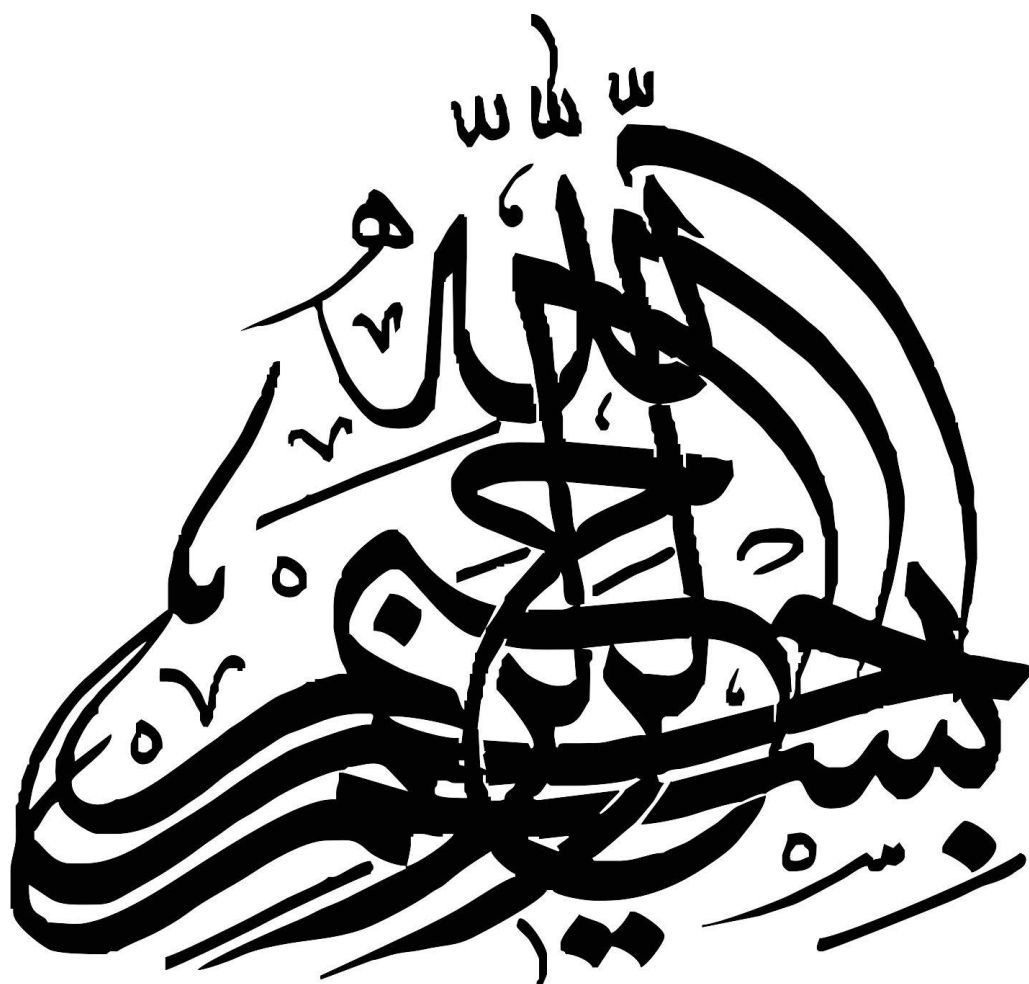






دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف نفت

تعیین نوع تخلخل و شناسایی و زون بندی رخساره های الکتریکی در یکی از

میادین جنوب غربی ایران

نگارنده: فرشاد انصاری

اساتید راهنما

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

دکتر سجاد نگهبان

استاد مشاور

مهندس احسان لرکی

اردیبهشت ۱۳۹۸

شماره: ۳۶۹۸/۳۷۵
تاریخ: ۹۸/۲/۲۱

باسمه تعالی



دانشگاه علمی کاربردی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای فرشاد انصاری با شماره دانشجویی ۹۵۰۲۰۹۴ رشته مهندسی نفت گرایش اکتشاف تحت عنوان تعیین نوع تخلخل و شناسایی و وزن-بندی رخساره های الکتریکی در یکی از میداین جنوب غربی ایران که در تاریخ ۱۳۹۸/۲/۱۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: ... چندی...) ☐ مردود ☐			
نوع تحقیق: نظری ☒ عملی ☐			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر سجاد نگهبان	استادیار	
۳- استاد مشاور	مهندس احسان لرکی	مربی	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر یوسف شیرینی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر بهزاد تخم چی	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر امین روشندل کاهو	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمد عطایی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده



تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم بابوسہ بردستان پدرم:

به او که نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی، سکوت، مهربانی و...

به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم همه برایش رنج بوده و وجودش برایم همه مهر

و به برادران و خواهرانم، که همواره در طول تحصیل متحمل زحمت بودند و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات و

وجودشان مایه دلگرمی من می باشد. قلمم لبریز از عشق به شماست خوشبختان آرزویم.

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم از راهبانی‌های اساتید کراتقدر جناب آقای دکتر ابوالقاسم کاکار روحانی و جناب آقای

دکتر سجاد نکهبان، به‌چنین استاد مشاور جناب آقای مهندس احسان لرکی که در تمامی مراحل انجام این پایان-

نامه مروری نموده‌اند صمیمانه سپاسگزاری نمایم.

به‌چنین، از اساتید محترم دانشکده‌ی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود و همه‌ی دوستان عزیز می‌کدام

هر نحوی در انجام این پایان‌نامه مرار راهبانی نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنم.

تعهد نامه

اینجانب **فرشاد انصاری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی نفت دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان " **تعیین نوع تخلخل و شناسایی و زون بندی رخساره های الکتریکی در یکی از میادین جنوب غربی ایران** " تحت راهنمایی اساتید گرامی جناب آقایان **دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و دکتر سجاد نگهبان** متعهد می شوم:

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

بهار ۱۳۹۸
فرشاد انصاری

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی در مطالعه مخازن هیدروکربنی توسعه چشمگیری یافته است. استفاده از نگارهای الکتریکی به شناخت بهتر مخزن از لحاظ تفکیک تخلخل و تعیین رخساره‌های الکتریکی زون مخزن کمک می‌کنند. استفاده از نگار انحراف سرعت براساس نگارهای نوترون و صوتی برای تعیین نوع تخلخل استفاده می‌شود. روش خوشه‌سازی گراف‌پایه با توان تفکیک چندگانه (MRGC) به جهت ویژگی‌های منحصر به فرد آن، مانند عدم نیاز به آگاهی از تعداد خوشه‌ها و پارامترهای اولیه جهت خوشه‌بندی، یکی از روش‌های رایج در جهت تعیین رخساره‌های الکتریکی به حساب می‌آید. بنابر اهمیت بالای سازند سروک که یکی از سازندهای مهم مخزنی در جنوب غرب ایران است لازم است تا تحقیق جامعی بر روی تعیین رخساره‌های الکتریکی و بررسی کیفیت تخلخل آن انجام شود. سازند سروک بخشی از گروه بنگستان است که متشکل از سنگ‌های آهکی دریایی کم عمق می‌باشد. در این پژوهش، خواص پتروفیزیکی اعم از حجم شیل، میزان تخلخل، درصد اشباع از آب، لیتولوژی، نوع تخلخل و انواع رخساره‌های الکتریکی با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی در نرم‌افزار Geolog تخمین زده شد. تحلیل لیتولوژی سازند با استفاده از نمودارهای متقاطع نوترون- چگالی، نوترون- صوتی و صوتی- چگالی در چاه مورد مطالعه نشان داد که لیتولوژی عمدتاً از نوع سنگ آهک و ماسه‌سنگ است. همچنین لایه‌های شیل به طور یکنواخت و در بعضی نقاط به صورت نفوذی در لیتولوژی حضور دارد. علاوه بر این، بر اساس نمودارهای متقاطع نوترون- چگالی، نوترون- صوتی و صوتی- چگالی، میزان تخلخل کلی در سازند مورد مطالعه در بازه ۲ تا ۱۵ درصد تخمین زده شد. همچنین، تحلیل نتایج نشان داد که، درصد اشباع از آب سازند مورد مطالعه با استفاده از رابطه آرچی دارای بازه تغییرات ۰ تا ۱۰۰ درصد است که اشباع ۱۰۰ درصد به صورت نقطه‌ای در نقاطی که شیل به طور نفوذی وجود دارد، رخ داده است. متوسط اشباع از آب در سازند ۱۵ درصد تخمین زده شد. تحلیل نتایج حاصل از نمودار نگار انحراف سرعت نشان داد که نوع تخلخل به طور عمده از نوع قالبی و درون

فسیلی است. با توجه به این که عمده لیتولوژی از نوع کربناته است، انتظار حضور فسیل در آن بسیار زیاد است. همچنین، در بعضی نقاط، تخلخل درون دانه‌ای نیز به چشم می‌خورد.

رخساره‌های الکتریکی با استفاده از ترکیب نگارهای چگالی، نوترون، صوتی و پرتو گاما با استفاده از روش خوشه‌بندی MRGC تخمین زده شد. نتایج نشان داد که ۵ رخساره الکتریکی در چاه مورد مطالعه وجود دارد که در این میان رخساره‌های شماره ۵ و ۴ بهترین کیفیت مخزنی را از لحاظ تخلخل و حجم شیل دارند و رخساره‌های ۱ و ۲ بدترین کیفیت مخزنی را دارا می‌باشند. بنابراین، از رخساره ۵ به سمت رخساره ۱ کیفیت مخزنی کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: زون‌بندی، رخساره‌ی الکتریکی، سازند سروک، روش خوشه‌بندی گراف‌پایه با توان تفکیک چندگانه (MRGC)

فهرست مطالب

فهرست شکل ها	س
فهرست جداول ها	ص
فصل اول: کلیات	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ بیان مساله	۲
۳-۱ پیشینه تحقیق	۵
۴-۱ ضرورت انجام تحقیق	۸
۵-۱ اهداف تحقیق	۱۰
۶-۱ روش انجام تحقیق حاضر	۱۰
۷-۱ ساختار پایان نامه	۱۱
فصل دوم: اصول بنیادی و مفاهیم اساسی تحقیق	۱۳
۱-۲ مقدمه	۱۴
۲-۲ زمین شناسی و چینه شناسی منطقه مورد مطالعه	۱۵
۳-۲ اصول پتروفیزیکی مخزن	۱۹
۱-۳-۲ تخلخل	۲۰
۲-۳-۲ اشباع سیالات	۲۳
۴-۲ چاه پیمایی	۲۳
۱-۴-۲ چاه پیمایی الکتریکی	۲۴

۲۴.....	۲-۴-۲ چاه‌پیمایی هسته‌ای.....
۲۷.....	۲-۴-۳ نمودارهای چاه‌نگاری صوتی.....
۲۹.....	۲-۵ جمع‌بندی
۳۱.....	فصل سوم: روش‌شناسی تحقیق
۳۲.....	۳-۱ مقدمه
۳۲.....	۳-۲ مراحل انجام تحقیق
۳۲.....	۳-۲-۱ معرفی نرم‌افزار Geolog.....
۳۳.....	۳-۲-۲ تشخیص لیتولوژی
۳۸.....	۳-۲-۳ محاسبه اشباع سیال و تخلخل.....
۴۲.....	۳-۳ رخساره‌های الکتریکی
۴۲.....	۳-۴ تعیین رخساره الکتریکی با استفاده از خوشه‌بندی.....
۵۰.....	۳-۵ جمع‌بندی
۵۱.....	فصل چهارم: تجزیه و تحلیل نتایج.....
۵۲.....	۴-۱ مقدمه
۵۲.....	۴-۲ ارائه داده‌های نمودارگیری چاه مورد مطالعه در نرم‌افزار Geolog.....
۵۴.....	۴-۳ تعیین لیتولوژی
۵۵.....	۴-۳-۱ تعیین لیتولوژی با نمودار متقاطع نوترون- چگالی.....
۵۶.....	۴-۳-۲ تعیین لیتولوژی با نمودار متقاطع صوتی- چگالی.....

۵۷	۳-۳-۴ تعیین لیتولوژی با نمودار متقاطع نوترون- صوتی
۵۸	۴-۳-۴ تعیین توزیع حجمی شیل
۵۹	۴-۴ تخمین نوع تخلخل
۶۱	۵-۴ تخمین رخساره الکتریکی
۷۲	۶-۴ مدل پتروفیزیکی
۷۵	۷-۴ جمع بندی
۷۷	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۷۸	۱-۵ نتیجه گیری
۷۹	۲-۵ پیشنهادات
۸۱	منابع و مآخذ

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲- گستره‌ی حضور سازند سروک در جنوب غرب ایران و معادل آن در خاورمیانه ۱۶
- شکل ۲-۲- موقعیت زمین‌شناسی میدان نفتی اهواز در فروافتادگی دزفول واقع در منطقه جنوب غربی ایران، موقعیت چاه شماره ۶۳ در بخش غربی این میدان قرار گرفته است (مناطق نفت خیز جنوب). ... ۱۷
- شکل ۳-۲- چینه‌شناسی سارند سروک در بخش‌های مختلف منطقه جنوب‌غربی ایران ۱۸
- شکل ۴-۲- دیاگرام پاسخ نگار اشعه‌ی گاما به لیتولوژی‌های مختلف ۲۶
- شکل ۱-۳- رابط کاربری نرم‌افزار ۳۳
- شکل ۲-۳- دیاگرام حجم رس محاسبه شده با استفاده از منحنی متقاطع چگالی و نوترونی ۳۴
- شکل ۳-۳- ورودی برای محاسبه حجم شیل براساس نمودار پرتو گاما. ۳۵
- شکل ۴-۳- نمودار مدل سنگ‌شناسی تخلخل نوترونی- چگالی (چارت استاندارد CP-15 شلومبرژه). ... ۳۶
- شکل ۵-۳- نمودار متقاطع سرعت عبور صوتی- چگالی برای تشخیص لیتولوژی (چارت استاندارد CP-7 شلومبرژه) ۳۷
- شکل ۶-۳- نمودار متقاطع سرعت عبور نوترون- صوتی برای تشخیص لیتولوژی (چارت استاندارد Por-20 شلومبرژه). ۳۸
- شکل ۷-۳- ورودی‌های لازم برای محاسبه اشباع از آب با استفاده از رابطه آرچی در نرم‌افزار Geolog ۳۹
- شکل ۸-۳- الگوی اجرایی مراحل خوشه‌بندی به روش MRGC ۴۹
- شکل ۱-۴- بخشی از نمودارهای چاه‌پیمایی چاه مورد مطالعه. ۵۴
- شکل ۲-۴- نمودار متقاطع نوترون- چگالی برای شناسایی لیتولوژی. ۵۵
- شکل ۳-۴- نمودار متقاطع صوتی- چگالی برای تشخیص لیتولوژی. ۵۷

- شکل ۴-۴- نمودار متقاطع نوترون- صوتی برای تشخیص لیتولوژی. ۵۸
- شکل ۵-۴- توزیع حجم شیل در چاه مورد مطالعه. ۵۹
- شکل ۶-۴- نگار انحراف سرعت محاسبه شده بر اساس داده تخلخل چاه مورد مطالعه. ۶۰
- شکل ۷-۴- توزیع فراوانی نمودارهای الکتریکی استفاده شده برای تخمین رخساره الکتریکی در چاه مورد مطالعه. ۶۲
- شکل ۸-۴- کراس پلات‌های ایجاد شده به وسیله نگارهای گاما، نوترون، صوتی و چگالی برای تخمین رخساره الکتریکی. ۶۳
- شکل ۹-۴- نمودار سه بعدی نوترون- چگالی- صوتی برای تخمین رخساره الکتریکی. ۶۴
- شکل ۱۰-۴- رخساره‌های الکتریکی تخمین زده شده در چاه مورد مطالعه و مقادیر نگارهای الکتریکی در آن‌ها. ۶۵
- شکل ۱۱-۴- رخساره‌های الکتریکی تخمین زده شده براساس توزیع نگارهای الکتریکی در چاه مورد مطالعه. ۶۶
- شکل ۱۲-۴- نمودار متقاطع چگالی- نوترون بر اساس تفکیک رخساره الکتریکی. ۶۸
- شکل ۱۳-۴- نمودار متقاطع نوترون- صوتی بر اساس تفکیک رخساره الکتریکی در چاه مورد مطالعه. ۶۹
- شکل ۱۴-۴- نمودار متقاطع پرتو گاما- نوترون بر اساس تفکیک رخساره‌های الکتریکی در چاه مورد مطالعه. ۷۱
- شکل ۱۵-۴- تفکیک رخساره الکتریکی تخمین زده شده بر اساس چهار نگار نوترون، چگالی، صوتی و پرتو گاما در چاه مورد مطالعه، هر رنگ نماینده رخساره مربوط به خود است. ۷۳
- شکل ۱۶-۴- مدل پتروفیزیکی چاه مورد مطالعه. ۷۴

فهرست جداولها

جدول ۱-۲- زمان حرکت ماتریس صوتی در بعضی سنگها	۲۸
---	----

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه

اطلاعات قابل اعتماد از مخازن نفت و گاز محدود به داده‌های مغزه و نگارهای چاه‌پیمایی می‌شوند. محدودیت ذاتی این داده‌ها، تک بُعدی بودن آنها است. به این معنی که تنها در جهت عمق مخزن برداشت شده و فاقد گسترش جانبی هستند. در صورتی که مخازن نفت به صورت توده سه بُعدی در لایه‌های زمین قرار دارند و تعمیم داده‌های نقطه‌ای چاه‌ها به سرتاسر مخزن با استفاده از روش‌های زمین آماری انجام می‌شود (Ghadami et al., 2015). تعیین خصوصیات مخزنی با استفاده از داده‌های چاه‌نگاری و مغزه یکی از روش‌های متداول شناخت مخزن است. شناخت ماهیت پارامترهای مخزنی و ارتباط آنها با مغزه و ابزارهای چاه‌نگاری امر ضروری قبل از مطالعه مخزن است. در فصل حاضر پس از تعریف مسأله و معرفی داده‌های تحقیق و پارامترهای پتروفیزیکی مورد استفاده، سابقه تحقیق عنوان شده و در نهایت پس از بیان هدف و ضرورت انجام تحقیق حاضر، روش انجام تحقیق و ساختار پایان‌نامه مطرح خواهد شد.

۱-۲ بیان مساله

در روش‌های تعمیم خصوصیات به کل گستره مخزن نمی‌توان به داده‌های مغزه و نگار در حالت استاندارد نگاه کرد زیرا که چندین نگار در هر چاه برداشت می‌شود و هر یک از آنها دارای هزاران داده است. این داده‌ها خود در حالت استاندارد دارای دو محدودیت اساسی هستند که آنها را فاقد صلاحیت برای استفاده در مدل‌سازی‌های سه بُعدی مخزن می‌کند. نخست این که تعداد نمونه‌های هر نگار آن‌قدر زیاد است که مدل یک مخزن با تعداد زیادی چاه دارای میلیاردها گره خواهد شد که زمان‌بر بوده و هزینه مدل‌سازی آن بسیار زیاد خواهد شد. دوم آن که تغییرات جزئی و محلی نگارها، الگوریتم‌های مدل‌سازی را در شناخت روندها و الگوهای زمین‌شناختی مخزن ناتوان خواهند کرد. برای چیره‌شدن به این دو محدودیت نیاز است تا قبل از عملیات مدل‌سازی، داده‌های مغزه و نگار در واحدهای معناداری دسته‌بندی شوند تا هم تعداد

نمونه‌ها به طرز چشم‌گیری کاهش یابد و هم تغییرات محلی که ناشی از شرایط مخزن و خطای برداشت نگار است، از بین برود (باقری و همکاران، ۱۳۹۴).

به مجموعه واحدهای رسوبی با مشخصات سنگ‌شناسی، ساخت رسوبی، ضامئ فسیلی، طرح جریان‌های دیرینه و سطوح لایه‌بندی مشابه که از روی مشخصات مذکور قابل تمایز با واحدهای مجاور باشند، رخساره گفته می‌شود. تحلیل برخی از مشخصات مذکور برای رخساره، به صورت مستقیم با بررسی‌های صحرایی و ماکروسکوپی، با روش‌های آزمایشگاهی و در برخی موارد به صورت غیرمستقیم با تلفیق اطلاعات نمودارهای الکتریکی صورت می‌گیرد. اصطلاح رخساره الکتریکی به مجموعه‌ای از پاسخ‌های نگار گفته می‌شود که سبب متمایز شدن یک لایه از دیگر لایه‌ها می‌شود. رخساره الکتریکی معمولاً به یک یا چند رخساره سنگی که به عنوان پاسخ‌های نگار از خصوصیات پتروفیزیکی سنگ‌ها اندازه‌گیری می‌شوند، اختصاص داده می‌شود (Kumar and Kishore, 2006). زمین‌شناسان، پتروفیزیت‌ها و مهندسين مخزن جهت نشان دادن توصیفی از مخزن باید به شناسایی نواحی درون مخزن که بیشترین ویژگی‌های مشابه را دارند، دست یابند (Askari and Behrouzi, 2011).

تعیین رخساره‌های الکتریکی در اصل یک روش قطعی یا تحلیلی برای دسته‌بندی داده‌های چاه‌نگارهای پتروفیزیکی است که می‌تواند نشان‌دهنده تغییر ویژگی‌های زمین‌شناسی یا مخزنی باشد. رخساره‌های الکتریکی بر مبنای خوشه‌سازی داده‌ها تعریف می‌شود. مبنای خوشه‌سازی، قرار دادن داده‌های نمودارهای پتروفیزیکی مشابه در گروه‌های یکسان و تمایز آنها از سایر گروه‌ها می‌باشد. امروزه تعیین رخساره‌های الکتریکی در سازندهای مخزنی، یکی از مطالعات رایج در زمینه توصیف خصوصیات مخزن است. کاربرد فراوان این رخساره‌ها و قابلیت انعطاف آنها جهت تعیین شاخصه‌های مخزنی خاص، با توجه به نوع داده‌های ورودی، باعث شده است تا این روش، یکی از توانمندترین ابزارها در مطالعات مخزنی باشد. از رخساره‌ها در مواردی مانند تفکیک بخش‌های مخزنی از غیرمخزنی، تطابق سازندی در سطح میدان و بزرگ مقیاس

نمودن داده‌های نگار استفاده می‌شود. با توجه به اهمیت این داده‌ها، از آنها به عنوان مغزه مجازی نام برده می‌شود (Rabiller, 2005). تعیین این رخساره‌ها ممکن است به صورت استخراج سنگ‌شناسی از برخی نگارها مانند محاسبه حجم شیل از نگار اشعه گامای تصحیح شده^۱ (CGR) یا بر اساس شکل نگارها مانند استفاده از شکل نمودار گاما در تشخیص سنگ‌شناسی صورت گیرد، اما متداول‌ترین روش، استفاده ترکیبی از مشخصه‌های فیزیکی اندازه‌گیری شده در روی نگارهای مختلف است که به منظور افزایش صحت و رفع خطاهای احتمالی در این روش، رخساره‌های الکتریکی تخمین زده شده با رخساره‌های تعریف شده از رخنمون یا مغزه حفاری انطباق داده می‌شود (Tavakoli and Amini, 2006).

در این میان، تجزیه و تحلیل رخساره‌های نگار برای بیان خصوصیات مخزن بسیار مهم است. تحلیل رخساره‌های الکتریکی روشی است برای تقسیم‌بندی نگارها به زیر مجموعه‌هایی که نشان‌دهنده‌ی رخساره‌های زمین‌شناسی- مخزنی باشد (Rabiller, 2005). یکی از تکنیک‌های مهم در شناسایی رخساره‌های الکتریکی در مخازن کربناته، روش خوشه‌سازی گراف‌پایه با توان تفکیک چندگانه^۲ (MRGC) است. در این روش، معایب دیگر روش‌های خوشه‌بندی مانند آگاهی قبلی در مورد تعداد خوشه‌ها، معیارهای اولیه و قابل اعتماد بودن نتایج حذف شده است. روش MRGC برای تحلیل ساختارهای پیچیده و دسته‌بندی طبیعی گروه‌های داده‌ها در شکل‌ها، اندازه‌ها و چگالی‌های متفاوت بسیار مناسب است. در نتیجه با شناسایی رخساره‌های رسوبی در یک توالی مخزن، دید بهتری نسبت به شکل مخزن، پراکندگی خصوصیات پتروفیزیکی و سنگ‌شناسی سازند مخزن و در نهایت واحدهای جریانی موجود در آن سازند مخزنی ایجاد

^۱ Corrected gama ray (CGR)

^۲ Multi resolution graph based clustering (MRGC)

می‌شود. شناخت صحیح این ویژگی‌ها در اکتشاف، تولید و بهره‌برداری از مخازن نفت و گاز اهمیت فراوانی دارد (Khoshbakht and Mohammadnia, 2012).

از طرفی دیگر، انتخاب زون مناسب جهت عملیات حفاری در مخزن نفتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. میزان اشباع از آب، تخلخل و تراوایی از پارامترهای مؤثر در این انتخاب است. تخلخل و تراوایی از مشخصات سنگ مخزن است که با استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی به دست می‌آید. با توجه به اهمیت بالایی تعیین میزان تخلخل و همچنین رخسارهای الکتریکی در یک میدان هیدروکربنی، در تحقیق حاضر تلاش بر این است تا با استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی انجام شده در یکی از میادین نفتی جنوب غربی ایران، پارامترهای پتروفیزیکی شامل تخلخل و اشباع از آب با استفاده از مطالعه پتروفیزیکی و پارامترهایی شامل حجم هیدروکربن و مقدار کربن آلی از روش خوشه‌بندی MRGC مشخص شوند.

۱-۳ پیشینه تحقیق

ارائه یک مدل دقیق و قابل قبول از مخزن با هدف پیش‌بینی خصوصیات مخزن قبل از انجام عملیات بهره‌برداری برای تعیین قابلیت تولید سیال از سنگ مخزن و نحوه حرکت سیال درون آن، تعداد چاه‌های مورد نیاز برای تولید و در مجموع داشتن یک دید اقتصادی به منظور بهینه‌سازی تولید و بهره‌برداری به نحوی که علاوه بر صیانت از مخازن هیدروکربوری و بالا بردن ضریب بازیافت از مخزن جواب مناسبی نیز برای سرمایه‌گذاری انجام شده به دست آید و مقرون به صرفه باشد، مورد نظر است. مدل‌سازی مخزن بر پایه اطلاعات زمین‌شناسی و پتروفیزیکی صورت می‌پذیرد و بستگی مستقیم به حجم اطلاعاتی دارد که در دسترس است. روشن است که هرچه میزان اطلاعات از میدان هیدروکربوری بیشتر باشد امکان ساخت یک مدل دقیق‌تر نیز میسر می‌گردد. مطالعات زمین‌شناسی نفت و پتروفیزیکی مخازن هیدروکربنی، نقش بسزایی در شناخت پارامترهای کنترل‌کننده‌ی خواص مخزنی و تولید دارد. یکی از مهم‌ترین عملیات اجرایی برای

توصیف و شبیه‌سازی مخازن هیدروکربنی، عملیات نمودارگیری چاه است. نمودارها امروزه یکی از منابع اصلی تهیه اطلاعات زیرسطحی در میدان‌های نفتی-گازی هستند. این ابزارها خصوصیاتى مانند ترکیب کانی‌شناسی، بافت، ساخت‌های رسوبی خصوصیات پتروفیزیکی مانند تخلخل و تراوایی را به صورت مستقیم یا غیرمستقیم نشان می‌دهند. در کنار این اطلاعات می‌توان از تلفیق داده‌های حاصل از مجموعه نمودارها نیز رخساره‌های زمین‌شناسی یا مخزنی را تعیین نمود. رخساره‌های الکتریکی بخش‌هایی از توالی یک سازند است که بر اثر ویژگی‌های مشترک ثبت شده در روی نمودارهای پتروفیزیکی قابل شناسایی هستند (باقری و همکاران، ۱۳۹۲). استفاده از رخساره‌های الکتریکی بر اساس نگارهای چاه در شناخت و تفکیک زون‌های مخزنی مؤثر بوده و در طی سال‌های اخیر در موارد بسیاری مورد استفاده‌ی محققان قرار گرفته است. این رخساره‌ها معمولاً می‌توانند بیانگر یک یا چند ویژگی مخزنی اندازه‌گیری شده به وسیله‌ی پاسخ نگارها باشند.

نیک نژاد و همکاران (۱۳۹۲) به شناسایی و تحلیل رخساره‌های الکتریکی سازند عرب با روش خوشه‌بندی شبکه عصبی خودسازمانده پرداختند. مقایسه نتایج لیتولوژی، حجم شیل، تخلخل و اشباع از آب با رخساره‌های تعیین شده توسط روش شبکه عصبی، تطابق قابل قبولی را بین رخساره‌های الکتریکی به دست آمده و مرزهای لیتولوژیکی تعریف شده نشان داده و تقسیم‌بندی جدیدی از سازند را ارائه داد. این تقسیم‌بندی جنبه مخزنی داشته و تغییر خواص پتروفیزیکی در هر رخساره منحصر به فرد بوده و تغییرات این شاخص‌ها در رخساره‌های جدا از هم مشخص بود.

محمودی و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از روش آنالیز خوشه‌ای چند متغیره در چاه نمک غربی شماره ۱ بندرعباس، رخساره‌های الکتریکی را شناسایی و زون‌بندی نمودند.

باقری و همکاران (۱۳۹۳)، رخساره‌های الکتریکی توالی دو سازند کنگان و قسمت بالایی سازند دالان را بر اساس رخساره‌های رسوبی، گونه‌های سنگی و به کمک روش‌های خوشه‌بندی با استفاده از نگارهای

چاه‌پیمایی و اطلاعات مغزه حاصل از چهار چاه تعیین کردند. با توجه به این که تنها اطلاعات مغزه یک چاه در دسترس بود، ابتدا به بررسی مقاطع نازک تهیه شده از پلاگ‌های مغزه در آن چاه پرداخته و گونه‌های سنگی که خصوصیات مخزنی یکسانی داشتند را با استفاده از نمودار متقاطع تخلخل- تراوایی مغزه شناسایی کردند.

فرازانی و همکاران (۱۳۹۳)، به تعیین رخساره الکتریکی از روی داده‌های چاه‌پیمایی سازند آسماری در میدان نفتی گچساران با استفاده از روش MRGC پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که تعداد خوشه‌های حاصل شده از آنالیز تصویری با روش MRGC، ۸ خوشه بود که خوشه‌های به دست آمده تطابق قابل قبولی با لیتولوژی پتروفیزیکی به دست آمده برای چاه داشتند. از جمله خواص پتروفیزیکی پتانسیل مخزنی است، که در زون‌های مختلف به خوبی نشان داده و زون‌ها با توجه به رخساره الکتریکی تعیین شده و دیگر پارامترهای پتروفیزیکی بهترین شرایط مخزنی را دارا بودند و دقت تعیین رخساره الکتریکی در این زون‌ها به خوبی قابل مشاهده بود و همچنین تعداد خوشه‌های به دست آمده از آنالیز تصویری با خوشه‌های به دست آمده از دیگر نگارها تطابق قابل قبولی داشت.

همتی نیک و همکاران (۱۳۹۵) در طی یک مطالعه به تعیین رخساره الکتریکی در یکی از میادین جنوب غرب ایران پرداختند. در این مطالعه از روش خوشه‌بندی استفاده شد. در این پژوهش چهار روش مختلف خوشه‌بندی شامل روش سلسله مراتبی، شبکه خود سازمانده، خوشه بندی پویا و روش MRGC استفاده شد. از آنجایی که در بین روش‌های مورد استفاده، روش MRGC به طور خودکار تعداد رخساره‌های بهینه را با توجه به نمودارهای ورودی معرفی می‌نماید، در نتیجه این روش به عنوان الگو برای در نظر گرفتن تعداد رخساره‌ها برای تمامی روش‌ها در نظر گرفته شد. با استفاده از روش MRGC تعداد ۶ رخساره به عنوان تعداد رخساره‌های بهینه معرفی و در نظر گرفته شد. در نهایت با کالیبره کردن رخساره‌های الکتریکی به دست

آمده با پارامترهای پتروفیزیکی مخزن مورد مطالعه، دو روش MRGC و سلسه مراتبی توانستند بهترین تفکیک رخساره‌ای را در توالی مخزن مورد مطالعه از لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناسی - پتروفیزیکی داشته باشند که از این دو روش نیز می‌توان گفت روش سلسه مراتبی تا حدودی تفکیک بهتری از پارامترهای پتروفیزیکی مخزن نسبت به روش MRGC داشته است. همچنین رخساره مخزنی در این چاه نیز دارای لیتولوژی آهکی و آهک - دولومیتی می‌باشد.

رهسپار و همکاران (۱۳۹۵) به مطالعه رخساره الکتریکی در یکی از چاه‌های واقع در بخش عرب میدان نفتی مسجد سلیمان پرداختند. در این پژوهش از چهار روش مختلف خوشه‌بندی برای مطالعه استفاده شد. این مطالعات بر روی بخش عرب که اصلی‌ترین بخش مخزنی میدان سلمان می‌باشد و بیشترین تولید نفت (۷۰٪) از این بخش بوده است، انجام گرفت. تعداد ۹ رخساره الکتریکی در هر روش خوشه‌سازی تعیین گردید. رخساره‌های الکتریکی تولید شده توسط بهترین روش خوشه‌سازی (MRGC)، با استفاده از لاگ‌های پرتو گاما، صوتی، چگالی و نوترون بر اساس کیفیت مخزنی از خوب به بد مرتب گردید.

باقری و رضایی (۱۳۹۷)، اطلاعات به دست آمده از نمودارهای یکی از میادین گازی خلیج فارس را به صورت ورودی روش خوشه‌بندی MRGC مورد استفاده قرار داده که در نتیجه چهار رخساره الکتریکی در این میدان شناسایی شد. در ادامه پس از مرتب سازی رخساره‌ها در محل هر چاه، درصد هر رخساره در محل هر کدام از چاه‌ها محاسبه شد. از این رخساره‌ها می‌توان به عنوان ورودی مدل‌های آماری جهت تخمین پارامترهای پتروفیزیکی مانند تخلخل و تراوایی بهره گرفت.

۴-۱ ضرورت انجام تحقیق

ارزیابی سنگ‌های مخزنی از اهمیت ویژه‌ای در صنعت نفت برخوردار است. چرا که جهت تجمع اقتصادی نفت در کنار عواملی همچون سنگ منشأ، مهاجرت نفت، وجود تله نفتی و پوشش سنگ، به یک سنگ

مخزن مناسب نیز نیاز است. لذا شناسایی سنگ‌های مخزن بالقوه و مطالعه و ارزیابی کیفیت مخزنی آنها در حوضه‌های اکتشافی امری ضروری است. جهت مطالعه دقیق سنگ‌های مخزنی به اطلاعات کامل زمین‌شناسی و پتروفیزیکی نیاز است. اطلاعات زمین‌شناسی از داده‌های چاه‌پیمایی و مغزه و اطلاعات مربوط به زمین‌شناسی عمومی منطقه به دست می‌آید (Gholanlo et al., 2016).

از طرفی دیگر تخلخل، یکی از ویژگی‌های بسیار مهم و اساسی در مطالعات جامع مخزن است و برآورد مقدار صحیح آن در ارزیابی میزان ذخیره مخزن از اهمیت خاصی برخوردار است. به طور معمول، برای تعیین تخلخل در یک مخزن دو روش وجود دارد: روش اول اندازه‌گیری مستقیم تخلخل با انجام آزمایش‌ها بر روی مغزه‌ها که روشی مشکل، زمان‌بر و بسیار پرهزینه است و لذا تعداد محدودی از چاه‌های هر میدان را در این روش می‌توان بررسی کرد و با مسائل و محدودیت‌هایی همراه است. روش دوم که غیرمستقیم است، استفاده از نگارهای چاه است. این روش نسبت به روش اول آسان‌تر است و اطلاعات را به صورت پیوسته از چاه ثبت می‌کند و از نظر اقتصادی به صرفه است. با وجود این مزایا، پیچیدگی‌های طبیعت ناهمگون زمین و مشکلات و محدودیت‌های عملی ناشی از چاه در قرائت‌های دستگاه‌ها، وضعیتی را به وجود می‌آورد که برای دستیابی به نتیجه قابل قبول، باید تصحیحات لازم اعمال شود. برای انجام این تصحیحات به اطلاعات کافی از نقطه قرائت و زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی آن، شامل ترکیب سنگ، سیالات سازند، لایه‌های ناخالص شیلی، وضعیت دیواره چاه و غیره نیاز است. در مواردی که روابط بین داده‌ها، غیرخطی، مبهم و ناشناخته است و تصویر روشنی از آنها در دست نیست، استفاده از مدلی بر اساس الگوریتم‌های فراابتکاری که در زمینه‌های مختلف مهندسی کاربرد زیادی در پیش‌بینی موارد مختلف پیدا کرده‌اند، می‌تواند راه‌گشا باشد (نجفی و همکاران، ۱۳۹۷).

۱-۵ اهداف تحقیق

با توجه به آنچه که گفته شد و اهمیت بالای سازند سروک که یکی از مخازن مهم تولیدی در جنوب غرب ایران است، لازم است تا تحقیق جامعی بر روی تعیین رخساره‌های الکتریکی، بررسی کیفیت مخزن و خواص مخزنی این سازند رسوبی انجام شده و نتایج آن برای ارائه‌ی مدلی دقیق برای پیش‌بینی خواص مخزنی اعم از تخلخل استفاده شود تا بدون انجام آزمایش و صرف وقت و هزینه زیاد بر اساس مدل دقیق به دست آمده، خواص مخزنی برای شرایط مختلف به دست آید.

۱-۶ روش انجام تحقیق حاضر

در مطالعه حاضر تلاش بر این است تا با در دست داشتن اطلاعات نمودارهای پتروفیزیکی، با استفاده از نگار انحراف سرعت به تعیین کیفیت مخزنی رسوبات سازند سروک پرداخته شده و سپس با استفاده از روش MRGC که به طور خودکار تعداد رخساره‌های بهینه را با توجه به نمودار ورودی معرفی می‌نماید، به تفسیر هر یک از رخساره‌ها بر اساس پارامترهای مخزنی پرداخته شود. روند انجام تحقیق حاضر در ادامه عنوان شده است.

- جمع‌آوری داده‌های کامل نگارهای پتروفیزیکی متداول.
- جمع‌آوری اطلاعات و گزارش‌های زمین‌شناسی و ارزیابی پتروفیزیکی مربوط به منطقه مورد مطالعه.
- انتخاب نرم‌افزار مناسب جهت محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی مورد نیاز که در این تحقیق از نرم‌افزار Geolog استفاده شده است.
- وارد کردن اطلاعات خام پتروفیزیکی به نرم‌افزار، پردازش اطلاعات و در نهایت ترسیم نمودارهای پتروفیزیکی تفسیر شده.
- تعیین میزان تخلخل با استفاده از اطلاعات به دست آمده از نگارهای پتروفیزیکی

- تعیین نوع تخلخل مخزن بر اساس نگار انحراف سرعت

- تعیین رخساره‌های الکتریکی به روش MRGC

۱-۷ ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در پنج فصل تدوین شده است. در فصل اول کلیات مربوط به این تحقیق، پیشینه تحقیق، اهداف و ضرورت و روش انجام تحقیق مطرح شده است. در فصل دوم به ارائه مفاهیم بنیادی دخیل در تحقیق و مبانی اصلی تحقیق پرداخته می‌شود. در فصل سوم زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، معرفی نرم‌افزار و متدولوژی تحقیق ارائه می‌شود. در فصل چهارم مطالعه نرم‌افزاری، پردازش به همراه نتایج حاصل از این تحقیق ذکر می‌شود و به تحلیل نتایج پرداخته می‌شود. در فصل پنجم، بحث و نتیجه‌گیری از این پژوهش ذکر شده و پیشنهاداتی برای کارهای تحقیقاتی بیشتر در این زمینه ارائه می‌شود.

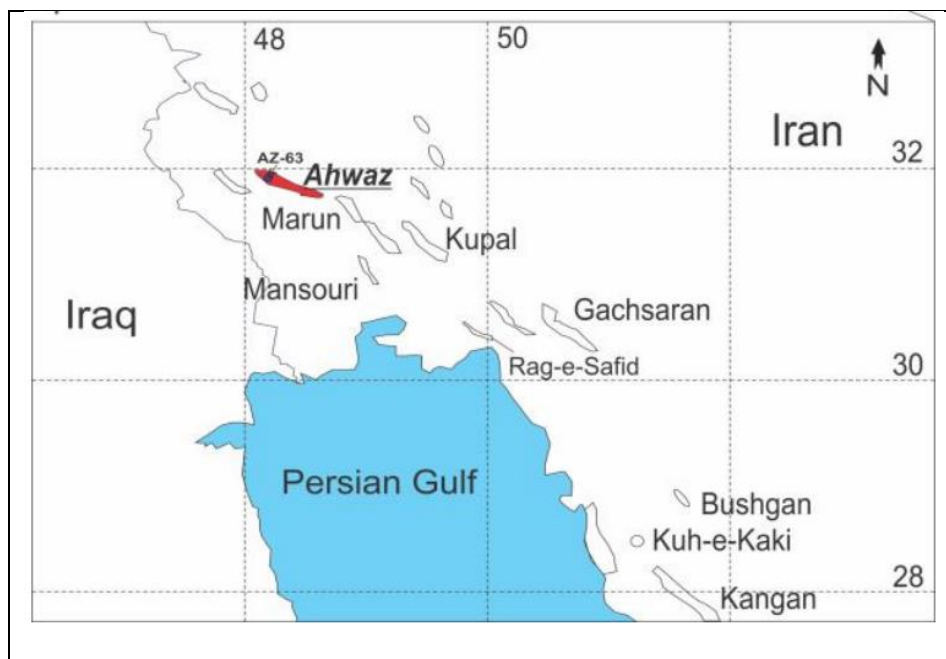
فصل دوم: اصول بنیادی و مفاهیم اساسی تحقیق

ارزیابی پتروفیزیکی و تعیین زون‌های مخزنی یکی از مراحل مهم در مطالعات مخازن است. برای تعیین زون‌های مخزنی می‌توان با استفاده از داده‌های پتروگرافی - پتروفیزیکی و مغزه‌ها به تقسیم‌بندی مخزن به زون‌های مختلف با ویژگی‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی مشخص اقدام نمود. جهت رسیدن به این مقصود، داده‌ها شامل تفسیر خواص پتروفیزیکی از نگارها، آنالیز مغزه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری خواص پتروفیزیکی و زمین‌شناسی سازند می‌باشند. ارزیابی پتروفیزیکی سازندهای مخزنی بر مبنای تعبیر و تفسیر اطلاعات نگارهای پتروفیزیکی و مغزه‌ها به منظور بررسی کیفیت و زون‌بندی مخازن جهت تعیین توالی‌های با نرخ بهره‌برداری مناسب، انجام می‌شود. شناخت نوع لیتولوژی، محاسبه پارامترهای مخزنی از قبیل حجم شیل، میزان تخلخل کل و مؤثر و مقدار اشباع از آب در ارزیابی پتروفیزیکی به جهت پی‌بردن به کیفیت مخزنی سازندها و مدل‌سازی مخازن امری ضروری است. به مجموع واحدهای رسوبی با مشخصات سنگ‌شناسی، ساخت رسوبی، ضمام فسیلی، طرح جریان‌های دیرینه و سطوح لایه‌بندی مشابه که از روی مشخصات مذکور قابل تمایز با واحدهای مجاور باشند، رخساره گفته می‌شود. تحلیل برخی از مشخصات مذکور برای رخساره، به صورت مستقیم با بررسی‌های صحرایی و ماکروسکوپی، با روش‌های آزمایشگاهی و در برخی موارد به صورت غیرمستقیم با تلفیق اطلاعات نمودارهای الکتریکی به عمل می‌آید. امروزه تعیین رخساره‌های الکتریکی در سازندهای مخزنی، یکی از مطالعات رایج در زمینه توصیف خصوصیات مخزن است. کاربرد فراوان این رخساره‌ها و قابلیت انعطاف آنها جهت تعیین شاخصه‌های مخزنی خاص، با توجه به نوع داده‌های ورودی، باعث شده است تا این روش، یکی از توانمندترین ابزارها در مطالعات مخزنی باشد. از رخساره‌ها در مواردی مانند تفکیک بخش‌های مخزنی از غیرمخزنی، تطابق سازندی در سطح میدان و بزرگ مقیاس نمودن داده‌های نگار استفاده می‌شود. علاوه بر این، با توجه به آن که توزیع انواع تخلخل‌ها بر کیفیت مخزنی تاثیرگذار هستند، شناسایی انواع تخلخل در کنار تعیین رخساره به زون‌بندی بهتر مخزن کمک می‌کند. در

فصل حاضر پس از بیان زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به مفاهیم بنیادی پتروفیزیکی دخیل در این تحقیق و انواع نمودارهای چاه‌پیمایی پرداخته می‌شود.

۲-۲ زمین‌شناسی و چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه

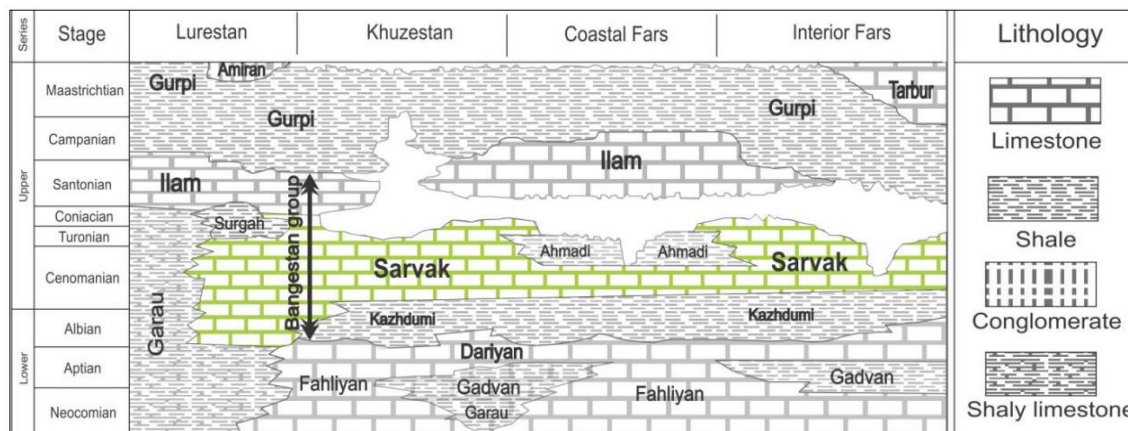
منطقه جنوب‌غربی ایران شامل فروافتادگی دزفول یکی از مهم‌ترین مناطق هیدروکربنی دنیا به شمار می‌رود که در حاشیه شمال‌شرقی صفحه عربی واقع گردیده است (Sharland et al., 2001). بازسازی جغرافیای دیرینه ارائه شده توسط موریس در سال ۱۹۸۰ و کوپ و همکارش استنلی در سال ۱۹۸۲ نشان می‌دهد که به تدریج در طی کرتاسه محیط رسوب‌گذاری نوع شیبدار در ارتباط با بالا آمدن سطح دریا همراه با کربنات‌های فلات قاره ایجاد شده و بخش بزرگی از منطقه خاورمیانه را احاطه کرده است. دوره کرتاسه یکی از گرم‌ترین دوره‌های تاریخ زمین است (Hubber et al., 2002). بازه زمانی سنومانین-تورونین (۸۹ تا ۹۸/۹ میلیون سال پیش) در برگرنده سازندهای میشرف، احمدی و رمیلا (شبه جزیره عربستان)، ناتیح (عمان)، دردر (جنوب شرقی ترکیه)، میشرف (عراق) و سروک (ایران) می‌باشد که در پلاتفرم‌های کربناته کم‌عمق و حوضه‌های درون فلات قاره در حاشیه غیرفعال صفحه نهشته شده‌اند (Sharland et al., 2001). گستره‌ی حضور سازند سروک در جنوب‌غرب ایران و معادل‌های آن در خاورمیانه در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲- موقعیت زمین‌شناسی میدان نفتی اهواز در فروافتادگی دزفول واقع در منطقه جنوب‌غربی ایران، موقعیت چاه شماره ۶۳ در بخش غربی این میدان قرار گرفته است (مناطق نفت‌خیز جنوب).

این در حالی است که بخش مهمی از ذخایر نفتی کشورهای حاشیه خلیج فارس توسط سازندهای معادل سروک میزبانی می‌شود (Sharland et al., 2001). سازند سروک بخشی از گروه بنگستان بوده و متشکل از سنگ آهک‌های دریایی کم عمق و به طور بخشی رُس‌دار و میکرایتی و در بخش اسپاری است (آقانباتی، ۱۳۸۳) و شامل گرینستون‌ها، پکستون‌های غنی از رودیست و وکستون‌های غنی از استروماتوپوراید به همراه مارن و شیل می‌باشد (Motiei, 1993). نام این سازند از تنگه‌ی سروک واقع در کوه بنگستان در منطقه خوزستان گرفته شده است (Ghazban, 2007). این سازند به طور هم‌شیب بر روی سازند کژدمی با مرزی تدریجی قرار می‌گیرد و مرز بالایی آن در برش الگو با مارن و شیل‌های سازند گورپی به صورت ناگهانی می‌باشد (Motiei, 1993). اما در بسیاری از میادین نفتی که سازند کربناته ایلام بر روی این سازند قرار دارد (نظیر میدان نفتی اهواز)، تعیین مرز بین این دو سازند با مشکلاتی مواجه بوده که هنوز مورد بحث است.

چینه‌شناسی سازند سروک در بخش‌های مختلف منطقه جنوب‌غربی ایران در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.



شکل ۲-۳- چینه‌شناسی سازند سروک در بخش‌های مختلف منطقه جنوب‌غربی ایران (Motiei, 1993).

میدان اهواز در قسمت جنوب تا جنوب‌غربی فروافتادگی دزفول قرار داشته و جزو میداین نفتی بزرگ محسوب می‌شود. میدان نفتی اهواز نسبت به میداین مجاور از شمال توسط میداین رامین، از شرق توسط میداین مارون، از غرب توسط میداین بندکرخه و از جنوب توسط میداین سوسنگرد- آب تیمور و منصوری محدود می‌شود. طول میدان حدود ۸۰ کیلومتر و عرض آن ۶/۵ کیلومتر است. این میدان یک تاکدیس سینوسی کم‌شیب و متقارن با روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی است که به سمت جنوب‌غرب باریک‌تر و مرتفع‌تر می‌شود. تاکنون ۴۲۰ حلقه چاه در این میدان حفاری شده که تعداد ۱۴۸ حلقه از آنها به مخزن بنگستان وارد شده‌اند. مخزن بنگستان این میدان شامل ۳ پهنه کربناته در سازند ایلام و ۶ پهنه کربناته در سازند سروک می‌باشد. در سازند ایلام آخرین پهنه‌ی حاوی نفت است و در سازند سروک پهنه‌های ۲، ۴ و ۶ حاوی نفت می‌باشند. مخزن بنگستان در میدان اهواز، ویژگی‌های مخزنی بهتری نسبت به میداین واقع در مرکز خوزستان و میداین مجاور دارد. رسوبات سازند سروک بر روی حاشیه قاره‌ای غیرفعال از آلبین‌پسین تا تورونین میانی نهشته شده‌اند (Alavi, 2004).

۲-۳ اصول پتروفیزیکی مخزن

لازمه‌ی آنالیز داده‌های پتروفیزیکی داشتن دانش کافی در مورد زمین‌شناسی، شیمی، فیزیک، الکترونیک، مکانیک و تکنولوژی حفاری است. به زبان ساده پتروفیزیک، تخلخل و اشباع از آب یک مخزن را تعیین می‌کند، همچنین تراوایی سنگ و میزان تحرک سیالات درون مخزن را تخمین می‌زند. تفسیر و تخمین این موارد به تعیین لیتولوژی سنگ مخزن و مشخصه‌سازی آن بستگی دارد. ابزارهای نمودارگیری تخلخل، تراوایی، و اشباع از آب را به صورت مستقیم اندازه‌گیری نمی‌کنند، آنها به ترتیب سرعت صوت، رسانندگی الکتریکی و روابط مختلف هسته‌ای بین سنگ و سیال را اندازه می‌گیرند که این روابط توسط برنامه‌های کامپیوتری فرآوری شده و به دست شخص پتروفیزیکدان می‌رسند. خواص سنگ مخازن نفتی به طور عمده به دو دسته خواص استاتیکی و دینامیکی تقسیم بندی می‌شوند (Wyllie and Rose, 1950).

خواص استاتیکی:

در زمان‌های اولیه و نزدیک به تشکیل سنگ به وسیله محیط نهشتگی و رخدادهای زمین‌شناسی پس از نهشتگی سنگ ایجاد می‌شود. این خواص را می‌توان به صورت زیر نام برد:

نوع سنگ، تخلخل^۱، توزیع سائز دانه‌ها، قطر گلوگاه^۲ حفرات، تراوایی مطلق^۳، تراکم‌پذیری سنگ^۴.

خواص دینامیکی :

از برهمکنش سنگ و سیال مخزن تاثیر می پذیرند و شامل موارد ذیل می باشند:

^۱ Porosity

^۲ Throat

^۳ Absolute Permeability

^۴ Rock Compressibility

تراوایی نسبی^۱، اشباع سیال^۲، فشار موینگی^۳، ترشوندگی.

خواص دینامیکی سنگ نظیر تراوایی نسبی نفت ممکن است به مرور زمان دچار تغییرات عمده‌ای شوند همچنان که اشباع نفت نیز با تولید تغییر می‌کند. اطلاعات دقیقی از اشباع سیالات مخزن جهت تخمین حجم نفت و گاز مورد نیاز است (Ghadami et al., 2015). بحث درباره تمامی پارامترهای استاتیکی و دینامیکی سنگ مخزن بسیار گسترده است و از حوصله این پژوهش خارج است. با توجه به اینکه در پژوهش حاضر به دنبال مطالعه پتروفیزیکی با کمک نمودارگیری و تشخیص انواع تخلخل هستیم، پارامترهای اشباع سیال و تخلخل که دارای درجه اهمیت بالاتری هستند، در ادامه بررسی می‌شوند.

۲-۳-۱ تخلخل

تخلخل سنگ به صورت نسبت حجم حفرات به حجم کل سنگ تعریف می‌شود. حجم کل از مجموع حجم حفرات و دانه سنگ تشکیل می‌شود. داشتن میزان تخلخل برای تخمین حجم نفت و گاز در جای مخزن نیاز است. تخلخل با توجه به مرحله زایش سنگ یا ارتباط منافذ دسته‌بندی می‌شوند. باید توجه داشت که همه حفرات در سنگ به هم متصل نمی‌باشند این امر منجر به تعریف دو مفهوم تخلخل مطلق و مؤثر می‌شود. منظور از تخلخل مطلق، نسبت حجم خالی کل (کل فضای خالی سنگ بدون در نظر گرفتن ارتباط) به حجم کلی سنگ است. اما، تخلخل مفید نسب حجم فضای خالی مرتبط به هم به حجم کلی سنگ است. تخلخل مؤثر که تنها به حفرات متصل به هم ارتباط دارد از تخلخل مطلق کمتر می‌باشد. مفهوم تخلخل

^۱ Relative Permeability

^۲ Fluid Saturation

^۳ Capillary Pressure

مؤثر از آنجایی مهم است که تنها سیالات موجود در حفرات مرتبط به هم در تولید نقش دارند Rao, (2010).

علاوه بر این، تخلخل سنگ را می‌توان از حیث دیگری به دو گروه اولیه و ثانویه تقسیم‌بندی کرد. تخلخل اولیه مربوط به حفراتی است که در زمان‌های اولیه تشکیل سنگ شکل می‌گیرند. تخلخل ثانویه در اثر فرآیندهای متنوع زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی که پس از دیاژنز سنگ رخ می‌دهد، به وجود می‌آید. تخلخل ثانویه به طور رایج در سنگ‌های کربناته دیده می‌شود، هرچند که ممکن است در سنگ‌های ماسه‌سنگی نیز به وجود آید. تخلخل ثانویه در سنگ اغلب منجر به ناهمگنی در سنگ می‌شود و عدم قطعیت را وارد آنالیز مخزن می‌سازد (Rashid et al., 2015). بیان و بررسی انواع تخلخل‌های اولیه و ثانویه از حوصله این پژوهش خارج است و در ادامه به بیان سه نوع مهم آن پرداخته می‌شود.

تخلخل درون دانه‌ای:

این نوع تخلخل در فضای درون دانه‌های اسکلتی و به صورت تخلخل ریز در درون دانه‌های غیراسکلتی تشکیل می‌شود. این تخلخل ممکن است اولیه باشد و یا در طی دیاژنز آغازین بر اثر تجزیه مواد آلی پرکننده فضاهای اسکلتی موجودات آهک‌ساز، حاصل شود. میزان این نوع تخلخل به فراوانی قطعات فسیلی، غیر-فسیلی، اندازه و نوع موجود بستگی دارد. هر چند که وجود این نوع تخلخل باعث بالا بردن تخلخل کل می‌شود اما به دلیل ایزوله بودن رابطه خوبی با تخلخل مؤثر و تراوایی نداشته و لذا تاثیری در کیفیت مخزنی ندارد (Rashid et al., 2015).

تخلخل شکستگی:

شکستگی‌ها بیشتر از آنکه تخلخل را افزایش دهند، یکی از عوامل مهم ایجاد تراوایی هستند. این نوع تخلخل فابریک سنگ را قطع می‌کند. به علت تاثیر فرآیندهای دیاژنزی این شکستگی‌ها توسط سیمان پر شده و گاهی اوقات به صورت باز و پر نشده باقی مانده‌اند. این نوع تخلخل از نوع تخلخل ثانویه و به طور

کلی در سنگ آهک بیشتر به چشم می‌خورد. با توجه به اینکه شکستگی‌ها به هم مرتبط هستند، این نوع تخلخل در خانواده تخلخل مؤثر قرار می‌گیرد (Rashid et al., 2015).

تخلخل قالبی:

این نوع تخلخل ناشی از انحلال انتخابی دانه‌های اسکلتی و غیراسکلتی کربناته مانند صدف‌ها می‌باشد که خود دانه حل می‌شود و قالب آن برجای می‌ماند. اندازه این حفرات به اندازه دانه حل شده و شدت انحلال بستگی دارد. این نوع تخلخل به دلیل ماهیت دوگانه دیاژنزی، ممکن است که ایجاد تخلخل از نوع حفره‌ای را کرده و باعث افزایش کیفیت مخزنی شود. این نوع تخلخل به دلیل ایزوله بودن معمولاً رابطه‌ای با تخلخل و تراوایی مؤثر ندارد مگر اینکه فضاهای آن به هم مرتبط گردند (Rashid et al., 2015).

خصوصیات سنگ، شامل تخلخل، از یک مکان به مکان دیگر تغییر می‌کند. همچنین، تخلخل یک نوع سنگ در لایه‌ها و رخساره‌های مختلف ممکن است به دلیل تغییر محیط نهشتگی و زمان زمین‌شناسی کاملاً متفاوت باشد. تخلخل در مکان چاه‌های مختلف از مطالعات پتروفیزیکی بر اساس آنالیز مغزه و چاه‌پیمایی به دست می‌آید. در مخازن همگن، می‌توان به خوبی از مقدار میانگین تخلخل برای آنالیز کل مخزن استفاده نمود. در آزمایشگاه، تخلخل مطلق یا کلی یک نمونه مغزه با اندازه‌گیری حجم کل سنگ و خرد کردن سنگ و اندازه‌گیری حجم دانه‌ها به دست می‌آید. تخلخل مؤثر با اشباع کردن نمونه مغزه با سیالی با وزن مخصوص معلوم تعیین می‌شود. به طور کلی، مقادیر تخلخل در مخازن متعارف نفت و گاز به طور کلی بین ۵ تا ۲۵ درصد است. تخلخل اولیه در ماسه‌سنگ‌ها از کربناته‌ها بیشتر است. با این وجود، تخلخل ۳۰ درصدی یا بیشتر در مخازن کربناته که توسعه تخلخل ثانویه در آن زیاد بوده، ممکن است مشاهده شود (بهلولی و همکاران، ۱۳۸۸).

۲-۳-۲ اشباع سیالات

بسیاری از آنالیزهای پتروفیزیکی مستلزم تعیین میزان اشباع سیالات مختلف می‌باشد. از جمله این موارد می‌توان به صورت زیر اشاره کرد:

- تغییرات اشباع سیالات درون مخزن در موقعیت‌های مختلف
- تغییرات اشباع با زمان به هنگام تولید از مخزن
- اثر تزریق یک سیال خارجی بر روی اشباع سیالات مخزن

اشباع هر سیال به صورت نسبت حجم سیال موجود در حفرات به حجم کل حفرات است، که معمولاً به صورت درصد بیان می‌شود. بدیهی است که میزان اشباع هر سیال حداکثر ۱۰۰٪ می‌باشد. اشباع سیالات در آزمایشگاه را می‌توان با حرارت دادن یک مغزه، تبخیر سیالات موجود و سپس مایع کردن آنها به طور مستقیم به دست آورد. این فرآیند تبخیر و مایع نمودن را روش دن-استارک^۱ می‌نامند. در این روش آب بخار شده و نفت به همراه بخار تولوئن شسته می‌شوند و با تعیین حجم آب و تغییر جرم مغزه می‌توان حجم نفتی که قبل از انجام آزمایش در مغزه وجود داشته را تعیین نمود. اشباع سیالات سازند را می‌توان به هنگام حفاری سازند با استفاده از لاگ مقاومت مخصوص الکتریکی^۲ نیز تعیین نمود (نجفی و همکاران، ۱۳۹۷).

۲-۴ چاه پیمایی

از آنجایی که در هر چاهی که در یک میدان حفاری می‌گردد حتماً نمودارهای پتروفیزیکی حداقل در سازندهایی که پتانسیل هیدروکربوری دارند رانده می‌شوند، اطلاعات زیاد و قابل استفاده‌ای که با هزینه نسبتاً کمی نسبت به مغزه در اختیار محققان و مدلسازان قرار می‌گیرد، در دسترس است. از طرفی این

^۱ Dean-Stark

^۲ Resistivity Log

نمودارها منعکس کننده مهم ترین خواص سنگ مخزن مثل میزان تخلخل و درصد اشباع از آب و همچنین جنس سنگ مخزن نیز هستند. نگارهای چاه را نیز می توان به دو دسته ی اصلی مکانیکی و سیمی تقسیم کرد. نقش نگارهای مکانیکی تشخیص داده های از قبیل نرخ نفوذ^۱، نوع سنگ ها و نوع میدان اعم از گاز و نفتی است. نگارهای سیمی ابزاری ویژه برای تشخیص خواص درون و بیرون سوراخ ها هستند. نگارهای صوتی، الکتریکی و هسته ای پرمصرف ترین روش های چاه پیمایی سیمی هستند. از میان روش های چاه پیمایی مطرح شده با توجه به موضوع تحقیق حاضر، در این قسمت به بررسی چاه پیمایی الکتریکی، چاه پیمایی صوتی و چاه پیمایی هسته ای پرداخته خواهد شد (نجفی و همکاران، ۱۳۹۷).

۲-۴-۱ چاه پیمایی الکتریکی

دلیل اصلی استفاده از این روش به خصوص، تعیین میزان اشباع از آب در سازند است. اما به منظور داشتن داده های ارزشمند در رابطه با اشباع از آب، ابتدا می بایست آب سازند تعیین گردد. روش مذکور می تواند اطلاعاتی در رابطه با لیتولوژی، تخلخل شیل، سنگ مخزن، ارتباط چاه و دید بهتری از نواحی هیدروکربنی ارائه دهد. (Mimonitu, 2010).

۲-۴-۲ چاه پیمایی هسته ای

نگارهای هسته ای رادیواکتیویته ی انتشار یافته به صورت طبیعی و یا حاصل بمباران ذره را ثبت می کند. مواد رادیواکتیو تشعشعات آلفا، بتا و گاما انتشار می دهند که تنها اشعه گاما انرژی نفوذ لازم برای استفاده در چاه نگاری چاه دارند. نوترون ها برای تهیج اتم ها به وسیله ی بمباران در چاه نگاری چاه مورد استفاده قرار می گیرند. نوترون ها انرژی نفوذ بالایی داشته و تنها توسط اتم های هیدروژن جذب می شوند در ادامه در رابطه با هر کدام از موارد فوق توضیح مختصری داده خواهد شد.

^۱ Rate of penetration (ROP)

نگارهای هسته‌ای اصلی به صورت زیر هستند:

- اشعه‌ی گامای طبیعی متداول (GR^1)
- اشعه‌ی گامای طیفی (SGR^2)
- چگالی سازند (RHO^3)
- اثر فتوالکتریکی (PEF^4)
- نوترون جبران شده (CNL^5)

۲-۴-۱-۲ اشعه‌ی گامای طبیعی متداول (GR)

پرتوهای گاما بیشترین اهمیت را در نمودارگیری پتروفیزیک دارند زیرا این پرتوها بیشترین نفوذ را در بین همه تابش‌های رادیواکتیویته دارند (البته به جز نوترون‌ها). قدرت نفوذ این پرتوها در حدی است که می‌توانند چندین سانتیمتر در یک دیواره سیمانی نفوذ کنند. نگار اشعه‌ی گامای ساده در شیار قرار گرفته و مقیاس‌ها به صورت محلی انتخاب می‌شوند اما API بین ۰ تا ۱۰۰ و ۰ تا ۱۵۰ متداول هستند. موارد اصلی استفاده‌ی نگار تابش گاما در تعیین لیتولوژی، تعیین حجم شیل و تطبیق عمق است. کاربرد اصلی این ابزار مشخص کردن لایه‌های شیلی توسط پرتوزایی زیادشان است. شیل‌ها، شیل‌های غنی از مواد آلی و خاکسترهای آشفشانی بیشترین مقادیر تابش گاما را نشان داده، و هالیت، انیدریت، زغال‌سنگ،

^۱ Gama ray

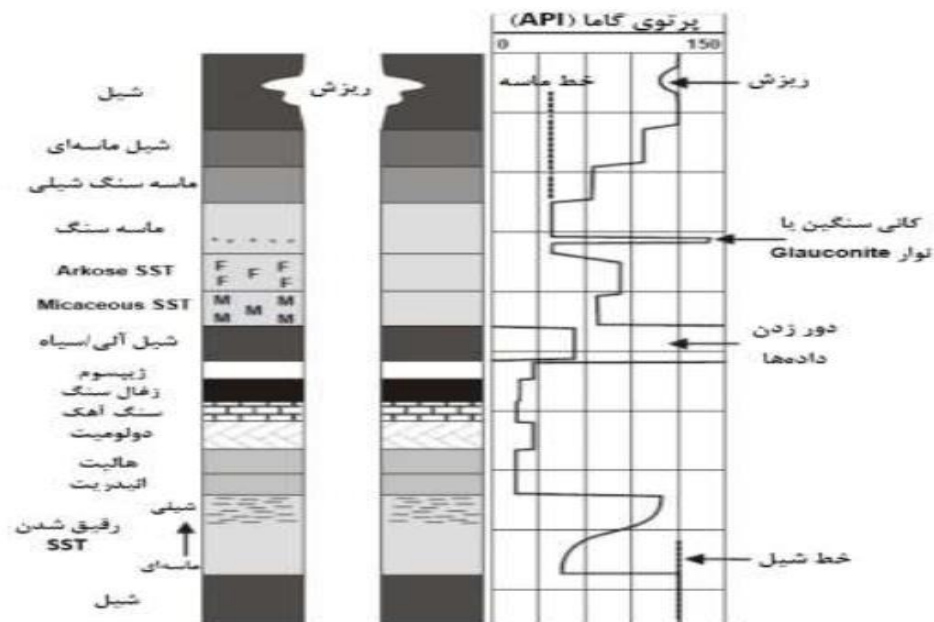
^۲ Specterial gama ray

^۳ Rho bulk

^۴ Photo electric factor

^۵ Compensated neutron log

ماسه‌سنگ‌های تمیز، دولومیت و سنگ آهک مقادیر تابش گامای کمی دارند (Russel, 1994). دیاگرام نگار اشعه‌ی گاما در شکل ۴-۲ در برابر لیتولوژی مختلف نشان داده شده است.



شکل ۴-۲- دیاگرام پاسخ نگار اشعه‌ی گاما به لیتولوژی‌های مختلف (Russel, 1994).

۲-۲-۴-۲ نگارهای چگالی

نمودارگیری چگالی سازند، چگالی کل سازند را اندازه‌گیری می‌کند. مهم‌ترین کاربرد آن به دست آوردن مقداری برای تخلخل کل سازند می‌باشد. روش‌های چاه‌نگاری چگالی عبارتند از: چگالی الکترونی توده و چگالی فتوالکترونی. پراکندگی کامپتون^۱ امکان اندازه‌گیری چگالی توده بر اساس غلظت الکترون در فلاکس گاما را فراهم می‌کند. پاسخ فتوالکتریک در انرژی‌های پایین‌تری که اشعه‌های گاما توسط اتم‌ها جذب شده و سپس اشعه‌های گامای ثانویه از آنها خارج می‌شود، رخ می‌دهد. منبع اشعه‌های گاما با انرژی بالا را که از

^۱ Compton scattering

سازند تا زمان پراکنده شدن عبور می‌کنند، منتشر کرده و سپس به تدریج انرژی‌شان را از دست می‌دهند (Mimonitu, 2010).

۲-۴-۲ نمودارهای چاهنگاری نوترونی

نگار نوترون به طور کلی به تعداد اتم‌های هیدروژن در سازند حساس است. کاربرد اصلی آن در تعیین تخلخل سازند می‌باشد. این ابزار از طریق بمباران کردن سازند با نوترون‌های پر انرژی کار می‌کند. این نگار در حضور هیدروژن یا به عبارت بهتر آب موجود در سازند، واکنش می‌دهد. این امر تخلخل اولیه و ثانویه سازند را نشان می‌دهد (Ellis and Singer, 2008).

۲-۴-۳ نمودارهای چاهنگاری صوتی

در نگار صوتی مدت زمان عبور موج کشسان از میان ترکیب مورد نظر اندازه‌گیری می‌شود. کاربرد اصلی این نگار، در گردآوری اطلاعات به منظور تطابق با داده‌های به دست آمده از لرزه‌نگاری و همچنین تعیین تخلخل سنگ می‌باشد. نمودارگیری صوتی تنها شامل اندازه‌گیری فشردگی موج^۱ در زمان و تبدیل آن به سرعت برای کاربردهای لیتولوژی، لرزه‌ای و ژئوتکنیکی می‌باشد. موج P (موج طولی یا اولیه) یک موج انعکاسی یا بازتابی است که از میان جرم سنگ عبور می‌کند. این موج، موجی سریع بوده و زودتر به مخزن می‌رسد. در ابزار صوتی، آن چه اهمیت دارد زمان رسیدن موج P از فرستنده به گیرنده‌ی موج است (Ellis and Singer, 2008).

زمان عبور صوت در سازندهای مختلف، متفاوت است. در جدول ۱-۲، زمان‌های حرکت معمول در بعضی از سنگ‌ها ارائه شده است.

^۱ Compressional wave measurement

جدول ۲-۱- زمان سیر موج صوتی از برخی سنگها (Rider, 1996).

نوع ماده‌ی معدنی (سنگ)	زمان سیر موج صوتی از ماتریکس سنگ ($\Delta t_{\max}$) (میلی ثانیه)
ماسه سنگ	۵۱-۵۵
سنگ آهک	۴۷/۶-۵۳
دولومیت	۳۸/۵-۴۵
انیدریت	۵۰
نمک	۶۷-۹۰
شیل	۶۲/۵-۱۶۷

نمودار صوتی در سنگ‌های رسوبی، نگار تخلخل لحاظ می‌شود که نتایج آن قابل مقایسه با نتایج نمودارهای چگالی و نوترونی است. لازم به ذکر است که کالیبراسیونی در این نگار لازم نیست. معادله‌ی پایه برای تخلخل صوتی، متوسط زمانی وایلی^۱ است که به صورت رابطه‌ی ۲-۲ می‌باشد (Mimonitu, 2010).

$$\Phi = \frac{\Delta t_{\log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \quad (2-2)$$

در رابطه‌ی (۲-۲)، Φ تخلخل صوتی، $\Delta t_{\log}$ زمان ثبت شده توسط نگار صوتی، $\Delta t_{\max}$ زمان سیر موج صوتی از ماتریس و Δt_f زمان سیر موج صوتی از سیال گل می‌باشد.

^۱ Wyllie

۲-۵ جمع‌بندی

شناخت اصول پتروفیزیکی مخزن شامل تخلخل، اشباع از آب و غیره برای تفسیر و تجزیه تحلیل نتایج حاصل از جمع‌آوری اطلاعات به روش تهیه مغزه یا نمودارگیری چاه امری ضروری است. با توجه به این که سازندهای زیرزمینی پاسخ‌های مختلف نسبت به ابزار نمودارگیری دارند، لذا از ابزارهای نمودارگیری مانند پرتو گاما، نوترون، صوتی، مقاومتی و غیره می‌توان به منظور شناخت بهتر مخزن استفاده کرد. یکی از کاربردهای این دسته نمودارها تعیین انواع تخلخل سازندی است. علاوه براین، از نمودارهای چاه‌نگاری می‌توان برای تشخیص و تفکیک رخساره‌های الکتریکی استفاده کرد. جمع‌آوری چنین اطلاعاتی منجر به شناخت بهتر مخزن و تعیین زون‌های مختلف می‌شود.

فصل سوم: روش‌شناسی تحقیق

۳-۱ مقدمه

استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی برای تعیین انواع تخلخل و شناسایی رخساره‌های الکتریکی بسیار مفید خواهد بود. تعیین انواع تخلخل با استفاده از نمودارهای تخلخلی شامل نوترون، چگالی و صوتی انجام می‌شود. علاوه بر این، تعیین رخساره‌های الکتریکی در سازندهای مخزنی، یکی از مطالعات رایج در زمینه توصیف خصوصیات مخزن است. کاربرد فراوان این رخساره‌ها و قابلیت انعطاف آنها جهت تعیین شاخصه‌های مخزنی خاص، با توجه به نوع داده‌های ورودی، باعث شده است تا این روش، یکی از توانمندترین ابزارها در مطالعات مخزنی باشد. از رخساره‌ها در مواردی مانند تفکیک بخش‌های مخزنی از غیرمخزنی، تطابق سازندی در سطح میدان و بزرگ مقیاس نمودن داده‌های نگار استفاده می‌شود. در فصل حاضر پس از معرفی منطقه مورد مطالعه، به نحوه‌ی آنالیز داده‌های چاه‌نگاری برای تشخیص لیتولوژی، تعیین نوع تخلخل و تعیین رخساره الکتریکی در چاه مورد مطالعه پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که در این تحقیق از نرم‌افزار Geolog به منظور مطالعه و تجزیه تحلیل نمودارهای چاه‌پیمایی از چاه مورد مطالعه استفاده می‌شود.

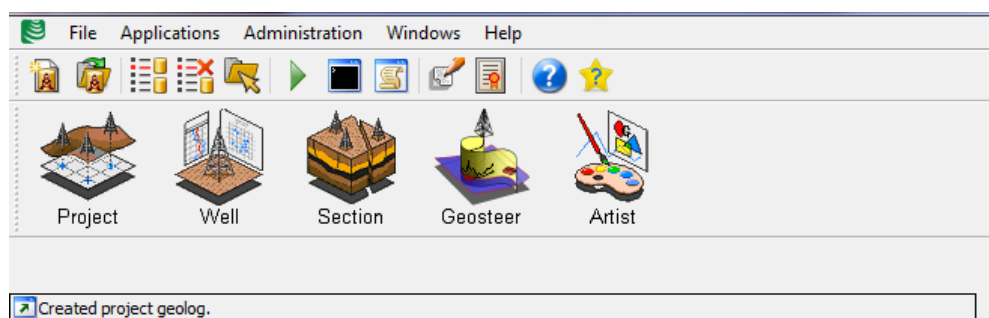
۳-۲ مراحل انجام تحقیق

در این بخش به معرفی روش کار هریک از مراحل انجام پژوهش حاضر به منظور تشخیص لیتولوژی، انواع تخلخل و تعیین رخساره الکتریکی با استفاده از یک روش خوشه‌بندی پرداخته می‌شود. پیش از این لازم است که به معرفی نرم‌افزار مورد استفاده در این پژوهش پرداخت.

۳-۲-۱ معرفی نرم‌افزار Geolog

نرم‌افزار Geolog یکی از بسته‌های شرکت Paradigm است. این نرم‌افزار ابزاری بسیار پیشرفته برای ارزیابی‌های ژئوفیزیکی و پتروفیزیکی مورد استفاده در نمودارگیری از چاه است. درواقع نرم‌افزار Geolog یکی از اصلی‌ترین نرم‌افزارهای مورد استفاده شرکت‌های بزرگ نفتی به منظور ارزیابی سازندهای زیر سطحی

است. نرم‌افزار Geolog با دریافت اطلاعات به دست آمده از داده‌های چاه‌نگاری، داده‌های به دست آمده از آنالیز مغزه و همچنین داده‌های عملیات حفاری قادر به انجام پردازش‌ها و تحلیل‌های پتروفیزیکی می‌باشد. در واقع ورودی این نرم‌افزار همین داده‌هایی می‌باشند که در نهایت قرار است پس از طی کردن چند مرحله تبدیل به نتایجی قابل تفسیر شوند. با استفاده از نرم‌افزار Geolog داده‌های خام تبدیل به نتایجی قابل اعتماد می‌شوند. در تحقیق حاضر از Geolog 7 برای مطالعه پتروفیزیکی نمودارهای چاه مورد نظر استفاده می‌شود. شکل ۳-۱ رابط کاربری این نرم‌افزار را نشان می‌دهد.

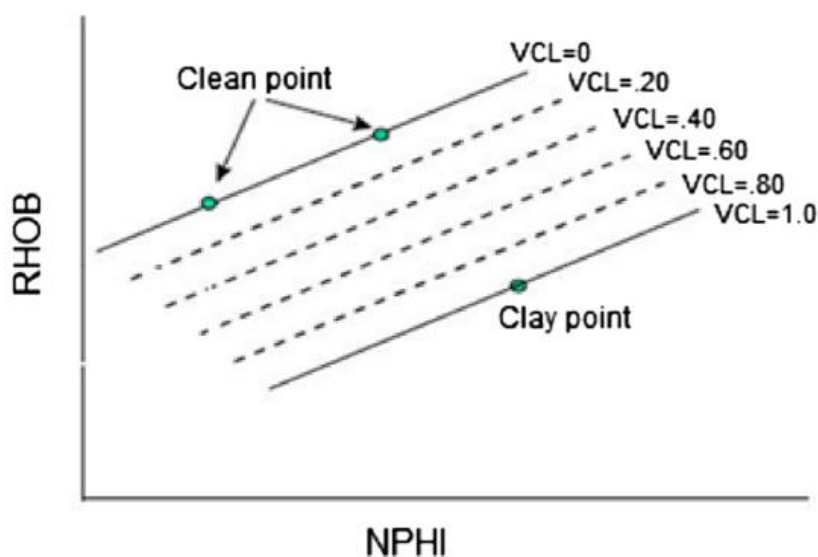


شکل ۳-۱- رابط کاربری نرم‌افزار 7 Geolog.

۳-۲-۲ تشخیص لیتولوژی

نمودارهای چاه‌نگاری برای تشخیص لیتولوژی استفاده می‌شوند. نمودارهای پرتو گاما کلی و طیفی، چگالی، نوترون و صوتی برای تشخیص نوع لیتولوژی در سازند که توسط چاه مورد مطالعه حفاری شده استفاده می‌شود. برای تشخیص محتوای حجم رس و یا به عبارتی دیگر حجم شیل در سازند، از نمودار پرتو گاما استفاده می‌شود. حجم لایه‌ی رس با استفاده از نگارهای اشعه‌ی گاما و یا ترکیبی از نگارهای اشعه‌ی گاما و چگالی- نوترونی محاسبه می‌گردد. زمانی که ترکیبی از شاخص‌های رسی مختلف استفاده شود، محاسبه‌ی حجم رس برای هر شاخص انجام شده و حجم نهایی رس در هر عمق، حداقل حجم رس برای شاخص‌ها

می‌باشد. در جاهایی که دو منحنی با هم تطابق نداشته باشند، نظر نهایی بر اساس دیگر شاخص‌های حجم رس اعم از نگارهای خود به خودی، مقاومت، صوتی و ... داده می‌شود. در شکل ۳-۲، نحوه‌ی محاسبه‌ی حجم رس با استفاده از منحنی متقاطع چگالی- نوترونی نشان داده شده است. نقاط تمیز به عنوان خط $VCL=0$ تعریف می‌شود. خط رس $VCL=1$ به موازات خط تمیز بوده و از نقطه‌ی رس عبور می‌کند. خطوط VCL به صورت موازات بین این دو خط رسم می‌شود.



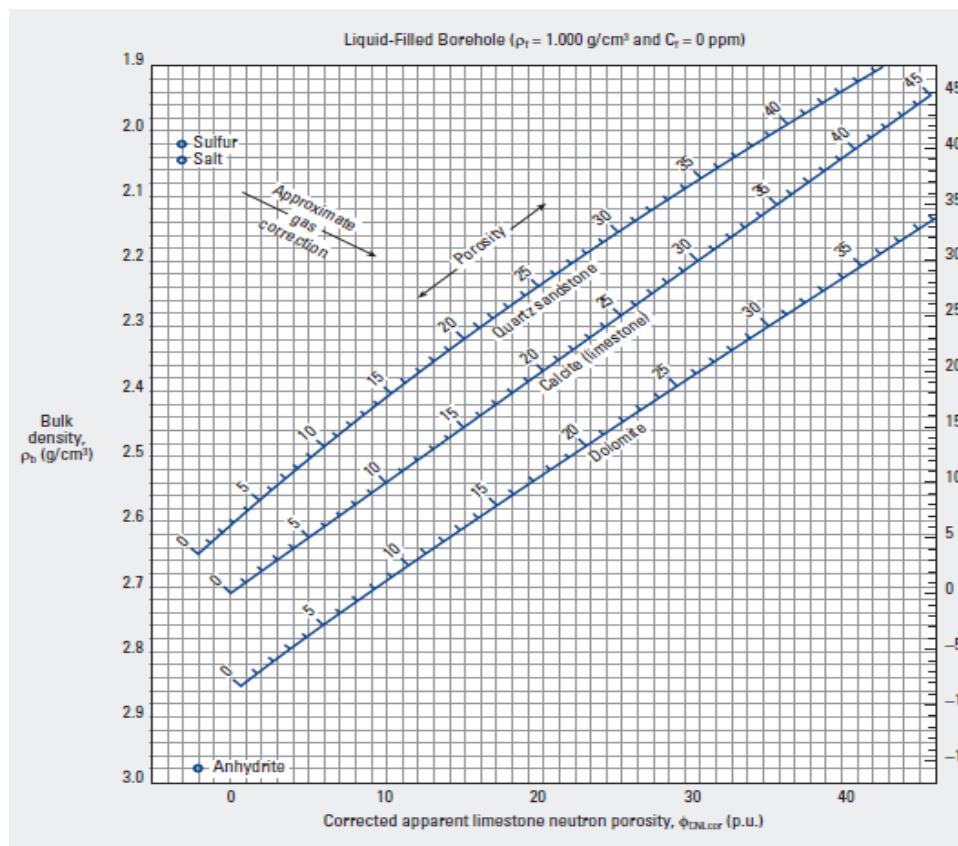
شکل ۳-۲- دیاگرام حجم رس محاسبه شده با استفاده از منحنی متقاطع چگالی- نوترونی (Kumar et al., 2018).

در این پژوهش به منظور تعیین حجم شیل از نمودار پرتو گاما استفاده می‌کنیم. به طوری که از بخش Determine نرم‌افزار Geolog بخش Shale Volume را انتخاب کرده و با انتخاب کردن نمودار پرتو گاما به عنوان ورودی و هم چنین وارد کردن مقادیر حداکثری و حداقلی پرتو گاما در چاه مورد مطالعه، حجم شیل را به صورت داده پیوسته در سراسر عمق نمودارگیری شده چاه محاسبه می‌کنیم. شکل ۳-۳ ورودی برای محاسبه حجم شیل براساس پرتو گاما در نرم‌افزار Geolog را نشان می‌دهد.

Parameters							
	Location	Mode	Comment	Unit	Name		Value
1	Constant	In_Out	Option for VSH from gamma ray	ALPHA*8	OPT_GR	P	LINEAR
2	Constant	In_Out	Gamma ray matrix (clean)	GAPI	GR_MA	P	
3	Constant	In_Out	Gamma ray shale	GAPI	GR_SH	P	
4	Constant	In_Out	Option to allow coal logic	LOGICAL	OPT_COAL	P	No
5	Log	Input	Gamma ray log	GAPI	GR	S	GR_COR
6	Log	Output	VSH from gamma ray	V/V	VSH_GR	S	VSH_GR
7	Log	Output	Limited volume of shale	V/V	VSH	S	VSH

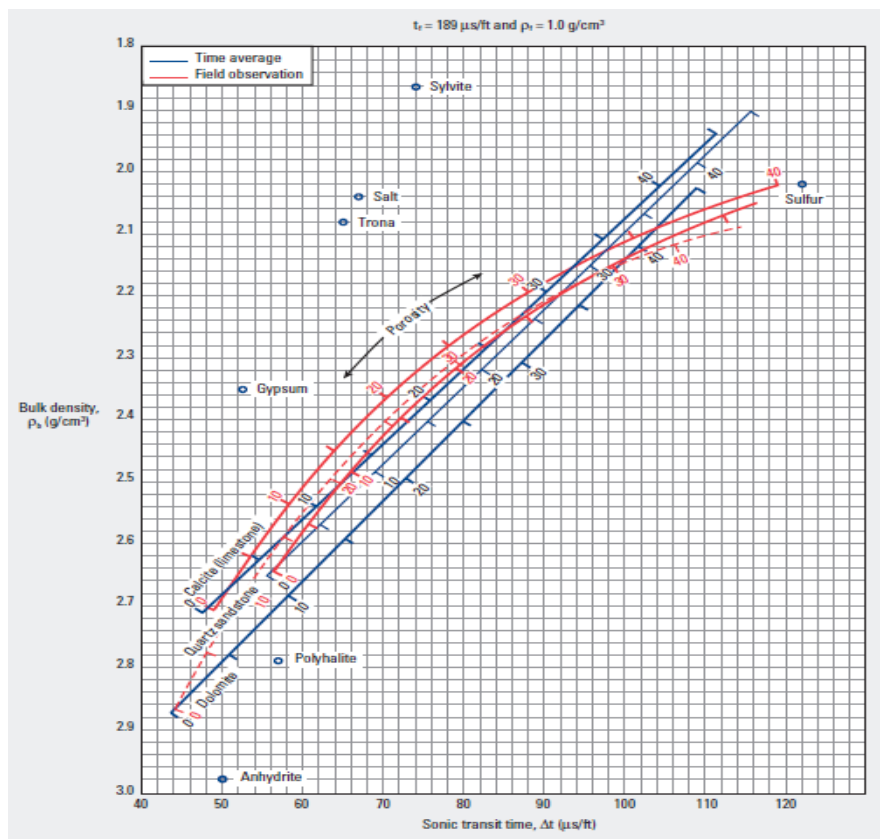
شکل ۳-۳- ورودی برای محاسبه حجم شیل براساس نمودار پرتو گاما.

برای تشخیص دیگر لیتولوژی‌ها شامل آهک، دولومیت و ماسه‌سنگ از نمودارهای نوترون، چگالی و صوتی استفاده می‌شود. بدین منظور از نمودارهای متقاطع نمودارهای نوترون- چگالی، صوتی- چگالی و نوترون- صوتی استفاده می‌شود. برای تشخیص نوع لیتولوژی براساس نمودار نوترون- چگالی از چارت استاندارد CP- ۱۵ که از مجموعه چارت‌های استاندارد شرکت شلومبرژه است، استفاده می‌شود. همان طور که شکل ۳-۴ نشان می‌دهد، سه نوع سنگ دولومیت، کلسیت و ماسه‌سنگ در آن مشخص شده است. با توجه به این که توزیع داده‌های نمودارهای نوترون و چگالی در چه فواصلی از این خطوط قرار می‌گیرد، لیتولوژی تعیین می‌شود. این نمودار همچنین می‌تواند برای تعیین تخلخل نیز استفاده شود. اعدادی که بر روی خطوط لیتولوژی نوشته شده است، مقدار تخلخل را نشان می‌دهد.

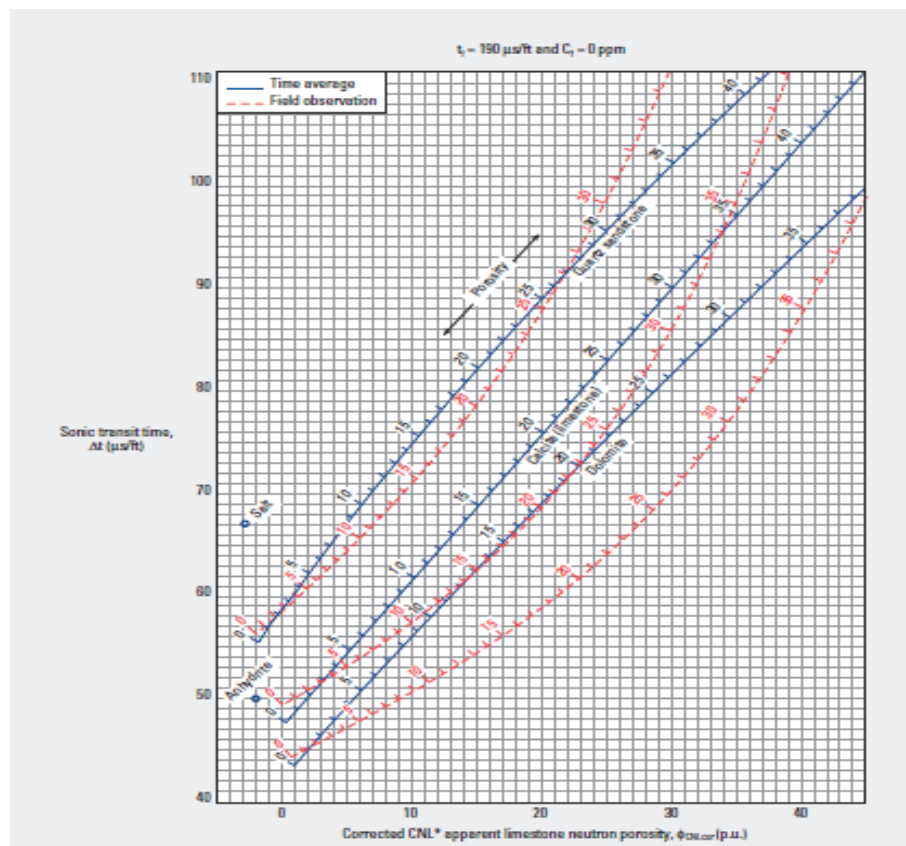


شکل ۳-۴- نمودار مدل سنگ‌شناسی تخلخل نوترونی- چگالی (چارت استاندارد CP-۱۵ شلومبرژه، ۲۰۰۴).

نمودار متقاطع صوتی- چگالی نیز برای تشخیص لیتولوژی استفاده می‌شود. ابتدا نمودار متقاطع سرعت عبور صوتی- چگالی در نرم‌افزار Geolog ایجاد می‌شود. توزیع نقاط حاصل از نمودارهای سرعت عبور صوتی و چگالی در چارت استاندارد CP-۷ از مجموعه چارت‌های استاندارد شرکت شلومبرژه برای تشخیص لیتولوژی استفاده می‌شود. شکل ۳-۵ در زیر چارت استاندارد CP-۷ را نشان می‌دهد. در این چارت نیز سه خط برای تفکیک لیتولوژی کلسیت، دولومیت و ماسه‌سنگ تعبیه شده است. با توجه به این که توزیع داده‌های نمودارگیری به چه صورت است، نوع لیتولوژی مشخص می‌شود. همچنین، اعداد نوشته شده بر روی خطوط لیتولوژی به منظور تعیین تخلخل استفاده می‌شود.



شکل ۳-۵- نمودار متقاطع سرعت عبور صوت- چگالی برای تشخیص لیتولوژی (چارت استاندارد CP-۷ شلومبرژه، ۲۰۰۴). علاوه بر دو نمودار متقاطع که در فوق ذکر شد، نمودار نوترون- صوتی نیز برای تشخیص لیتولوژی استفاده می‌شود. بدین منظور از چارت Por-۲۰ از مجموعه چارتهای استاندارد شلومبرژه استفاده می‌شود. توزیع داده‌های چاه مورد مطالعه برروی این نمودار متقاطع نوع لیتولوژی را مشخص می‌کند. این چارت مشابه دو چارت فوق دارای خطوط لیتولوژی است و برروی خطوط مقادیر تخلخل نیز ذکر شده که می‌توان میزان تخلخل را نیز قرائت کرد. شکل ۳-۶ این چارت استاندارد را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۶- نمودار متقاطع نوترون- سرعت عبور صوت (چارت استاندارد ۲۰-Por شلومبرژه، ۲۰۰۴).

۳-۲-۳ محاسبه اشباع سیال و تخلخل

در این بخش به نحوه محاسبه تخلخل و انواع آن در چاه مورد مطالعه پرداخته می‌شود. سپس به نحوه محاسبه اشباع سیالات اشاره می‌شود.

۳-۲-۱ محاسبه اشباع سیالات

از معادله‌ی آرچی^۱ برای به دست آوردن اشباع از آب از نمودارهای مقاومت ویژه استفاده می‌شود. مطابق با رابطه‌ی ۳-۲، S_{WT} اشباع آب کل، n توان اشباع، R_w مقاومت شورآب، a ثابت سیمانی آرچی، R_T مقاومت ویژه واقعی سازند، ϕ تخلخل کل و m توان سیمانی آرچی است.

$$S_{WT}^n = \frac{R_w \times a}{R_T \times \phi^m} \quad (۳-۲)$$

بدین منظور از بخش Determine نرم‌افزار Geolog رابطه آرچی را انتخاب کرده و با در نظر گرفتن مقدار مقادیر ۲ برای توان و فاکتور سیمان، مقدار اشباع از آب را محاسبه می‌کنیم. شکل ۳-۷ ورودی‌های لازم برای محاسبه اشباع از آب در نرم‌افزار Geolog از رابطه آرچی را نشان می‌دهد. به منظور تعیین اشباع هیدروکربن نفت و گاز، از بخش Multimin نرم‌افزار Geolog با ورودی نمودارهای مقاومتی، نوترون، چگالی و صوتی استفاده می‌کنیم.

Location	Mode	Comment	Unit	Name	Value
Constant	In_Out	Option for cementation exponent	ALPHA*8	OPT_M	P CONSTANT
Constant	In_Out	Cementation factor		M	P 2
Constant	In_Out	Saturation exponent		N	P 2
Constant	In_Out	Option for RW	ALPHA*8	OPT_RW	P MEASURED
Constant	In_Out	Resistivity of formation water	OHMM	RWS	P
Constant	In_Out	Temperature of RWS value	DEGF	RWT	P
Log	Input	True formation resistivity	OHMM	RT	S RT
Log	Input	Flushed zone resistivity	OHMM	RXO	S RXO
Log	Input	Limited total porosity	V/V	PHIT	S PHIT
Log	Input	Limited effective porosity	V/V	PHIE	S PHIE
Log	Input	Formation temperature	DEGF	FTEMP	S FTEMP
Log	Input	Mud filtrate resistivity	OHMM	RMF	S RMF
Log	Input	SWT irreducible	V/V	SWT_IRR	S 0
Log	Output	SWT from Archie	V/V	SWT_ARCH	S SWT_ARCH
Log	Output	Limited unflushed zone tot sat'n	V/V	SWT	S SWT
Log	Output	SWE from Archie	V/V	SWE_ARCH	S SWE_ARCH

شکل ۳-۷- ورودی‌های لازم برای محاسبه اشباع از آب با استفاده از رابطه آرچی در نرم‌افزار Geolog.

^۱ Archie

۲-۳-۲-۳ محاسبه تخلخل

تخلخل، کمیت اساسی مورد نیاز برای محاسبات حجمی مخزن و توصیف سنگ مخزن محسوب می‌شود. به طور معمول نمودارهای تخلخل شامل نمودارهای نوترون، چگالی، مقاومت ویژه و صوتی هستند. امروزه به کمک این نمودارها می‌توان نوع تخلخل را در مخازن تعیین کرد. نمودار انحراف سرعت که از تلفیق نمودار صوتی با نمودار نوترون - چگالی حاصل می‌شود، ابزاری است که توسط آن می‌توان اطلاعاتی راجع به انواع تخلخل غالب در کربنات‌ها بدست آورد. همچنین با استفاده از این نمودار می‌توان توزیع فضاها را خالی دیاژنتیکی را مشخص کرد. این نمودار با استفاده از داده‌های نمودار نوترون - چگالی و صوتی به طور مصنوعی ساخته می‌شود، به این ترتیب که ابتدا نمودار انحراف سرعت ساخته شده و سپس از روی مقادیر این لاگ و میزان انحراف آن به چپ یا راست، نوع تخلخل مشخص می‌شود. در نتیجه، برای محاسبه تخلخل در چاه مورد مطالعه از بخش Determine نرم‌افزار Geolog با استفاده از ترکیب دو نگار نوترون - چگالی استفاده می‌کنیم. برای ترسیم نمودار انحراف سرعت به صورت زیر عمل می‌کنیم:

ابتدا در نرم‌افزار Geolog تصحیحات محیطی نمودارهای نوترون و چگالی صورت گرفته، سپس حجم شیل که در مرحله قبل محاسبه کرده‌ایم، را استفاده می‌کنیم تا نمودارهای نوترون و چگالی از نظر تاثیر شیل^{۱-۳} وند. سپس از رابطه (۱-۳) برای محاسبه سرعت مصنوعی موج استفاده می‌کنیم.

$$DT_{syn} = Nphi(DT_{fl} - DT_{mat}) + DT_{mat}$$

در رابطه فوق DT_{mat} ، سرعت عبور صوت در ماتریکس، DT_{fl} ، سرعت عبور صوت در سیال، $Nphi$ میزان تخلخل حاصل از نگار نوترون و DT_{syn} زمان عبور صوت در سازند به صورت مصنوعی است. بهتر است در این رابطه به جای تخلخل حاصل از نوترون از تخلخل حاصل نوترون - چگالی که در مرحله قبل بدست آمده

استفاده کنیم. در نتیجه مقدار سرعت مصنوعی صوت از رابطه (۲-۳) محاسبه می‌شود (اصلانی و همکاران، ۱۳۹۲).

$$VP_{syn}=304.8/DT_{syn} \quad (۲-۳)$$

برای محاسبه سرعت واقعی از روی مقداری که نمودار چاه مورد مطالعه نشان می‌دهد، از رابطه (۳-۳) استفاده می‌شود (اصلانی و همکاران، ۱۳۹۲).

$$VP_{real}=304.8/DT_{log} \quad (۳-۳)$$

در نتیجه اختلاف بین سرعت واقعی و مصنوعی به منظور تشخیص نوع تخلخل استفاده می‌شود. این مقدار ΔV_p را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد (اصلانی و همکاران، ۱۳۹۲).

$$\Delta V_p = VP_{real} - VP_{syn}$$

برای تشخیص نوع تخلخل به صورت زیر عمل می‌کنیم:

۱- اگر مقدار انحراف سرعت محاسبه شده از رابطه (۴-۳) در بازه ۵۰۰- تا ۵۰۰+ باشد، نشان دهنده تخلخل از نوع بین ذره‌ای و بین بلوری است.

۲- اگر مقدار انحراف سرعت محاسبه شده از رابطه (۴-۳) در بازه مقادیری با مقدار بیشتر از ۵۰۰ باشد، تخلخل از نوع قالبی و درون فسیلی خواهد بود.

۳- اگر مقدار انحراف سرعت محاسبه شده از رابطه (۴-۳) در بازه مقادیری با مقدار کمتر از ۵۰۰- باشد، نشان دهنده سرعت‌های بسیار پایین یا زمان عبور موج به صورت طولانی هستند که دارای تراوایی زیاد هستند و ممکن است به دلیل شکاف یا حضور گاز رخ دهد. بنابراین ارتباطی با لیتولوژی ندارند.

به این ترتیب نوع تخلخل با استفاده از نمودار انحراف سرعت محاسبه کرد (اصلانی و همکاران، ۱۳۹۲).

۳-۳ رخساره‌های الکتریکی

برای دستیابی به حداکثر برداشت از یک مخزن، تلفیق داده‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی امری ضروری است. به دلیل در دسترس نبودن مغزه برای تمام چاه‌های یک میدان، امروزه مطالعه داده‌های زیر سطحی مانند نمودارهای الکتریکی و شناسایی رخساره‌های الکتریکی و تلفیق این داده‌ها با داده‌های زمین‌شناسی به یکی از کاربردی‌ترین مطالعات یک مخزن تبدیل شده است (توکلی و امینی، ۲۰۰۹).

از رخساره‌ها در مواردی مانند تفکیک بخش‌های مخزنی از غیرمخزنی، جایگزین گروه‌های سنگی در مدل‌های مخزنی و تطابق سازندی در سطح میدان استفاده می‌گردد. تعیین این رخساره‌ها ممکن است به صورت استخراج لیتولوژی از برخی نمودارها یا بر اساس شکل نمودارها (مانند استفاده از شکل نمودار گاما در تشخیص سنگ شناسی) صورت گیرد، اما متداول‌ترین روش، استفاده ترکیبی از مشخصه‌های فیزیکی اندازه‌گیری شده در روی نمودارهای مختلف است. الگوی دسته‌بندی رخساره‌ها بر اساس نمودارهای چاه‌پیمایی در تمام روش‌های دسته‌بندی براین اساس است که داده‌های موجود در یک گروه بیشترین شباهت را با هم و کمترین شباهت را با داده‌های گروه‌های دیگر داشته باشند. در نتیجه این شباهت‌های درون گروهی و تفاوت‌های بین گروهی، سبب دسته‌بندی محدوده‌های قرائت نمودارهای مورد استفاده خواهد شد و این محدوده‌های دسته‌بندی شده در توالی، موجب تفکیک رخساره‌های زمین‌شناسی و مخزنی می‌شوند (Mamgain et al., 2011).

۴-۳ تعیین رخساره الکتریکی با استفاده از خوشه‌بندی

تعیین رخساره‌های الکتریکی در سازندهای مخزنی از مطالعات رایج در زمینه توصیف خصوصیات مخازن هیدروکربنی به حساب می‌آید. روش‌های خوشه‌سازی امروزه از بهترین روش‌ها برای شناسایی رخساره‌های

الکتریکی مخزن به‌شمار می‌روند. این روش‌ها هم می‌توانند با نظارت اطلاعات دیگری از مخزن رخساره‌ها را شناسایی کنند هم می‌توانند بدون ناظر، توالی مخزن را به رخساره‌های مختلف با ویژگی‌های مختلف دسته‌بندی نمایند. خوشه‌بندی داده‌ها، پایه و اساس الگوریتم‌های مدل‌سازی و دسته‌بندی محسوب می‌شود. هدف از این فرآیند تعریف گروه‌های طبیعی و اساسی کوچک از یک گروه بزرگ داده‌ها محسوب می‌شود. رخساره الکتریکی بر مبنای خوشه‌بندی داده‌ها تعریف می‌شود. هدف از خوشه‌بندی، گروه‌بندی داده‌های نگارهای مشابه و متمایز ساختن این گروه‌ها از سایر گروه‌ها می‌باشد. بیشتر روش‌های خوشه‌سازی، ساختارهای بیضوی ایجاد می‌کنند اما نمی‌توانند خوشه‌های با شکل‌های گوناگون را تشخیص دهند و نمایان سازند. روش‌های دسته‌بندی چند بعدی موجود را می‌توان به روش‌های متریک و روش‌های آماری تقسیم کرد. روش‌های متریک از مفهوم یکسانی بین نقاط، جایی که اغلب از فاصله اقلیدسی استفاده می‌شود، بهره می‌برد. به طور کلی تلاش می‌شود تا معیار بهینه‌ای برای بیشینه‌سازی میزان پراکندگی بین دسته‌ها ایجاد شود، درحالی‌که پراکندگی داخل دسته‌ها کمینه بماند. روش‌های متریک شامل موارد زیر هستند:

۱. روش‌های سلسله مراتبی

۲. روش‌های بهینه‌سازی پراکنده

روش‌های آماری تابع‌های چگالی احتمال (^۱PDF) بنیان توزیع مشاهده شده را تحلیل می‌کند. هر خوشه مرتبط با یک مد^۲ است. این روش‌ها تلاش می‌کنند تابع‌هایی که این مدها را تشریح می‌کنند به دست آورند. به‌طور کلی این روش‌ها دو دسته‌اند:

۱. پارامتری

^۱ Probability Density Function

^۲ Mode

۲. غیرپارامتری

روش پارامتری نیازمند فرضیه‌های اولیه محدودکننده مانند دانش درباره تعداد خوشه‌ها و یک میزان PDF اولیه است. روش ناپارامتری هیچ دانش قبلی درباره ساختار توزیع داده تحلیل شده ندارد. در نتیجه این روش توانایی تشخیص خوشه‌هایی با شکل‌های گوناگون را دارد اما به بینظمی توزیع داده‌های مورد استفاده بسیار حساس است. به‌طور خلاصه سه گرایش پژوهشی ناپارامتری زیر وجود دارد:

۱. روش‌هایی بر پایه تقسیم فضای مشاهده به مکعب‌های چند بعدی

۲. همسایه نزدیک K ام (KNN^1)

۳. روش‌های بر اساس نمودار

روش KNN ثابت نگه‌داشتن تعداد همسایه را، به‌جای فضا، پیشنهاد می‌دهد. این روش امکان ثبت و بررسی دسته‌های با اندازه کوچک و چگالی بسیار متفاوت را فراهم می‌آورد. با وجود این قدرت برآورد به‌صورت نمایی متناسب با تعداد نقاط داده است. به همین علت، تعداد کمی از روش‌های خوشه‌سازی براساس KNN عمل می‌کنند. امروزه روش‌های مختلفی از جمله روش شبکه خود سازمانده (SOM^2)، روش سلسله مراتبی (AHC^3)، روش خوشه‌بندی پویا ($DYNCLUST^4$) و روش MRGC برای خوشه‌بندی داده‌ها ارائه شده است که در مورد هر کدام توضیح مختصری داده می‌شود. روش SOM یک روش غیر پارامتریک است که نقشه‌های خود را از بین داده‌های با ابعاد فضایی پراکنده و چند بعدی که ارتباط غیرخطی با یکدیگر دارند، در دو بعد ایجاد می‌کند. سپس بر اساس تعداد واحد نقشه‌های دو بعدی ایجاد شده، تعداد خوشه‌بندی نهایی

¹ K-Nearest Neighbor

² Self-organizing map

³ Ascendant hierarchical clustering

⁴ Dynamic clustering

ایجاد می‌شود (زحمت‌کش و همکاران، ۱۳۹۴). با استفاده از روش AHC می‌توان در ابعاد نامتناهی فضایی، خوشه ساخت. اما خوشه‌های ساخته شده حداکثر در سه بعد فضایی قابل مشاهده خواهند بود. مثلاً اگر لاگ نوترون و صوتی را برای ساخت خوشه به کار ببریم فقط در دو بعد فضایی خوشه تشکیل می‌شود اما اگر مجموعه کاملی از لاگ‌ها شامل نوترون، صوتی، اشعه گاما، چگالی و مقاومت را به کار ببریم در پنج بعد فضایی خوشه‌ها ساخته خواهد شد که بیش از سه بعد آن را نمی‌توان مشاهده کرد. در روش خوشه‌بندی DC از ابتدا تعداد خوشه‌ها مشخص بوده و با استفاده از مفهوم فاصله، داده‌ها در خوشه‌های مختلف قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر در ابتدا نقطه‌ای به عنوان مرکز خوشه در نظر گرفته می‌شود. سپس فاصله تمام نقاط با نقطه مورد نظر محاسبه شده و نقطه جابه‌جا می‌گردد. این فرایند آنقدر ادامه می‌یابد تا فاصله بین نقاط داخل یک خوشه به حداقل و فاصله بین خوشه‌های مجاور به حداکثر برسد (معلمی و همکاران، ۱۳۹۵).

براساس روش KNN، گن^۱ و نمایش داده تصویری یک روش خوشه‌بندی ایجاد شده است با نام خوشه‌سازی براساس نمودار با تفکیک‌پذیری چندتایی (MRGC) که برای پاسخگویی به نیاز تجزیه و تحلیل داده‌نگار به کار می‌رود. روش خوشه‌بندی MRGC یک روش خوشه‌بندی قوی است. روش MRGC یک روش نوین و قدرتمند برای دسته‌بندی است. خوشه‌سازی براساس نمودار با تفکیک‌پذیری چندتایی یک روش آماری غیرپارامتریک است که مشکل وابستگی به بُعد را از بین می‌برد و اطلاعات مفیدی در مورد رخساره‌های زمین‌شناسی از ساختار خود داده به دست می‌آورد این روش می‌تواند بهینه‌ترین دسته‌ها را در بین حدود پایینی و بالایی از قبل تعیین شده ارائه دهد. روش MRGC مبتنی بر تشخیص الگوی نقطه‌ای چندبعدی بر مبنای نزدیک‌ترین همسایگی و نمایش گرافیکی داده‌هاست. در واقع این روش تلفیقی از روش هوش

^۱ Gan

مصنوعی و روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی است. در این روش دو اندیس اضافه شده است که شامل شاخص KRI و NI می‌باشد. NI پارامتر شاخص همجواری مشخص می‌کند که هر نقطه از مجموع یک داده به قله یا قعر تابع چگالی احتمالی داده‌ها نزدیک است. با استفاده از این تابع نمایی کاهنده و شماره همسایگی هر نقطه نسبت به نقاط دیگر مجموعه مقادیر و نرمال سازی آن بین (۰ تا ۱) نشانه نزدیک بودن به قله را دارد. KRI پارامتر شاخص کرنل است. این شاخص برای تعیین نقاط مستعد برای نمایندگی به عنوان هسته یا مرکز خوشه است. با کمک NI قله و قعر موجود در مجموع داده را می‌توان مشخص کرد. اما برای تعیین بهینه تعداد خوشه‌ها لازم است تا میزان معرف بودن هر قله نسبت به مجموعه داده‌ها سنجیده شود برای این منظور از شاخص KRI استفاده می‌شود (آقچه لو همکاران، ۱۳۹۲).

در اینجا به تشریح این روش و مقایسه آن با روش گن پرداخته می‌شود:

گن یک رابطه همسایگی دوسویه ابداع کرد و آن را شاخص مرزی (BI) نامید. این شاخص برای تشخیص اینکه آیا یک نقطه به میزان مد به صورت نسبی نزدیک است. به صورت زیر محاسبه می‌شود:

فرض کنید x یک عضو از سری S و y ، n امین همسایه نزدیک (NN) در میان عضوهای S و k بزرگتر مساوی n است. ما مرتبه محدود شده نقطه x را با توجه به همسایه نزدیک n ام آن، y ، به این صورت تعریف می‌کنیم:

اگر x ، n امین همسایه نزدیک y باشد:

$$\sigma'_n(x) = m \quad (5-3)$$

اگر x عضوی از سری KNN مقدار y باشد:

$$\sigma'_n(x) = b \quad (6-3)$$

در جایی که $N = \text{Card}(s)$ و $K+1 < b < N-1$ به بیان دیگر، اگر x و y همسایگانی دو سویه باشند، σ_n مرتبه در x KNN مقدار y است. در غیر اینصورت σ_n برابر با مقدار b است. b را می توان به صورت یک برآورد از مرتبه آن در نظر گرفت در عمل، b را برابر $1+K$ قرار می دهند. با توجه به هر کدام از مقادیر KNN آن، x دارای یک مرتبه محدود شده $\sigma_n(x)$ است در جایی که $n = 1, 2, 3, \dots, K$

فرض کنید:

$$S(x) = \sum_{n=1}^K \sigma'_n(x) \quad (7-3)$$

$$S_{\max} = \text{Max}\{S(X_i)\}, \quad i = 1, n \quad (8-3)$$

$$S_{\min} = \text{Min}\{S(X_i)\}, \quad i = 1, n \quad (9-3)$$

در نتیجه:

$$BI(x) = \frac{S(x) - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}} \quad (10-3)$$

همچنین BI به شاخص همسایگی (NI) تعمیم داده می شود در جایی که σ_n با یک تابع هموار نمایی و یک اندازه پنجره شبه نامحدود ($N-1$)، که میزان اندازه سری داده است)، جایگزین می شود:

$$\sigma_n = \exp(-m/\alpha) \quad (11-3)$$

که x ، m آمین مقدار NN ، y است که $m < N-1$ و $\alpha > \sigma_n$ یک تابع اکیداً نزولی است که از مقدار 0 تا 1 تغییر می کند. وقتی $m=0$ ، σ_n برابر 1 است. هر چه مقدار m بزرگتر باشد، تابع به صفر نزدیکتر است؛ اما σ_n هیچوقت صفر نمی شود.

روش MRGC این عقیده جدید را مطرح می‌کند و به کاربر چندین عدد بهینه از خوشه‌ها را که تفکیک‌پذیری متفاوتی از دسته‌ها است، پیشنهاد می‌کند. به علاوه، نتایج MRGC به صورت سلسله‌مراتبی مرتب می‌شوند، به گونه‌ای که دسته‌های با تفکیک‌پذیری بیشتر، زیرمجموعه‌ای از دسته‌های با تفکیک‌پذیری کمتر هستند. این تفکیک‌پذیری چندگانه با خصوصیت سلسله‌مراتبی کمک زیادی در تفسیر رخساره الکتریکی می‌کند مدها و چاله‌های محلی را می‌توان به راحتی با استفاده از NI مشخص کرد. با این وجود، به منظور تشخیص تعداد بهینه دسته‌ها، لازم است که میزان نمایشگری هر مد نسبت به کل مجموعه داده تعیین شود (آقچه‌لو همکاران، ۱۳۹۲).

میزان نمایشگر بودن هر نقطه برای اینکه دسته باشد را مشخص کنیم که شاخص نمایشگری هسته (KRI) نامیده می‌شود. دسته‌های نهایی با ترکیب مدهای محلی تشکیل می‌شوند. NI یک فاکتور مهم برای KRI است، اما فقط یک شاخص محلی می‌باشد. در نتیجه دو فاکتور دیگر نیز معرفی می‌شود: تعداد همسایه‌ها و فاصله‌ای که در آن یک نقطه، نقطه دیگری را که مقدار NI بالاتری دارد می‌یابد. فرض کنید $NI(x)$ میزان NI در نقطه x باشد و y اولین همسایه x است که در آن $NI(x) < NI(y)$ است. KRI نقطه x به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$KRI(x) = NI(x)M(x,y)D(x,y) \quad (۱۲-۳)$$

در جایی که:

$$M(x,y) = m \quad (۱۳-۳)$$

اگر y ، m آمین همسایه x و $D(y,x)$ فاصله بین x و y است. فاکتور NI به ما اجازه می‌دهد که هسته یک مد را تشخیص دهیم؛ M و D ، اهمیت و گسترش این مد را نسبت به کل مجموعه داده نشان می‌دهد. عدد همسایه‌ها، M ، تمایل به ایجاد دسته‌هایی با اندازه معادل هم دارد؛ و فاصله D ، دسته‌های نامتناقص و سازگار

ایجاد می‌کند. بنابراین سومین مانع پیشروی روش گن که در بالا به آن اشاره شد؛ این است که این روش نمی‌تواند دسته‌های سازگار برای مجموعه داده‌هایی با دسته‌هایی با اندازه‌های به شدت نامتوازن، ایجاد کند (آقچه لو همکاران، ۱۳۹۲).

روش خوشه‌سازی براساس نمودار با تفکیک‌پذیری چندتایی (MRGC)، روش ناپارامتری است که ترکیبی از روش KNN و روش‌های نمایش داده به صورت نمودار است که مزایای هر دو مورد را برای تعیین دسته‌ها (خوشه‌ها) در مجموعه داده‌ای با ابعاد دلخواه و ساختار پیچیده، استفاده می‌کند (آقچه لو همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به مزایای روش خوشه‌بندی MRGC نسبت به سایر روش‌های خوشه‌سازی، در مطالعه‌ی حاضر از این روش برای تعیین رخساره‌های الکتریکی استفاده شده است. مزیت این روش به سایر روش‌ها این است که مشکل وابستگی به بُعد را از بین می‌برد و اطلاعات مفیدی از ساختارهای زمین‌شناسی با استفاده از ساختار خود داده‌ها به دست می‌آورد. همچنین این روش برای تعیین و شناخت رخساره‌های الکتریکی با استفاده از تلفیق خوشه‌بندی طراحی شده است. در نتیجه با نسبت دادن خصوصیات زمین‌شناسی خاص براساس سایر داده‌ها حاصل شده در مواردی که دسترسی به آن‌ها میسر است، می‌توان این خصوصیات را به چاه‌های مجاور دربرگیرنده همان رخساره نسبت داده و با استفاده از داده‌های نگار و آنالیز عددی بسیار سریع به نتایج قابل قبولی دست یافت. شکل ۳-۸ الگوی اجرای این روش را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۸- الگوی اجرایی مراحل خوشه‌بندی به روش MRGC.

در این پژوهش با استفاده از ماژول Facies Image موجود در نرم‌افزار Geolog رخساره‌های الکتریکی مخزن مورد مطالعه با وارد کردن نگارهای ورودی پرتو گاما، نوترون، چگالی و صوتی بدست می‌آید. سپس با کمک روش MRGC خوشه‌بندی می‌شوند.

۳-۵ جمع‌بندی

این تحقیق به دنبال تشخیص نوع تخلخل و توزیع رخساره‌های الکتریکی می‌باشد. بنابراین، با استفاده از نمودارهای چاه‌نگاری چاه مورد مطالعه و به کمک نرم‌افزار Geolog لیتولوژی، انواع تخلخل، اشباع از آب و توزیع رخساره الکتریکی محاسبه و تجزیه تحلیل می‌گردند. تجزیه تحلیل نتایج در فصل چهارم مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

فصل چهارم: تجزیه و تحلیل نتایج

۴-۱ مقدمه

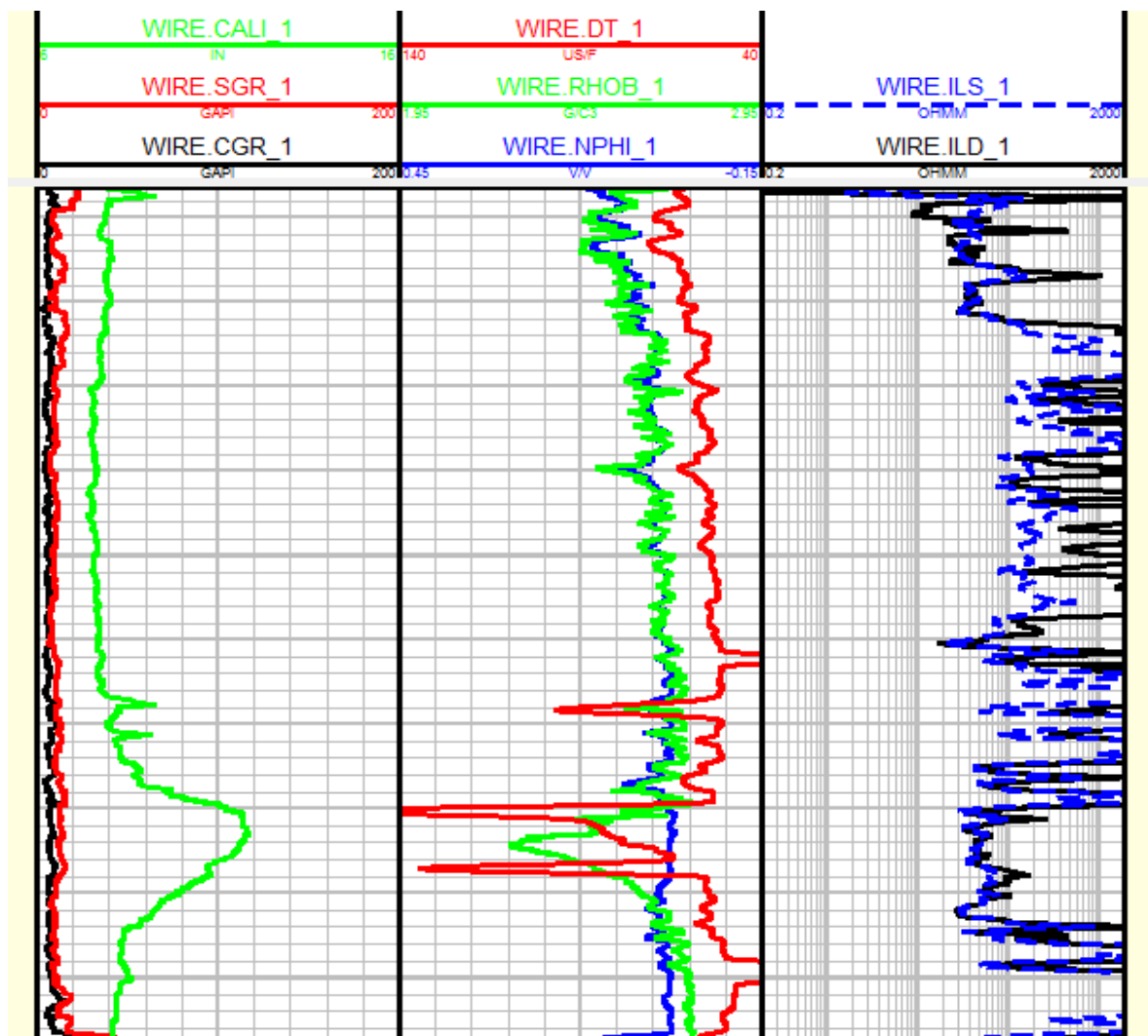
در این فصل به تجزیه تحلیل و بیان نتایج حاصل از روش‌ها و ابزار مطرح شده در فصل سوم که با هدف تعیین لیتولوژی، نوع تخلخل و رخساره‌های الکتریکی بوده است، پرداخته می‌شود. در نهایت مدل پتروفیزیکی در چاه مورد مطالعه ارائه می‌شود.

۴-۲ ارائه داده‌های نمودارگیری چاه مورد مطالعه در نرم‌افزار Geolog

داده‌های یکی از چاه‌های منطقه مورد مطالعه (در فصل سوم معرفی شد) به فرمت las در اختیار قرار گرفت. این داده شامل نمودارهای قطر دهانه چاه^۱، پرتو کلی و طیفی گاما، نوترون، چگالی، صوتی، مقاومت ویژه الکتریکی برد بلند، مقاومت ویژه الکتریکی برد کوتاه و پتانسیل خودزا بود. شکل ۴-۱ بخشی از نمودار چاه‌پیمایی در چاه مورد مطالعه را به عنوان داده‌های ورودی نشان می‌دهد. همان طور که شکل ۴-۱ نشان می‌دهد، نگار پرتو گاما محاسبه شده (CGR) و پرتو طیفی گاما (SGR) به ترتیب با رنگ‌های سیاه و قرمز در ستون اول سمت چپ قرار داده شده است. بازه تغییرات پرتو گاما از ۰ تا ۲۰۰ API در نظر گرفته شده است. همان طور که شکل ۴-۱ نشان می‌دهد، در چاه مورد مطالعه میزان حداکثری پرتو گاما مقدار کمی دارد و این نشان می‌دهد، محتوی شیلی در این بخش از سازند که چاه مورد مطالعه از آن عبور کرده است کم است. نگار تغییرات قطر دهانه چاه (CALI) نیز با رنگ سبز در کنار نگارهای گاما قرار داده شده است. بازه تغییرات آن از ۶ تا ۱۶ اینچ در نظر گرفته شده است. در بخشی از عمق چاه مورد مطالعه این نگار مقدار زیاد را نشان می‌دهد که نشان دهنده سازند سست و ریزشی می‌باشد. از طرفی نگارهای تخلخلی را که مشاهده می‌کنیم می‌توان دید که لاگ‌های صوتی و چگالی از خود واکنش نشان داده‌اند که با توجه با

^۱ Caliper

افزایش لاگ کلیپر می‌توان گفت که این محدوده شامل یک شکستگی بوده است همچنین با توجه به اینکه نگار نوترون سمت راست نگار چگالی قرار گرفته است می‌توان تشخیص داد که لیتوژی ما در این محدوده از نوع ماسه سنگی است. نگارهای تخلخلی شامل نوترون (NPHI)، چگالی (RHOB) و صوتی (DT) به ترتیب با رنگ‌های آبی، سبز و قرمز در ستون وسط قرار داده شده است. می‌توان گفت که هر وقت نگار چگالی و نوترون روی هم قرار دارند سازند ما آهکی، زمانی که نوترون سمت راست چگالی قرار بگیرد لیتوژی ما از نوع ماسه سنگی و زمانی که برعکس شود یعنی نوترون سمت چپ نگار چگالی قرار بگیرد لیتوژی ما دولومیت است. نگارهای مقاومت ویژه الکتریکی برد کوتاه (ILS) و برد بلند (ILD) به ترتیب با رنگ‌های آبی و سیاه در ستون سمت راست اول قرار داده شده است. در شکل پایین مشاهده می‌کنیم که نگارهای مقاومت ویژه الکتریکی ما مقاومت زیادی را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که مقیاس نمودار برای نگارهای مقاومت ویژه الکتریکی به صورت لگاریتمی است و برای سایر نگارها مقیاس خطی است. همچنین، داده‌ها از چاهی با نام AA-888 و از عمق ۱۱۲۸۲/۸۰۸ فوت (۳۴۳۹ متر) تا ۱۳۶۹۳/۸۰۲ فوت (۴۱۷۳/۸ متر) است.



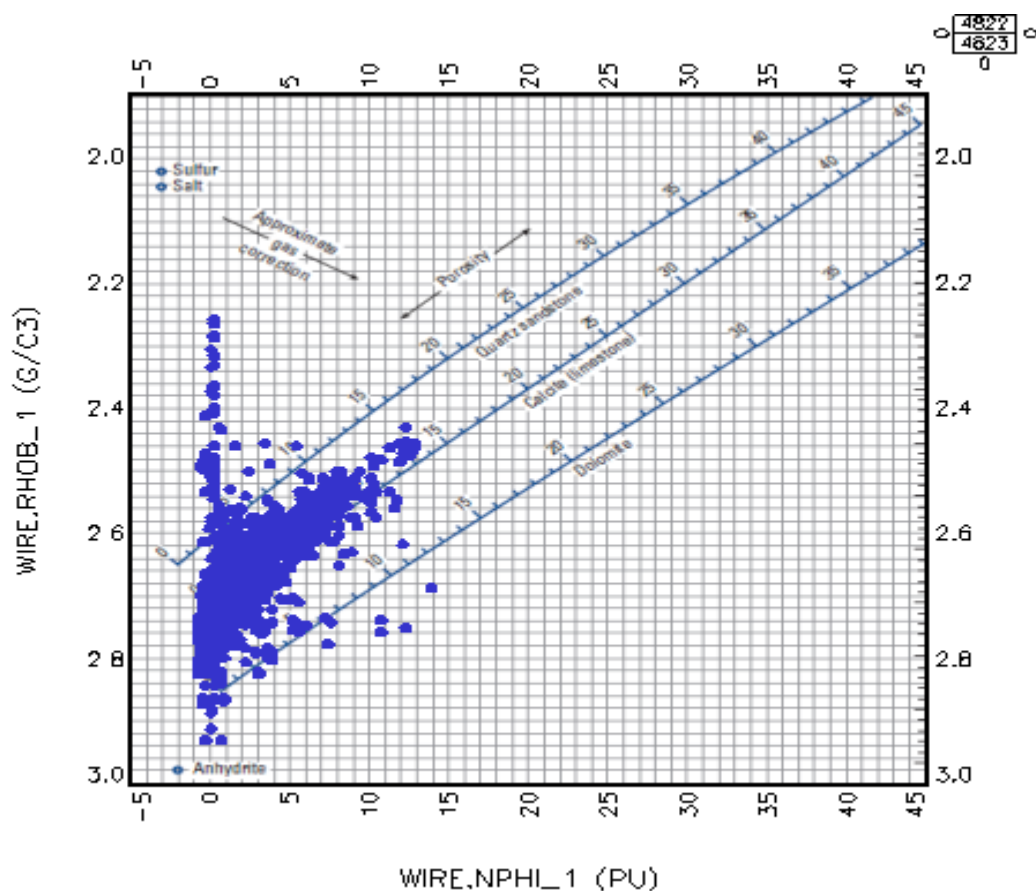
شکل ۴-۱- بخشی از نمودارهای چاه‌پیمایی چاه مورد مطالعه.

۴-۳ تعیین لیتولوژی

همان طور که در فصل سوم بیان شد، از سه نمودار متقاطع نوترون-چگالی، صوتی-چگالی و نوترون-صوتی و به کمک چارت‌های استاندارد شرکت شلومبرژه نوع لیتولوژی در چاه مورد مطالعه تعیین شد. ادامه نتایج هریک از نمودارها ذکر می‌شود.

۴-۳-۱ تعیین لیتولوژی با نمودار متقاطع نوترون- چگالی

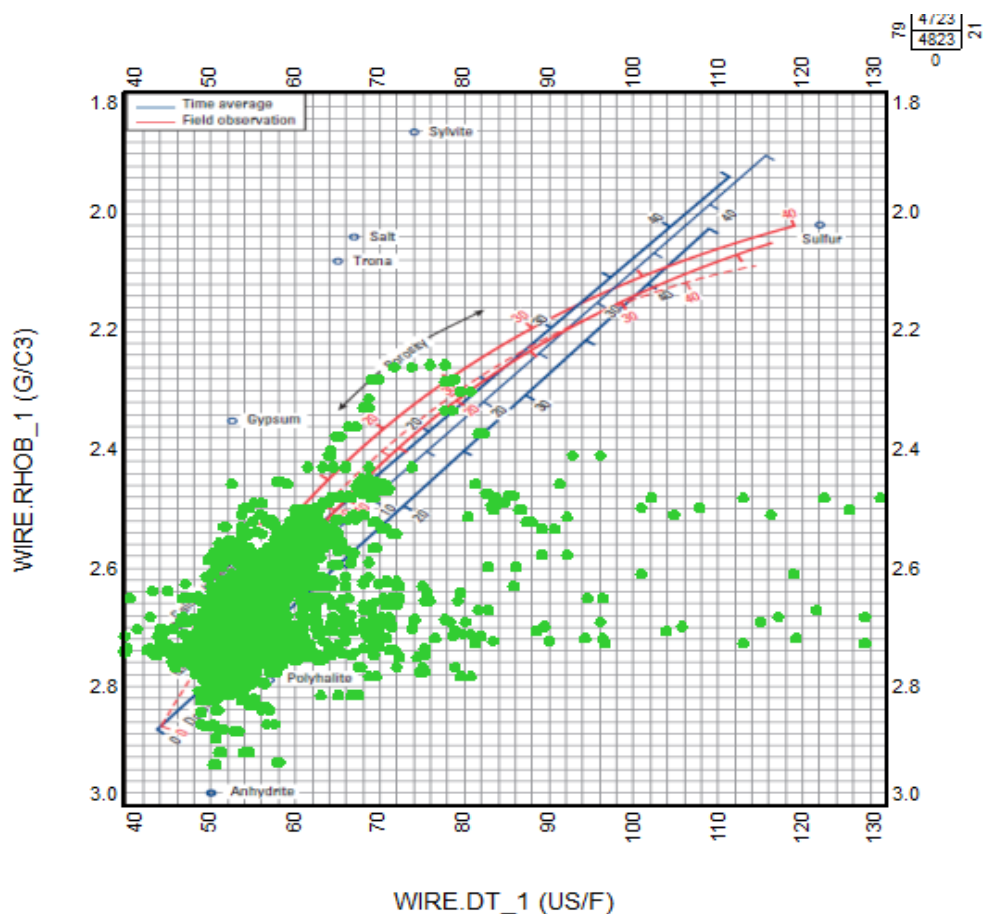
همان طور که شکل ۴-۲ نشان می‌دهد، داده‌های چاه مورد مطالعه بر اساس نمودار متقاطع چگالی- نوترون رسم شد. محور افقی نگار نوترون و محور عمودی نگار چگالی را نشان می‌دهد. سپس چارت استاندارد CP- ۱۵ بر آن اعمال شد. در هر چارت خطوطی وجود دارند که نشان دهنده نوع لیتولوژی دولومیت، آهک و ماسه سنگ هستند همچنین از روی هر خط می‌توان درصد تخلخل را محاسبه کرد. نتایج نشان می‌دهد که لیتولوژی در چاه مورد مطالعه از نوع مقدار بسیار کم دولومیت، زیاد کلسیت یا سنگ آهک و مقداری ماسه‌سنگ است. همچنین با توجه به این نمودار، مقدار تخلخل در بازه ۲ تا ۱۲ درصد قرار دارد.



شکل ۴-۲- نمودار متقاطع نوترون- چگالی برای شناسایی لیتولوژی.

۲-۳-۴ تعیین لیتولوژی با نمودار متقاطع صوتی - چگالی

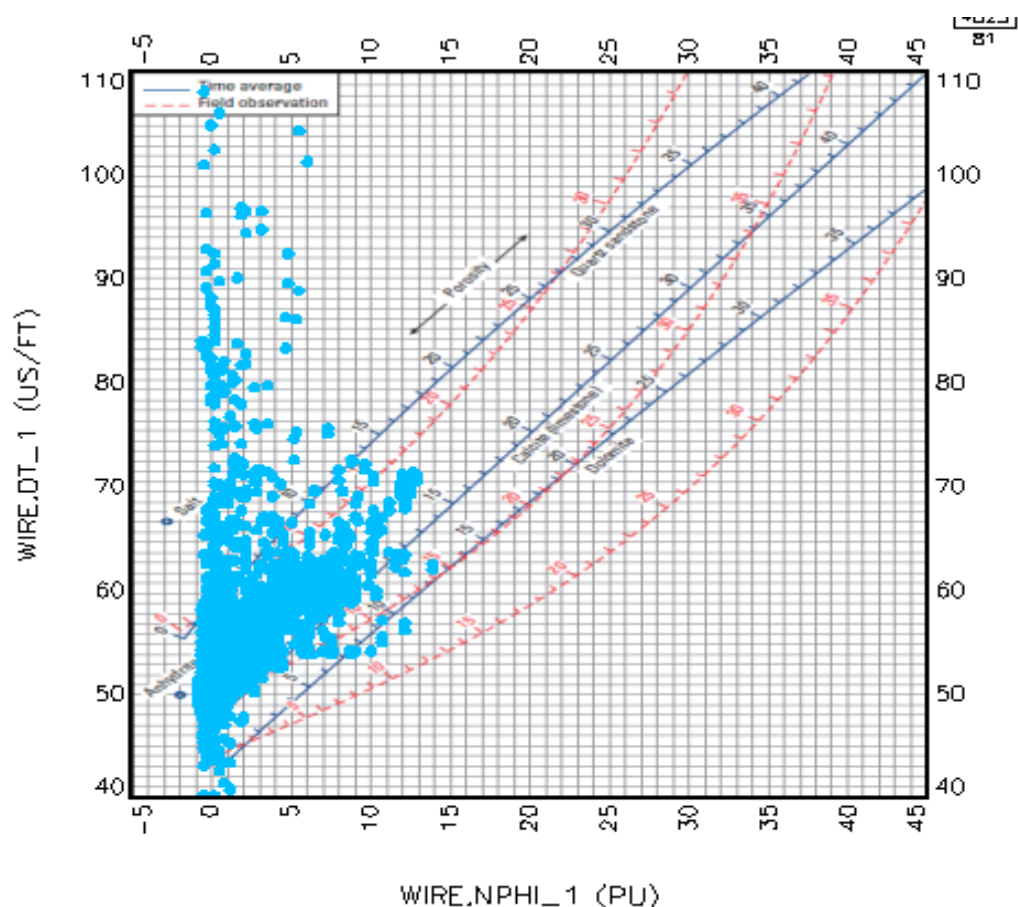
همان طور که شکل ۳-۴ نشان می‌دهد، نمودار متقاطع صوتی- چگالی برای چاه مورد مطالعه رسم شد. محور افقی ما نگار صوتی و محور عمودی نگار چگالی را نشان می‌دهد. سپس چارت استاندارد CP-۷ بر آن اعمال شد. همان طور که توزیع داده‌ها در شکل ۳-۴ نشان می‌دهد، بیشتر تمرکز داده‌ها در محدوده لیتولوژی سنگ آهک و ماسه‌سنگ و تمرکز تعداد کمتر داده در محدوده دولومیت است. بنابراین بر اساس نمودار متقاطع صوتی- چگالی، لیتولوژی سازند حفاری شده در چاه مورد مطالعه بیشتر از نوع سنگ آهک و ماسه‌سنگ است و مقدار دولومیت آن کم است. همچنین، میزان تخلخل آن در بازه ۵ تا ۱۰ درصد است.



شکل ۳-۴- نمودار متقاطع صوتی- چگالی برای تشخیص لیتولوژی.

۳-۳-۴ تعیین لیتولوژی با نمودار متقاطع نوترون- صوتی

همان طور که شکل ۴-۴ نشان می‌دهد، نمودار متقاطع نوترون- صوتی برای چاه مورد مطالعه رسم شد. محور افقی نگار نوترون و محور عمودی نگار صوتی را نشان می‌دهد. سپس چارت استاندارد Por-۲۰ بر آن اعمال شد. همان طور که توزیع داده‌ها در شکل ۴-۴ نشان می‌دهد، بیشترین بازه داده‌ها در محدوده لیتولوژی سنگ آهک و ماسه‌سنگ قرار دارد و مقدار بسیار کمی از داده‌ها لیتولوژی دولومیت را نشان می‌دهند. همچنین، توزیع تخلخل با توجه به این نمودار، در بازه ۱ تا ۱۵ درصد قرار دارد.

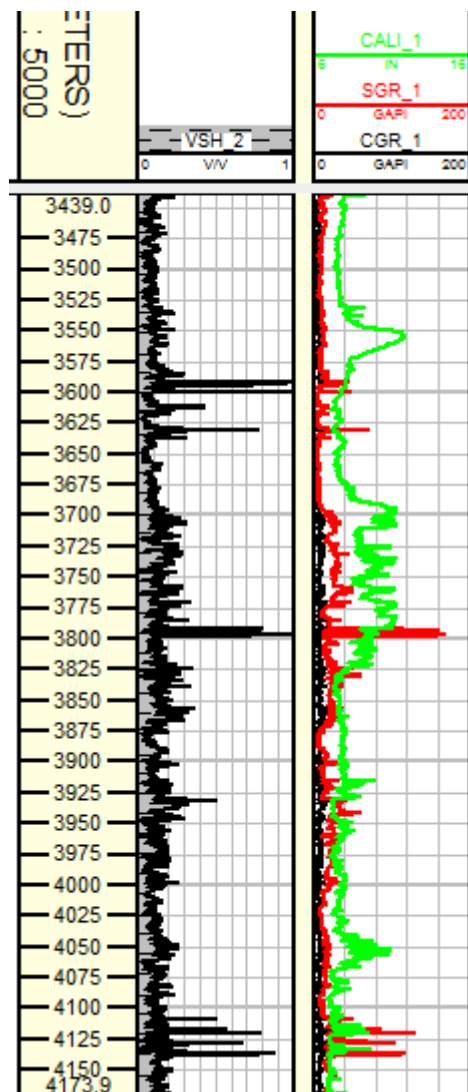


شکل ۴-۴- نمودار متقاطع نوترون- صوتی برای تشخیص لیتولوژی.

با توجه به نتایجی که از تحلیل سه نمودار متقاطع فوق بدست آمده است، به نظر می‌رسد لیتولوژی در سازند حفاری شده در چاه مورد مطالعه به طور عمده از نوع آهک و ماسه‌سنگ است و مقدار دولومیت آن بسیار اندک است. همچنین توزیع تخلخل آن در بازه ۱ تا ۱۵ درصد می‌باشد.

۴-۳-۴ تعیین توزیع حجمی شیل

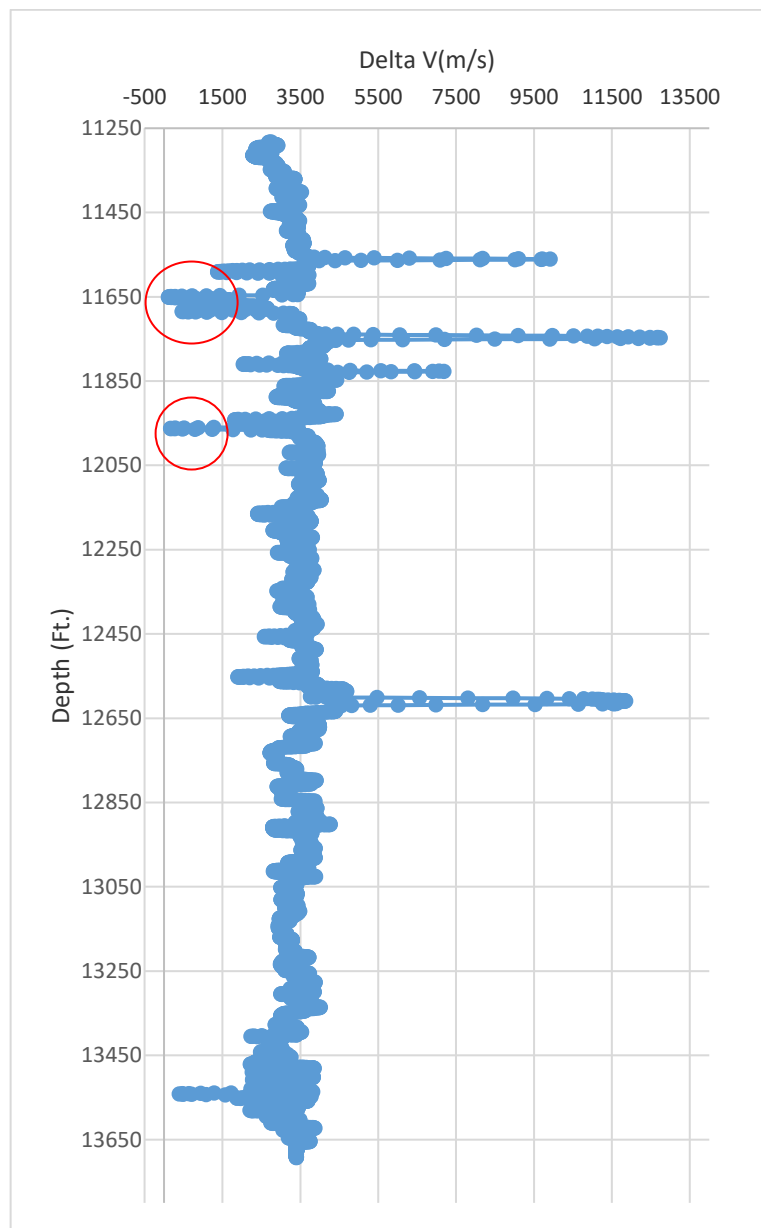
همان طور که در فصل سوم ذکر شد، حجم شیل با استفاده از نگار پرتو گاما در نرم‌افزار Geolog محاسبه می‌شود. با توجه به شکل ۴-۵، در سرتاسر عمق نمودارگیری شده حضور شیل به چشم می‌خورد. مقدار حجم شیل در نقاط مختلف عمقی متفاوت است. بنابراین، در کنار لیتولوژی آهک و ماسه‌سنگ، لیتولوژی شیل نیز حضور دارد. مقدار شیل به نسبت کم است و بر کیفیت مخزنی تاثیر چندانی ندارد.



شکل ۴-۵- توزیع حجم شیل در چاه مورد مطالعه.

۴-۴ تخمین نوع تخلخل

همان طور که در فصل سوم ذکر شد برای محاسبه تخلخل پس از اصلاحات شیل در نرم افزار Geolog از بخش Determine مقدار تخلخل مفید و کلی را بر اساس نگارهای نوترون و صوتی محاسبه کردیم. سپس از روابط (۱-۳)، (۲-۳) و (۳-۳) مقدار زمان مصنوعی، سرعت مصنوعی و سرعت واقعی را محاسبه کردیم.



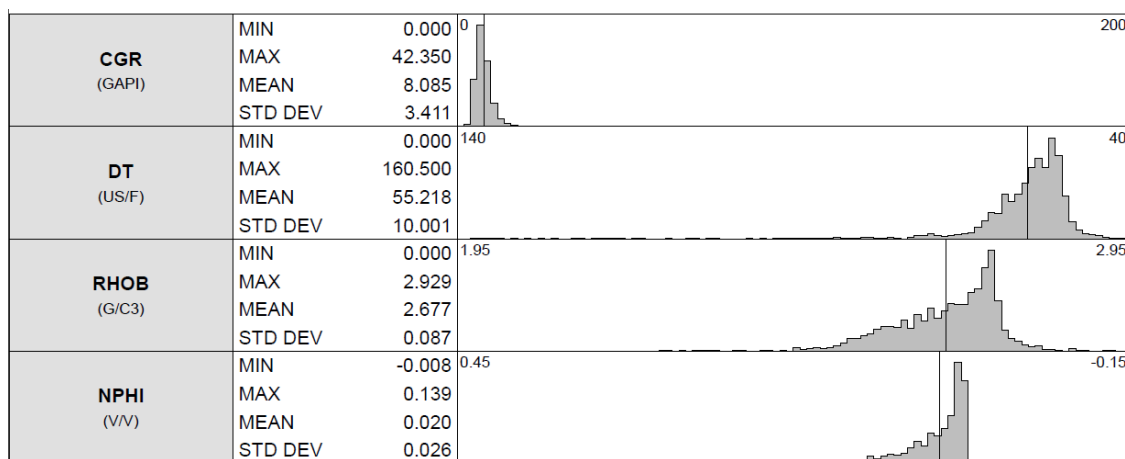
شکل ۴-۶- نگار انحراف سرعت محاسبه شده بر اساس داده تخلخل چاه مورد مطالعه.

همان طور که شکل ۴-۶ نشان می‌دهد، نمودار نگار انحراف سرعت محاسبه شده در مرحله قبل بر حسب عمق در چاه مورد مطالعه رسم شد. در این حالت برای محاسبات زمان عبور صوت در طول ماتریکس سازند براساس نگار صوتی و نمودارهای متقاطعی که در قسمت قبل رسم شد، ۵۵ میکرو ثانیه بر فوت تخمین زده

شد. همچنین مقدار زمان عبور صوت در طول سیال ۱۸۹ میکرو ثانیه بر فوت در نظر گرفته شد. در نتیجه با روابط که در فوق اشاره شد نگار انحراف سرعت مطابق شکل ۴-۶ به دست آمد. همان طور که شکل ۴-۶ نشان می‌دهد، مقدار انحراف سرعت در کل عمق نمودارگیری شده چاه بیشتر از ۵۰۰ است. بنابراین، بر اساس آنچه در فصل سوم درباره نمودار نگار انحراف سرعت بحث شد، تخلخل در کل عمق عمدتاً از نوع قالبی و درون فسیلی است. در برخی نقاط از عمق چاه که در شکل ۴-۶ با دایره قرمز مشخص شده نگار انحراف سرعت در بازه ۵۰۰- تا ۵۰۰ قرار دارد بنابراین با توجه به آنچه که در فصل سوم گفته شد زمانی که مقدار نگار انحراف سرعت ما بین این بازه قرار بگیرد نشان دهنده تخلخل از نوع درون ذره‌ای و بین بلوری است که بازه عمقی آن بسیار کم است. بنابراین تخلخل غالب در سازند که چاه مورد مطالعه از آن عبور کرده از نوع قالبی و درون فسیلی است. در این نوع تخلخل تروایی سنگ کم است. با توجه به آن که لیتولوژی از نوع عمدتاً آهک تخمین زده شده است، حضور تخلخل قالبی و درون فسیلی با تروایی کم دور از انتظار نبود.

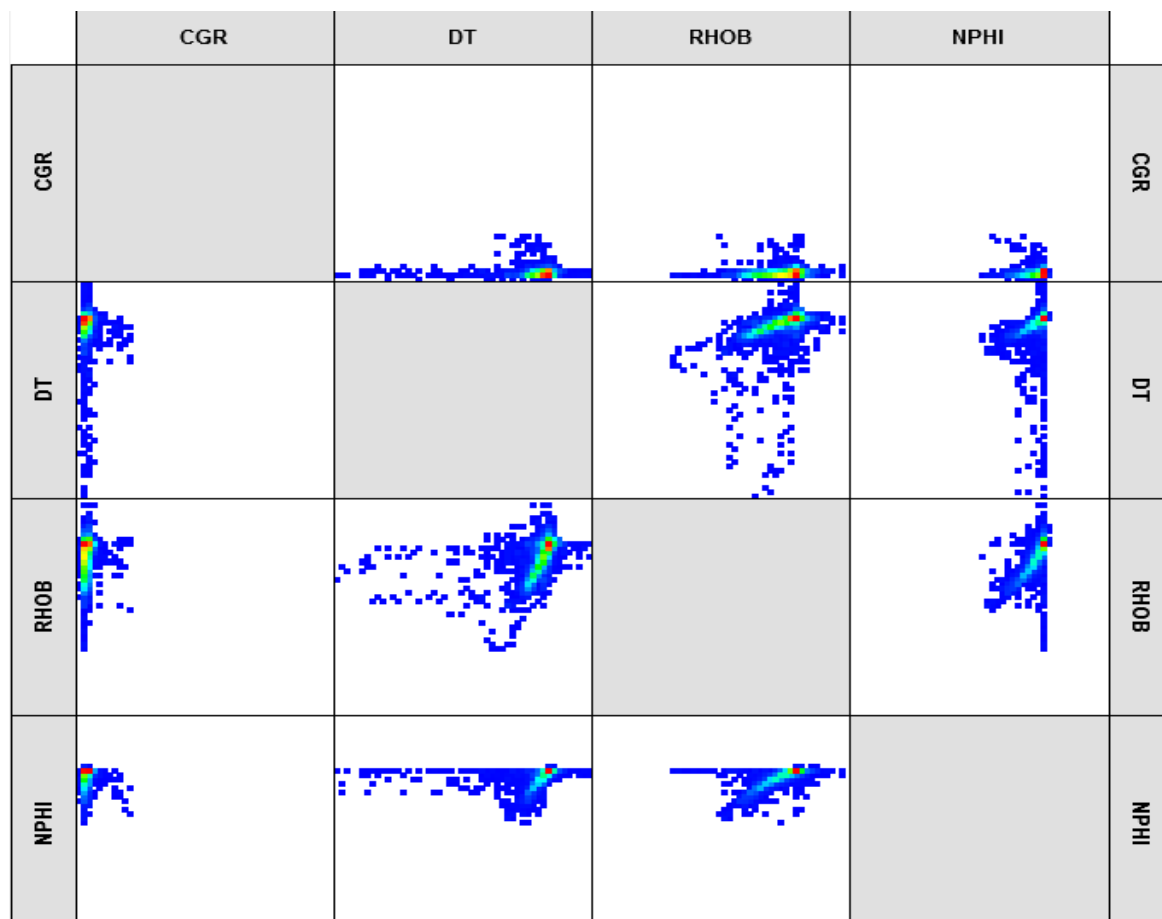
۴-۵ تخمین رخساره الکتریکی

با توجه به مزایای روش خوشه‌بندی MRGC نسبت به سایر روش‌های خوشه‌سازی، در مطالعه حاضر از این روش برای تعیین رخساره‌های الکتریکی استفاده شده است. با استفاده از ماژول Facimage موجود در نرم افزار Geolog رخساره‌های الکتریکی برای چاه مورد مطالعه تخمین زده شد. برای این کار از دسته نگارهای الکتریکی DT, CGR, RHOB و NPHI استفاده شد. شکل ۴-۷ توزیع فراوانی نمودارهای الکتریکی استفاده شده برای تخمین رخساره الکتریکی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷- توزیع فراوانی نمودارهای الکتریکی استفاده شده برای تخمین رخساره الکتریکی در چاه مورد مطالعه.

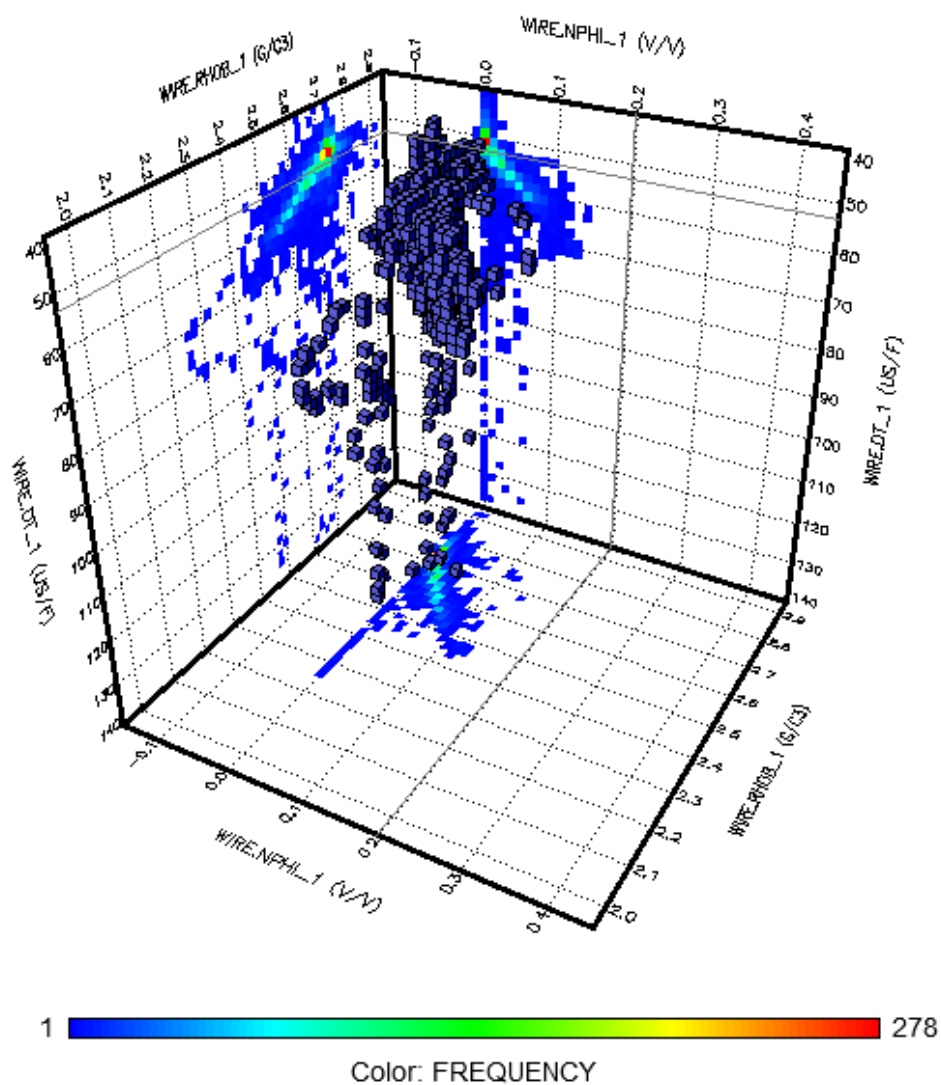
همان طور که شکل فوق نشان می‌دهد، توزیع پرتو گاما دارای مقدار حداقلی صفر تا ۴۲ را دارد که نشان دهنده حضور کم شیل در سازند است. توزیع فراوانی نگار چگالی با خمش به سمت مقادیر بیشتر از متوسط ۲/۶۷ نشان دهنده لیتولوژی عمدتاً آهک است. همچنین توزیع فراوانی نگار صوتی با مقدار متوسط ۵۵ و میل به مقادیر سرعت صوت کم، نشان دهنده لیتولوژی بین آهک و ماسه‌سنگ است. علاوه بر این، توزیع فراوانی نگار نوترون دارای میل به مقادیر کم نوترون است. با توجه به این که قرائت نوترون وابسته به میزان هیدروژن است، بنابراین به نظر می‌رسد محتوی هیدروژنی کم باشد یا گاز بر نمودار تاثیر گذاشته است. در شکل ۴-۸ کراس پلات‌های ایجاد شده با استفاده از نگارهای گاما، صوتی، چگالی و نوترون را مشاهده می‌کنیم. هر کدام از نگارها با سایر نگارها به صورت یک نمودار متقاطع نشان داده شده است.



شکل ۴-۸- کراس پلات‌های ایجاد شده به وسیله نگارهای گاما، نوترون، صوتی و چگالی برای تخمین رخساره الکتریکی در ادامه برای بررسی ارتباط بین سه نگار تخلخلی با یک دیگر نمودار سه بعدی چگالی- نوترون- صوتی رسم شد. همان طور که شکل ۴-۹ نشان می‌دهد، ارتباط قوی بین این داده‌ها وجود دارد. لذا می‌توان از ترکیب این سه نگار در کنار نگار پرتو گاما برای تخمین رخساره الکتریکی استفاده کرد.

در ابتدا برای خوشه‌بندی داده‌ها با توجه به تنوع رخساره‌های رسوبی در چاه مورد مطالعه حد بالا و پایین دسته‌ها به ترتیب ۴ و ۲۴ با حداکثر ۴ مدل رخساره‌ای در نظر گرفته شد. با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی در چاه مورد مطالعه و انتخاب روش MRGC تعداد ۵، ۸، ۱۱ و ۲۰ رخساره الکتریکی تعیین گردید. با تجزیه و تحلیل داده‌های پتروفیزیکی در نرم‌افزار Geolog و مقایسه رخساره‌های الکتریکی تخمین

زده شده در هر دسته، رخساره‌های الکتریکی که از نظر آماری نزدیک به هم بودند باهم ادغام، بهینه سازی و تعداد آنها به ۵ عدد کاسته شد. شکل ۴-۱۰، ۵ رخساره الکتریکی تخمین زده شده را نشان می‌دهد.

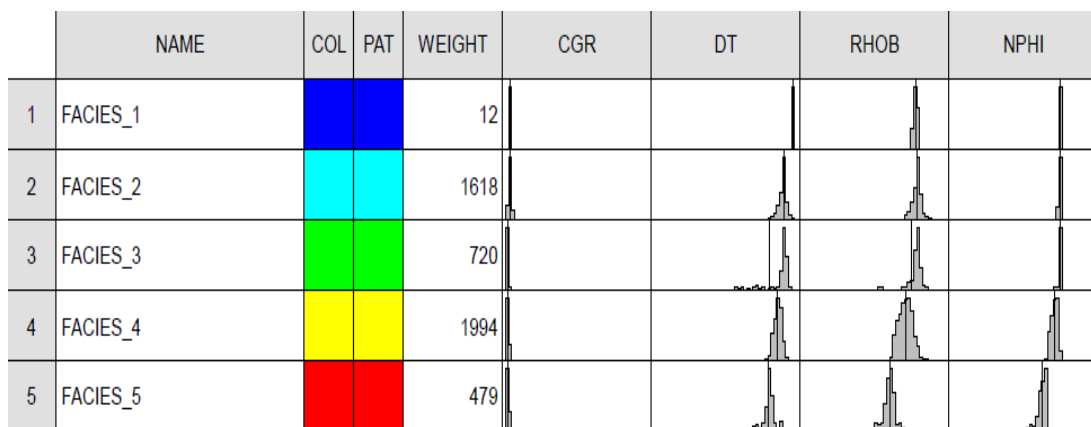


شکل ۴-۹- نمودار سه بعدی نوترون- چگالی- صوتی برای تخمین رخساره الکتریکی.

FACIES	WEIGHT	CGR	DT	RHOB	NPHI
1	12	10.23	44.74	2.73	0.00
2	1618	10.47	50.95	2.73	0.00
3	720	6.51	60.71	2.69	0.00
4	1994	6.98	55.28	2.66	0.03
5	479	6.93	61.39	2.55	0.08

شکل ۴-۱۰- رخساره‌های الکتریکی تخمین زده شده در چاه مورد مطالعه و مقادیر نگارهای الکتریکی در آنها.

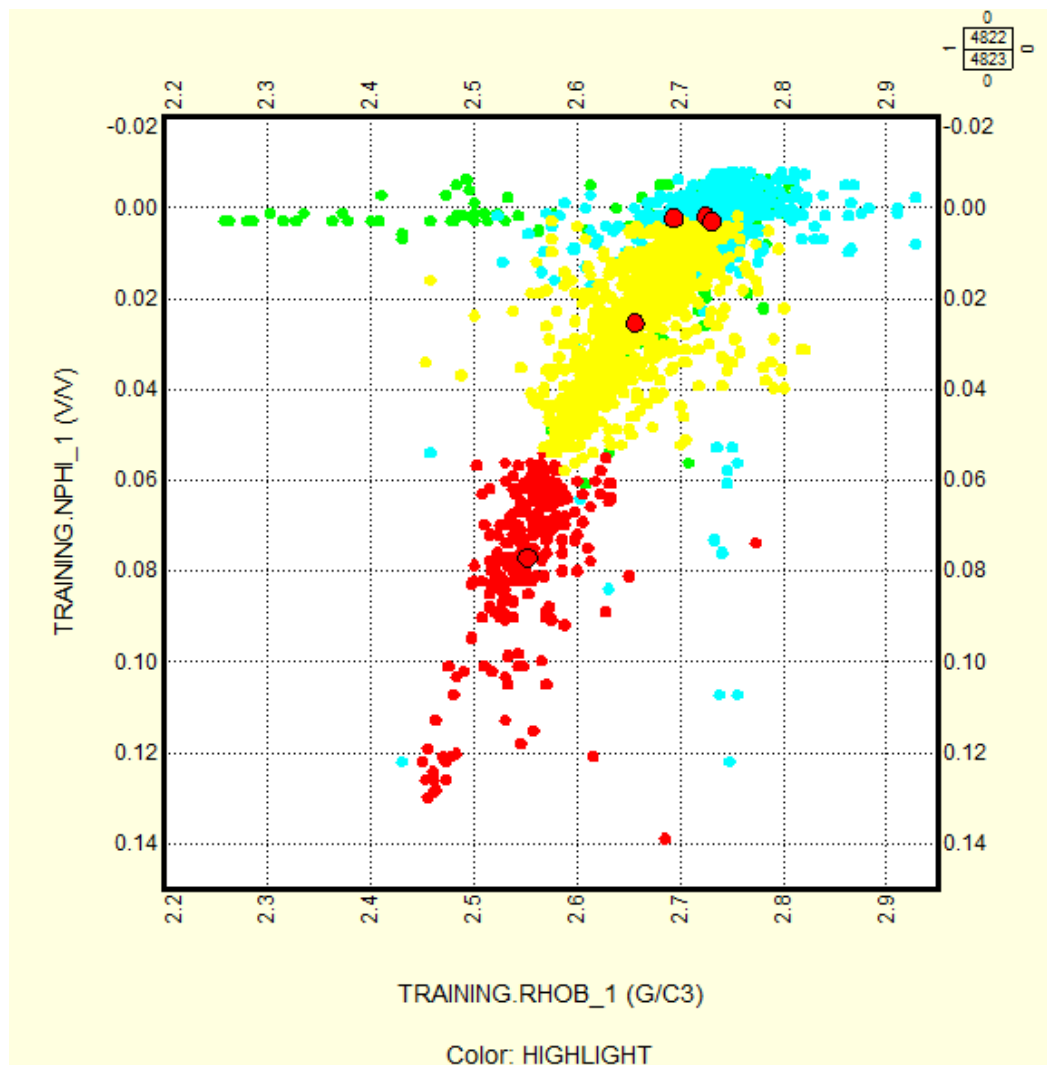
با توجه به شکل ۴-۱۰، ۵ رخساره تخمین زده شده با رنگ‌های آبی (رخساره ۱)، نیلی (رخساره ۲)، سبز (رخساره ۳)، زرد (رخساره ۴) و قرمز (رخساره ۵) از یکدیگر تفکیک شده‌اند. مقادیر نگارهای گاما، صوتی، چگالی و نوترون برای هریک از این رخساره‌ها به تفکیک نشان داده شده است. با توجه به مقادیر می‌توان مشاهده کرد که رخساره شماره ۵ که با رنگ قرمز نشان داده شده است دارای کمترین مقدار گاما و چگالی از طرفی دارای بیشترین مقدار صوتی و نوترون می‌باشد. از طرفی می‌توان گفت که هرچه مقدار نگارهای صوتی و نوترون بیشتر باشد و بر عکس مقدار نگار گاما و چگالی کم باشد نشان دهنده کیفیت مخزنی بهتری هستیم که در اینجا می‌توان گفت رخساره شماره ۵ بهترین کیفیت را بین رخساره‌ها دارد. شکل ۴-۱۱ تفکیک رخساره‌ها را براساس توزیع هر یک از نمودارهای الکتریکی و وزن آماری تخمین زده شده نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۱- رخساره‌های الکتریکی تخمین زده شده براساس توزیع نگارهای الکتریکی در چاه مورد مطالعه.

به طور کلی نگار پرتو گاما (CGR) نشان‌دهنده حضور شیل است. بنابراین کاهش مقدار این نگار نشان‌دهنده افزایش کیفیت مخزنی است. بنابراین رخساره‌ای که دارای حداقل مقدار نگار پرتو گاما است کیفیت مخزنی بهتری نسبت به رخساره با مقادیر بیشتر پرتو گاما است. علاوه بر این، نمودارهای نوترون و صوتی بیانگر وضعیت تخلخل مخزن هستند. به طوری که روند افزایشی این نمودارها نشان دهنده بهبود کیفیت مخزنی است. بنابراین رخساره‌ای که بیشترین میزان قرائت نگار نوترون و صوتی را دارد، دارای کیفیت بهتری نسبت به سایر رخساره‌ها است. از طرفی هرچه نگار چگالی ما مقدار کمتری را نشان دهد نشان دهنده کیفیت مخزنی ما بهتر است. در نتیجه با توجه به شکل‌های ۴-۱۰ و ۴-۱۱ تغییر رخساره از رخساره ۵ (رنگ قرمز) به سمت رخساره ۱ (رنگ آبی)، موجب کاهش کیفیت مخزن می‌شود. بنابراین، در بخش‌های مخزن که رخساره شماره ۵ دیده می‌شود دارای بهترین کیفیت مخزنی و در بخش‌های که رخساره ۱ و ۲ (رنگ نیلی و آبی) وجود دارد، دارای کمترین کیفیت مخزنی است. علاوه بر این، نمودارهای متقاطع نوترون- چگالی و نوترون- صوتی نیز بر اساس تغییر وضعیت رخساره‌ها رسم شد. شکل ۴-۱۲ نمودار متقاطع چگالی- نوترون را بر اساس رخساره الکتریکی تخمین زده شده نشان می‌دهد. محور افقی نگار چگالی و محور عمودی نگار نوترون را نشان می‌دهد. چهار نقطه قرمز رنگ که با اندازه بزرگتر نسبت به بقیه نقاط مشخص شده‌اند،

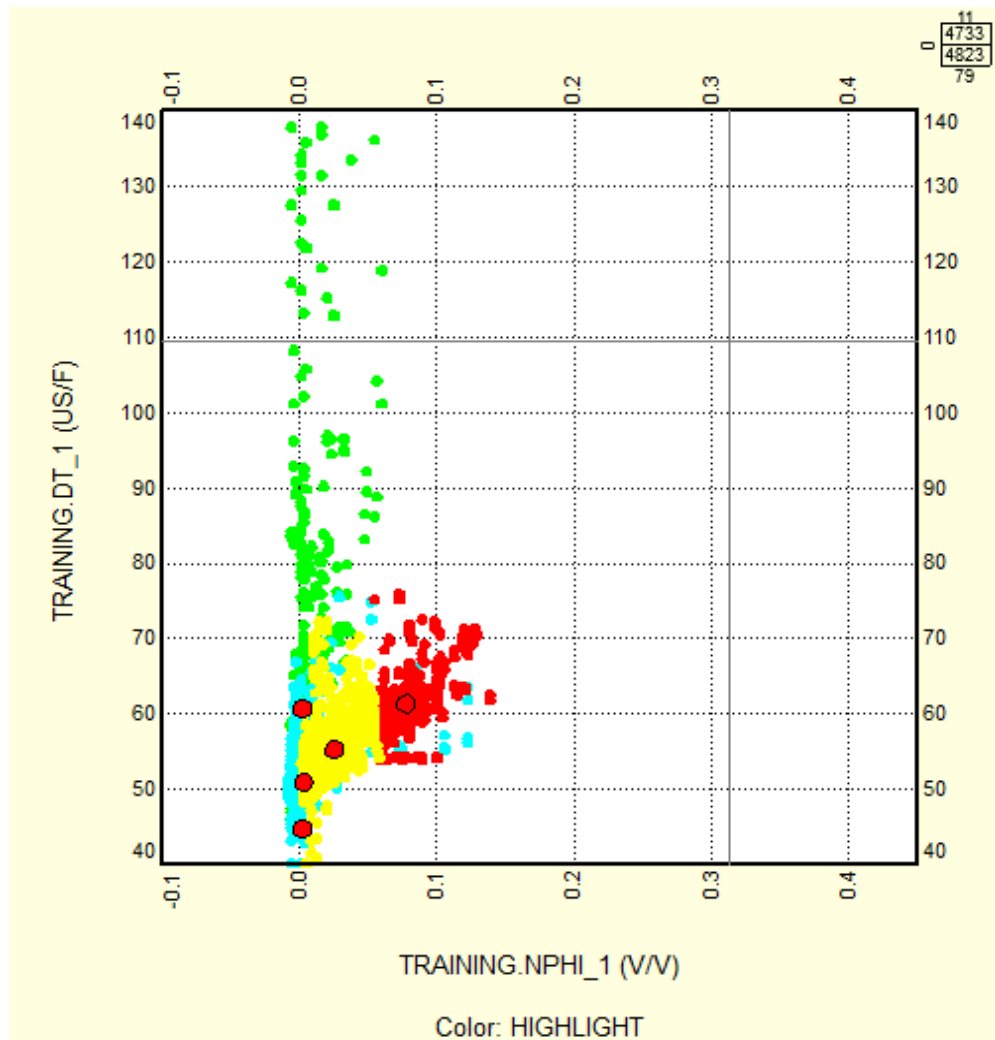
نماینده هر دسته از ۵ رخساره در آن دسته هستند. بنابراین با توجه به شکل ۴-۱۲ رخساره قرمز رنگ (رخساره شماره ۵) در چاه مورد مطالعه دارای قرائت نوترون زیاد و چگالی کم است. این وضعیت نشان دهنده آن است که رخساره ۵ از لحاظ کیفیت مخزنی نسبت به سایر رخساره‌ها بهتر است و دارای تخلخل و محتوی هیدروکربن بیشتر نسبت به سایر رخساره‌ها است. بنابراین در هر بازه عمقی از چاه مورد مطالعه رنگ قرمز دیده شد نماینده رخساره ۵ است و کیفیت مخزنی در آن بازه بهترین کیفیت است. علاوه بر این، رخساره ۴ نیز با رنگ زرد در مرحله بعدی کیفیت قرار دارد. همان طور که شکل ۴-۱۲ نشان می‌دهد، رنگ زرد نماینده رخساره ۴ است و دارای قرائت نوترون و چگالی متوسط است. بنابراین از لحاظ کیفیت مخزنی رخساره ۴ پس از رخساره ۵ قرار می‌گیرد. اما، دیگر رخساره‌ها دارای میزان نوترون کم و چگالی زیاد هستند. بنابراین دارای کیفیت مخزنی کم هستند.



شکل ۴-۱۲- نمودار متقاطع چگالی- نوترون بر اساس تفکیک رخساره الکتریکی.

شکل ۴-۱۳ نمودار متقاطع نوترون- صوتی را نشان می‌دهد. محور افقی نگار نوترون و محور عمودی نشان دهنده نگار صوتی می‌باشد. همان طور که قبلاً ذکر شد، افزایش مقادیر نوترون و صوتی نشان دهنده کیفیت خوب مخزنی از لحاظ تخلخل هستند. بنابراین، با توجه به شکل رخساره با رنگ قرمز (رخساره ۵) دارای بیشترین مقدار نوترون و صوتی در میان دیگر رخساره‌ها است. در مرحله بعد از رخساره ۵، رخساره با رنگ زرد (رخساره ۴) قرار دارد. بنابراین، رخساره ۵ و رخساره ۴ دارای بالاترین کیفیت مخزنی از لحاظ تخلخل

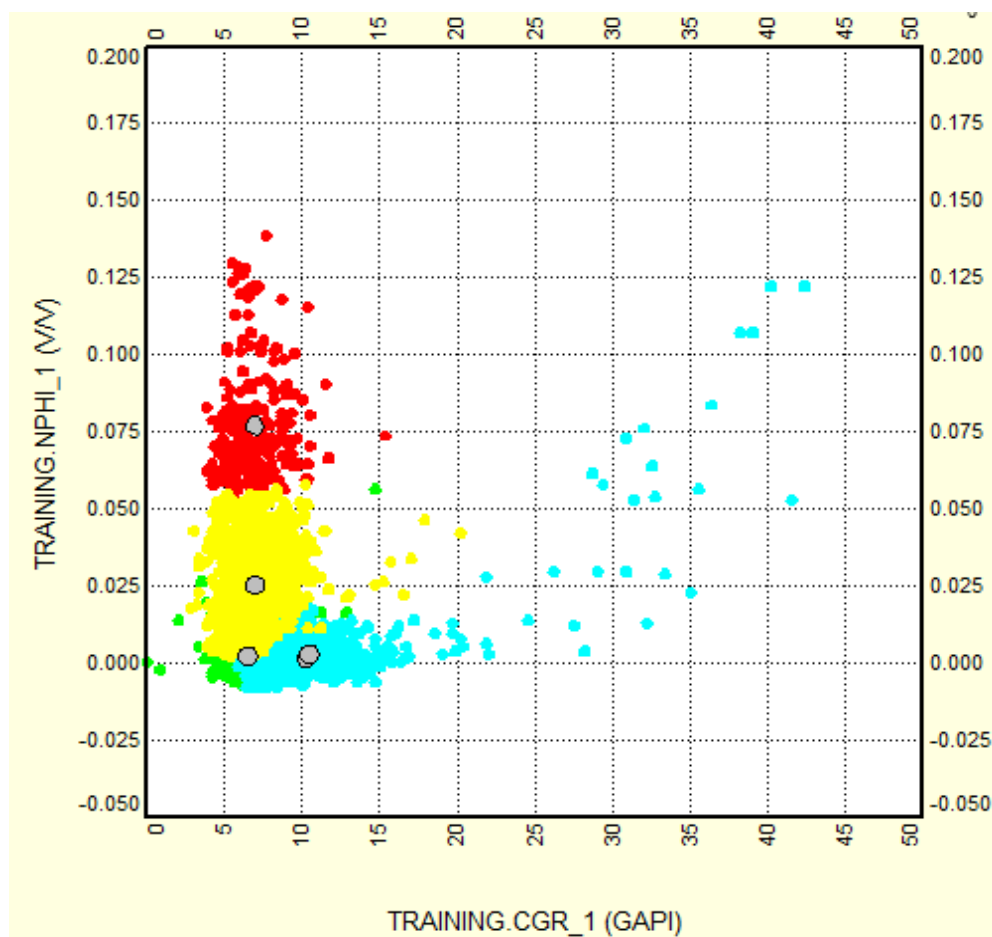
هستند. اما، با توجه به شکل رخساره با رنگ نیلی (رخساره ۲) و آبی (رخساره ۱) در پایین‌ترین مقدار نوترون و صوتی قرار دارند. بنابراین، رخساره ۱ و ۲ از لحاظ تخلخلی دارای کم‌ترین کیفیت مخزنی هستند.



شکل ۴-۱۳- نمودار متقاطع نوترون- صوتی بر اساس تفکیک رخساره الکتریکی در چاه مورد مطالعه.

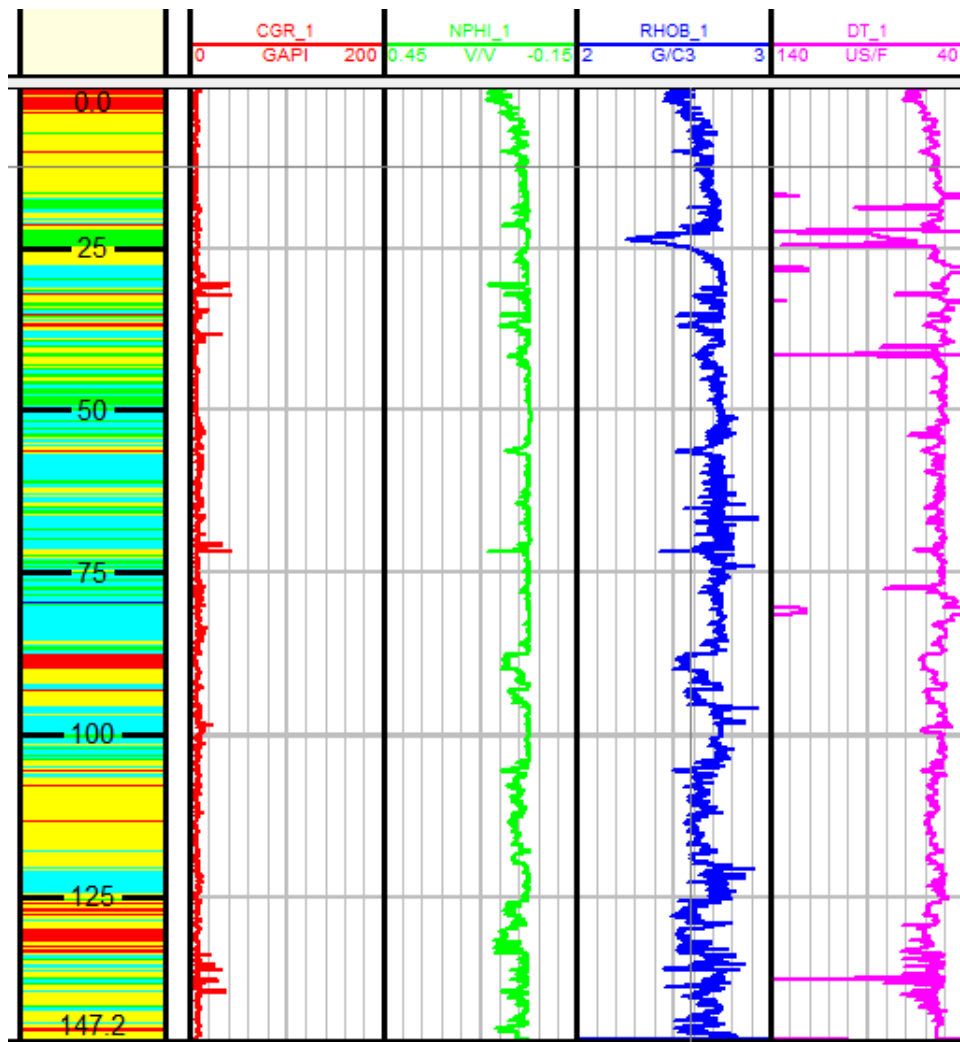
علاوه بر این، نمودار متقاطع پرتو گاما- نوترون نیز به تفکیک رخساره‌های الکتریکی تخمین زده شده رسم شد. همان طور که قبلاً ذکر شد کاهش میزان پرتو گاما و یا افزایش مقدار نوترون نشان‌دهنده افزایش کیفیت مخزنی است. شکل ۴-۱۴ نمودار متقاطع گاما، نوترون را نشان می‌دهد. محور افقی آن نگار گاما و

محور عمودی آن نگار نوترون را نشان می‌دهد. رخساره قرمز رنگ دارای حد پایین مقدار گاما در بازه ۵ تا ۱۰ API است و هم چنین دارای بیشترین مقدار نوترون در بین سایر رخساره‌ها است. بنابراین رخساره قرمز رنگ (رخساره ۵) از لحاظ پرتو گاما و نوترون دارای کیفیت بهتر نسبت به سایر رخساره‌ها است. هرچه به سمت رخساره‌های سبز و نیلی رنگ حرکت می‌کنیم مقدار پرتو گاما در حال افزایش و مقدار نوترون به شدت کاهش می‌یابد. این بیانگر آن است که رخساره‌های آبی، نیلی و سبز (رخساره ۱، ۲ و ۳) دارای کیفیت پایین مخزنی هستند، زیرا محتوی شیل در آن‌ها زیاد است و میزان تخلخل کم‌تری دارند.



شکل ۴-۱۴- نمودار متقاطع پرتو گاما- نوترون بر اساس تفکیک رخساره‌های الکتریکی در چاه مورد مطالعه.

با توجه به آنچه از نمودارهای متقاطع که بر اساس تفکیک رخساره الکتریکی تخمین زده شده رسم شده‌اند بحث شد، رخساره شماره ۵ (رخساره قرمز رنگ) از لحاظ محتوی شیل دارای کم‌ترین میزان شیل و از لحاظ تخلخل دارای بیشترین میزان تخلخل است. در مرتبه بعد از رخساره ۵، رخساره ۴ (رخساره زرد رنگ) قرار دارد که دارای کیفیت مخزنی بهتری است. هر چه به سمت رخساره‌های ۳، ۲ و ۱ (سبز، نیلی و آبی) حرکت می‌کنیم کیفیت مخزنی کاهش می‌یابد. زیرا محتوی شیل افزایش یافته و میزان تخلخل کاهش می‌یابد. این تفکیک رخساره در بازه عمقی بر اساس نگارهای نوترون، چگالی، صوتی و پرتو گاما که رسم شده است در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است. البته ذکر این نکته ضروری است که، رخساره شماره ۱ (آبی رنگ) در میان دیگر رخساره‌ها دیده نمی‌شود و در زیر رخساره ۲ قرار می‌گیرد. و تقریباً مشابه رخساره ۲ است. اما با توجه به اختلاف زیادی که از لحاظ سرعت صوت در مخزن با رخساره ۲ دارد به عنوان یک رخساره مجزا در نظر گرفته شده است. با توجه به شکل ۴-۱۵ و براساس آنچه درباره کیفیت رخساره‌ها و ارتباط آن با کیفیت مخزنی ذکر شد، در هر عمق از مخزن که رخساره قرمز یا زرد رنگ دیده شد، کیفیت مخزنی در آن بهتر است و در هر عمق که رنگ سبز، نیلی و آبی دیده شد، کیفیت مخزنی پایین است. با توجه به شکل ۴-۱۵ هر رنگ نماینده رخساره الکتریکی تخمین زده شده در چاه مورد مطالعه است که با توجه به آن می‌توان درباره کیفیت مخزنی در آن قسمت تصمیم‌گیری کرد. نمودارهای صوتی (رنگ صورتی)، چگالی (رنگ آبی)، نوترون (رنگ سبز) و پرتو گاما (رنگ قرمز) که برای تفکیک رخساره استفاده شده‌اند، در کنار تغییرات رخساره‌ای نمایش داده شده است.

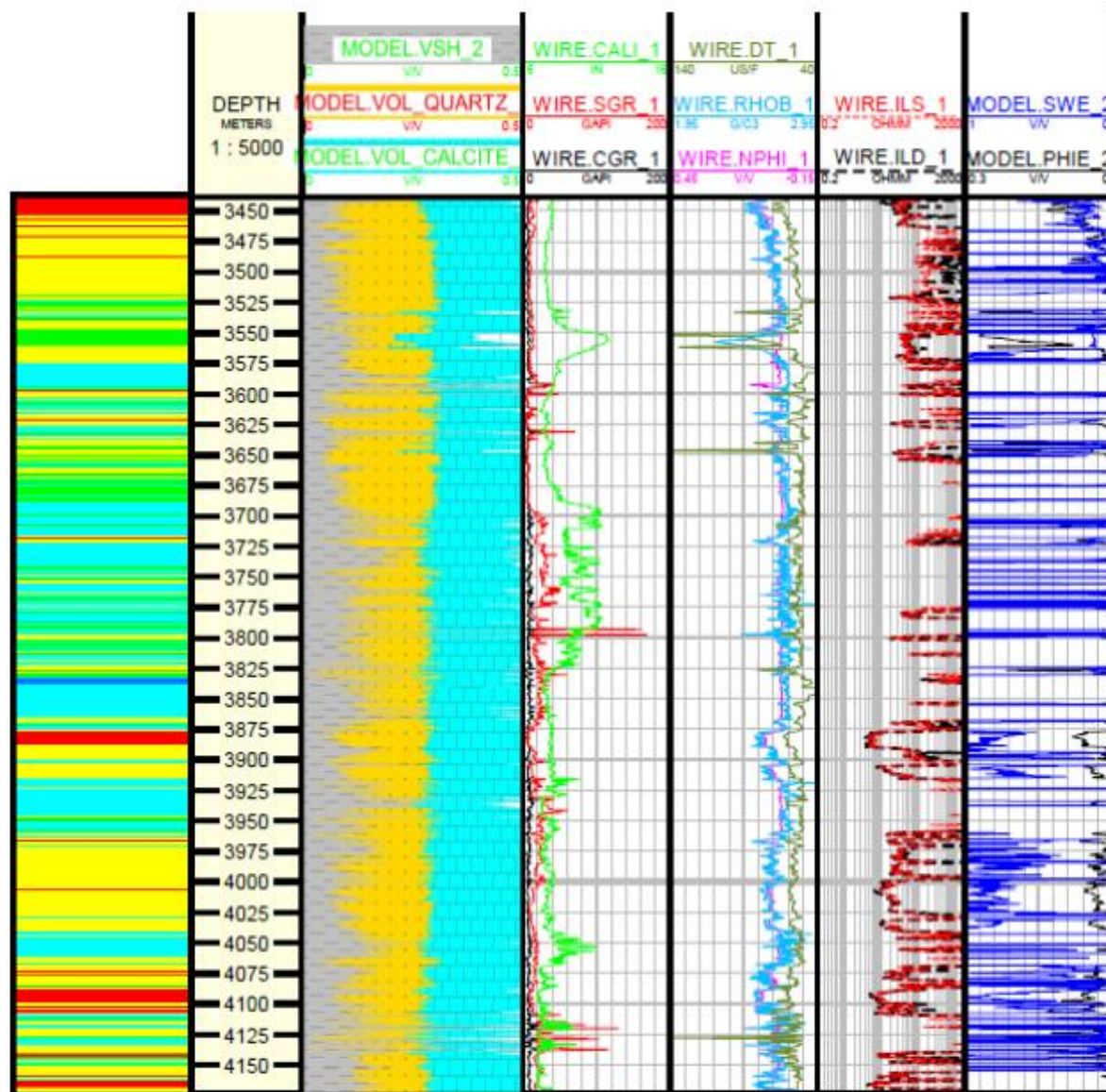


شکل ۴-۱۵- تفکیک رخساره الکتریکی تخمین زده شده بر اساس چهار نگار نوترون، چگالی، صوتی و پرتو گاما در چاه مورد مطالعه، هر رنگ نماینده رخساره مربوط به خود است.

۴-۶ مدل پتروفیزیکی

بر اساس داده‌های چاه‌نگاری چاه مورد مطالعه شامل نگارهای پرتو گاما، نوترون، چگالی، صوتی، مقاومت ویژه الکتریکی یک مدل پتروفیزیکی براساس سنگ‌شناسی سازندی که چاه مورد مطالعه از آن عبور کرد، به دست آمد. شکل ۴-۱۶ مدل پتروفیزیکی ایجاد شده را نشان می‌دهد. تخلخل محاسبه شده از ترکیب نگارهای نوترون- صوتی و هم چنین اشباع از آب که با استفاده از نگارهای مقاومت ویژه و رابطه آرچی

تخمین زده شد، در مدل پتروفیزیکی قرار داده شد. همان طور که شکل ۴-۱۶ نشان می‌دهد، بافت سنگ‌شناسی سازند در چاه مورد مطالعه ترکیبی از سنگ کربناته آهکی، ماسه‌سنگ و شیل است. همان طور که در نمودارهای متقاطع برای تشخیص لیتولوژی استنتاج شد، عمده بافت از نوع آهکی و ماسه سنگ است. لایه شیلی به مقدار کم در ماسه‌سنگ و آهک وجود دارد.



شکل ۴-۱۶- مدل پتروفیزیکی چاه مورد مطالعه.

با توجه به شکل ۴-۱۶، در بازه عمقی چاه که رخساره‌های شماره ۵ و ۴ (رنگ قرمز و زرد) حضور دارند از لحاظ تخلخل و حجم شیل، بهترین کیفیت مخزنی در آن واقع شده است. در بازه‌های عمقی که رخساره‌های ۱، ۲، ۳ (آبی، نیلی و سبز) حضور دارد کیفیت مخزنی کم‌تری دارند. مطابق شکل فوق میزان تخلخل مؤثر در بازه عمقی چاه متغیر است. در نقاطی از چاه که شیل حضور قوی‌تری دارد، تخلخل مؤثر به صفر می‌رسد. در نقاطی که شیل کمتر است میزان تخلخل در بازه‌ی ۰ تا ۳۰ درصد متغیر است. همچنین، میزان اشباع از آب در بازه ۰ تا ۱۰۰ درصد متغیر است. در نقاطی که شیل حضور دارد، با توجه به آن که شیل دارای آب محتوی زیاد است، اشباع از آب به حداکثر می‌رسد. با توجه به لاگ کلیپر می‌توان مشاهده کرد که در بعضی از نقاط چاه افزایش قطر داشته‌ایم که می‌توان گفت که به دلیل شکستگی می‌باشد همانطور که در قسمت سنگ‌شناسی مشاهده می‌کنیم حفراتی غار مانند وجود دارد. لاگ‌های مقاومت را مشاهده می‌کنیم که شامل صوتی، چگالی و نوترون می‌باشد. از روی این لاگ‌ها می‌توان تشخیص داد که عمده لیتولوژی از نوع آهک می‌باشد. لاگ‌های مقاومت را مشاهده می‌کنیم که لاگ مقاومت کم با رنگ قرمز نشان داده شده و لاگ مقاومت زیاد با رنگ مشکی نشان داده شده است و از آنجایی که این لاگ‌ها مقدار زیادی را نشان می‌دهند می‌توان تشخیص داد که اشباع از آب در سازند کم است. نمودار تخلخل را مشاهده می‌کنیم که از روی این نمودار می‌توان تشخیص داد درصد تخلخل در سازند کم است البته در عمق ۳۵۰۰ متر که لاگ کلیپر، صوتی و چگالی افزایش یافته درصد تخلخل نیز افزایش یافته که به دلیل شکستگی موجود در سازند می‌باشد اما در بقیه نقاط تخلخل کم است. به طور کلی از شکل ۴-۱۶ اینگونه برداشت می‌شود که سازندی که چاه مورد مطالعه از آن عبور کرده است، دارای لیتولوژی عمدتاً کربناته و ماسه‌سنگ به همراه درصد زیادی از شیل است. از نظر تخلخل میزان کم و اشباع آب زیاد است. از لحاظ کیفیت مخزنی با توجه به توزیع رخساره الکتریکی، کیفیت مخزنی در ابتدا بازه عمقی و در انتها چاه بهتر از بقیه نقاط چاه است.

۴-۷ جمع‌بندی

در این تحقیق، ابتدا با استفاده از داده‌های نگارگری چاه مورد مطالعه و با استفاده از نرم‌افزار Geolog 7 و با به کارگیری نمودارهای استاندارد لیتولوژی سازندی که چاه مورد مطالعه از آن عبور کرد، تعیین شد. سپس میزان حجم شیل، اشباع از آب و تخلخل با استفاده از نگارها تخمین زده شد. نوع تخلخل با استفاده از تعریف سرعت صوت مصنوعی و واقعی محاسبه و میزان اختلاف بین این دو نوع، با استفاده از نمودار تفکیک مشخص شد. با استفاده از روش خوشه‌بندی MRGC تعداد رخساره‌های الکتریکی تعیین شد. میزان کیفیت مخزنی براساس نوع رخساره الکتریکی مشخص شد. سپس توزیع رخساره الکتریکی در عمق حفاری چاه رسم شد. در پایان مدل پتروفیزیکی چاه مورد مطالعه تخمین زده شد.

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین اطلاعاتی که از مخازن زیرسطحی در اختیار قرار می‌گیرد، اطلاعات نمودارهای چاه‌پیمایی است. با استفاده از تلفیق اندازه‌گیری‌های این نمودارها، می‌توان اطلاعات با ارزشی از مخزن به دست آورد. از طرفی اهمیت روش‌های خوشه‌بندی در مواردی مانند تفکیک بخش‌های مخزنی و غیر مخزنی، جایگزین گروه‌های سنگی در مدل‌های مخزنی و تطابق سازندی در سطح میدان، امری انکارپذیر است. روش MRGC به جهت ویژگی‌های منحصر به فرد آن مانند عدم نیاز به آگاهی از تعداد خوشه‌ها و پارامترهای اولیه جهت خوشه‌بندی، یکی از روش‌های رایج در خوشه‌بندی نگارهای چاه‌پیمایی به حساب می‌آید. در تحقیق حاضر، از نمودارهای چاه‌نگاری یکی از چاه‌های واقع در یکی از میادین جنوب غرب ایران برای تشخیص انواع تخلخل و تخمین رخساره‌های الکتریکی استفاده شد. نتایج حاصل از این تحقیق به شرح زیر است:

- لیتولوژی سازندی با استفاده از نمودارهای مقاطع نوترون-چگالی، نوترون-صوتی و صوتی-چگالی تخمین زده شد. نتایج نشان داد که در سازند که چاه مورد مطالعه از آن عبور کرده، لیتولوژی عمدتاً از نوع سنگ آهک و ماسه‌سنگ است. همچنین لایه‌های شیل به طور یکنواخت و در بعضی نقاط به صورت نفوذی در لیتولوژی حضور دارد.
- بر اساس نمودارهای مقاطع نمودارهای مقاطع نوترون-چگالی، نوترون-صوتی و صوتی-چگالی میزان تخلخل کلی در سازند مورد مطالعه ۲ تا ۱۵ درصد تخمین زده شد.
- اشباع از آب با استفاده از رابطه آرچی تخمین زده شد. بازه تغییرات آن ۰ تا ۱۰۰ درصد می‌باشد. اشباع ۱۰۰ درصد آب به صورت نقطه‌ای در نقاطی که شیل افزایش داشته رخ داده است. متوسط اشباع از آب در سازند ۱۵ درصد تخمین زده شد.

- با توجه به محاسبه نمودار نگار انحراف سرعت، نوع تخلخل به طور عمده از نوع قالبی و درون فسیلی است. با توجه به این که عمده لیتولوژی از نوع کربناته است، انتظار حضور فسیل در آن بسیار زیاد است. همچنین، در بعضی نقاط عمقی چاه تخلخل درون دانه‌ای نیز به چشم می‌خورد.
- ۵ رخساره الکتریکی براساس نگارهای نوترون، صوتی، چگالی و پرتو گاما تخمین زده شد. همان طور که در شکل ۴-۹ و ۴-۱۰ نشان داده شده رخساره شماره ۵ (رنگ قرمز) و رخساره شماره ۴ (رنگ زرد) بهترین کیفیت مخزنی را از لحاظ تخلخل و حجم شیل دارند و رخساره‌های ۱ و ۲ (رنگ آبی و نیلی) بدترین کیفیت مخزنی را دارند. بنابراین، از رخساره ۵ به سمت رخساره ۱ کیفیت مخزنی کاهش می‌یابد.

۵-۲ پیشنهادات

- با توجه به نتایج به دست آمده موارد زیر برای ادامه‌ی تحقیقات پیشنهاد می‌شود.
- در این تحقیق رخساره‌های الکتریکی در چاه مورد مطالعه به روش MRGC مورد مطالعه قرار گرفت که در نتیجه ۵ رخساره الکتریکی با مشخصاتی که بیان گردید مشخص شد. بر این اساس پیشنهاد می‌شود رخساره‌های الکتریکی در چاه مورد نظر به روش‌های دیگر مانند روش سلسله مراتبی (AHC)، شبکه خود سازمانده (SOM) و روش خوشه بندی پویا (DYNCLUST) تعیین گردد و نتایج روش با روش MRGC مقایسه شود تا بتوان در مورد نقاط قوت و ضعف روش‌های ذکر شده بهتر اظهار نظر کرد و در ضمن در صورت امکان بتوان بهترین روش تعیین رخساره‌های الکتریکی در چاه مورد مطالعه رو انتخاب کرد.
- مقایسه تعیین رخساره الکتریکی به روش MRGC انجام شده در این تحقیق و روش رخساره رسوبی و گونه‌های سنگی.

منابع و مآخذ

- اصلانی، ر.، کدخدائی، ع.، مهاری، ر.، اسدی، ا. (۱۳۹۲)، تعیین نوع تخلخل با استفاده از لاگ انحراف سرعت در سازند دارابان میدان گازی پارس جنوبی، زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۱، صفحه ۹-۱.
- آقچه‌لو، م.، همتی‌آهویی، ح.ر.، نبی‌بیدهندی، م.، رحیمی‌بهار، ع.ا. (۱۳۹۲)، تعیین رخساره‌های سنگی با استفاده از خوشه‌سازی براساس نمودار با تفکیک‌پذیری چندتایی (MRGC) نمودارهای پتروفیزیکی چاه: بررسی یکی از میدان‌های خلیج فارس، ژئوفیزیک ایران، دوره ۷، شماره ۴، صفحه ۱۱-۳۰.
- باقری، خوشبخت، فضلی. (۲۰۱۴)، تعیین رخساره‌های الکتریکی بر اساس رخساره‌های رسوبی و گونه‌های سنگی به کمک روشهای خوشه‌بندی با استفاده از نگارهای چاه پیمایی و اطلاعات مغزه حفاری در سازندهای کنگان و دالان، میدان گازی پارس جنوبی، رخساره‌های رسوبی، دوره ۷، شماره ۲، ۱۹۵-۱۷۸.
- باقری، ح. و رحیمی‌بهار، ع.الف. (۱۳۹۲)، استفاده از خوشه‌ساز (Clustering) لاگها به منظور زونبندی مخزنی سازند فهلپان در یکی از میادین جنوب غرب ایران، پژوهش نفت، پژوهشگاه صنعت نفت، دوره ۴، شماره ۱۲، صفحه ۶۵-۷۵.
- بهلولی، ب.، حق‌زاده، ر.، حسنی، ع. (۱۳۸۷)، تعیین پارامترهای پتروفیزیکی سنگ مخزن در میدان سرجه قم، علوم دانشگاه تهران، دوره ۳۴، شماره ۲، ۵۵-۶۴.
- رهسپار، ا.، کدخدایی، ع.، نبی‌بیدهندی، م. (۱۳۹۵)، تعیین رخساره‌های الکتریکی مخزنی با استفاده از روش‌های خوشه‌سازی SOM، AHC، MRGC و DYNCLUST در بخش عرب در یکی از چاه‌های میدان نفتی سلمان، پژوهش نفت، دوره ۲۶، شماره ۸۷، صفحه ۱۰۷-۱۱۷.
- زحمت‌کش، ا.، سلیمانی، ب.، غبیشاوی، ع.، شیخ‌زاده، ح. (۱۳۹۴)، شناسایی و تفسیر رخساره‌های الکتریکی و استفاده از آن جهت پیش‌بینی رخساره‌های رسوبی، در مخزن آسماری یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران، زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۸، شماره ۱۶، صفحه ۷۲-۸۱.
- فرازانی، ن.، خوشبخت، ف.، توکلی، و. (۱۳۹۳)، بهبود تعیین نوع رخساره الکتریکی با تلفیق لاگ‌های چاه پیمایی و تصویرگر در سازند آسماری با استفاده از روش خوشه‌بندی گرافیکی MRGC، پژوهش نفت، دوره ۶، شماره ۱۸، صفحه ۵۴-۶۰.

محمودی، س.ح.، موسوی حرمی، ر.، محبوبی، الف. و مهرگینی، ب.، (۱۳۹۲)، شناسایی و زون بندی رخساره های الکتریکی با استفاده از روش آنالیز خوشه ای چند متغیره در چاه نمک غربی 1 منطقه بندرعباس، اولین همایش ملی زمین شناسی ایران، 4 و 5 خرداد، دانشگاه آزاد شیراز.

معلمی، س. ع.، خوشبخت، ف.، نقدی، س.، (۱۳۹۵)، کاربرد روش های خوشه سازی (SOM, DC, AHC, MRGC) در تعیین تراوایی سنگ مخزن کربناته، سازند ایلام در جنوب غرب ایران، زمین شناسی نفت ایران، دوره ۷، شماره ۱۰، صفحه ۶۷-۸۶.

نجفی، ه.، محسناتبار، ع.، مرادی، س.، محولاتی، ا.، (۱۳۹۷)، مبانی، مدیریت و شبیه سازی در مخازن متعارف و نامتعارف، جلد اول، انتشارات ستایش.

نیک نژاد، ع.، موحد، ب.، کدخدائی، ع.، (۱۳۹۲)، شناسایی و تحلیل رخساره های الکتریکی سازند عرب توسط روش SOM، دومین همایش مهندسی مخازن هیدروکربوری، علوم و صنایع مرتبط، هم اندیشان انرژی کیمیا.

همتی نیک، ح.، نظری فرد، م.، طباطبائی رئیسیف س.، (۱۳۹۵) تعیین رخساره الکتریکی با استفاده از روش های خوشه سازی دریکی از مخازن کربناته جنوب ایران، اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۳۷، صفحه ۶۷-۷۸.

Abreu, C., and Carrasquilla, A. (2015). Preliminary analysis of petrophysical data set of a carbonate reservoir from Field A in Campos Basin. In 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and EXPOGEF, Rio de Janeiro, Brazil, 3-6 (pp. 793-798). Brazilian Geophysical Society.

Alavi, M. (2004). Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. American journal of science, 304(1), 1-20.

Askari, A.A., and Behrouz, T., (2011). A Fully Integrated Method for Dynamic Rock Type Characterization Development in One of Iranian Off-Shore Oil Reservoir. Journal of Chemical and Petroleum Engineering, University of Tehran, 45 (2): 83-96.

Beydoun, Z. R., Clarke, M. H., and Stoneley, R. (1992). Petroleum in the Zagros Basin: A Late Tertiary Foreland Basin Overprinted onto the Outer Edge of a Vast Hydrocarbon-Rich Paleozoic-Mesozoic Passive-Margin Shelf: Chapter 11.

Bowman, T., (2010), Direct Method of Determining Organic Shale Potential from Porosity and Resistivity Logs to Identify Possible Resource Plays, AAPG, Search and Discovery Article, 110128.

Ellis, D. V., Singer, J. M., (2008), "Well Logging for Earth Scientists", 2nd edition, Springer Publication, 692 p.

Ghadami, N., Rasaei, M.R., Hejri, S., Sajedian, A. and Afsari, K., (2015). Consistent porosity–permeability modeling, reservoir rock typing and hydraulic flow unitization in a giant carbonate reservoir. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 131, pp.58-69.

Ghazban, F., and Al-Aasm, I. S. (2007). Hydrocarbon-Induced dolomite formation associated with Hormuz salt plug in the Persian Gulf, Iran. In GAC-MAC Annual Meeting. Yellowknife, Abstracts (Vol. 32, p. 31).

Gholanlo, H.H., Amirpour, M. and Ahmadi, S., (2016). Estimation of water saturation by using radial based function artificial neural network in carbonate reservoir: A case study in Sarvak formation. *Petroleum*, 2(2), pp.166-170.

Ghoneimi A, Ibrahim SA, El-Kenawy A, Farrag K (2017) Use of well logs for petrophysical evaluation of Abu Madi reservoir in Abu Madi-ElQara-Nidoco area, Northern Nile Delta, Egypt. *J Geol Geophys*.

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

Koop, W. J., and Stoneley, R. (1982). Subsidence history of the Middle East Zagros basin, Permian to recent. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, 305(1489), 149-168.

Kumar, B., Kishore, M., (2006). Electrofacies Classification—A Critical Approach. 6th International Conference and Exposition on Petroleum Geophysics, New Delhi, India, pp. 822-825.

Kumar, M., Dasgupta, R., Singha, D. K., and Singh, N. P. (2018). Petrophysical evaluation of well log data and rock physics modeling for characterization of Eocene reservoir in Chandmari oil field of Assam-Arakan basin, India. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 1-18.

Lin, Q., Al-Khulaifi, Y., Blunt, M.J. and Bijeljic, B., (2016). Quantification of sub-resolution porosity in carbonate rocks by applying high-salinity contrast brine using X-ray microtomography differential imaging. *Advances in Water Resources*, 96, pp.306-322.

Mamgain G., Bahuguna V.K. and Lal Ch.,(2011). Reservoir Group, “Improved permeability estimates in carbonate reservoirs using electrofacies characterization: A Case study of Mumbai high south pushpasharma”, KDMIPE, Dehradun, India, GEOIndia.

Mimonitu, O., (2010), Petrophysical evaluation of the aliban age gas bearing sandstone reservoirs of the O-M field, orange basin, South Africa, PhD thesis, University of Western Cape, Bellville, South Africa

Motiei, H. (1993). Stratigraphy of Zagros. Treatise on the Geology of Iran, 60, 151.

Murris, R. J. (1980). Middle East: stratigraphic evolution and oil habitat. AAPG Bulletin, 64(5), 597-618.

Ostad, M. N., Asghari, O., Emery, X., Azizzadeh, M., and Khoshbakht, F. (2016). Fracture network modeling using petrophysical data, an approach based on geostatistical concepts. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 31, 758-768.

Passey, Q.R., S. Creaney, J.B. Kulla, F.J. Moretti, and J.D. Stroud, (1990), A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs: AAPG Bulletin, v. 74, p. 1777-1794.

Rabiller, P., (2005). Facies prediction and data modeling for reservoir characterization. 1 th Ed., Rabiller Geoconsulting.

Rashid, F., Glover, P.W.J., Lorinczi, P., Collier, R. and Lawrence, J., (2015). Porosity and permeability of tight carbonate reservoir rocks in the north of Iraq. Journal of Petroleum Science and Engineering, 133, pp.147-161.

Rao, A. (2010). Clay-typing, depositional environment and framing a petrophysical model for formation evaluation in Vashista field, Krishna-Godavari basin-a case study. 8th Biennial International Conference and Exposition on Petroleum Geophysics, P-62.

Russel WL (1944): The Total Gamma- Ray Activity of Sedimentary Rocks as indicated by Geiger-Counter Determinations. Geophysics.

Shahi, M., Salehi, M.M. and Kamari, M., (2017). New correlation for estimation of cementation factor in Asmari carbonate rock reservoirs. Egyptian Journal of Petroleum.

Sharland, P. R., Casey, D. M., Davies, R. B., Simmons, M. D., and Sutcliffe, O. E. (2004). Arabian plate sequence stratigraphy–revisions to SP2. GeoArabia, 9(1), 199-214.

Tvakoli, V., and Amini, A., (2006). Application of multivariate cluster analysis in logfacies determination and reservoir zonation, case study of Maroun Field, South of Iran. JUST, 32 (2): 173-180.

Abstract

The well logging data are used in the reservoir studies in some cases. Using of the electrical well log helps to know the hydrocarbon reservoir respect to identify porosity type and estimate the electro Facies of the reservoir. The velocity deviation log based on the neutron and sonic log is used to determine the types of formation porosity. The multi resolution graph based clustering (MRGC) method is the one of the popular methods of the clustering due to special properties. Because, the MRGC doesn't need to know the number of clusters or initial parameters. The Sarvak oil formation that placed in southwest of the Iran is one of the important oil field. Therefore, understanding the petrophysical properties of this oil reservoir is very useful. In the present study, the petrophysical properties of this oil reservoir are estimated by using well log data and Geolog well logging interpretation software. This property is including porosity, water saturation, lithology, types of porosity and types of electrical Facies. The results of lithological analysis using cross plot from neutron-density, neutron-sonic and sonic-density show the formation have sandstone and limestone. Also, the shale is presented in formation in form of layers and diffused form. More than, the results show that porosity of formation is located in interval of 2 to 15 percent. Also, water saturation was estimated using Archie method that show it was located in interval of 0 to 100 percent where 100% water saturation was located in shale layers. The results show the formation have 15% average water saturation. On the other hand, the velocity deviation log show that porosity type was Moldic, intra fossil and intra particle type.

The MRGC method was used to estimate the electro Facies using log data from density, neutron, sonic and gamma ray. The results show there are five types of electro Facies. The results show the electro Facies number five and four have best reservoir quality respect porosity and shale volume and electro Facies number 1 and 2 have the worst reservoir quality. Therefore, the reservoir quality was changed from electro Facies number 5 to 1 from best to lowest reservoir quality.

Keywords: Zonation, Electro Facies, Sarvak formation, Multi resolution graph based clustering



Shahrood University Of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Petroleum Engineering – Exploraation

**Determination of the Porosity Type and Detection and Zonation of
Electro Facies in One of the Southwest Iranian Oil Field**

By: Farshad Ansari

Supervisors:

Dr .Abolghasem Kamkar Rouhani

Dr .sajad negahban

Advisor:

Engineer Ehsan Larki

April 2019