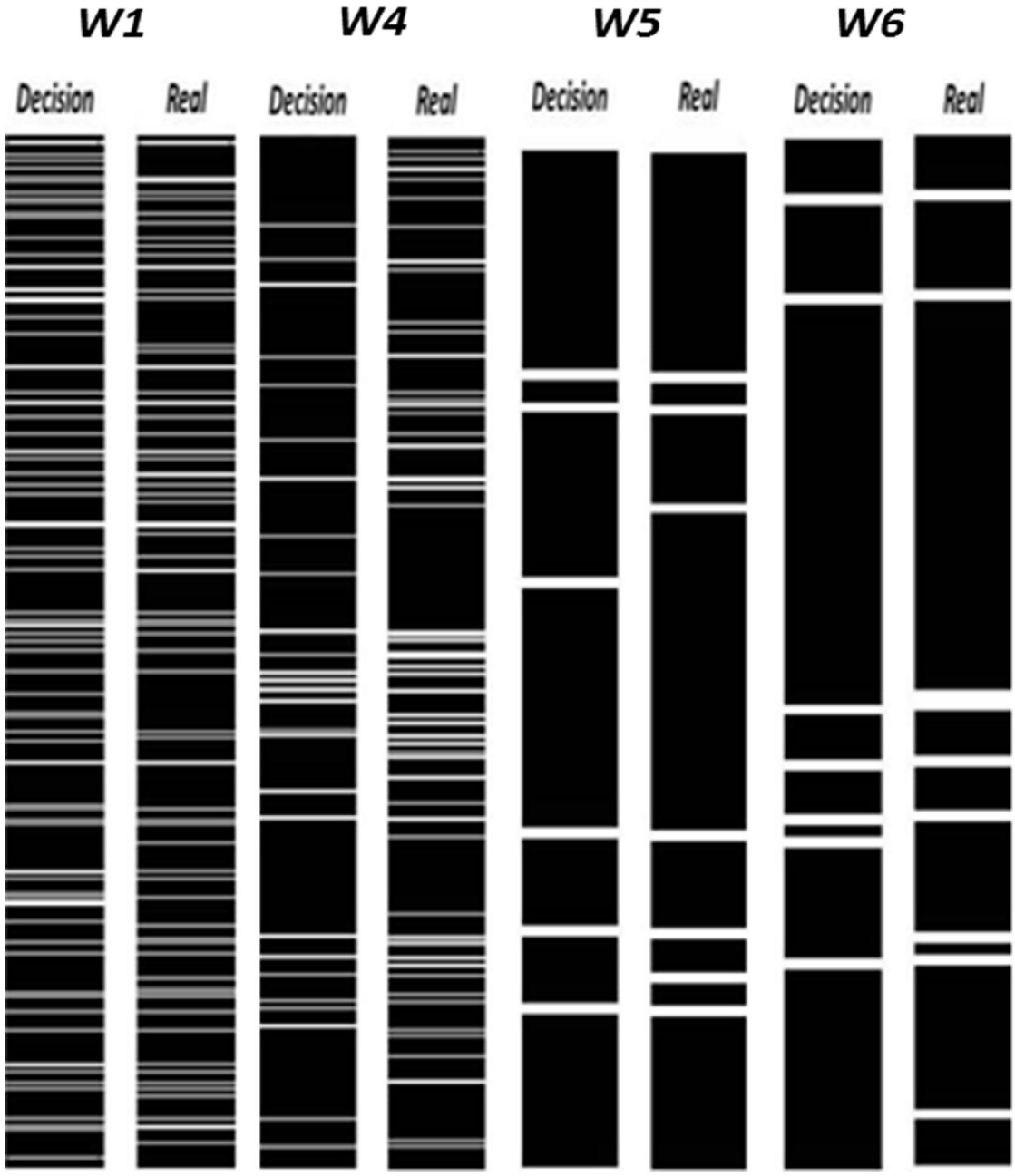
جدول ۴-۲۳ کلیه نتایج حاصل از ماتریس طبقه‌بندی برای مطالعه درون چاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. ردیف اول این جدول شعاع بهینه پنجره پارزن را در چاه خاص نمایش می‌دهد. همان-طور که در این جدول مشاهده می‌شود دقت از کمترین مقدار خود در چاه *W4* ((با دقت ۶۰٪) تا بیشترین مقدار خود در چاه *W1* (با دقت ۸۴٪) تغییر می‌نماید و دقتی در حدود ۷۳٪ بطور میانگین داراست.

جدول۴-۲۳ نتایج طبقه‌بندی کننده پارزن در جدایش تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌ها در درون چاه‌های مورد مطالعه بر اساس ماتریس طبقه‌بندی کننده

	نام چاه					
	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6
h	۰/۰۶۲	۰/۰۳۵	۰/۰۱۷	۰/۰۱۰	۰/۰۴۷	۰/۰۴۲
دقت	۰/۸۴	۰/۶۵	۰/۶۶	۰/۶۰	۰/۸۰	۰/۸۲

با توجه به جداول ۴-۹ تا ۴-۱۴ الگوریتم ارائه شده، در شناسایی زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای خوب عمل می‌کند. اما در شناسایی دیگر زون‌ها نمی‌تواند به خوبی زون‌های حفره‌دار عمل نماید. اما به هر ترتیب دقت کار در حد قابل قبولی می‌باشد و در برخی از چاه‌ها این جدایش و تفکیک با دقتی بیش از ۸۰٪ (چاه‌های *W1,W5,W6*) انجام پذیرفته است که این نشان دهنده کارایی الگوریتم ارائه شده می‌باشد.

شکل ۴-۱۱ نتایج طبقه‌بندی و تفکیک به روش پارزن را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود در چاه‌های *W1,W5,W6* دقت در حد قابل قبولی است و محدوده قرارگیری تخلخل‌های حفره‌ای در حد مناسبی دیده می‌شود.



تخلخل غیر حفره ای
تخلخل حفره ای

شکل۴-۱۱ نتایج قرارگیری تخلخل‌های حفره‌ای در چاه‌های مورد مطالعه قبل از تبدیل موجک.

۴-۱۱-۲ مقایسه نتایج **درون‌چاهی** پس از اعمال تبدیل موجک

پس از اعمال تبدیل موجک بر روی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی (که توسط موجک مادر بهینه صورت گرفته است) طبقه‌بندی با ورودی‌های آن صورت می‌گیرد. پس از انجام این کار که در بخش قبل نتایج آن بدست آمد، آن را با نتایج حاصل از داده‌های خام مقایسه می‌کنند.

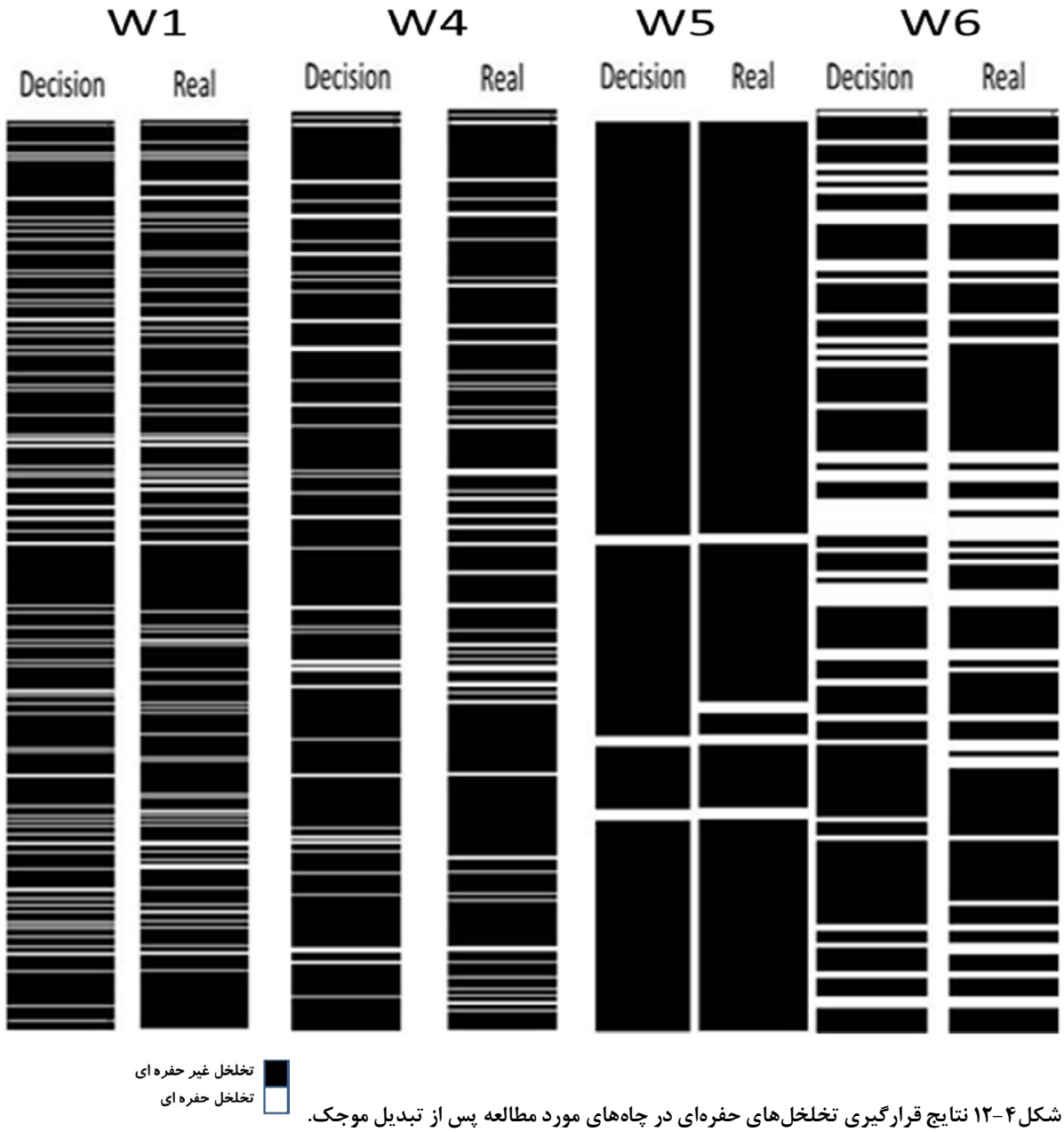
جدول ۴-۲۴ این مقایسه را بین نتایج داده‌های خام و داده‌های پس از اعمال تبدیل موجک نشان - می‌دهد. همان طور که انتظار می‌رفت دقت در تمام چاه‌ها بهبود یافته است.

جدول۴-۲۴ مقایسه نتایج تفکیک تخلخل حفره‌ای با طبقه‌بندی کننده پارزن قبل و بُعد از اعمال تبدیل موجک با استفاده از تقریب۲

	نام چاه					
	W6	*W5*	*W4*	*W3*	*W2*	*W1*
دقت با استفاده از داده‌های خام	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۶۰	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۸۴
دقت با استفاده از تقریب ۲	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۶۵	۰/۹۹	۰/۷۴	۰/۸۵

به جز چاه‌های *W1, W6* در مابقی چاه‌ها دقت بیش از ۵٪ افزایش یافته است که این موثر بودن روش مورد استفاده (تبدیل موجک) را در بهبود دقت اثبات می‌نماید. اما مهم‌تر از دقت باید در مورد بهبود در میزان قابلیت تعمیم پس از اعمال تبدیل موجک بحث شود.

شکل ۴-۱۲ به صورت تصویری نمایش مناطق حاوی تخلخل حفره‌ای و غیر آن را می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که بجز در چاه‌های *W2,W4* دقت در سایر چاه‌ها مناسب می‌باشد. در چاه *W2* بخش-های مربوط به تخلخل حفره‌ای بخوبی شناسایی نشده است. ولی در چاه *W4* عکس این موضوع صادق است.



شکل۴-۱۲ نتایج قرارگیری تخلخل‌های حفره‌ای در چاه‌های مورد مطالعه پس از تبدیل موجک.

۴-۱۱-۳ بررسی نتایج بین چاه‌ها قبل از اعمال تبدیل موجک

جدول ۴-۲۵ دقت طبقه‌بندی را در حالاتی که چاه مختلف به عنوان آموزش برای دیگر چاه‌ها قرار می‌گیرند. در این پروژه شعاع بهینه برای تعمیم‌پذیری h=۰/۰۴۲ انتخاب شده است و این جدول برای این مقدار h بدست آمده است.

جدول۴-۲۵ نتایج آنالیز چند چاهه و بررسی قابلیت تعمیم الگوریتم بین چاه‌ها

آموزش\آزمون	***W1***	***W2***	***W3***	***W4***	***W5***	***W6***
W1		۰/۸۳	۰/۷۱	۰/٦۸	۰/۷۷	۰/۷۰
W2	۰/۵۹		۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۷٦	۰/۷۳
W3	۰/۷۵	۰/۹۳		۰/۵٤	۰/۵٤	۰/۶۶
W4	۰/۷۱	۰/۸۹	۰/۵۵		۰/۵۹	۰/۷۳
W5	۰/۸۰	۰/۹٤	۰/٦۰	۰/۵۲		۰/۷۵
W6	۰/۷۱	۰/۸۸	۰/٦۲	۰/۵۳	۰/۷۳	

این جدول نشان می‌دهد که دقت کلی قابلیت تعمیم طبقه‌بندی کننده پارزن در جدایش تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌ها با استفاده از داده‌های خام ۷۱٪ است و نیز زمانی‌که الگوریتم با چاه‌های *W1,W2,W6* آموزش داده شود دقت در حدود میانگین و بالاتر از آن می‌رود. به طوری‌که با آموزش *W1* دقت در چاه‌های آزمون در محدوده ۵۹٪ تا ۸۰٪ (با میانگین دقت ۷۱/۲٪) و هنگامی‌که آموزش با چاه *W2* صورت گیرد، دقت میانگین برابر ۸۹/۴٪ که در محدوده با تغییرات بین ۸۳٪ تا ۹۴٪ می‌باشد. و در نهایت هنگامی‌که در چاه *W6* آموزش انجام شود، دقت میانگین برابر ۷۱/۴٪ و در محدوده تغییراتی ۶۶٪ تا ۷۷٪ قرار می‌گیرد. در دیگر حالات که *W3 ,W4, W5* آموزش شبکه را بر عهده می گیرند، دقت تا حدودی پایین‌تر از میانگین کل دقت در قابلیت تعمیم است. به نحوی‌که آموزش با چاه *W3* دقتی برابر ۶۷٪ که در محدوده ۵۵٪ تا ۸۸٪ تغییر می‌کند و اگر چاه *W4* مورد آموزش قرار گیرد دقت میانگین در حدود ۶۳٪ بوده و محدوده تغییرات دقتی در چاه‌های آزمون بین ۵۲٪ و ۸۷٪ و آموزش با چاه *W5* دقتی در حدود ۶۸٪ با حدود تغییرات ۵۴٪ تا ۷۷٪ را نتیجه می‌دهد.

۴-۱۱-۴ بررسی نتایج قابلیت تعمیم بین‌چاهی پس از اعمال تبدیل موجک

جدول ۴-۲۶ دقت طبقه‌بندی را در حالاتی که چاه مختلف به عنوان آموزش برای دیگر چاه‌ها قرار می‌گیرند. در این پروژه شعاع بهینه برای تعمیم‌پذیری h=۰/۰۰۴ انتخاب شده است و این جدول برای این مقدار h بدست آمده است.

جدول۴-۲۶ نتایج آنالیز چند چاهه و بررسی قابلیت تعمیم الگوریتم بین چاه‌ها پس از اعمال تبدیل موجک

آموزش\آزمون	*W1*	*W2*	*W3*	*W4*	*W5*	*W6*
W1		۰/۸۳	۰/۵۱	۰/٦٦	۰/٥٤	۰/٦٤
W2	۰/٦٧		۰/۵۱	۰/۵۹	۰/۵۲	۰/۵۸
W3	۰/۹۸	۰/۹۸		۰/۹۵	۰/۸٦	۰/۹۵
W4	۰/۸۳	۰/۹۰	۰/٥٤		۰/۵۷	۰/۷٤
W5	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۵۸	۰/۹۰		۰/۹۲
W6	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/٥٤	۰/۷۵	۰/۵۹	

این جدول نشان می‌دهد که دقت کلی قابلیت تعمیم طبقه‌بندی کننده پارزن در جدایش تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌ها با استفاده از داده‌های خام ۷۵٪ است و نیز زمانی‌که الگوریتم با چاه‌های *W1,W2,W4,W6* آموزش داده شود دقت کار بالاتر می‌رود. به طوری‌که با آموزش *W1* دقت در چاه-های آزمون در محدوده ۶۷٪ تا ۹۸٪ (با میانگین دقت ۸۷٪) و هنگامی‌که آموزش با چاه *W2* صورت گیرد، دقت میانگین برابر ۹۳٪ که در محدوده با تغییرات بین ۸۳٪ تا ۹۹٪ می‌باشد. اگر چاه *W4* مورد آموزش قرار گیرد، دقت میانگین در حدود ۷۷٪ بوده و محدوده تغییرات دقتی در چاه‌های آزمون بین ۵۹٪ و ۹۵٪ و در نهایت هنگامی‌که در چاه *W6* آموزش انجام شود، دقت میانگین برابر ۷۷٪ و در محدوده تغییراتی ۵۸٪ تا ۹۵٪ قرار می‌گیرد. در دیگر حالات که *W5* , *W3* آموزش شبکه را بر عهده گیرند، دقت پایین‌تر از میانگین است. به نحوی‌که آموزش با چاه *W3* دقتی برابر ۵۴٪ که در محدوده

۵۱٪ تا ۵۸٪ تغییر می‌کند و آموزش با چاه *W5* دقتی در حدود ۶۲٪ با حدود تغییرات ۵۲٪ تا ۸۶٪ را نتیجه می‌دهد.

چاه‌های W3, W5 بدلیل این‌که توزیع داده‌های تخلخل حفره‌ای و سایر تخلخل‌ها نا متوازن است و نسبت یک به نُه بترتیب برای داده‌های تخلخل حفره‌ای و سایر تخلخل‌ها برقرار است؛ آموزش با این چاه‌ها دقت مناسبی نمی‌دهد.

۴-۱۲ خلاصه نتایج

در این فصل ابتدا به بررسی یک، دو و سه بُعدی پرداخته شد که دقت بدست آمده از آن بیش از ۷۵٪ نبود. سپس به روش طبقه‌بندی کننده پارزن، تفکیک تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌ها انجام گرفت و مشاهده شد که دقت به مراتب بالا رفت. پس از اعمال تبدیل موجک هم دقت درون چاهی و هم دقت بین چاهی (قابلیت تعمیم) بار دیگر افزایش یافت.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

- مزیت استفاده از این روش (ترکیب دو تکنیک موجک و پارزن) بر روش‌های قبلی که به طور معمول استفاده از مغزه و یا چاه‌نمودارهای تصویری می‌باشند، این است که علاوه بر در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز آن‌ها؛ هزینه بررسی، برداشت داده و تفسیر کمتری دارند.
- استفاده از روش‌های طبقه‌بندی الگو با کاهش زون ابهام بین کلاس‌های مورد بررسی (تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها) می‌تواند دقت تفکیک این دو کلاس را نسبت به مطالعات یک، دو و سه بُعدی افزایش دهد. بطوری‌که بعنوان مثال در چاه *W1* دقت از ۶۵٪ در مطالعه یک بُعدی به ۶۹/۸ ٪در مطالعه دو بُعدی و با افزایش بعد فضای ورودی به سه دقت به ۷۵/۰۲٪ می‌رسد و با افزودن یک چاه‌نمودار به فضای ورودی دقت به بیش از ۸۲٪ تجاوز می‌نماید این در حالی است که افزودن بعد فضای ورودی دقت را بالاتر برده و در حدود ۹۵٪ می‌رسد.
- با توجه به جدول۴-۱۵ بهترین باند فرکانسی برای جدایش تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌ها، تقریب۲ است و دارای میانگین دقت ۸۳٪ است که در مقابل دقت تقریب ۱ (۷۸٪) و جزئیات ۱ (۵۷٪) دقت بهتری دارد.
- با اعمال تبدیل موجک بعنوان یک تکنیک مناسب در پردازش سیگنال با کاهش نوفه در داده‌ها دقت تفکیک بین دو کلاس بیشتر شده و از میانگین ۷۳٪ با داده‌های خام به میانگین ۸۳٪ پس از اعمال تبدیل موجک و استفاده از باند فرکانسی تقریب ۲ می‌رسد.
- در این پایان‌نامه قابلیت تعمیم روش‌های مورد استفاده در بین چاه‌های یک میدان، ثابت گردید (با میانگین ۷۳٪) که این موضوع نیز از مزایای مهم روش مورد مطالعه در این پروژه نسبت به روش‌های مرسوم است.

- با استفاده از نتایج بدست آمده در فصل چهارم و با توجه به این‌که چاه‌های *W5, W6* مربوط به میدان *A* هستند و دیگر چاه‌ها مربوط به میدان *B* می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های بکارگیری شده در این پایان‌نامه، قابلیت تعمیم‌پذیری در دو میدان مختلف (دارای سازند مخزنی یکسان) را دارا می‌باشند (با میانگین ۶۹٪).
- پس از اعمال تبدیل موجک میزان قابلیت تعمیم بین چاه‌های مختلف یک میدان (میدان *A*) برابر ۷۷/۵٪ و بین دو میدان برابر ۷۰٪ می‌شود که در هر دو مورد نسبت به حالتی که از داده‌های خام استفاده شده بود، تعمیم‌پذیری بهبود یافته است.
- خطاهای موجود در الگوریتم ارائه شده بیشتر در مرز بین زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و دیگر زون‌ها اتفاق می‌افتد.
- در چاه‌هایی که نسبت داده‌های مربوط به تخلخل‌های غیر حفره‌ای به داده‌های زون حاوی تخلخل حفره‌ای خیلی بالاست تعمیم پذیری در حالتی که آن چاه مورد آموزش قرار می-گیرد پایین می‌آید.

۵-۲ پیشنهادات

- استفاده از الگوریتم‌های هوشمند و هندسی برای طبقه‌بندی و تفکیک این نوع از تخلخل و مقایسه نتایج با نتایج حاصل از این پایان‌نامه می‌تواند نقش روش بکارگیری شده در این نوع مطالعات را نشان دهد.
- بهره‌گیری از روش‌های نوین در پردازش سیگنال از قبیل ویگنر وایل که دارای رزولوشن بالا و قدرت توضیح ریاضی مناسبی است ممکن است که در دقت کار تاثیرگذار باشد.
- روشی که مرکب از سه تکنیک تبدیل موجک (جهت پردازش سیگنال)، یکی از روش‌های طبقه‌بندی الگو (بنا بر انتخاب) و ترکیب اطلاعات می‌تواند دقت کار را بالاتر برد.
- استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری در تفکیک تخلخل حفره‌ای از سایر تخلخل‌ها با یکی از روش‌های گفته شده در بالا، به دلیل این‌که در مرحله قبل از حفاری اکتشافی (که هزینه‌بر است) و برداشت‌های پتروفیزیکی در میدان اطلاعات مناسبی در اختیار حفار و مجموعه‌ی حفاری قرار می‌دهد، می‌تواند بسیار مفید باشد.
- مدل سازی این نوع از تخلخل با استفاده از داده‌های ژئوشیمی و مقدار کل کربن آلی می-تواند در مورد ژنز و نیز کیفیت هیدروکربور موجود در مخزن اطلاعات مناسبی در اختیار قرار دهد.
- تخمین و پیش‌بینی این نوع از تخلخل در میدان توسط روش‌های آماری و هوشمند می-تواند موضوع مناسبی برای پژوهش در مورد مخازن کربناته حاوی تخلخل حفره‌ای باشد.
- در مسئله بررسی تخلخل حفره‌ای، مطالعه در مورد نقش این نوع تخلخل بر پارامترهای ژئومکانیکی مخزن به عنوان یکی از مسائل مهم در پایداری مخازن کربناته، بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

منابع

ابراهیم زاده م، (۱۳۸۹)، "معرفی شبکه عصبی مبتنی بر تبدیل موجک (*Wave-Net*) به عنوان ابزار مدلسازی ویژگیهای مخازن نفتی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. - دانشکده مهندسی معدن، پردبس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران.

حسنی پاک علی اصغر و خالصی محمد رضا (۱۳۸۲)"مدیریت خطا و ریسک در اکتشاف"، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

شیرودی بیژن نوری، داود جهانی، علیرضا بشری، سجّاد کاظم، (۱۳۸۸)، " بررسی ویژگ یهای مخزنی سازند سروک در میدان هندیجان با مطالعات رسو بشناسی، محیط رسوبی و ارزیابی پتروفیزیکی " مجله اکتشاف و تولید، جلد ۶۱.

مطیعی همایون، (۱۳۸۷)، " زمین شناسی نفت سنگ های کربناته "، تهران، انتشارات آرین زمین.

مطیعی همایون، (۱۳۸۹) " مقدمه ای بر ارزیابی مخازن نفتی زاگرس "، تهران، انتشارات آرین زمین.

Addison PS. *(2002), "The illustrated wavelet transform handbook. Introductory theory and applications in science, engineering, medicine and finance",[s.l.]::: London: Institute of Physics.*

Aguilera R. F. and Aguilera, R, *(2004) " A Triple Porosity Model for Petrophysical Analysis of Naturally Fractured Reservoirs, ",[s.l.]::: Petrophysics , 2::: Vol. 45.*

Archie G. E. *(1952), " Classification of carbonate reservoir rocks and petrophysical consideration ", [s.l.]::: AAPG Bull, 2::: Vol. 36.*

Asgari Nezhad Y, Tokhmechi B, Kamkar Rohani A, sherkati S,Jamali. A *(2011),"Classification of petrophysical well logs in separation of the Vuggy prosity", p. 245.*

Beard. D.C Weyl. P. K*. (1973,)" Influence of texture on porosity and permeability in unconsolidated sand", [s.l.]::: AAPG Bull, Vol. 57.*

Bishop Christopher M. *(1998,), "Neural Network for Pattern Recognition".*

Brémaud P. *(2002), "Mathematical principles of signal processings. Fourier and Wavelet Analysis", [s.l.]::: Springer.*

Brie. A Johnson. D.L , Nurmi. R.D. *(1985),"Effect of spherical pores on sonic and resistivity measurements", [s.l.]::: SPWLA, 26th Annual Logging Symposium Transactions.*

Burrus. CS Gopinath. RA, Guo. H *(1997),"Introduction to wavelet and wavelet transforms: a primer. New Jersey", [s.l.]::: Prentice-Hall.*

Choquette P.W. and Pray, L. C. *(1970),"Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates", [s.l.]::: AAPG Bulletin, 1970. - Vol. 54.*

Chui C.K. *(1992) "An Introduction to wavelet (Wavelet analysis and its applications)", New York::: Academic press.*

Daubechies. I *(1988), "Orthogonal bases of compactly supported wavelets", [s.l.]::: Commun Pure Appl Math.*

Daubechies. I *(1992),"Ten Lecture on Wavelet", Philadelphia, Pennsylvania::: Soc. for Industrial and mathematics Press.*

Delhomme. J.P *(1992), " A QUANTITATIVE CHARACTERIZATION OF FORMATION HETEROGENEITIES BASED ON BOREHOLE IMAGE ANALYSIS " [Journal]. - [s.l.]::: SPWLA 33rd Annual Logging Symposium.*

Donaldson Djebbar Tiab and Erle C. *(2004)," Petrophysics ", [s.l.]::: Gulf Professional Publishing, Vol. second edition.*

Duda, Richard O. Peter E. Hart and David G. Stork *(1997), "Pattern Classfcation" [s.l.]::: DHSChapter1, page 3-13.*

Duda, Richard O. Peter E. Hart and David G. Stork *(1997), "Pattern Classfcation" [s.l.]::: DHSChapter1.*

Duda, Richard O. Peter E. Hart and David G. Stork *(1997), "Pattern Classfcation" [s.l.]::: DHSChapter1, page 13-14.*

Duda, Richard O. Peter E. Hart and David G. Stork *(1997), "Pattern Classfcation" [s.l.]::: DHSChapter2, page 14-19.*

Duda, Richard O. Peter E. Hart and David G. Stork *(1997), "Pattern Classfcation" [s.l.]::: DHSChapter4, page 18-21.*

Duda, Richard O. Peter E. Hart and David G. Stork (1997), *"Pattern Classfcation" [s.l.]::: DHSChapter4, page 7-17.*

Dziewonski. A Hobbs. R.W, Landisman. M *(1969), "A technique for the analysis of transient seismic signals", [s.l.]::: Bull. Seismol, Vol. 59.*

Elena. MM Quero. JM ,Borrego. I *(2006), " An optimal technique for ECG noise reduction in real time applications" [s.l.]::: Comput Cardiol.*

Enos. P Sawatsky. L. H *(1981), " pore networks in Holocence carbonate sediments" [s.l.]::: Journal Sediment Petrol, Vol. 51.*

Gomaa. N Al-Alyak. A, Ouzzane. D, Saif. O, Okuyiga. M, Allen. D, Rose. D, Ramamoorthy. R and Bize. E *(2006), "Case study of permeability, Vug quantification, and rock typing in a complex carbonate" [s.l.]::: SPE, 102888.*

Gonzalez Vinicio Ricardo Casar, Suro- perez *(2000), " Stochastic Imaging of Vuggy Formations", [s.l.]::: SPE 58998.*

Greder.H. N Biver. P. Y, Danquigny. J, Pellerin. F. M *(1996)," DETERMINATION OF PERMEABILITY DISTRIBUTION AT LOG SCALE IN VGGY CARBONATES " [s.l.]::: PWLA 37th Annual Logging Symposium.*

Grossmann. A Morlet. J *(1984),"Decomposition of hardy functions into a square integrable wavelets of constant shape" [s.l.]::: SIAM J. Math,Vol. 15.*

Gurpina O. and Kalbus, J. and List, D. *(1999), "Numerical Modeling of a Triple Porosity Reservoir" [s.l.]::: SPE, 57277.*

Hart B.B. *(1972)," Upper Cretaceous palaeogeography, structural history and prospect of the Khuzestan province " [s.l.]::: Iranian Oil Operating Companies Report 1162.*

Hassall. J. K Ferraris. P, Al-Raisi. M, Hurley. N. F, Boyd. A, Allen. D. F *(2004)," Comparison of permeability predictors from NMR, formation image and other logs in a carbonate reservoir " [s.l.]::: SPE, 88683.*

Hayes K. Fukunaga and R R. *(1989), "The reduced Parzen classifier" [s.l.]::: IEEE Trans, 4::: Vol. 11.*

Hernandez-Fajardo. I Evangelatos. G, Kougioumtzoglou. I, Ming. X *(2008), "Signal denoising using wavelet-based methods" [s.l.]::: Connexions module.*

Holschneider M. *(1995), " Wavelets: an Analysis Tool" [s.l.]::: Oxford University Press.*

Hong Tang Niall Toomey, W. Scott Meddaugh *(2009), "Successful Carbonate Well Log Facies Prediction Using an Artificial Neural Network Method Wafra Maastrichtian Reservoir, Partitioned Neutral Zone (PNZ), Saudi Arabia and Kuwait" [s.l.]::: SPE, 123988.*

Hurley N. et al *(1998), " Quantification of Vuggy porosity in a dolomite reservoir from borehole images and core, Dagger Draw field, New Mexico" [s.l.]::: SPE , 49323.*

Ings. Jean-Franqois Mengual Laura Morales Recinos, Elizabeth Sanchez Ho and Dr. Francisco Garcia Herntidez *(2000), " FORMATION EVALUATION IN OUTHERN MEXICO'S LOW-POROSITY FRACTURED CARBONATE ROCKS USING IMAGING AND NMR TOOLS" [s.l.]::: SPWLA 41* Annual Logging Symposium.*

Iwere. F. O Moreno. J. E, Apaydin. O.G, Leon Ventura. R, Garcia. J. L *(2002)," Vug characterization and pore volume compressibility for numerical simulation of Vuggy and fractured carbonate reservoirs" [s.l.]::: SPE, 74341.*

Johansson E. *(2005), "Wavelet theory and some of its applications" [s.l.]::: Lule˚ a, Sweden: Department of Mathematics ,Lule ˚a University of Technology.*

Koenraad Johan Weber and Margot Bakker Kon *(1981),"Fracture and Vuggy Porosity" [s.l.]::: SPE, spe 10332.*

Kossack. C. A Gurpinar. O *(2001)," A Methodology for Simulation of Vuggy and Fractured Reservoirs" [s.l.]::: SPE, 66366.*

Koutroumbos S.. Theodoridis and K. *(2002), "Pattern Classification" [s.l.]::: 2nd edn (San Diego: Elsevier/Academic).*

Lucia F. J. *(1983), " Petrophysical parameters estimated from visual description of carbonate rocks: a field classification of carbonate pore space," [s.l.]::: JPT, Vol. 35.*

Lucia F. J. *(1995)," Rock- fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization," [s.l.]::: AAPG Bulletin, Vol. 79.*

Mallat SG. *(1989), "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation" [s.l.]::: IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, Vol. 11.*

Maute R. F., Lyle, W. D., Spaunt, E. S. *(1992), "Improved Data-Analysis Method Determines Archie Parameters from Core Data," [s.l.]::: LPT.*

McConnell P. C. *(1951), " Drilling and production tecniques that yeild nearly 850000 barrels per day in Saudi Arabia's fabulous " [s.l.]::: Abqaiq Oil & Gas Jour.*

Motiei H. *(1993,)" Treatise on the geology of Iran: Stratigraphy of Zagros. Geological Survey of Iran ".*

Perez-Rosales. C Mercado-Diaz. A, Cruz-Hernandez. J, Islas-Juarez. R *(2002), " electric Resistivity of Vuggy fractured media" [s.l.]::: SPE, 74340.*

Peter Popov Linfeng Bi, Yalchin Efendiev, Richard E. Ewing, Guan Qin, Jianglong Li, Yulin Ren *(2007)," Multiphysics and multiscale methods for modeling fluid flow through naturally fractured Vuggy carbonate reservoirs", [s.l.]::: SPE, 105378.*

Pinous. O Zellou. Abdel M, Robunson. Gary , Royer. Ted , Svikhnushin. N, Borisenok. D, Blank. A *(2007),"Continuous fracture modeling of a carbonate reservoir in west Siberia", [s.l.]::: SPE, 103284.*

Rasmus. J.C Keynon. W.E *(1985), "An improved petrophysical evaluation of oomoldic Lansing–Kansas city formations utilizing conductivity and dielectric log measurements" [s.l.]::: SPWLA, 26th Annual Logging Symposium Transactions.*

Rui-Lin Liu Ning Li, Qing-fu Feng, Chuan Hai, Ke-wen Wang *(2009), "Application of the triple porosity model in well–log effectiveness estimation of the carbonate reservoir in Tarim oilfield", [s.l.]::: Journal of Petroleum Science and Engineering.*

Shaw Schwarts *(1975), "Signal Processing: Discrete Spectral Analysis, Detection, and Estimation", [s.l.]::: McGraw-Hill.*

Shourab. M Hazin.S *(2009), "Geological Completion Report For Sarkan", [s.l.]::: OEID Drilling Department.*

Sidney Burrus C., and Guo,H., Gopinath, R.A *(1997), "An Introduction to wavelet and wavelet transform: a Priemer", [s.l.]::: Prentice Hall.*

StatoilHydro *(2010), " Fracture-Related Vug Formation ", [s.l.]::: StatoilHydro.*

STONELEY R. *(1981), " The geology of Kuh-e-Dalneshin area of southern Iran and its bearing on the evolution of southern Tethys ", Londen::: Journal of the Geological Society. - Vol. 138.*

Sweldness Jawerth *(1998), "An Ove view of Wavelet Based Multiresolutional Analysis".*

Tebbutt. G. E Conley. C. D, Boyd. D. W *(1965), " Lithogenesis of carbonate fabric ", [s.l.]::: Wyo Univ. Contrib. Geol, 1::: Vol. 4.*

Towle.G *(1962), " An analysis of the formation resistivity factor-porosity relationship of some assumed pore geometries ", [s.l.]::: Third Annual Meeting of SPWLA.*

VAN BUCHEM. F.S.P RAZIN. P, HOMEWOOD. P.W, PHILIP. J.M, EBERLI. G.P, PLATEL. J-P, ROGER. J, ESCHARD. R, DESAUBLIAUX. G.M.J, BOISSEAU. T, LEDUC. J-P, LABOURDETTE. J and CANTALOUBE. S *(1996), " High resolution sequence stratigraphy of the Natih Formation (Cenomanian–Turonian) in northern man: distribution of source rocks and reservoir facies ", [s.l.]::: GeoArabia, Vol. 1.*

Van-Buchem. F Gaumet. F, Védrenne. V, Vincent. B *(2006), "Middle East Cretaceous sequence stratigraphy study, part 1 – SW, Iran", [s.l.]::: Institut Français du Pétrole.*

Wynd G. A. James and J.G. *(1965), " Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium area" [s.l.]::: Bulletin of the Am. Assoc. Petolr. Geol. Memior, 12::: Vol. 49.*

WYND J.G. *(1965), " Biofacies of the Iranian Oil Consortium Agreement area " Tehran::: Iranian Oil Operating Companies, Geological and Exploration Division, 1082.*

Yu-Shu Wu Guan Qin, Richard E. Ewing, Yalchin Efendiev, Zhijiang Kang , Yulin Ren *(2006), "A multiple-continuum approach for modeling multiphase flow in naturally fractured Vuggy petroleum reservoirs", [s.l.]::: SPE, 104173.*

Zarasvandi. A Charchi. A, Carranza. E.J.M, Alizadeh. B *"Karst bauxite deposits in the Zagros Mountain Belt, Iran", [s.l.]::: ORE Geology, ELSEVIER.*

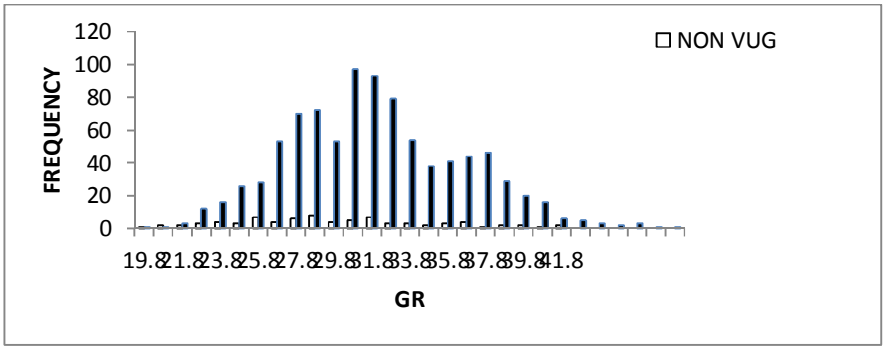
Ziegler M.A. *(2001), " Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences " [s.l.]::: GeoArabia, Vol. 3.*

پیوست‌ها

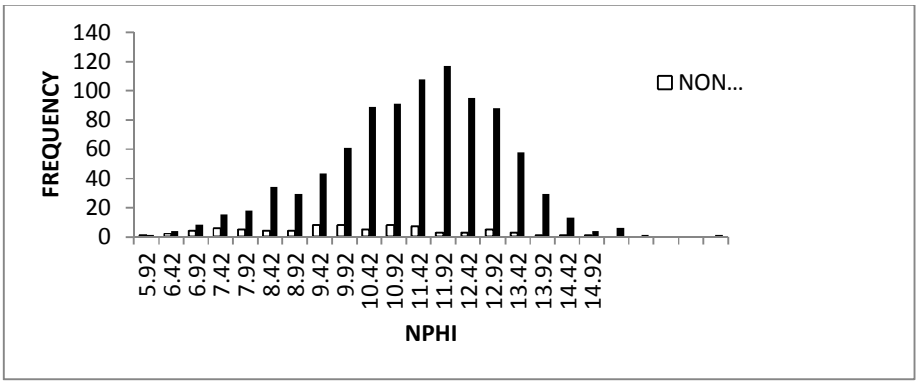
پیوست یک

مطالعات یک، دو و سه بعدی

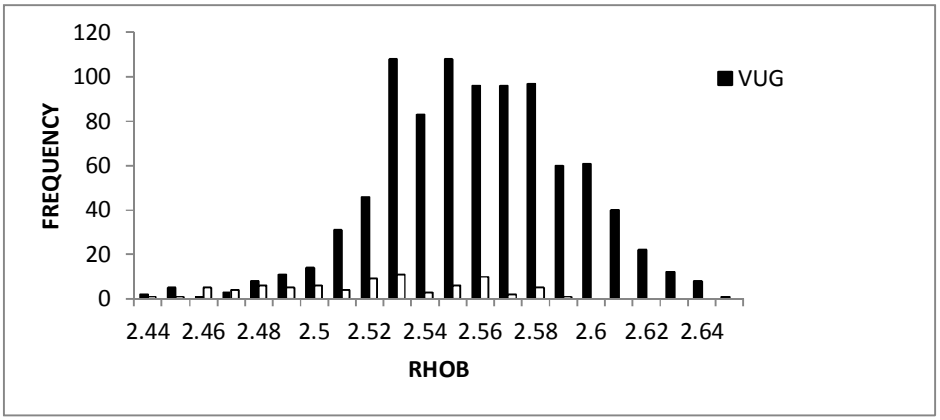
در جدایش تخلخل حفره‌ای از دیگر تخلخل‌ها



ث) هیستوگرام چاه‌نمودار گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W2*

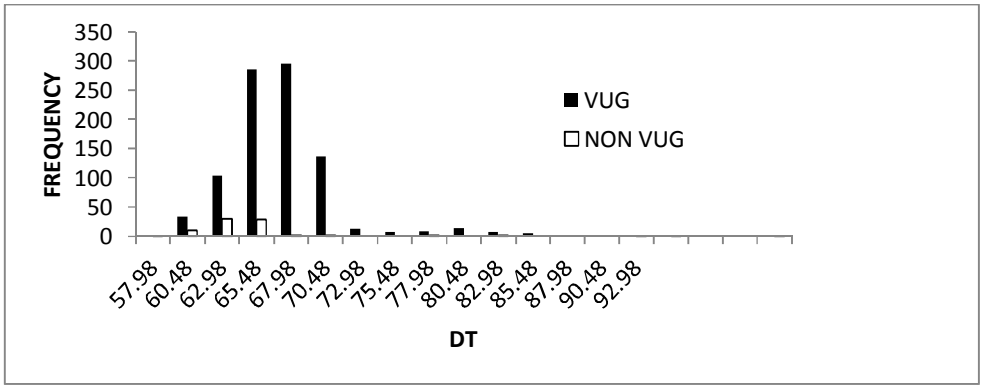


ج) هیستوگرام چاه‌نمودار نوترون مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W2*

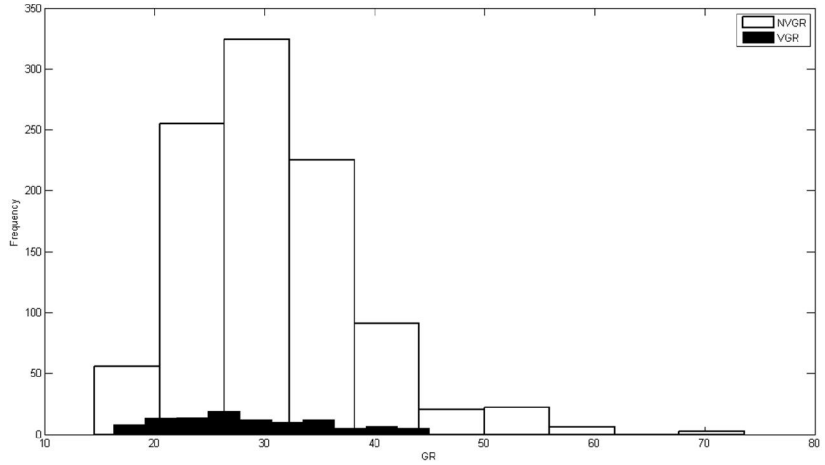


چ) هیستوگرام چاه‌نمودار چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W2*

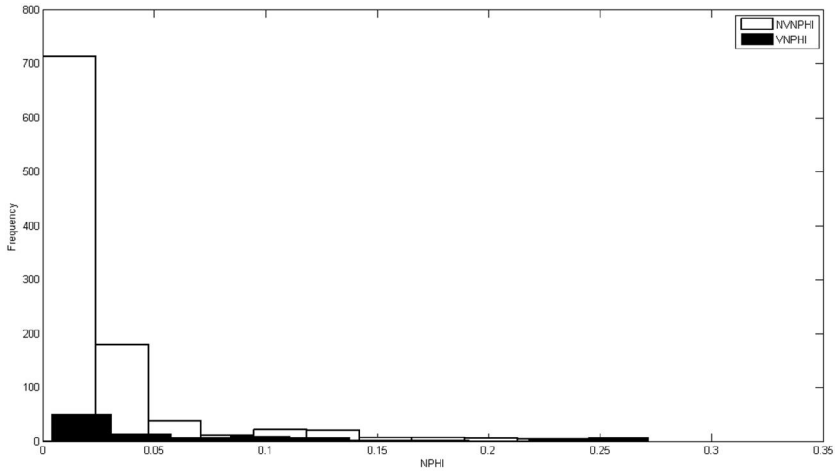
شکل یک-۱. مطالعه یک بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



ح) هیستوگرام چاه‌نمودار صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W2*

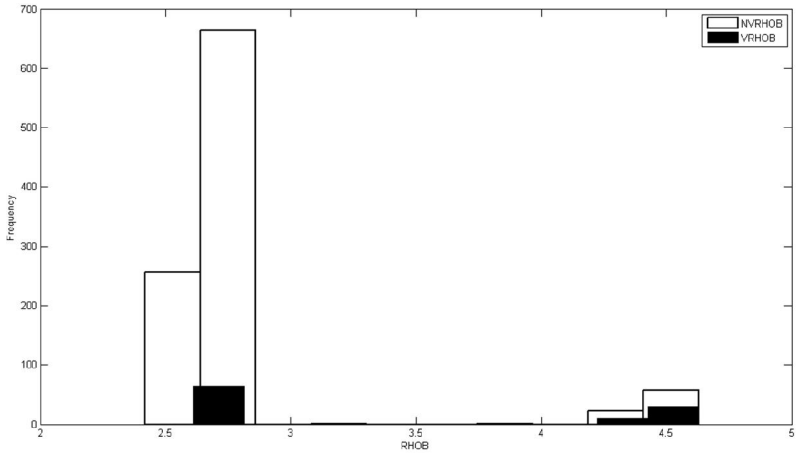


خ) هیستوگرام چاه‌نمودار گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W3*

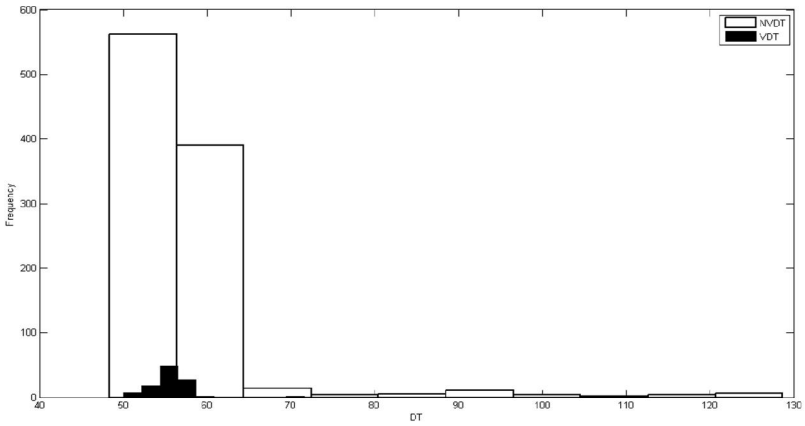


د) هیستوگرام چاه‌نمودار نوترون مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W3*

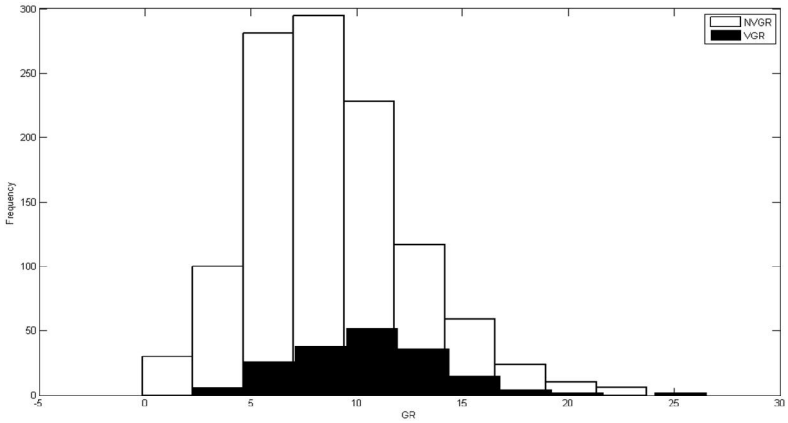
ادامه شکل یک -۱. مطالعه یک بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



ذ) هیستوگرام چاه‌نمودار چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W3*

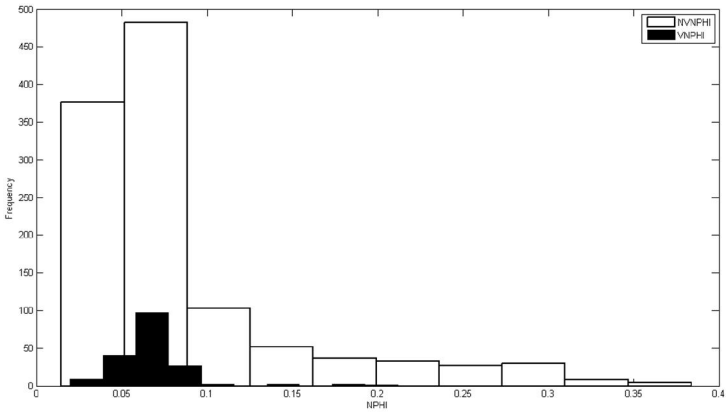


ر) هیستوگرام چاه‌نمودار صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W3*

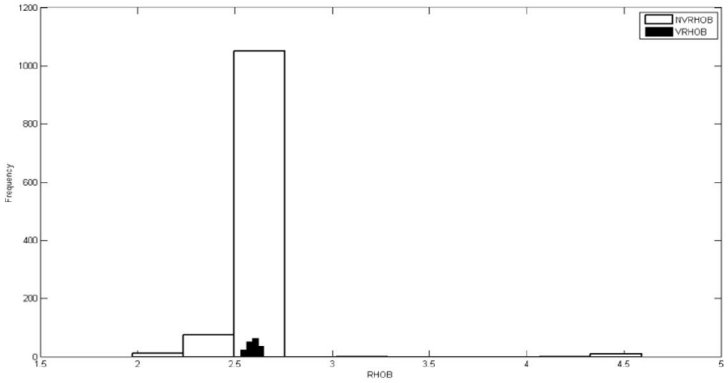


ز) هیستوگرام چاه‌نمودار گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W4*

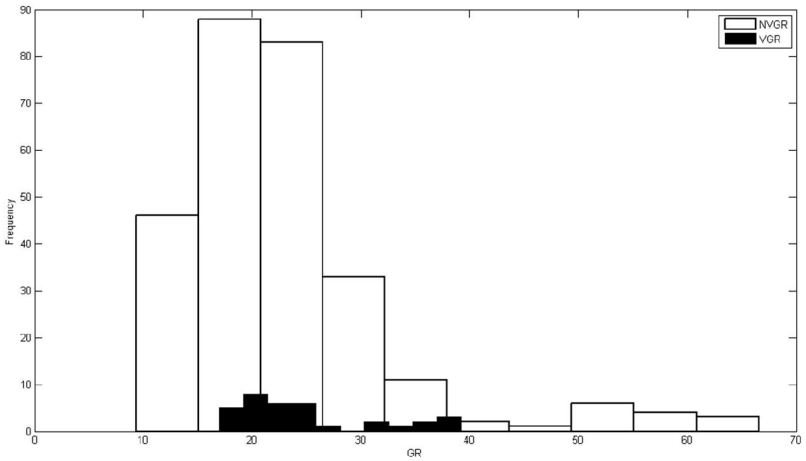
ادامه شکل یک -۱. مطالعه یک بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



ژ) هیستوگرام چاه‌نمودار نوترون مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W4*

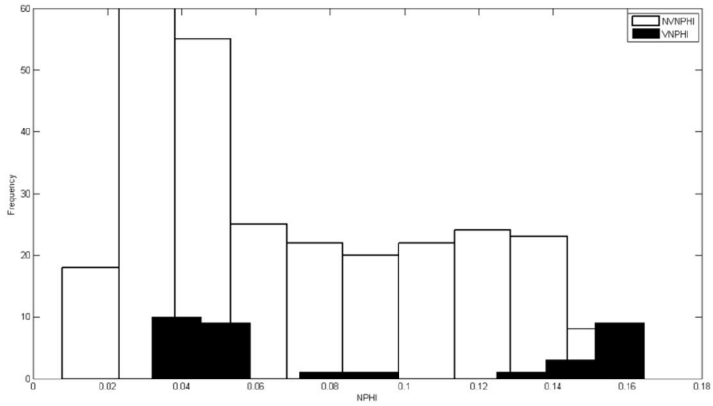


س) هیستوگرام چاه‌نمودار چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W4*

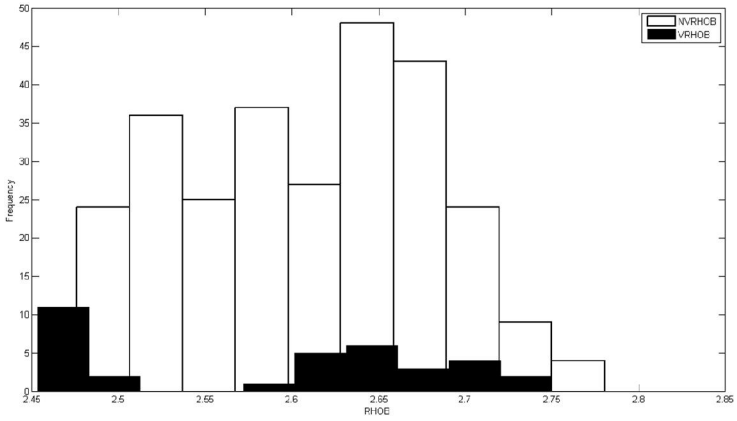


ش) هیستوگرام چاه‌نمودار گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W5*

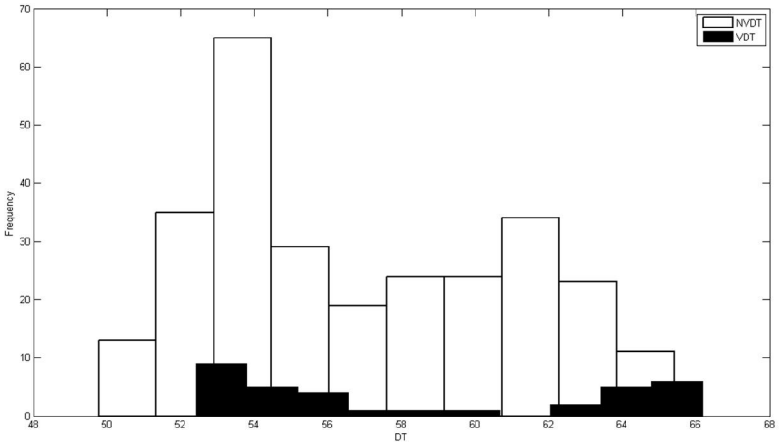
ادامه شکل یک-۱. مطالعه یک بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



ص) هیستوگرام چاه‌نمودار نوترون مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) وسایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W5*

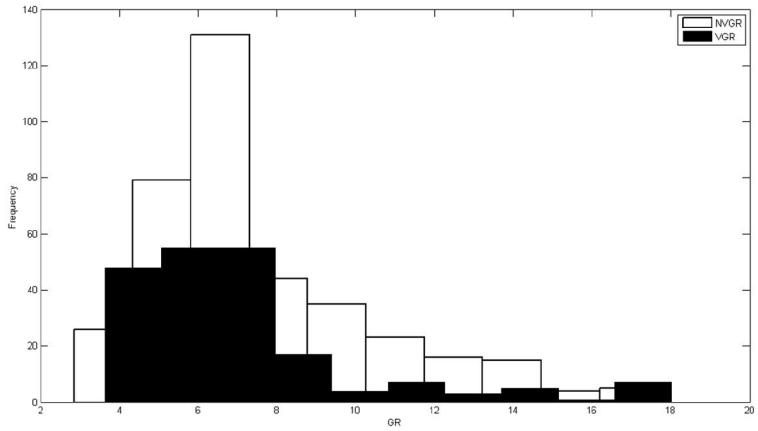


ض) هیستوگرام چاه‌نمودار چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W5*

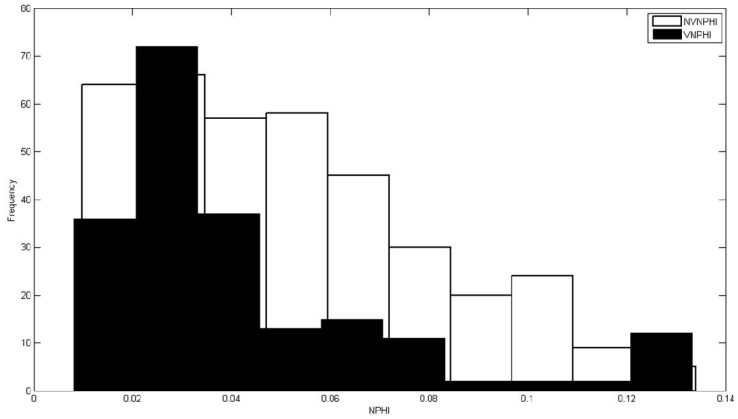


ط) هیستوگرام چاه‌نمودار صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W5*

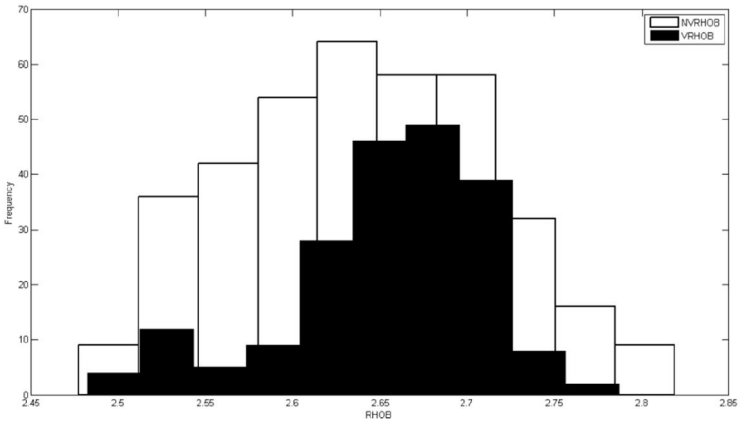
ادامه شکل یک-۱. مطالعه یک بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



ظ) هیستوگرام چاه‌نمودار گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W6*

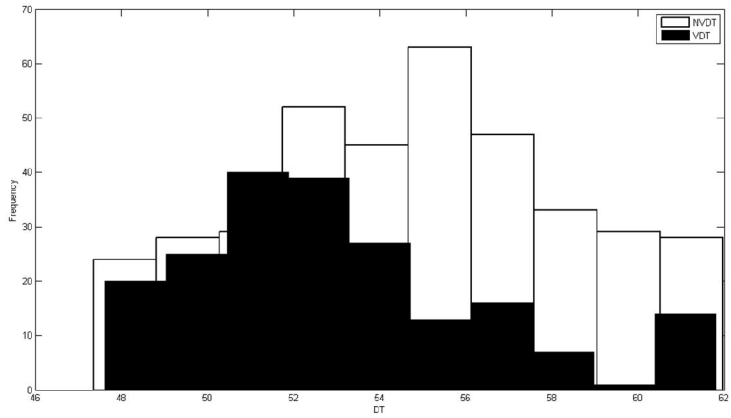


ع) هیستوگرام چاه‌نمودار نوترون مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W6*



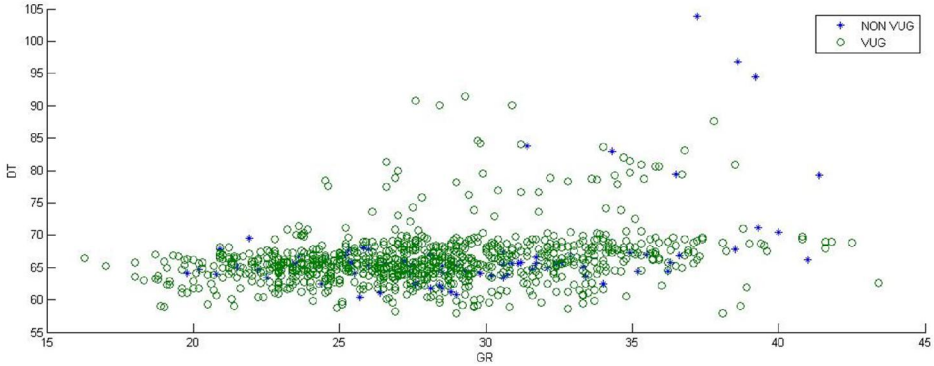
غ) هیستوگرام چاه‌نمودار چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W6*

ادامه شکل یک-۱. مطالعه یک بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها

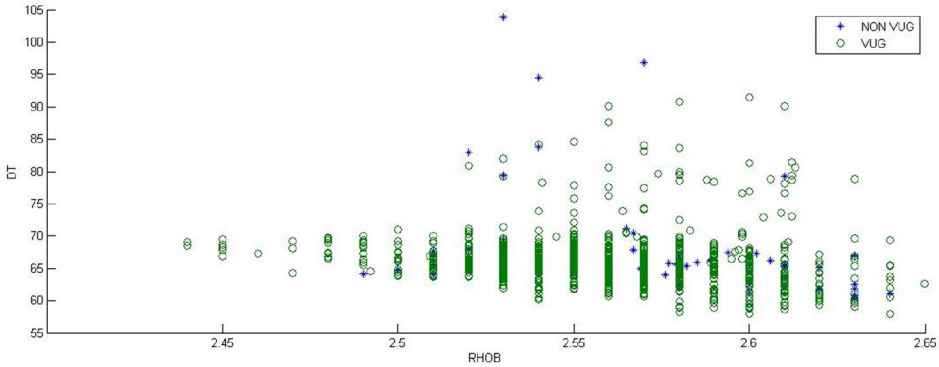


ف) هیستوگرام چاه‌نمودار صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای(نمودار سیاه رنگ) و سایر زون‌ها (نمودار زرد رنگ) درچاه *W6*

ادامه شکل یک-۱. مطالعه یک بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها

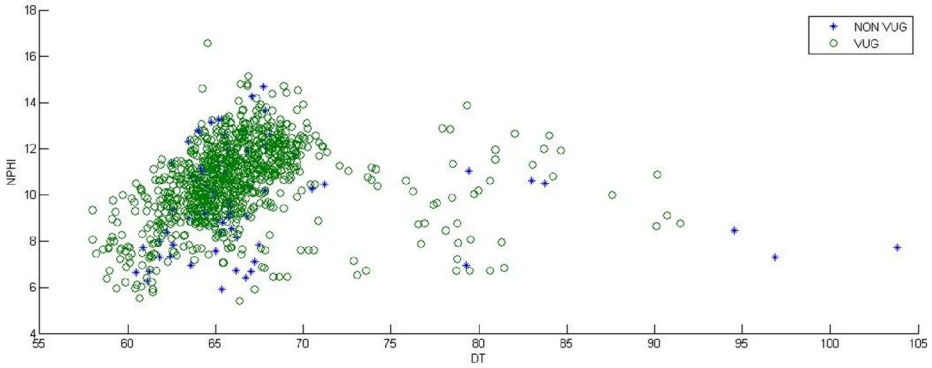


چ) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای صوتی- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W2*

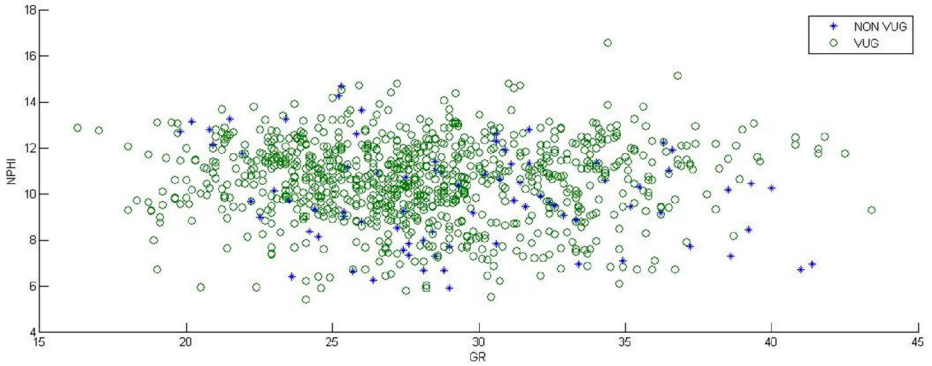


ح) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای صوتی- چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W2*

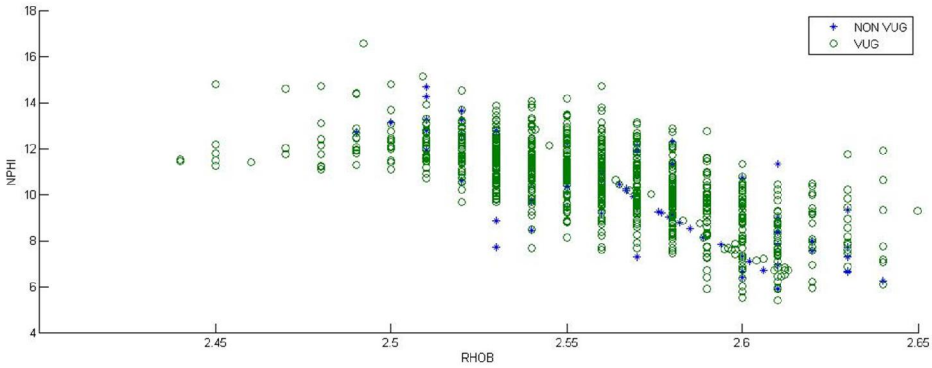
شکل یک-۲. مطالعه دو بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



خ) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W2*

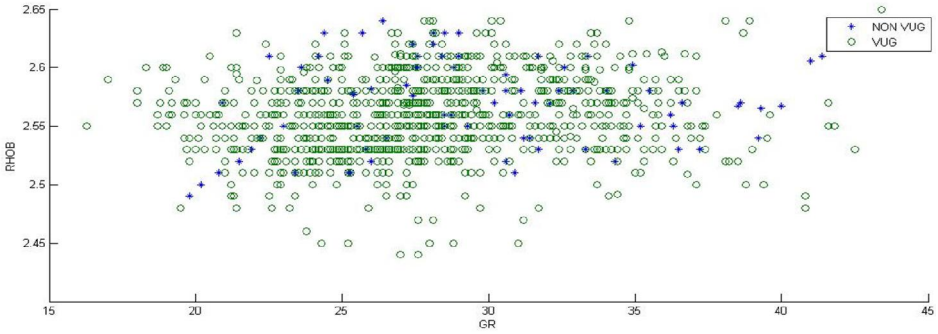


د) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W2*

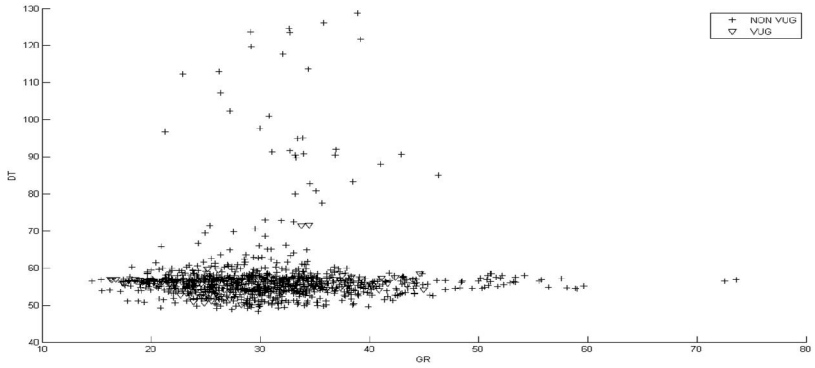


ذ) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W2*

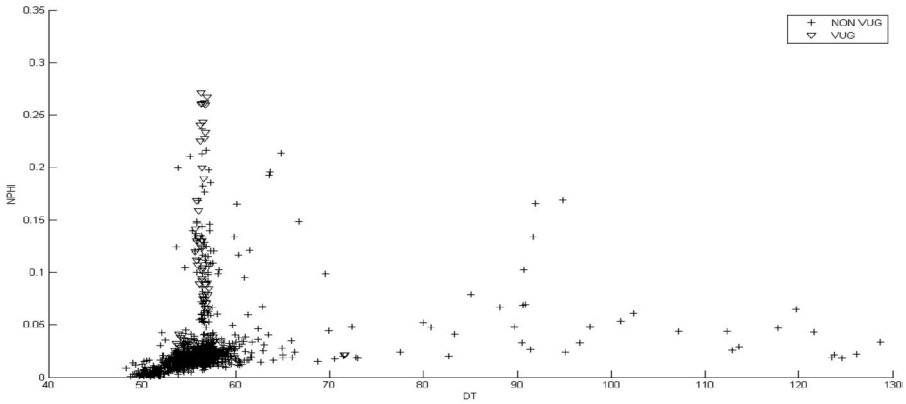
ادامه شکل یک-۲. مطالعه دو بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



ر) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای چگالی- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W2*

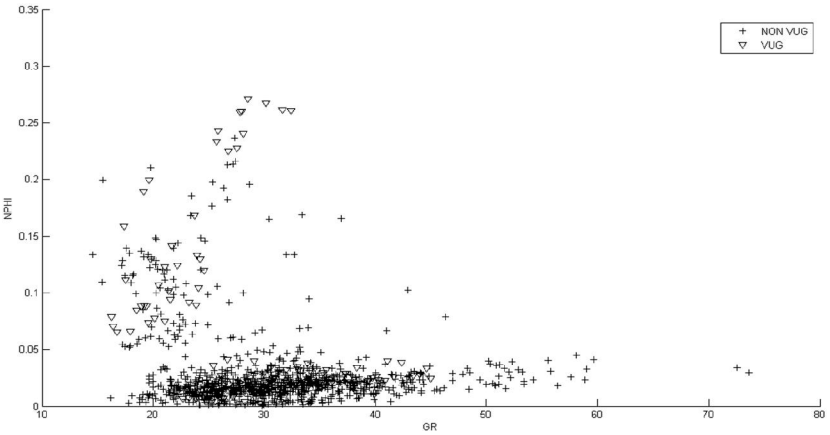


ز) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای صوتی- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W3*

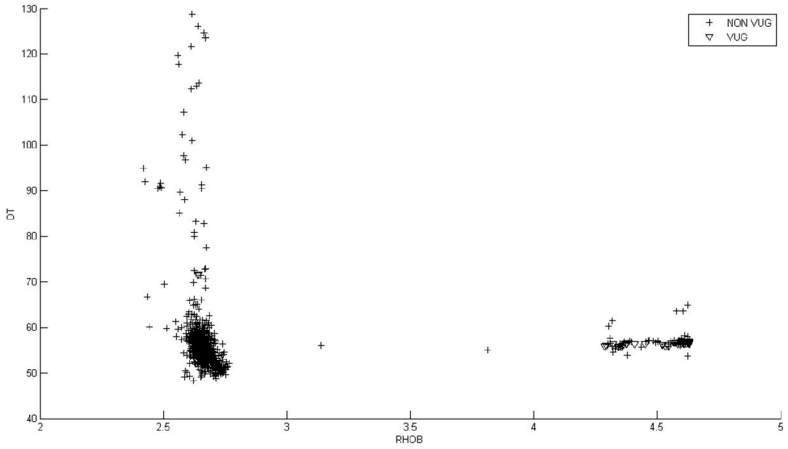


ژ) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W3*

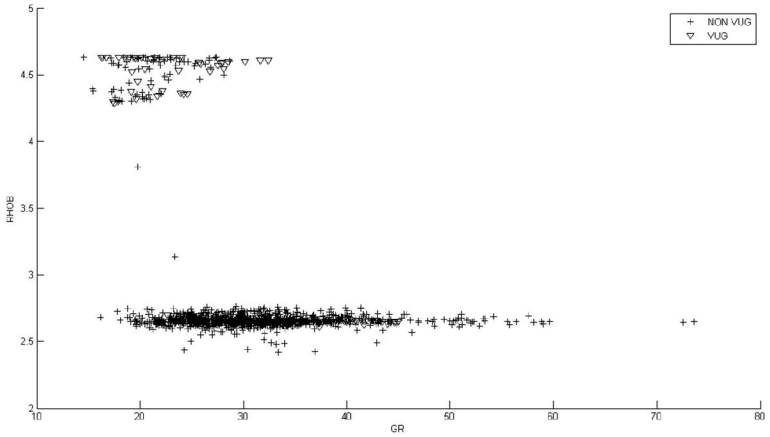
ادامه شکل یک-۲. مطالعه دو بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



س) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W3*

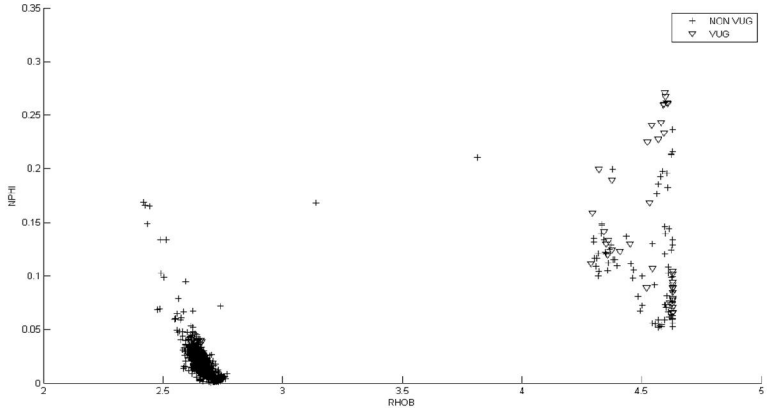


ش) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای صوتی- چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W3*

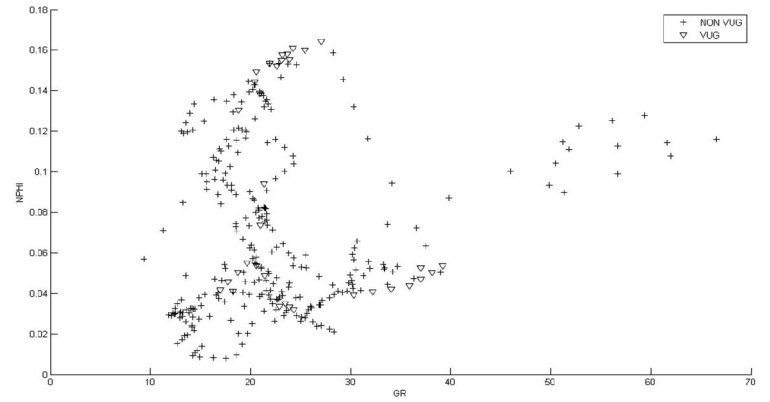


ص) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای چگالی- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W3*

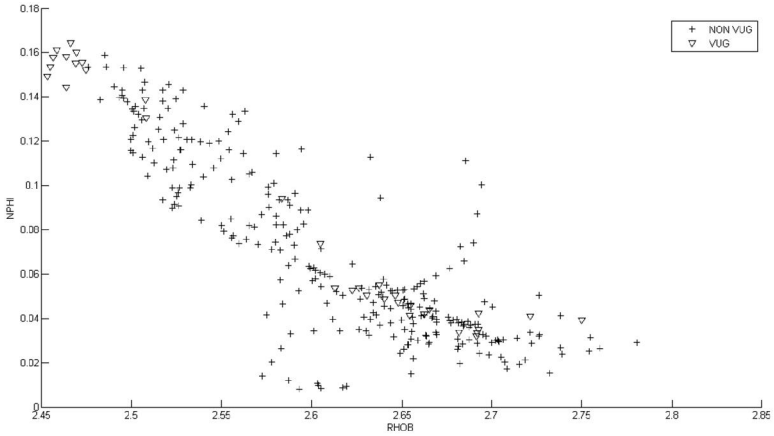
ادامه شکل یک-۲. مطالعه دو بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



ض) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W3*

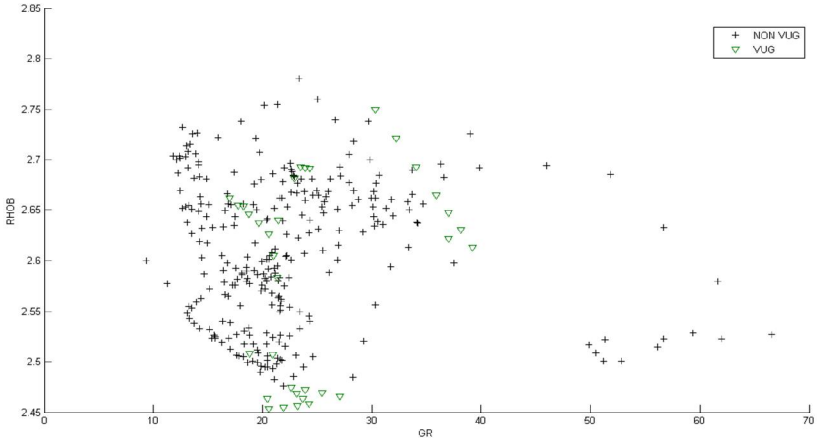


ط) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W4*

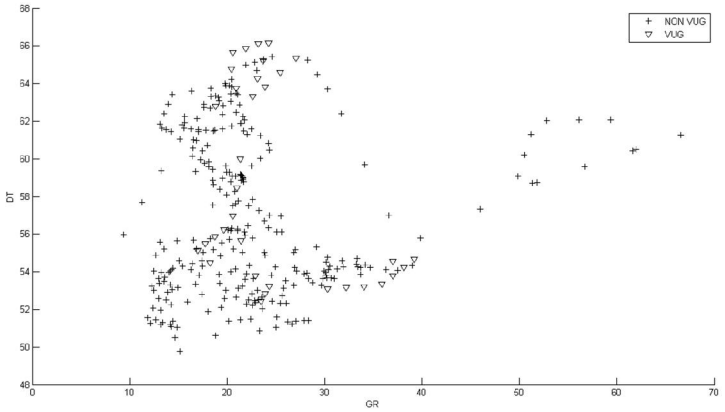


ظ) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W4*

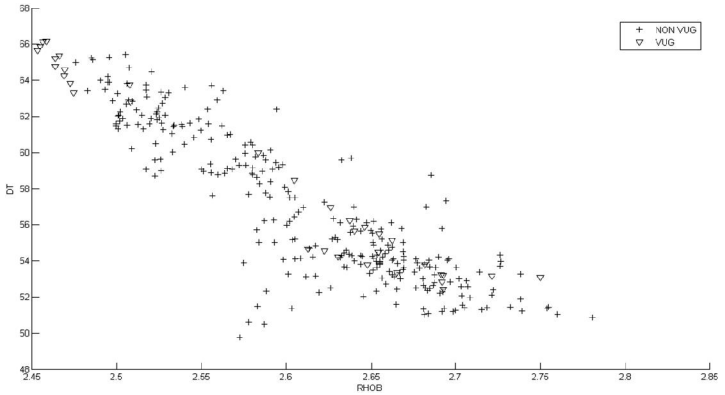
ادامه شکل یک-۲. مطالعه دو بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



ع) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای چگالی- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W4*

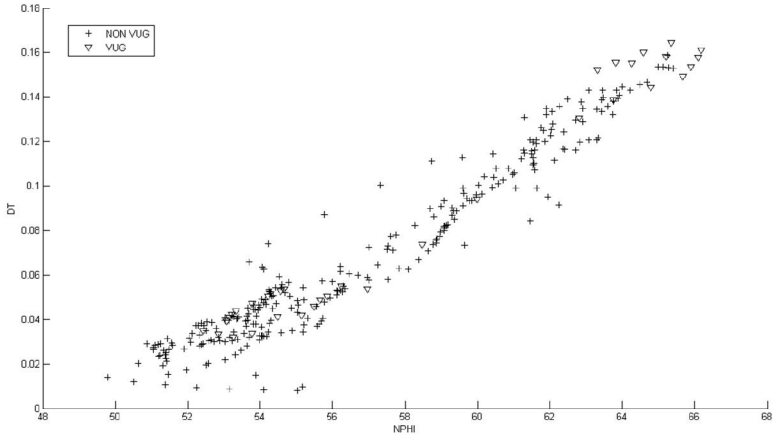


غ) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای صوتی- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W5*

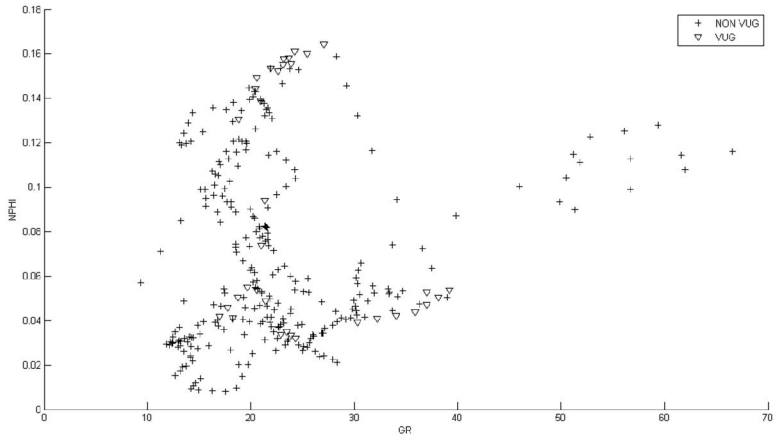


ف) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای صوتی- چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W5*

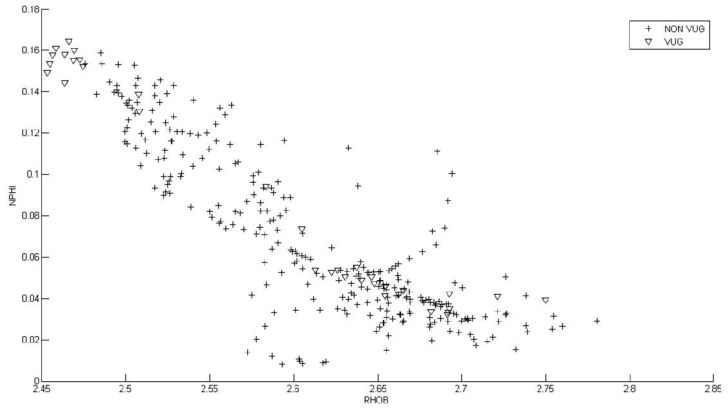
ادامه شکل یک-۲. مطالعه دو بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



ق) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای صوتی- نوترون مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W5*

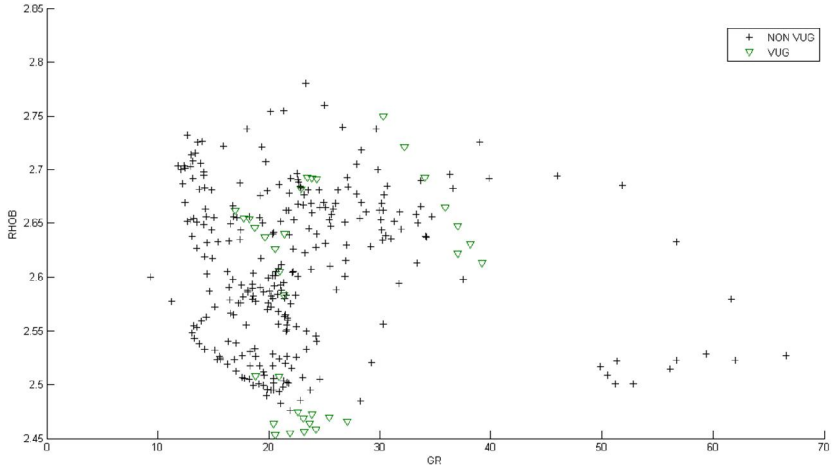


ک) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W5*

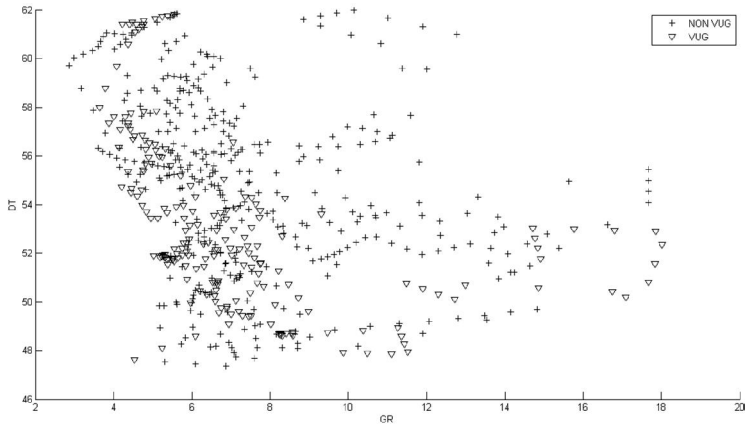


گ) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W5*

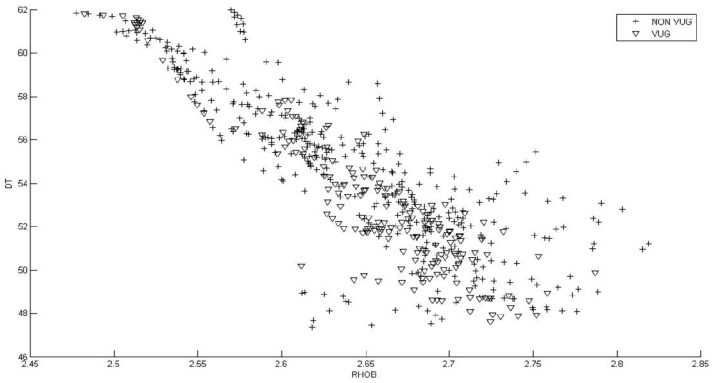
ادامه شکل یک-۲. مطالعه دو بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



ل) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای چگالی- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W5*

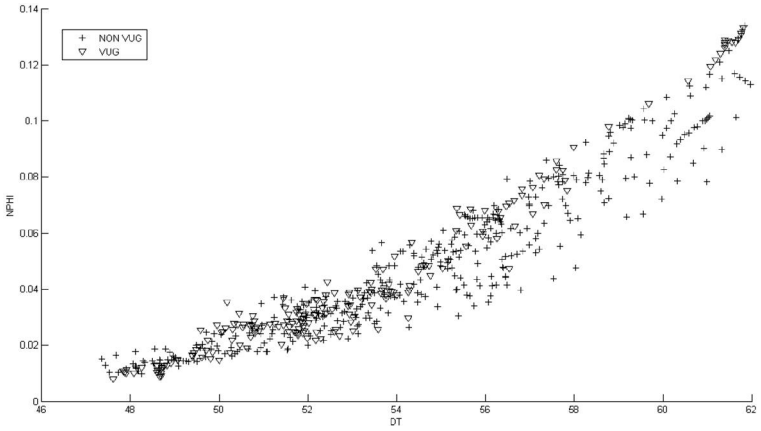


م) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای صوتی- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W6*

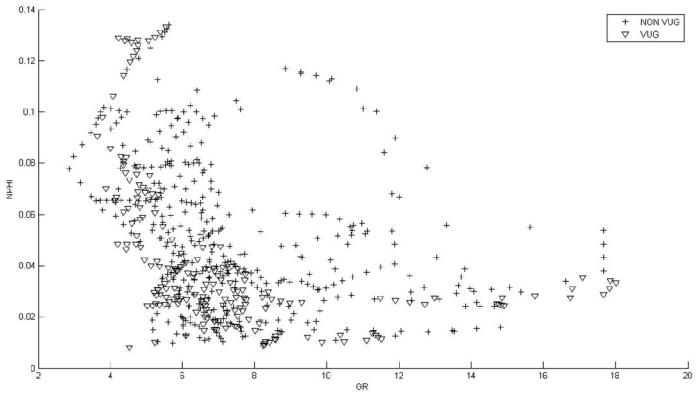


ن) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای صوتی- چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W6*

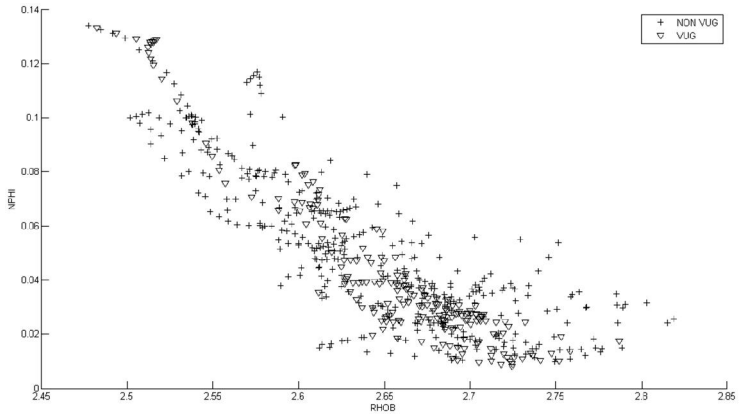
ادامه شکل یک-۲. مطالعه دو بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



و) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W6*

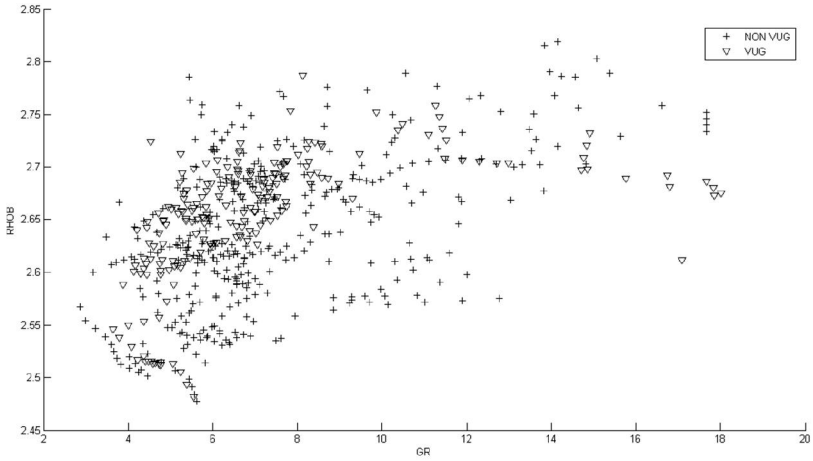


ه) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W6*



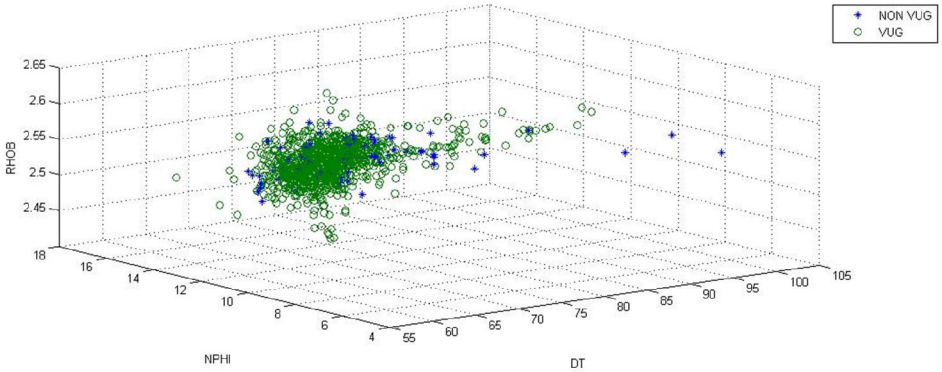
ی) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای نوترون- چگالی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W6*

ادامه شکل یک-۲. مطالعه دو بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها

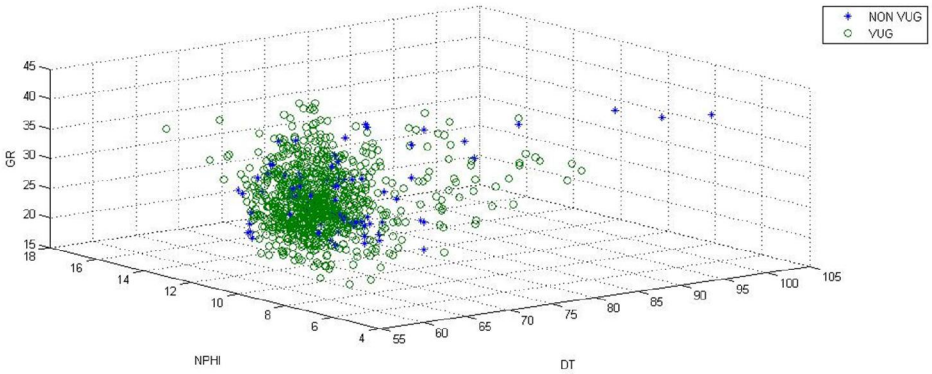


الف- ی) نمودار ۲ بُعدی چاه‌نمودارهای چگالی- گاما مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای و سایر زون‌ها در چاه *W6*

ادامه شکل یک-۲. مطالعه دو بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها

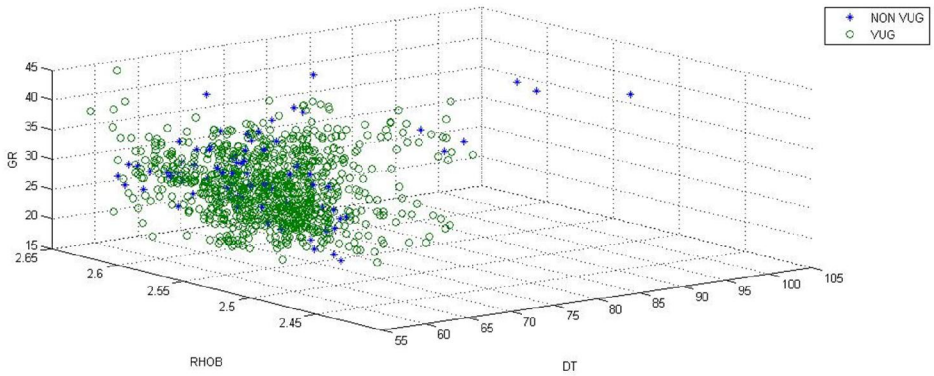


ث) نمودار ۳ بُعدی چاه‌نمودارهای چگالی- نوترون- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W2*

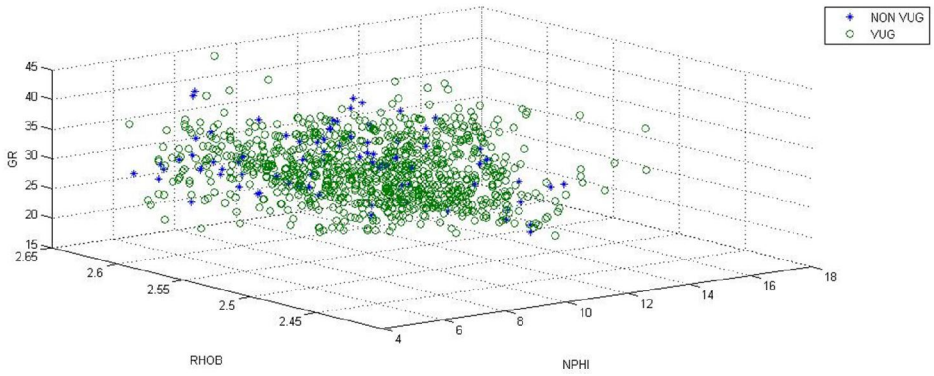


ج) نمودار ۳ بُعدی چاه‌نمودارهای گاما- نوترون- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W2*

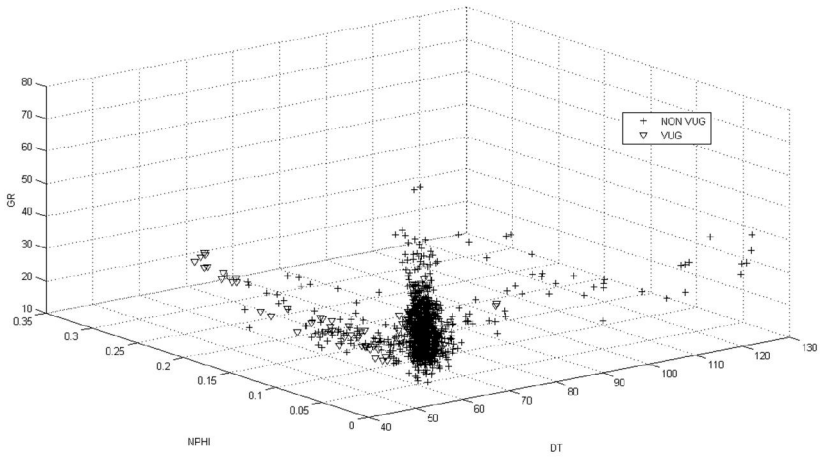
شکل یک-۳. مطالعه سه بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



چ) نمودار ۳ بُعدی چاه‌نمودارهای گاما- چگالی- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W2*

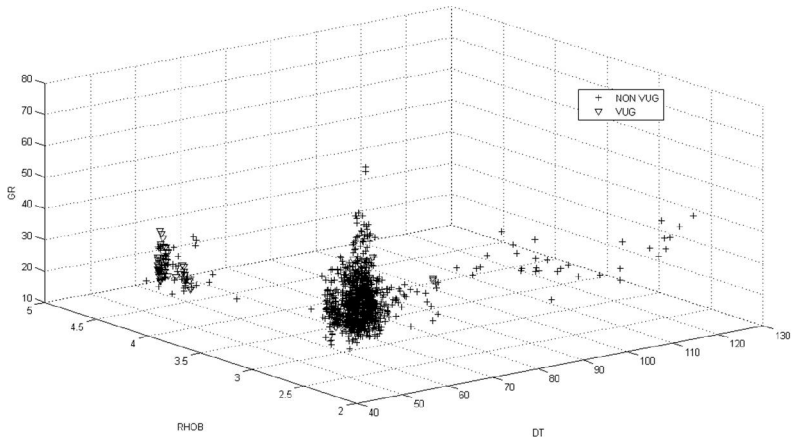


ح) نمودار ۳ بُعدی چاه‌نمودارهای گاما- چگالی- نوترون مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W2*

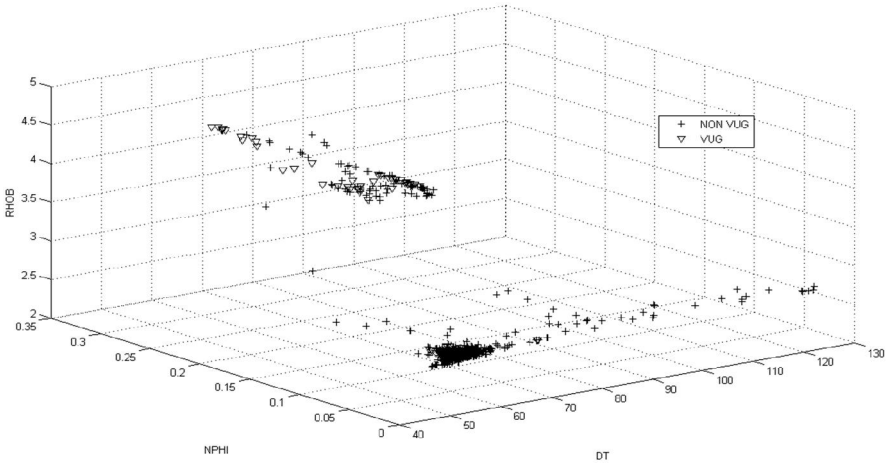


خ) نمودار ۳ بُعدی چاه‌نمودارهای گاما- نوترون- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W3*

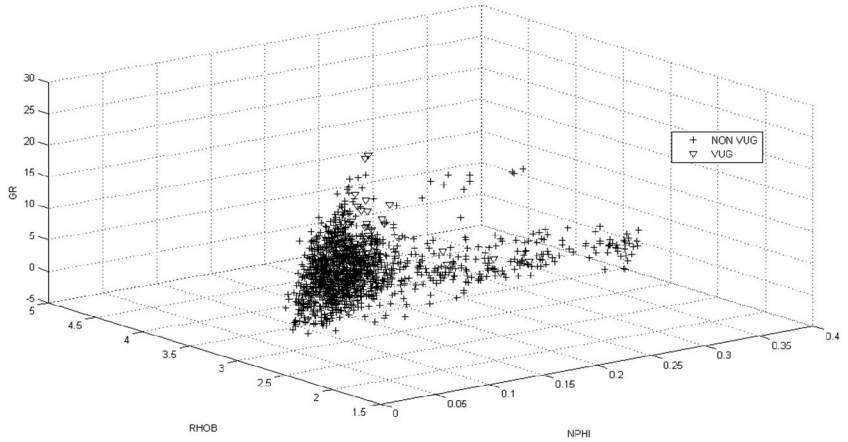
ادامه شکل یک-۳. مطالعه سه بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



د) نمودار ۳ بُعدی چاه‌نمودارهای گاما- چگالی- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W3*

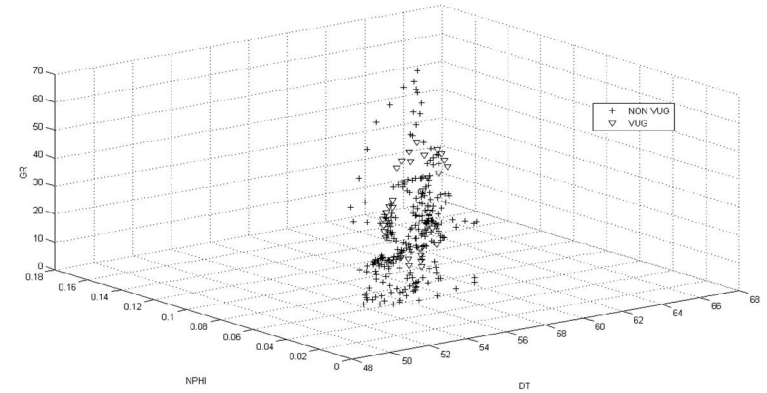


ر) نمودار ۳ بُعدی چاه‌نمودارهای چگالی- نوترون- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W3*

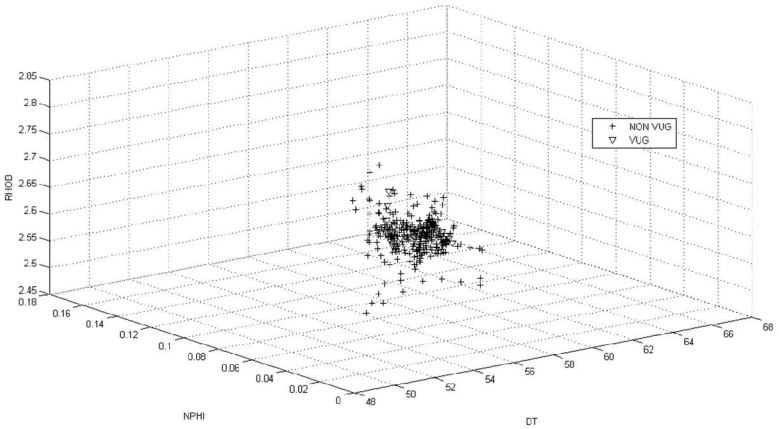


ز) نمودار ۳ بُعدی چاه‌نمودارهای گاما- چگالی- نوترون مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W4*

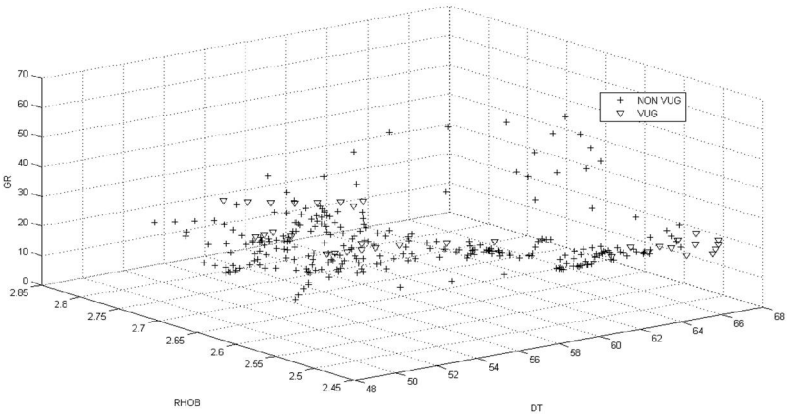
ادامه شکل یک-۳. مطالعه سه بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



ژ) نمودار ۳ بُعدی چاه‌نمودارهای گاما- نوترون- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W5*

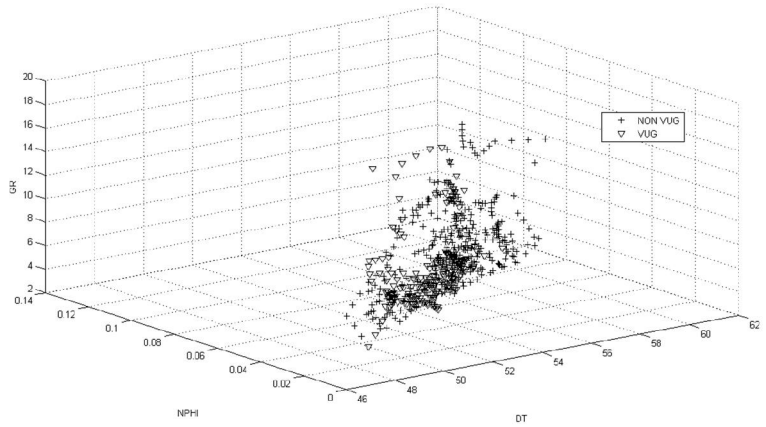


س) نمودار ۳ بُعدی چاه‌نمودارهای چگالی- نوترون- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W5*

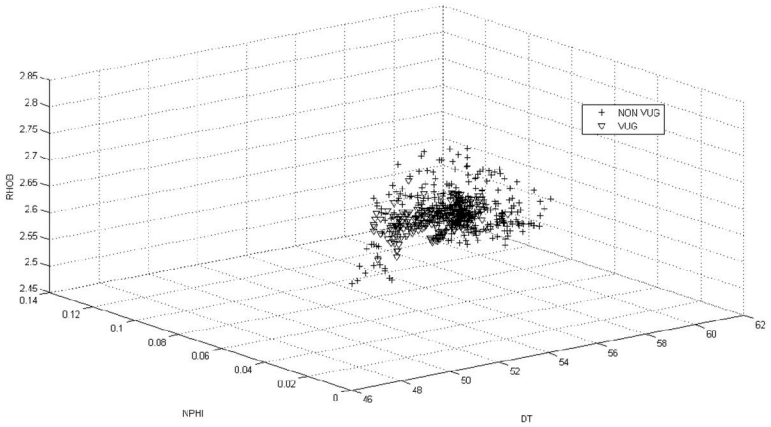


ش) نمودار ۳ بُعدی چاه‌نمودارهای گاما- چگالی- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W5*

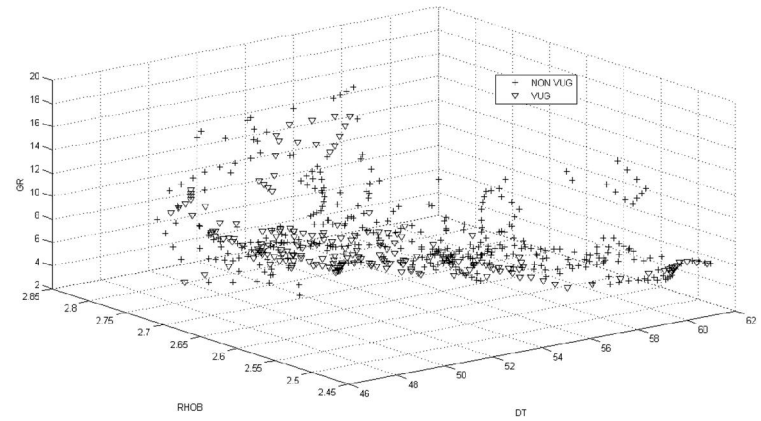
ادامه شکل یک-۳. مطالعه سه بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها



ض) نمودار ۳ بُعدی چاه‌نمودارهای گاما- نوترون- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W6*



ط) نمودار ۳ بُعدی چاه‌نمودارهای چگالی- نوترون- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W6*



ظ) نمودار ۳ بُعدی چاه‌نمودارهای گاما- چگالی- صوتی مربوط به زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای وسایر زون‌ها در چاه *W6*

ادامه شکل یک-۳. مطالعه سه بُعدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی بمنظور تفکیک زون‌های حاوی تخلخل حفره‌ای از سایر زون‌ها

پیوست دو

تعیین موجک مادر بهینه

جدول دو-۱ تعیین موجک مادر بهینه برای چاه‌نمودارهای مختلف در چاه *W2*

W2				
GR	**RHOB**	**NPHI**	**DT**	
haar	*haar*	*haar*	*haar*	**haar**
0.5	*0*	*0.46*	*0.07*	
db7	*db8*	*db8*	*db6*	**Db**
0.57	*0*	*0.8*	*0.1*	
sym8	*sym2*	*sym8*	*sym8*	**sym**
0.59	*0*	*0.64*	*0.09*	
ciof3	*ciof4*	*ciof3*	*ciof1*	**coif**
0.6	*0*	*0.9*	*0.09*	
bior3.1	***bior3.1***	***bior3.9***	*bior3.3*	**bior**
2.5	***0.06***	***5.34***	*0.22*	
rbio1.1	*rbio1.1*	*rbio1.1*	*rbio1.1*	**rbio**
0.5	*0*	*0.46*	*0.07*	
dmey	*dmey*	*dmey*	***dmey***	**dmey**
0.59	*0*	*1.09*	***0.32***	

جدول دو-۲ تعیین موجک مادر بهینه برای چاه‌نمودارهای مختلف در چاه *W3*

W3				
GR	**RHOB**	**NPHI**	**DT**	
haar	*haar*	*Haar*	*haar*	**haar**
1.17	*0.34*	*7.48*	*0.55*	
db5	*db3*	*db10*	*db2*	**Db**
1.38	*0.53*	*9.7*	*0.94*	
sym7	*sym3*	*sym2*	*sym2*	**sym**
1.38	*0.53*	*5.99*	*0.94*	
ciof3	*ciof1*	*ciof1*	*ciof1*	**coif**
1.22	*0.48*	*6.07*	*0.73*	
bior3.1	***bior3.3***	***bior3.1***	***bior3.3***	**bior**
3.97	***0.74***	***28.83***	***1.22***	
rbio1.1	*rbio1.1*	*rbio1.1*	*rbio1.1*	**rbio**
1.17	*0.34*	*7.48*	*0.55*	
dmey	*dmey*	*Dmey*	*dmey*	**dmey**
1.07	*0.03*	*8.2*	*0.11*	

جدول دو-۳ تعیین موجک مادر بهینه برای چاه‌نمودارهای مختلف در چاه *W4*

	W4		
GR	***RHOB***	***NPHI***	
haar	*haar*	*haar*	***haar***
2.56	*0.39*	*2.93*	
db8	*db7*	***db7***	***db***
2.79	*1.22*	***6.84***	
sym5	*sym2*	*sym3*	***sym***
2.79	*0.94*	*4.68*	
ciof1	*ciof1*	*ciof1*	***coif***
2.78	*0.61*	*3.25*	
bior3.1	*bior2.2*	*bior3.1*	***bior***
7.26	*0.98*	*6.7*	
rbio1.1	*rbio1.1*	*rbio1.1*	***rbio***
2.56	*0.39*	*2.93*	
dmey	***dmey***	*dmey*	***dmey***
1.93	***1.86***	*0.56*	

جدول دو-۴ تعیین موجک مادر بهینه برای چاه‌نمودارهای مختلف در چاه *W5*

		W5		
GR	***RHOB***	***NPHI***	***DT***	
haar	*haar*	*haar*	*haar*	***haar***
0.83	*0.01*	*6.01*	*0.13*	
db5	*db8*	*db3*	*db2*	***db***
0.49	*0.02*	*2.41*	*0.12*	
sym6	*sym2*	*sym2*	*sym2*	***sym***
0.77	*0.02*	*4.43*	*0.12*	
ciof5	*ciof4*	*ciof5*	*ciof1*	***coif***
0.76	*0.02*	*1.75*	*0.08*	
bior3.9	***bior3.1***	***bior1.1***	***bior3.1***	***bior***
1.22	***0.15***	***6.02***	***0.15***	
rbio1.1	*rbio1.1*	*rbio1.1*	*rbio1.1*	***rbio***
0.84	*0.01*	*6.01*	*0.13*	
dmey	*dmey*	*dmey*	*dmey*	***dmey***
0.82	*0.02*	*5.65*	*0.1*	

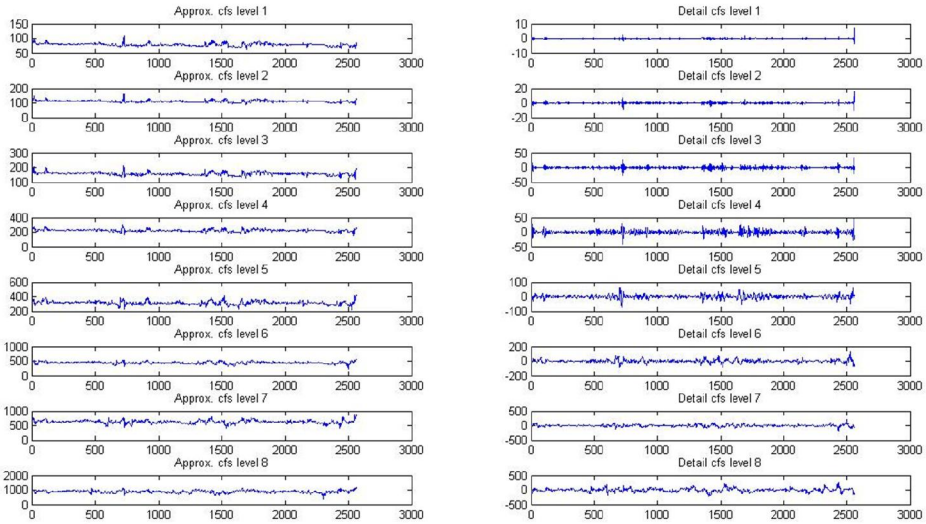
جدول دو – ۵ تعیین موجک مادر بهینه برای چاه‌نمودارهای مختلف در چاه *W6*

	W6			
GR	***RHOB***	***NPHI***	***DT***	
haar	*haar*	*haar*	*haar*	***haar***
3.43	*0.02*	*8.1*	*0.16*	
db2	*db8*	*db8*	*db3*	***db***
1.36	*0.01*	*10.79*	*0.14*	
sym2	*sym2*	*sym2*	*sym3*	***sym***
1.36	*0.01*	*7.65*	*0.14*	
ciof1	*ciof5*	*ciof5*	*ciof1*	***coif***
1.07	*0.01*	*7.58*	*0.08*	
bior1.1	***bior3.3***	***bior3.3***	***bior3.1***	***bior***
3.44	***1.45***	***13.33***	***0.8***	
rbio1.1	*rbio1.1*	*rbio1.1*	*rbio1.1*	***rbio***
3.43	*0.02*	*8.1*	*0.16*	
dmey	*dmey*	*dmey*	*dmey*	***dmey***
0.82	*0.01*	*3.25*	*0.04*	

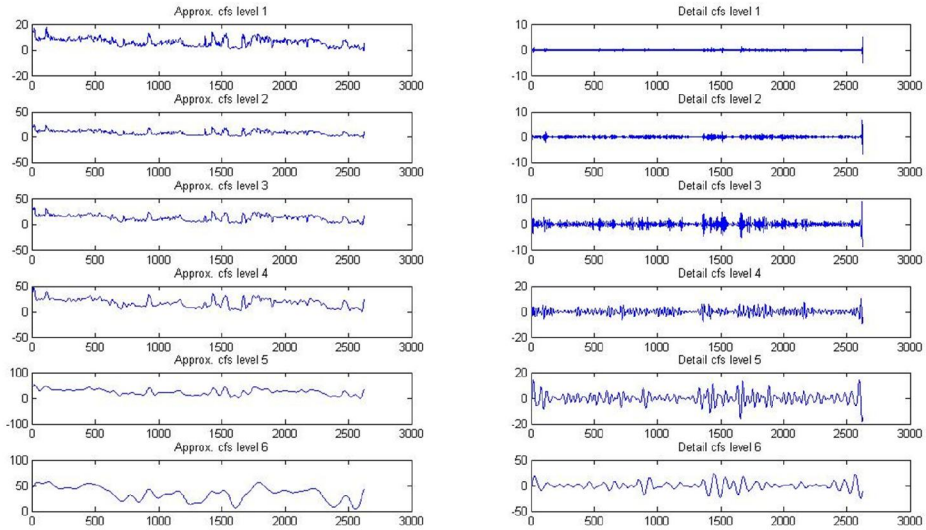
پیوست سه

سیگنال های تجزیه شده برای چاه نمودارهای مختلف

در چاه های مورد بررسی

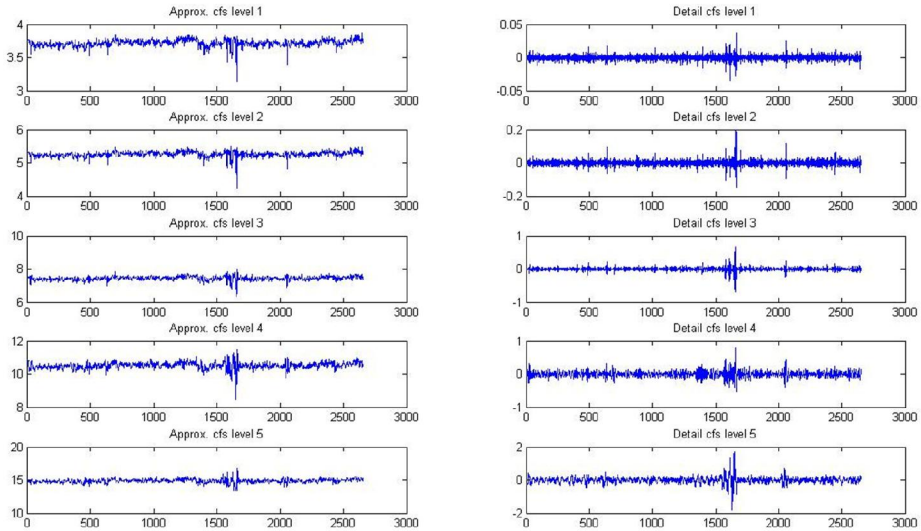


الف) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۸ برای چاه‌نمودار صوتی در چاه *W1*

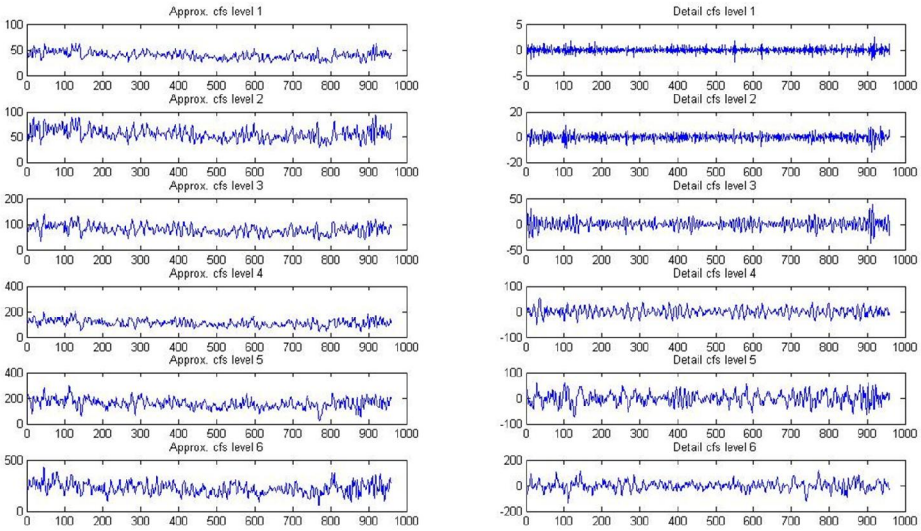


ب) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۶ برای چاه‌نمودار نوترون در چاه *W1*

شکل سه-۱ سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه خاص تعیین شده برای چاه نمودارهای مختلف در چاه‌های مورد مطالعه

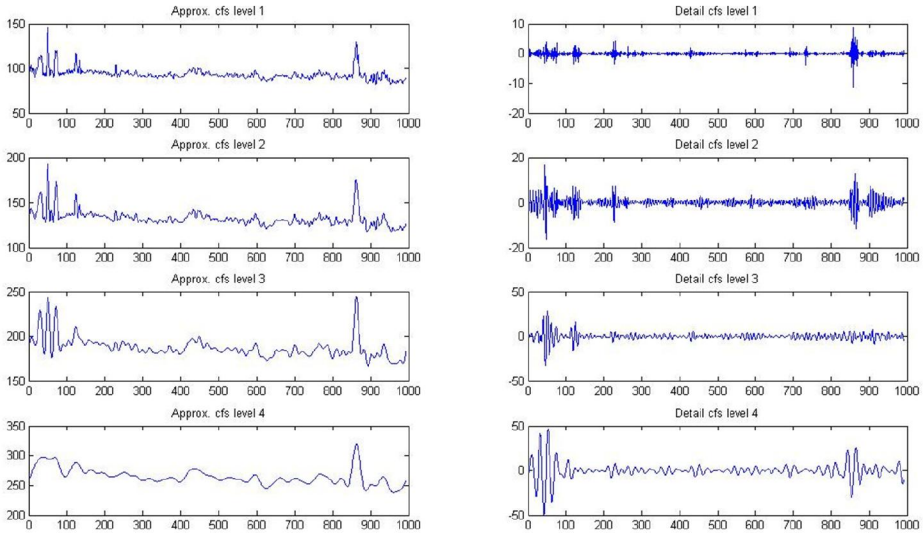


ج) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۵ برای چاه‌نمودار چگالی در چاه *W1*

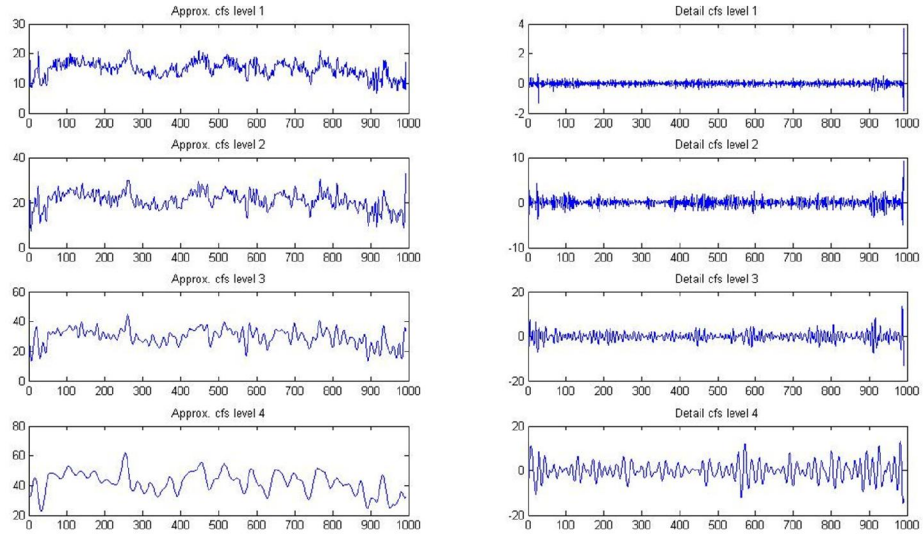


د) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۶ برای چاه‌نمودار گاما در چاه *W2*

ادامه شکل سه-۱ سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه خاص تعیین شده برای چاه نمودارهای مختلف در چاه‌های مورد مطالعه

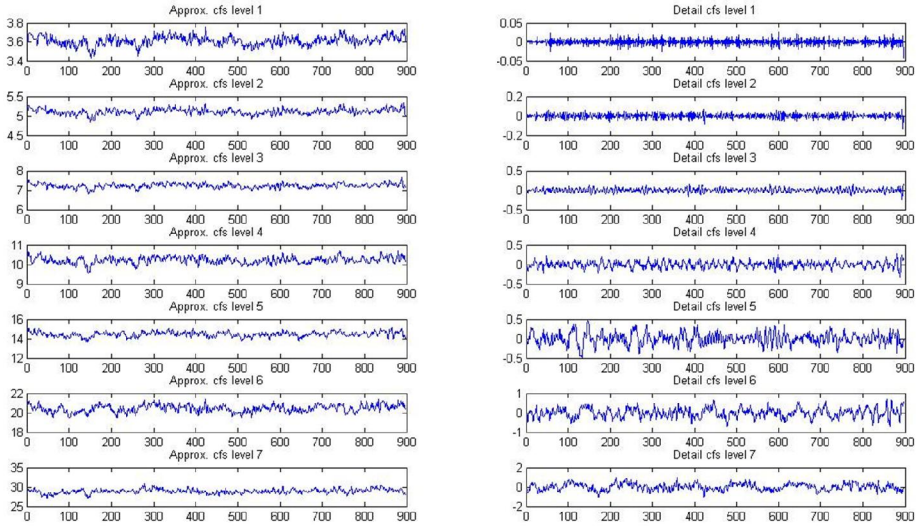


ه) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۴ برای چاه‌نمودار صوتی در چاه *W2*

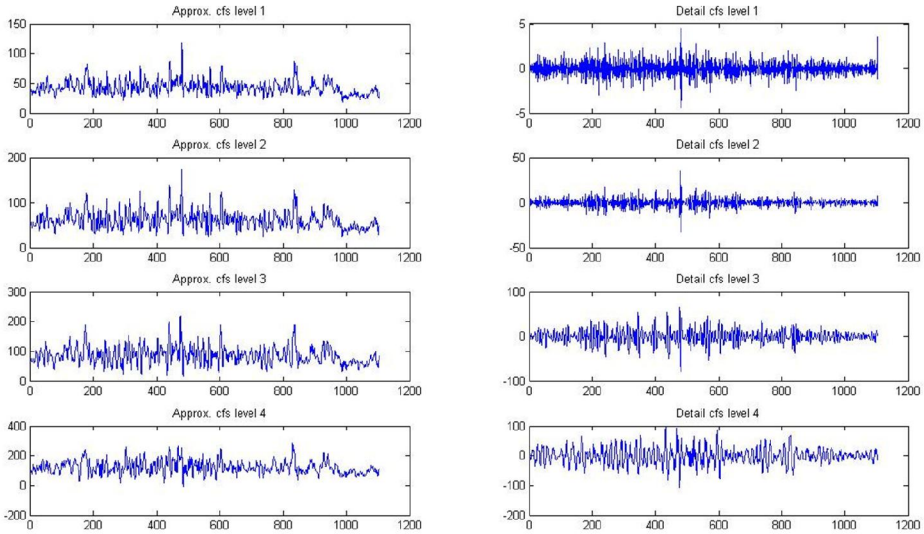


و) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۴ برای چاه‌نمودار نوترون در چاه *W2*

ادامه شکل سه-۱ سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه خاص تعیین شده برای چاه نمودارهای مختلف در چاه‌های مورد مطالعه

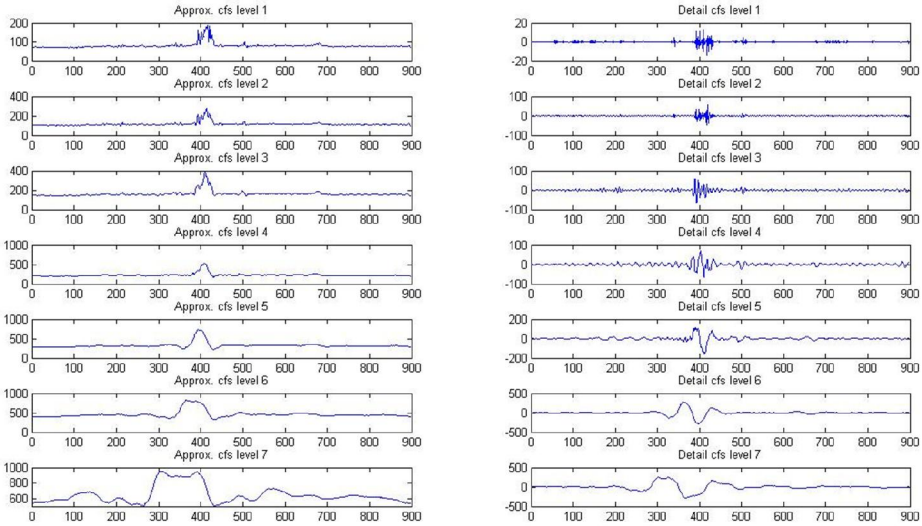


ز) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۷ برای چاه‌نمودار چگالی در چاه *W2*

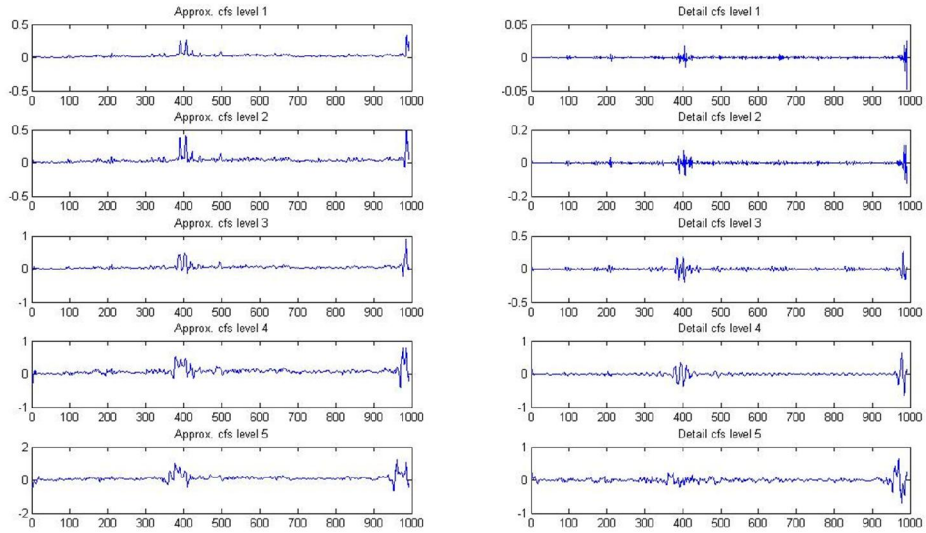


ح) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۴ برای چاه‌نمودار گاما در چاه *W3*

ادامه شکل سه-۱ سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه خاص تعیین شده برای چاه نمودارهای مختلف در چاه‌های مورد مطالعه

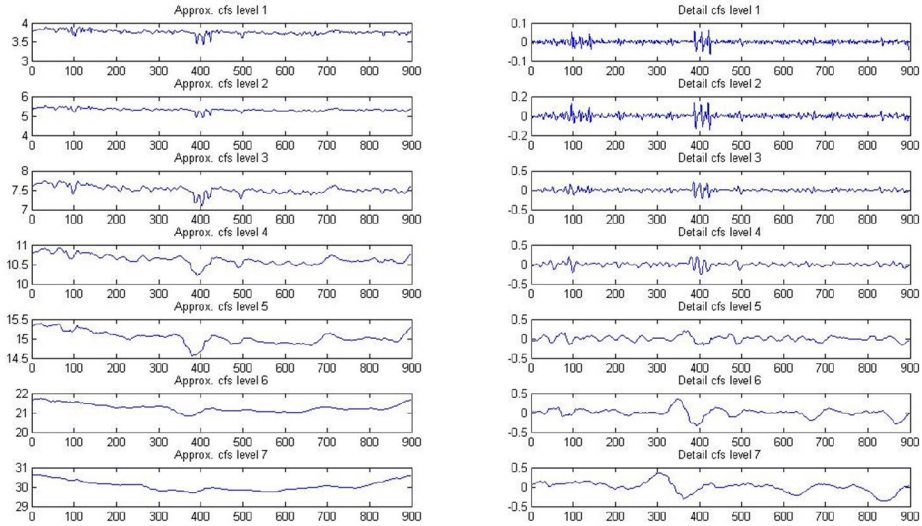


ط) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۷ برای چاه‌نمودار صوتی در چاه *W3*

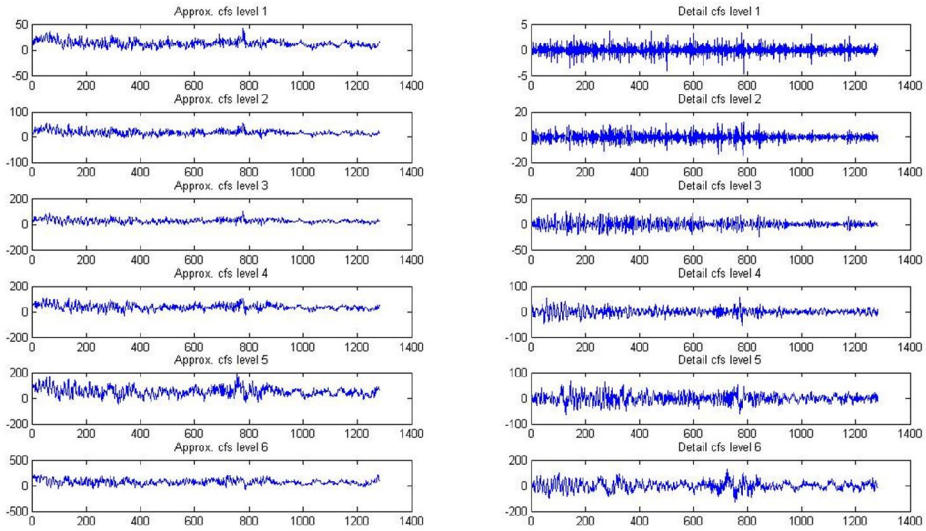


ی) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۵ برای چاه‌نمودار نوترون در چاه *W3*

ادامه شکل سه-۱ سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه خاص تعیین شده برای چاه نمودارهای مختلف در چاه-های مورد مطالعه

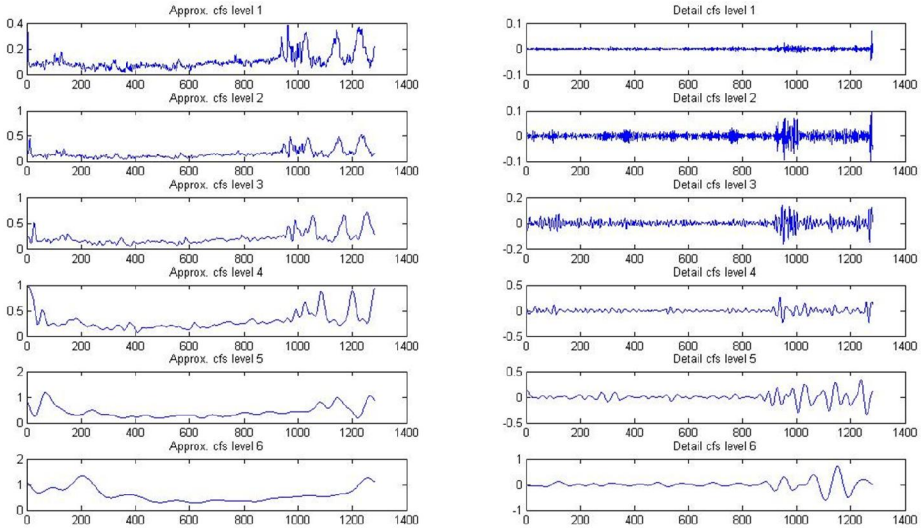


ک) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۷ برای چاه‌نمودار چگالی در چاه *W3*

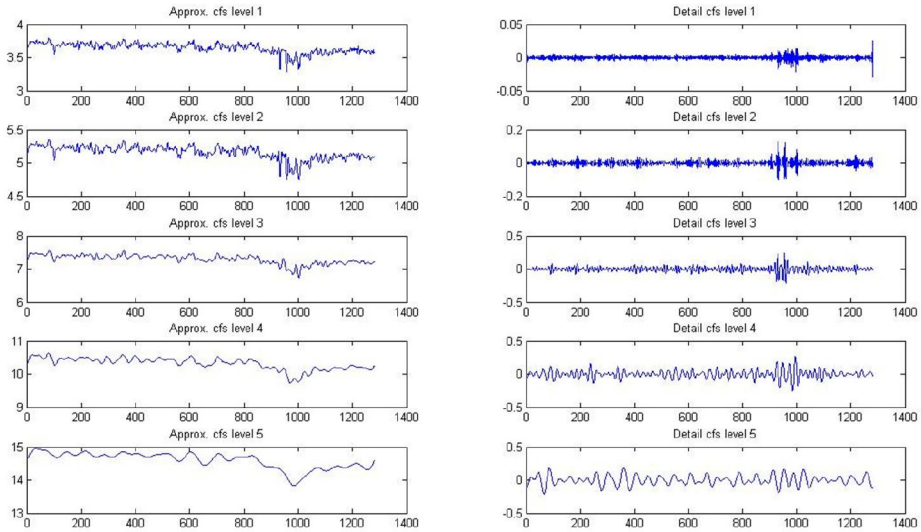


ل) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۶ برای چاه‌نمودار گاما در چاه *W4*

ادامه شکل سه-۱ سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه خاص تعیین شده برای چاه نمودارهای مختلف در چاه‌های مورد مطالعه

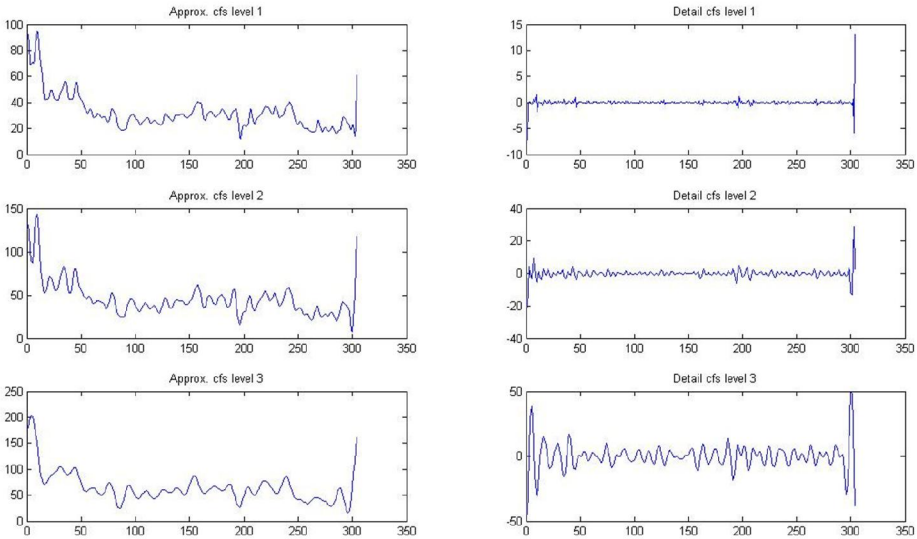


م) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۶ برای چاه‌نمودار نوترون در چاه *W4*

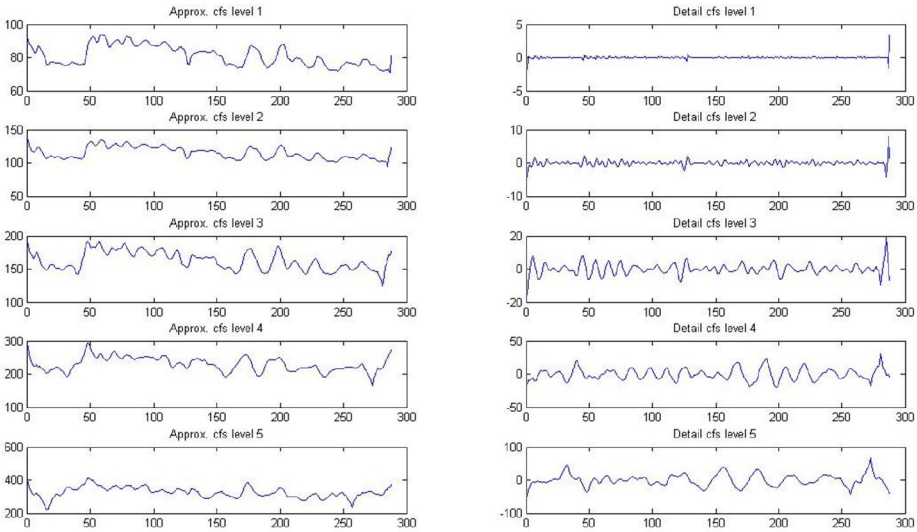


ن) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۵ برای چاه‌نمودار چگالی در چاه *W4*

ادامه شکل سه-۱ سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه خاص تعیین شده برای چاه نمودارهای مختلف در چاه‌های مورد مطالعه

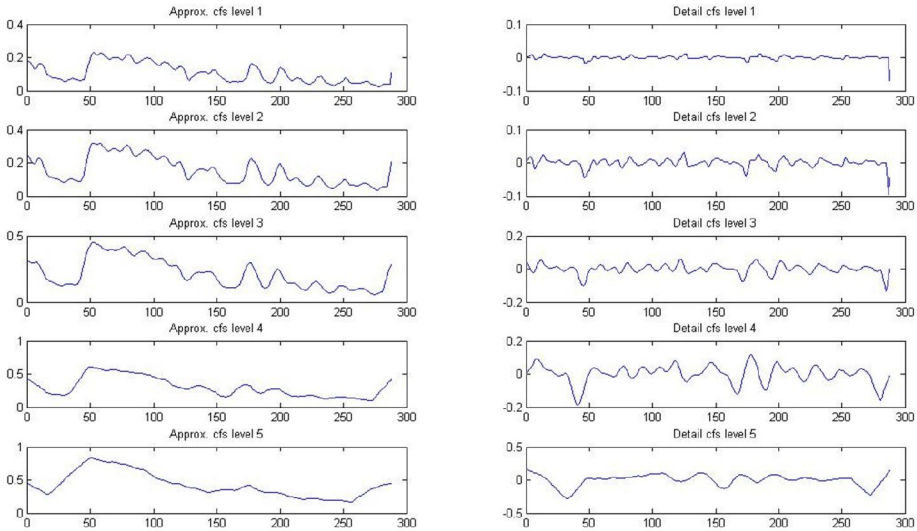


س) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۳ برای چاه‌نمودار گاما در چاه *W5*

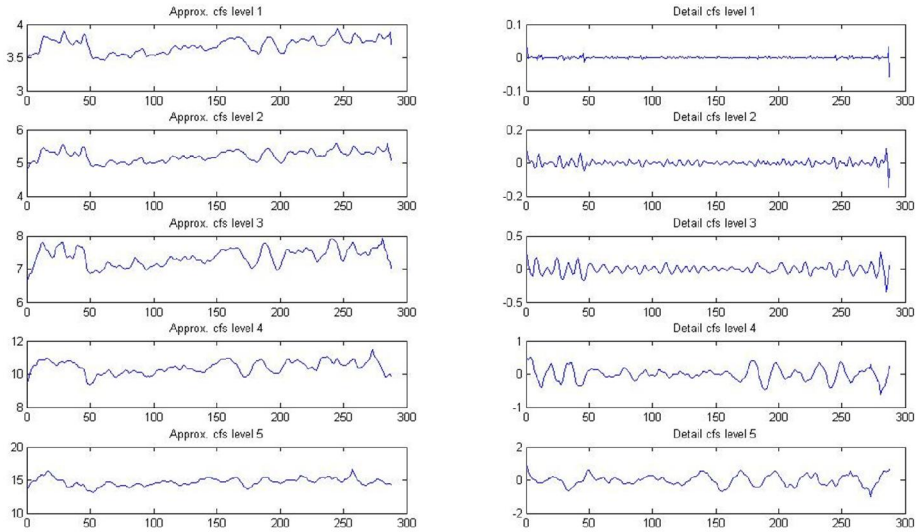


ع) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۵ برای چاه‌نمودار صوتی در چاه *W5*

ادامه شکل سه-۱ سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه خاص تعیین شده برای چاه نمودارهای مختلف در چاه-های مورد مطالعه

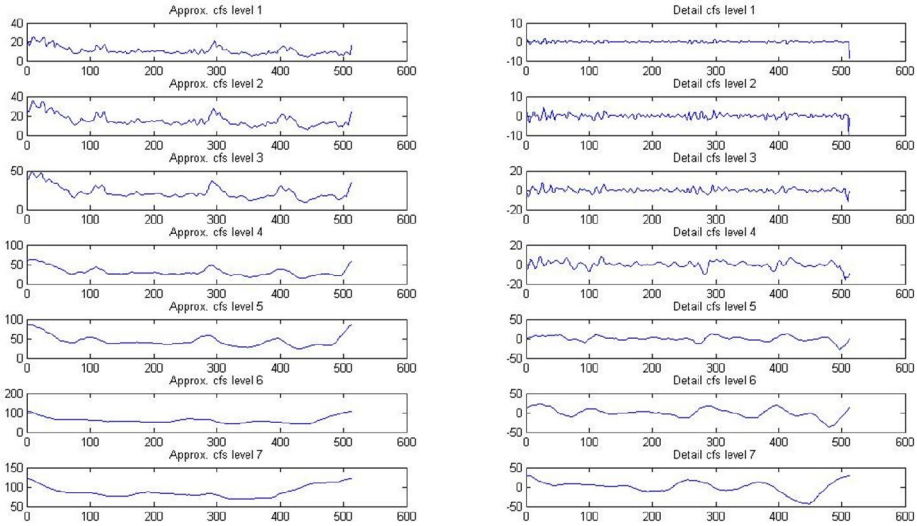


ف) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۵ برای چاه‌نمودار نوترون در چاه *W5*

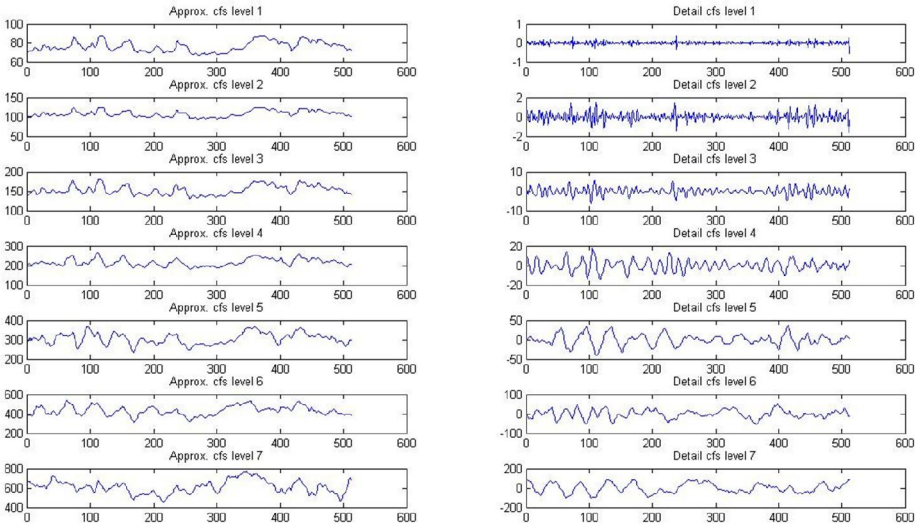


ر) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۵ برای چاه‌نمودار چگالی در چاه *W5*

ادامه شکل سه-۱ سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه خاص تعیین شده برای چاه نمودارهای مختلف در چاه‌های مورد مطالعه

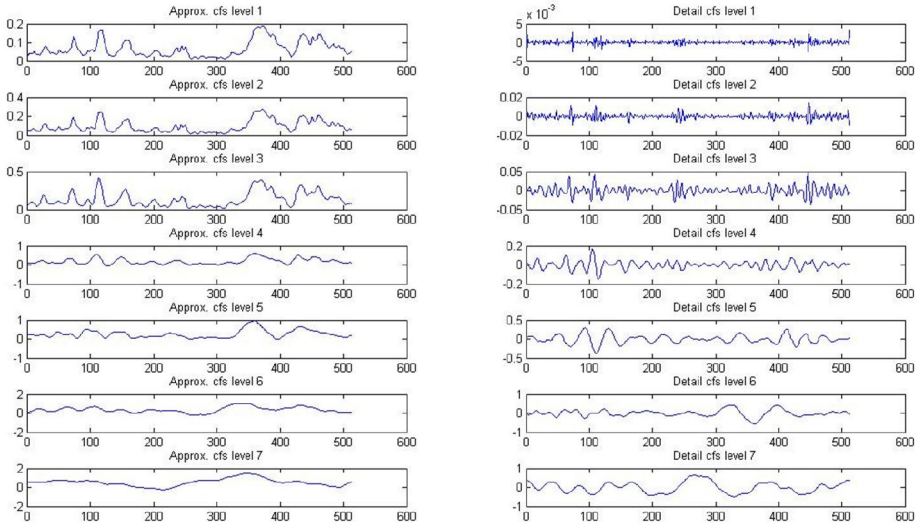


ش) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۷ برای چاه‌نمودار گاما در چاه *W6*

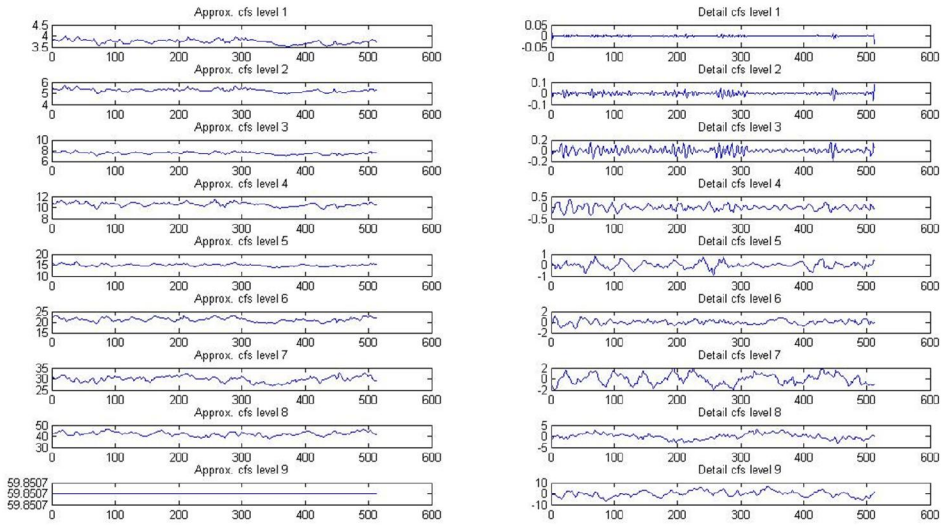


ت) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۷ برای چاه‌نمودار صوتی در چاه *W6*

شکل سه-۱ سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه خاص تعیین شده برای چاه نمودارهای مختلف در چاه‌های مورد مطالعه



ص) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۷ برای چاه‌نمودار نوترون در چاه *W6*



غ) سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه ۹ برای چاه‌نمودار چگالی در چاه *W6*

ادامه شکل سه-۱ سیگنال‌های تجزیه شده تا مرتبه خاص تعیین شده برای چاه نمودارهای مختلف در چاه‌های مورد مطالعه

Abstract:

Vuggy porosity, which is a porosity type in carbonate rocks, significantly effects on permeability, pressure drop and recovery factor, then; its identification and modeling is important for reservoir characterization and history matching. Conventionally, Image logs, RCAL and SCAL tests are main instruments to determine vugs, which all are costy and usually unavailable. Therefore developing a generalized approach that distinguishes Vugs will be useful. In this paper, a combined Parzen-wavelet-based algorithm is developed to identify Vuggy zones in wavelet coefficient domain, using gamma ray (GR), neutron porosity (NPHI), bulk density (RHOB) and sonic (DT) logs. Compatibility between results of core tests and this newly developed method, confirms applicability of the proposed method.

Key words*: Vug, wavelet transform, Parzen classifier, well log, core test*

Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

Segregation of different types of porosity from vugular porosity or vugs using well logs

Yousef Asgarinezhad

Supervisors:

Dr. Behzad Tokhmechi

Dr. Abolghasem Kamkar Rohani

Adviser:

Dr. Kaveh Kavosi

September 2011

۱۳۹