

ارزیابی خصوصیات مخزنی سازندکنگان و دالان با استفاده از داده‌های پتروفیزیکی در یکی از میادین گازی ایران

علی دهقان ابنوی^۱؛ امیر کریمیان طرهبه^{۲*}؛ جعفر قاجار^۱؛ رحیم کدخدائی ایلخچی^۳؛ علی طالب نژاد^۴

۱- گروه مهندسی نفت، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲- بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۳- پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۴- گروه پتروفیزیک، شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی، شیراز، ایران

(علمی - پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۶/۷

چکیده

جهت بررسی و شناسایی نواحی مختلف یک میدان از منابع و روش‌های متنوعی استفاده می‌شود که این روش‌ها باعث شناخت بهتر نواحی و لایه‌های مختلف مخزن می‌شود. هدف این مطالعه تعیین رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریانی در سازندهای کنگان و دالان بالایی در یکی از میادین گازی جنوب ایران است. اهمیت تعیین و بررسی رخساره با کیفیت و تفکیک این رخساره از دیگر رخساره‌ها باعث شناخت بهتر نواحی با کیفیت و همچنین به دلیل استفاده از اطلاعات موجود و دردسترس می‌توان در وقت و هزینه صرفه‌جویی کرد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های نمودارگیری و مفهوم خوشه‌بندی از روش چند تفکیکی گرافیکی (MRGC) در نرم‌افزار ژئولاگ، داده‌های نمودارهای پتروفیزیکی خوشه‌بندی و در نهایت ۵ رخساره الکتریکی تشخیص داده شد. از میان رخساره‌های تعیین شده، رخساره الکتریکی شماره ۴ با لیتولوژی آهک دولومیتی به‌عنوان بهترین ناحیه مخزنی با توجه به تخلخل مؤثر بالا و حجم شیل پایین تشخیص داده شد. در این مطالعه پس از تعیین رخساره‌های الکتریکی با استفاده از روش‌های مختلف واحدهای جریانی از اطلاعات مغزه به دست آمده‌اند. در نهایت پس از تعیین واحدهای جریانی، برای بررسی ارتباط میان رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریانی با استفاده از مقاطع عرضی چاه‌ها، واحدهای جریانی در کنار رخساره‌های الکتریکی تعیین شده قرار داده می‌شوند. پس از بررسی عمق به عمق ارتباط بالایی بین آن‌ها مشاهده شد. این نتیجه نشان می‌دهد که از این مدل رخساره الکتریکی می‌توان در تمام چاه‌های این میدان استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: خوشه‌بندی، رخساره الکتریکی، سازندهای کنگان و دالان، واحدهای جریانی، نمودارهای پتروفیزیکی.

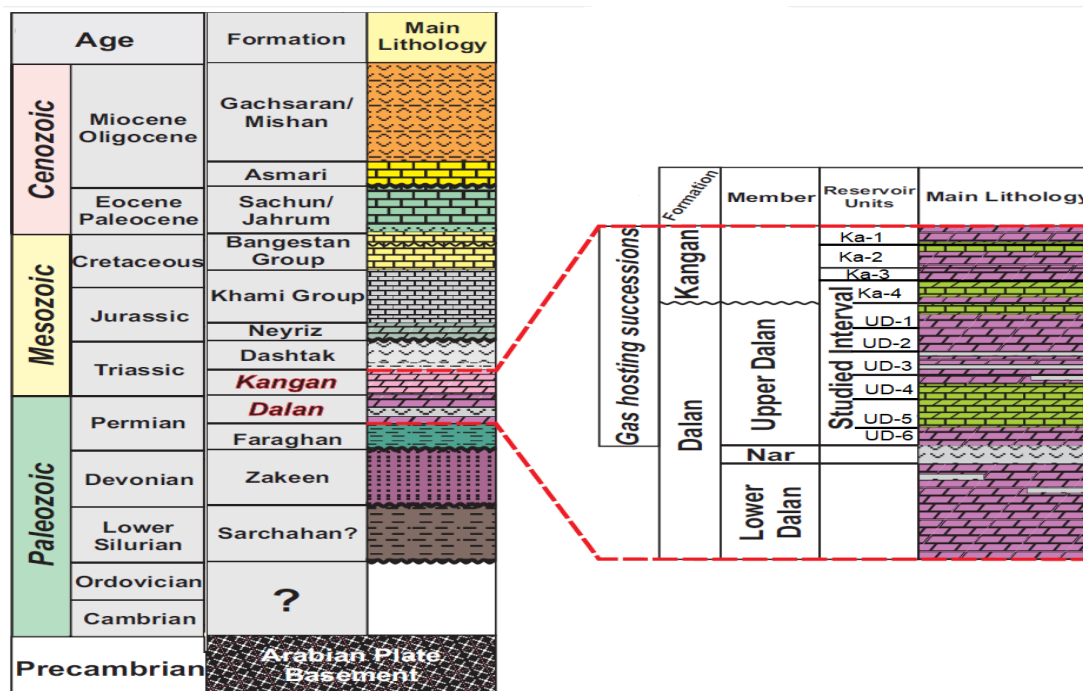
مقدمه

بررسی وضعیت زمین‌شناسی منطقه، تعیین لیتولوژی لایه‌ها، تعیین نواحی دارای شکستگی، تشخیص گسل‌ها و سطوح لایه‌بندی در اکتشافات نقش مهمی در مدیریت و صیانت از منابع هیدروکربنی دارند (خوشبخت، ۱۳۸۴). جهت ارزیابی و بررسی پارامترهای مهم یک مخزن هیدروکربنی در مراحل ابتدایی، از روش‌هایی همچون لرزه‌نگاری، مغزه‌گیری و نمودارگیری از چاه استفاده می‌شود. در بین این روش‌ها، نمودارگیری به دلیل برطرف کردن مشکلات و پرهزینه بودن مغزه‌گیری، کافی نبودن حجم مغزه برای انجام آزمایش‌های مختلف و پیوسته نبودن اطلاعات در مغزه روشی کاربردی‌تر است (افضلی، ۱۳۹۶). از اطلاعات نمودارگیری می‌توان در جهت شناسایی نواحی مختلف، تشخیص سنگ مخزن، تعیین خصوصیات پتروفیزیکی سنگ مخزن که شامل درجه اشباع، تخلخل و غیره است، استفاده کرد. پس از بررسی اطلاعات نمودارگیری، رخساره‌های الکتریکی تعیین می‌شوند. مفهوم رخساره^۱ از زمانی که زمین‌شناسان در واحدهای سنگی خصوصیات را یافتند که می‌توانست برای تطابق این واحدها و در پیش‌بینی وجود ذخایری مانند زغال، نفت و کانی‌های معدنی به کار رود، مورد استفاده قرار گرفته است؛ اما مفهوم جدید این واژه اولین بار توسط گرسلی^۲ معرفی گردید. در این تعریف رخساره به مجموعه مشخصات خاص یک واحد رسوبی اطلاق گردید (رهسپار، ۱۳۹۳). در سال ۱۹۸۲ توسط سرا و ابوت با ترکیب رخساره‌های زمین‌شناسی با نمودارهای الکتریکی، مفهوم جدیدی به نام رخساره‌های الکتریکی مطرح شد (Cross, 1997; رهسپار، ۱۳۹۳). از آنجا که این رخساره‌ها از روی اطلاعات نمودارها به دست می‌آیند، نام رخساره لاگ یا رخساره‌های الکتریکی برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. تعیین رخساره‌های الکتریکی در یک میدان باعث ارزیابی شاخص‌های پتروفیزیکی و خوشه‌بندی رخساره‌ها می‌شود و نیاز به اطلاعات آزمایشگاهی را برطرف می‌سازد (رهسپار، ۱۳۹۳). با استفاده از مفهوم رخساره‌های الکتریکی می‌توان داده‌ها را خوشه‌بندی کرد. خوشه‌بندی درواقع، یک ساختار درون یک مجموعه از داده‌های بدون برچسب است که به هم شباهت داشته باشند. در خوشه‌بندی سعی می‌شود تا داده‌ها به خوشه‌هایی تقسیم شوند که شباهت بین داده‌های درون هر خوشه، حداکثر و شباهت بین اعضای درون خوشه‌های مختلف با هم، حداقل شود (Serra, 1982; Torghabeh, 2014; Jafarzadeh, 2019). رخساره‌های الکتریکی، مفهومی است که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. این رخساره‌ها جهت تعیین نواحی با کیفیت مخزنی و جداسازی این لایه‌ها از لایه‌های کیفیت پایین نقش به سزایی دارند. جهت تعیین رخساره‌ها از منابعی استفاده می‌شود که غالباً در تمامی میدان‌ها وجود دارد. این اطلاعات شامل نمودارهای پتروفیزیکی است و در تمامی چاه‌ها وجود دارد. اگرچه جهت تعیین این رخساره‌های الکتریکی روش‌های متنوعی وجود دارد ولی روش خوشه‌بندی نمودارها دارای دقت بالاتری است.

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه از اطلاعات کامل پتروفیزیکی، نمودارهای یکی از میادین گازی جنوب ایران، تحت حمایت شرکت نفت مناطق مرکزی ایران، جهت تعیین رخساره‌های الکتریکی استفاده شده است. سازندهای مورد بررسی در این پژوهش شامل دو سازند مهم دالان بالایی و کنگان است که اهمیت بالایی در مخازن جنوب کشور دارند. این سازندها (معادل سازند خوف) با بیش از ۴۰۰ متر ضخامت به عنوان بزرگترین مخازن کربناته دارای گاز در خاورمیانه به شمار می‌روند. سازند کنگان با سن تریاس پیشین و سازند دالان شامل دو بخش بالایی و پایینی

کریناته و بخش میانه انیدریتی (سازند نار) با سن پرمین پسین است. شکل ۱ ستون چینه‌شناسی زاگرس و نواحی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: ستون چینه‌شناسی سازندهای زاگرس (Enayati-Bidgoli, 2014)

مواد و روش‌ها

در روش خوشه‌بندی رخساره‌های الکتریکی در خوشه‌هایی قرار می‌گیرند که اجزاء هر خوشه با هم بیشترین شباهت و با اجزاء دیگر خوشه‌ها بیشترین تفاوت را دارند. از جمله روش‌های خوشه‌بندی داده‌ها: روش آنالیز خوشه‌ای چند تفکیکی گرافیکی^۳، روش شبکه عصبی خودسازمان^۴، روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی^۵ و روش خوشه‌بندی پویا^۶ است (Khoshbakht, 2010).

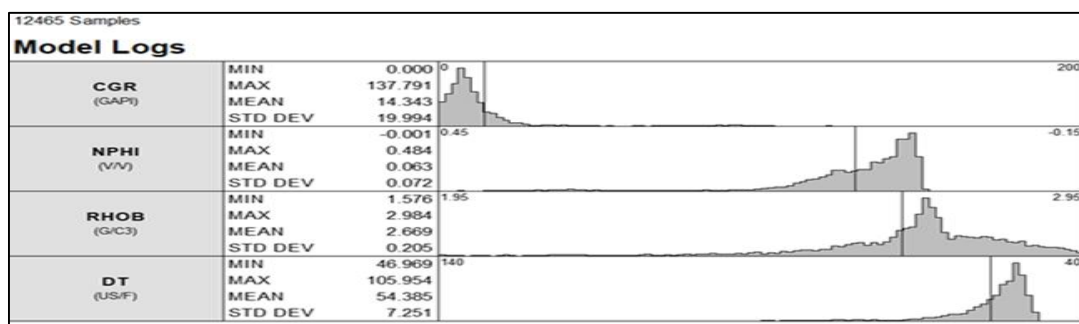
روش خوشه‌ای چند تفکیکی گرافیکی

براساس بررسی روش‌ها در این مطالعه و پژوهش‌های پیشین این نتیجه قابل برداشت است که روش آنالیز خوشه‌ای چند تفکیکی گرافیکی به دلیل قابلیت تفکیک و دقت بالا، عدم نیاز به اطلاعات اولیه از داده‌های ورودی، پایدار بودن نتیجه با تغییر پارامترها و همچنین کاهش وابستگی داده‌ها به بعد، روش موثرتر و مناسب‌تری در خوشه‌بندی داده‌ها است. اولین مرحله در این روش تعیین مقادیر اندیس همسایگی برای هر نقطه موردنظر است. مقادیر همسایگی با استفاده از روش چندبعدی تشخیص الگو براساس شاخص همسایگی انجام می‌شود که مقادیر اندیس همسایگی برای تشکیل گروه‌های کوچک بنیانی، برای تعیین الگوریتم چندبعدی جذب نقطه به نقطه نزدیک‌ترین همسایه، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در نهایت شاخص کرنل نقاط به دست می‌آید و نقاط براساس این شاخص مرتب می‌شوند. سپس تعداد خوشه‌ها به کاربر داده می‌شود. در این روش تعداد دقیق خوشه‌ها در ابتدا توسط کاربر تعیین نمی‌شود بلکه کاربر فقط بازه تعداد خوشه‌ها را تعیین کرده و

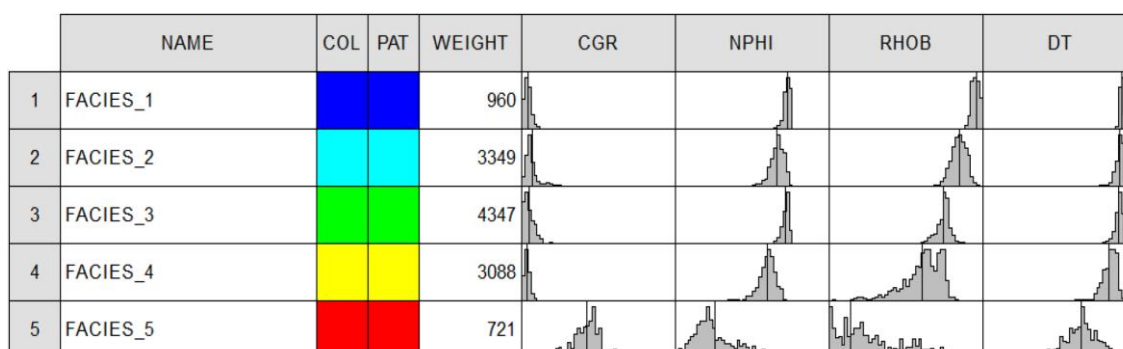
نتایج حاصله در نهایت پس از اعتبار سنجی توسط کاربر به عنوان تعداد خوشه‌ها معرفی می‌شوند (Baneshi, 2016). واحدهای جریانی معمولاً براساس پارامترهای زمین‌شناسی مانند بافت و خواص پتروفیزیکی مانند تخلخل و تراوایی مشخص می‌شود. روش‌های سنتی دسته‌بندی نوع سنگ براساس مشاهدات زمین‌شناسی و بر پایه روابط تجربی میان نمودارهای تخلخل و تراوایی بوده است (Ahrimankosh et al, 2011). لذا به دلیل اینکه در یک نمونه سنگ می‌تواند مقادیر متفاوت تخلخل دیده شود و مقدار تخلخل در یک سازند یا لایه یک مقدار ثابت نیست، بنابراین بیان‌گر موضوع چندین ناحیه جریانی در گونه سنگ است (ایزدی ۱۳۹۱؛ Ghadami, 2016; Rasaei et al, 2015; Rastegarnia, Sanati et al, 2016). هدف از دسته‌بندی و بررسی این رخساره‌ها، طبقه‌بندی مجموعه داده‌ها در گروه‌هایی است که بیشترین شباهت بین داده‌ها در یک گروه را دارند و کمترین شباهت را با داده‌های موجود در گروه‌های دیگر دارند. لذا با این خوشه‌بندی رخساره‌های مختلف یک میدان مشخص می‌شوند و از دیگر رخساره‌ها تفکیک می‌شوند. برای تعیین رخساره‌های الکتریکی، ابتدا مدل در چاه مبنا ساخته می‌شود. چاه مبنا چاه مهم و کلیدی است و در انتخاب آن دقت زیادی لازم است چون در نهایت مدل ساخته شده به کل چاه‌های میدان تعمیم داده می‌شود. با بررسی اطلاعات نمودارهای پتروفیزیکی مربوط به میدان معلوم شد که نمودارهای اشعه گاما^۷، صوتی^۸، چگالی^۹ و نوترون^{۱۰}، در تمام چاه‌ها موجود می‌باشند. برای تعیین رخساره‌های الکتریکی این میدان، از این ۴ نمودار با استفاده از نرم‌افزار ژئولاگ ۷ استفاده می‌شود. در مرحله نخست ابتدا در قسمت ماژول TMFACIMAGE نرم‌افزار ژئولاگ، نمودارهای پتروفیزیکی انتخاب می‌شوند. سپس این نمودارها جهت تعیین رخساره‌های الکتریکی باید خوشه‌بندی شوند. در ادامه، با استفاده از روش خوشه‌بندی به روش چند تفکیکی گرافیکی، تعداد خوشه‌ها توسط نرم‌افزار پیشنهاد می‌شود. به این صورت که بازه تعداد رخساره‌های الکتریکی توسط کاربر وارد می‌شود، سپس با تحلیل و بررسی، رخساره‌های مشابه با هم تلفیق شد و تعداد خوشه‌ها به مقدار بهینه و قابل قبول تغییر می‌کند. این عمل باعث می‌شود تا از تکرار یک رخساره خاص که باعث ایجاد خطا در مدل شود، جلوگیری کرد. بعد از تعیین رخساره‌های الکتریکی واحدهای جریانی نیز با استفاده از روش‌های آنالیز احتمال نرمال، روش هیستوگرام و روش RQI بر حسب تخلخل نرمالایز شده تعیین شد.

بحث و نتایج

پس از فراخوانی نمودارها و آنالیز آماری مربوط به آن‌ها، تعداد ۱۲۴۶۵ داده نمودارهای چاه پیمایی مذکور ارزیابی شد. در نهایت ۵ رخساره به عنوان مناسب‌ترین تعداد انتخاب گردید. با استفاده از روش K-Nearest Neighbor Facies Propagation رخساره‌های تعیین شده در تمام قسمت‌های چاه مبنا تعمیم^{۱۲} داده شد و سپس این مدل به دیگر چاه‌های میدان توسعه داده شد. روش چند تفکیکی گرافیکی به دلیل حساسیت و دقت بالا در برابر تغییرات اساسی نمودارهای پتروفیزیکی، حساسیت نشان داده و رخساره‌های الکتریکی جداگانه‌ای برای هر تغییر خاص ساخته است. تغییرات ناچیز نمودارهای پتروفیزیکی، نشان دهنده تغییرات اساسی در کیفیت مخزنی نمی‌باشد لذا این روش در برابر تغییرات ناچیز نمودارهای پتروفیزیکی حساسیت نشان نداده و در مقابل این تغییرات، رخساره الکتریکی جداگانه‌ای به وجود نیاورده است. شکل ۲ نمودار فراوانی لاگ‌های ورودی به نرم‌افزار را نمایش می‌دهد. در این شکل اطلاعات آماری نظیر کمترین، بیشترین، میانه و انحراف معیار مقادیر لاگ‌های ورودی به تفکیک مشاهده می‌شود. شکل ۳ رخساره‌های نهایی دسته‌بندی شده را نشان می‌دهد.

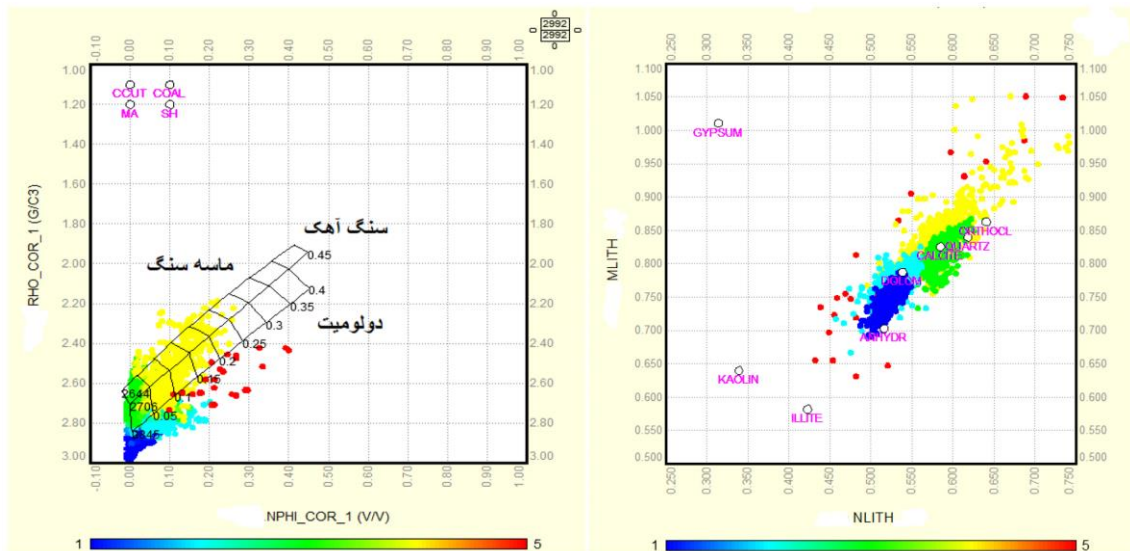


شکل ۲: نمودار فراوانی لاگ‌های ورودی برای تفکیک رخساره‌های الکتریکی در میدان مورد مطالعه



شکل ۳: رخساره‌های دسته‌بندی شده براساس لاگ‌های ورودی

برای این که نتیجه حاصله دقیق باشد باید سعی شود تمام رخساره‌های یکسان با هم ترکیب شوند تا به تعداد بهینه رخساره رسید. با استفاده از تلفیق اطلاعات نمودارهای درون چاهی و روش خوشه‌سازی مناسب در یک میدان اطلاعات با ارزشی از خصوصیات مخزن و رخساره‌های متفاوت آن، به دست خواهد آمد که دید بهتری در ارزیابی کیفیت مخزنی و تفکیک نواحی مختلف در یک چاه و کل میدان به ما خواهد داد. جهت تعیین لیتولوژی از نمودارهای متقاطع نوترون/چگالی^{۱۳} و M/N استفاده می‌شود. یکی از روش‌های متداول تعیین نوع سنگ‌شناسی و تخلخل نمودارهای متقاطع است (Shazly, 2011). نمودار نوترون-چگالی با استفاده از اطلاعات نمودارهای نوترون و چگالی دو کمیت را تعیین می‌کند: الف) مقدار تخلخل (درصدی موجود روی خطوط نشان دهنده مقدار تخلخل است)، ب) لیتولوژی (هر یک از خطوط موازی نشان دهنده یک لیتولوژی خاص است). این نمودار در تمام سازندهای تمیز و اشباع با سیالات قابل استفاده است (Shazly, 2011; باقری، ۱۳۹۲). یکی دیگر از نمودارهای مهم تعیین لیتولوژی نمودار مقاطع M/N است. مزیت اصلی این نمودار این است که به سه نمودار نوترون، چگالی و صوتی بستگی دارد. در شکل ۴ نمودار متقاطع نوترون/چگالی و M/N نشان داده شده است. به نظر می‌رسد رخساره الکتریکی شماره ۱ با طیف رنگی آبی با توجه به شکل ۴ رخساره اندریتی، رخساره الکتریکی شماره ۲ با طیف رنگی آبی روشن، رخساره دولومیتی، رخساره الکتریکی شماره ۳ با طیف رنگی سبز، رخساره آهکی، رخساره الکتریکی شماره ۴ با طیف رنگی زرد، رخساره آهک دولومیتی و در نهایت رخساره الکتریکی شماره ۵ با طیف رنگی قرمز، رخساره شیلی باشند.



شکل ۴: نمودارهای مقاطع نوترون-چگالی و M/N ۵ رخساره تشخیص داده شده به تفکیک رنگ

طبق این دو نمودار لیتولوژی و مقادیر میانگین نمودارهای پتروفیزیکی ویژگی‌های رخساره‌های الکتریکی تعیین شده به این صورت است:

رخساره الکتریکی ۱ (EF-1)

این رخساره با طیف رنگی آبی و لیتولوژی غالب انیدریت است. دلیل انیدریتی بودن این رخساره الکتریکی براساس نمودارهای لیتولوژی نوترون-چگالی، M/N و همچنین با توجه به بالا بودن مقدار نمودار چگالی و ناچیز بودن نمودار نوترون است. روند تغییر نمودارهای پتروفیزیکی به صورت روند ثابت و کاهشی نمودار صوتی با مقدار میانگین ۴۹ میکروثانیه بر فوت که نشان دهنده تخلخل پایین، نمودار چگالی و نوترون با اثر عکس هم (نمودار چگالی در مقادیر بالای خود در حدود $2/91$ و نمودار نوترون با روند کاهشی) و نمودار گاما نیز دارای مقداری کاهشی است. انیدریت بیشتر در لایه‌های موسوم به پوش سنگی، به دلیل عدم تخلخل و نفوذپذیری، حالت پلاستیکی و انعطاف‌پذیری قرار دارد. به همین دلیل بیشتر در نقاط ابتدایی نمودارها مشاهده می‌شود.

رخساره الکتریکی ۲ (EF-2)

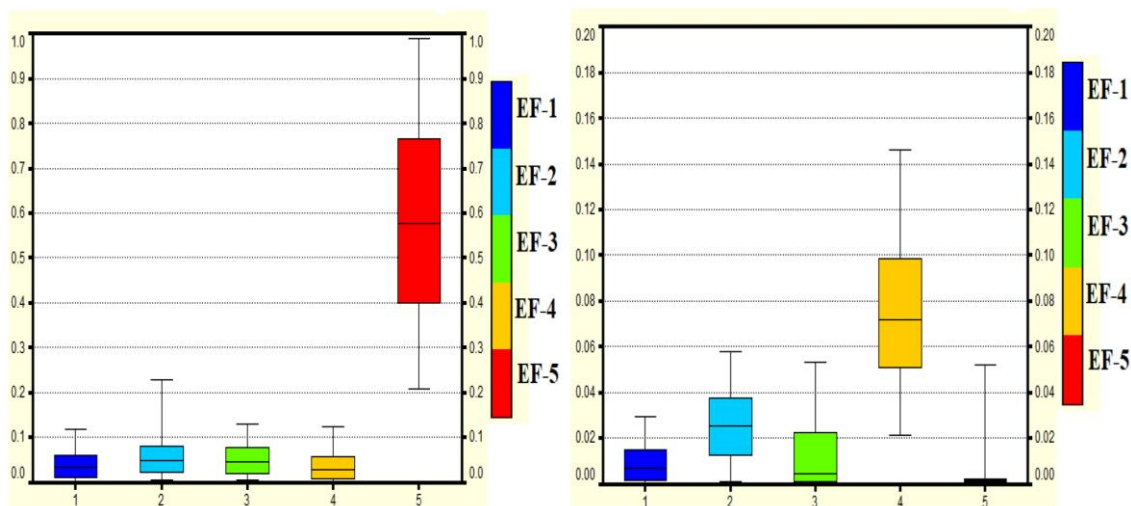
طیف رنگی مربوط به این رخساره آبی روشن بوده و لیتولوژی غالب آن طبق نمودارهای لیتولوژی دولومیت است. با توجه به شکل نمودارهای لیتولوژی مشاهده می‌شود که فراوانی نقاط این رخساره با رنگ آبی روشن بر روی خط دولومیت است. همچنین دارای مقادیر نمودار نوترون $0/3$ الی $0/1$ و چگالی $2/71$ الی $2/84$ می‌باشد. روند نمودارهای پتروفیزیکی نسبت به رخساره شماره یک، به صورت روند افزایشی در نمودارهای صوتی، نوترون، گاما و در نمودار چگالی به صورت کاهشی است. این رخساره به دلیل داشتن تخلخل بالاتر نسبت به رخساره شماره ۱ کیفیت بهتری دارد و با توجه به شکل ۴، فراوانی این رخساره در میدان مورد مطالعه در رتبه سوم بین ۵ رخساره دیگر است.

رخساره الکتریکی ۳ (EF-3)

لیتولوژی این رخساره با توجه به نمودارهای مقاطع نوترون-چگالی و M/N آهک است. از لحاظ کیفیت، با توجه به نمودار جعبه‌ای تخلخل موثر و حجم شیل این رخساره نیز مانند رخساره الکتریکی شماره ۲ کیفیتی متوسط را بعد از رخساره‌های الکتریکی شماره ۴ و ۲ دارد. این رخساره با طیف رنگی سبز مشخص شده است.

رخساره الکتریکی ۴ (EF-4)

رخساره شماره ۴ به دلیل داشتن بالاترین مقدار تخلخل مؤثر و کمترین میزان شیل معرف بهترین کیفیت مخزنی تشخیص داده شده در این میدان است. این رخساره با توجه به نمودارهای لیتولوژی با طیف رنگی زرد و لیتولوژی آهک دولومیتی در توالی مورد مطالعه است. روند نمودارهای پتروفیزیکی در این رخساره به صورت روند افزایشی نمودارهای صوتی، نوترون و کاهش نمودار گاما است. طبق نمودار جعبه‌ای و روند افزایشی نمودار پتروفیزیکی نوترون، این رخساره دارای بالاترین تخلخل مؤثر و کمترین میزان حجم شیل است که باعث می‌شود کیفیت مخزنی بالایی نسبت به بقیه رخساره‌ها داشته باشد. شکل ۵ نمودار جعبه‌ای تخلخل مؤثر برای رخساره‌های الکتریکی تعیین شده در این میدان است که نشان می‌دهد رخساره شماره ۴ دارای بالاترین میزان تخلخل مؤثر نسبت به بقیه رخساره‌های الکتریکی است. نمودارهای جعبه‌ای یکی از روش‌های آماری مهم در بررسی پراکندگی داده‌ها و دسته‌های مختلف نسبت به هم به دلیل کاربرد زیاد در نمایش داده‌ها و تفسیر آسان آن است. به نظر می‌رسد این رخساره دارای پتانسیل بالای تولید در میدان مورد مطالعه باشد. لذا می‌توان این رخساره را در عملیات‌های تکمیل چاه و ازدیاد برداشت مورد توجه قرار داد.



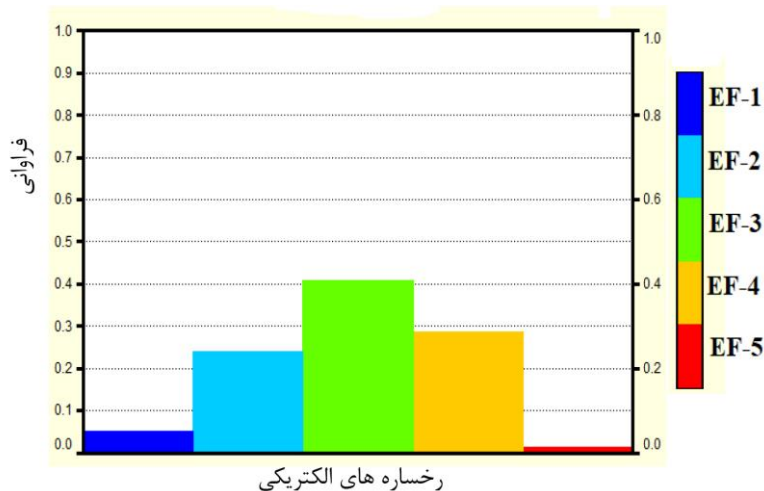
شکل ۵: نمودار باکس پلات تخلخل مؤثر و حجم شیل برای رخساره‌های تعیین شده

رخساره الکتریکی ۵ (EF-5)

این رخساره با طیف رنگی قرمز، عمدتاً از جنس لایه‌های شیلی است. دلیل قرار دادن این رخساره الکتریکی در لیتولوژی شیلی با توجه به نمودارهای لیتولوژی مقاطع نوترون-چگالی و M/N ، مقدار بالای نمودار CGR در شکل ۳ و همچنین مقدار بالای شیل در نمودار جعبه‌ای حجم شیل نسبت به بقیه رخساره‌ها است. با توجه به نمودار جعبه‌ای حجم شیل نیز درصد بالای شیل در این رخساره قابل مشاهده است. در نمودار مقاطع لیتولوژی نوترون-چگالی نیز وجود شیل در سازند باعث می‌شود که نقاط به سمت گوشه پایین سمت راست نمودار منتقل شوند که با طیف رنگی قرمز مشخص شده‌اند.

مقایسه رخساره‌های الکتریکی تفکیک شده درون مخزن

بعد از تعیین رخساره‌ها، می‌توان از این رخساره‌ها در جهت تعیین نواحی با کیفیت مخزنی مناسب و تفکیک آن‌ها از زون‌های بدون کیفیت مخزنی استفاده کرد. مشخص کردن نواحی با کیفیت بالای مخزن، نقش بسزایی در شناخت بهتر میدان در جهت توسعه و مشخصه‌سازی آن دارد. درواقع با شناسایی این نواحی می‌توان سناریوهای شبیه‌سازی و تخمین آینده مخزن را با دقت بالاتر در جهت مدیریت و صیانت مخازن ارائه کرد. همچنین شناسایی این نواحی در فرایندهایی نظیر ازدیاد برداشت نقش بسزایی خواهد داشت. زون با کیفیت زونی است که دارای مقدار تخلخل مؤثر بالا و حجم شیل پایین باشد. جهت تعیین نواحی و رخساره‌های الکتریکی با کیفیت از نمودارهای جعبه‌ای حجم شیل و تخلخل مؤثر به دلیل سهولت و برداشت سریع نتایج استفاده می‌شود. با بررسی رخساره‌های تعیین شده مشخص شد، رخساره شماره چهار با طیف رنگی زرد با تخلخل مؤثر بالا و حجم شیل پایین دارای بالاترین کیفیت مخزنی است. پس در مناطقی که رخساره شماره چهار مشاهده می‌شود، نشان‌دهنده کیفیت بالای آن زون است. پس از این رخساره، رخساره‌های شماره دو و سه با طیف رنگی سبز و آبی روشن کیفیت مخزنی مناسب‌تری با توجه به نمودار جعبه‌ای حجم شیل و تخلخل مؤثر نسبت به بقیه رخساره‌های تعیین شده دارند. رخساره شماره پنج و یک، رخساره شیلی و انیدریتی هستند و کیفیت مخزنی مناسبی ندارند. از لحاظ فراوانی هر رخساره در چاه‌های مورد مطالعه می‌توان از نمودار هیستوگرام استفاده کرد. با توجه به نمودار هیستوگرام شکل ۶، رخساره الکتریکی شماره سه دارای بیشترین فراوانی در این چاه‌ها است. الکتریکی شماره پنج نیز دارای کمترین میزان فراوانی نسبت به بقیه رخساره‌ها است.



شکل ۶: نمودار فراوانی انواع رخساره‌ها در چاه‌های مورد مطالعه

تعیین واحدهای جریانی

در این مطالعه با استفاده از اطلاعات مغزه واحدهای جریانی با استفاده از روش‌های زیر تعیین شد:

روش نمودار RQI بر حسب تخلخل نرمال شده

این روش تخمینی برای طبقه‌بندی گونه‌های مختلف سنگ و پیش‌بینی خواص جریان است. با استفاده از مفهوم شاخص کیفیت مخزن، تخلخل نرمال شده و شاخص منطقه‌ای جریان می‌توان واحدهای جریانی را تعیین کرد. هدف اصلی طبقه‌بندی داده‌ها براساس شاخص منطقه جریانی می‌باشد. به‌طور کلی این روش براساس رابطه

اصلاح شده کوزنی-کارمن و با لگاریتم گیری از دو طرف معادله ۲ به دست می‌آید (Pittman, 1992); (Amaefule, Altunbay et al, 1993). کوزنی-کارمن با در نظر گرفتن مخزن به صورت لوله‌های موئین و ترکیب با قانون دارسی، پوزیله و همچنین عامل پیچاپیچی رابطه ۱ را معرفی کردند. پس از تقسیم رابطه ۱ بر φ_e می‌توان مقدار شاخص کیفیت مخزن را محاسبه کرد.

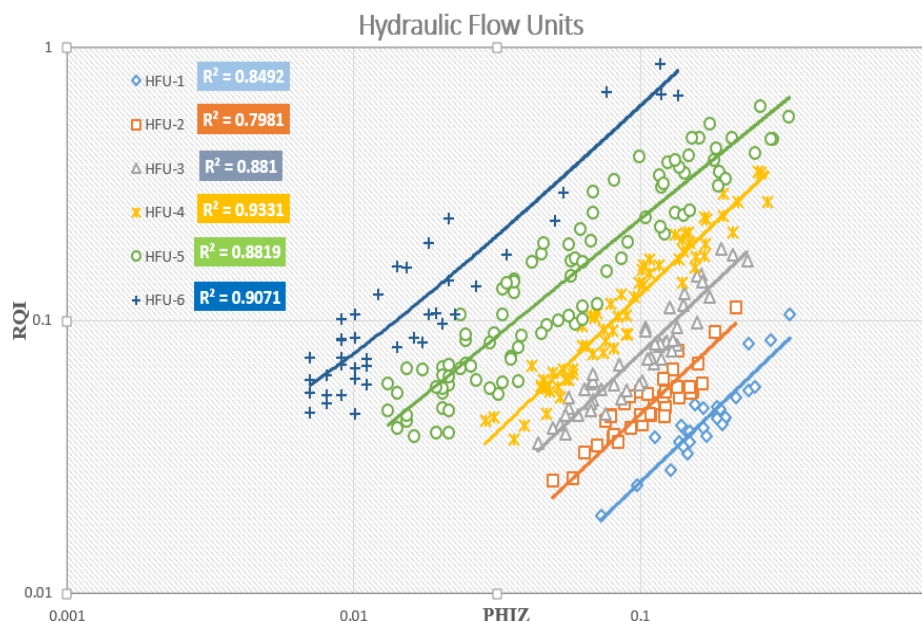
رابطه (۱)

$$K = \left[\frac{\varphi_e^3}{(1-\varphi_e)^2} \right] \frac{1}{F_s \tau^2 S_{gv}^2} \quad (۱)$$

$$FZI = \frac{RQI}{\varphi_z} \quad (۲)$$

$$\text{Log}(RQI) = \text{Log}(\varphi_z) + \text{Log}(FZI) \quad (۳)$$

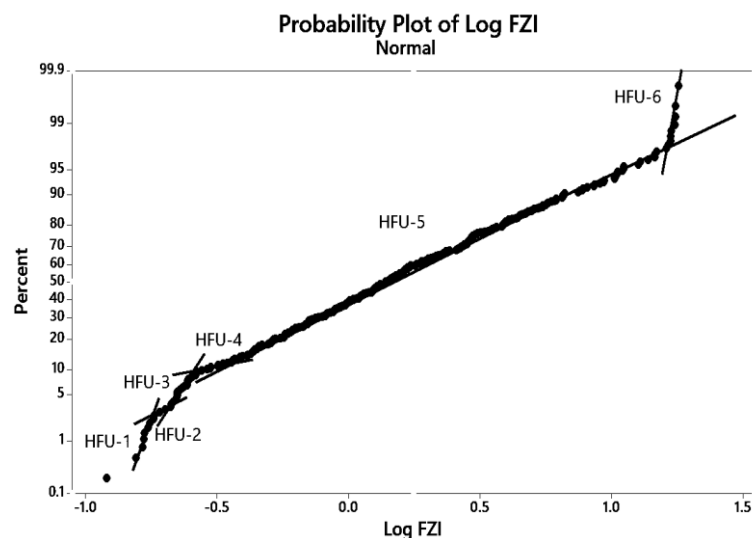
با توجه به این رابطه در مقیاس لگاریتمی، RQI برحسب φ_z نمونه‌هایی که دارای شاخص منطقه جریانی یکسان باشند روی یک خط مستقیم با شیب یک قرار می‌گیرند. نمونه‌هایی که روی یک خط قرار می‌گیرند، دارای ویژگی‌های گلوگاهی مشابه هستند و یک واحد جریانی یکتا را نشان می‌دهند. واحدهای جریانی یکسان را عرض از مبدا خطوط با شیب یک از هم تفکیک می‌کند. در واقع هر خط نماینده یک واحد جریانی بوده و خط $PHIZ=1$ را در نقطه‌ای قطع می‌کند که این تقاطع، مقادیر میانگین شاخص منطقه جریانی برای هر واحد جریانی است. شکل ۷، شش واحد جریانی را با محدوده مرزی معین برای تمامی داده‌ها نمایش می‌دهد. در روش شاخص منطقه جریانی به هر واحد جریانی، یک عدد خاص تعلق می‌گیرد که هر واحد جریانی دارای خواص پتروفیزیکی منحصر به فرد است.



شکل ۷: نمودار لگاریتمی RQI در مقابل PHIZ و تفکیک شش واحدهای جریانی

روش آنالیز هیستوگرام

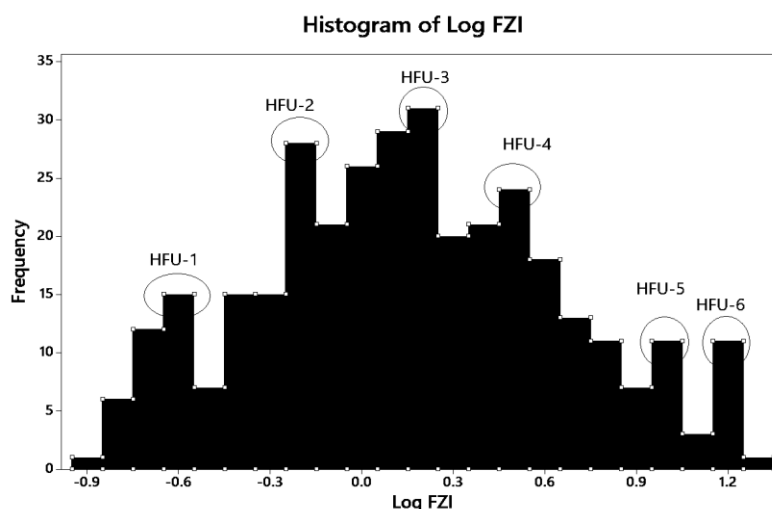
طبق اصول واحدهای جریان، توزیع هیستوگرام لگاریتم شاخص منطقه جریانی در هر واحد جریان هیدرولیکی به صورت توزیع نرمال است؛ بنابراین پس از تعیین شاخص منطقه‌ای جریان، نمودار هیستوگرام روی داده‌های لگاریتم شاخص منطقه جریانی رسم می‌شود و هر توزیع نرمال در این نمودار نشان‌دهنده یک واحد جریانی است.



شکل ۸: هیستوگرام لگاریتم شاخص منطقه جریانی (FZI)

روش آنالیز احتمالات نرمال

به دلیل اینکه هر واحد جریان هیدرولیکی به صورت توزیع خطی است، بنابراین هر تغییر شیب و شکستگی در نمودار احتمال لگاریتم شاخص منطقه جریانی، نشان‌دهنده یک واحد جریانی متفاوت است. نمودار احتمال، انتگرال نمودار هیستوگرام است. با رسم این نمودار، تعداد بهینه‌ی واحدهای جریانی مشخص می‌گردد.



شکل ۹: نمودار احتمال نرمال لگاریتم شاخص ناحیه جریانی (FZI)

رابطه بین تخلخل و تراوایی بر پایه واحدهای جریانی

بعد از محاسبه شاخص کیفیت مخزن و شاخص ناحیه جریانی، می‌توان ارتباط بین تخلخل و تراوایی را بررسی کرد. جهت بررسی این ارتباط تمام داده‌ها براساس شاخص ناحیه جریانی طبقه می‌شوند که هر طبقه‌بندی نشان‌دهنده یک واحد جریانی مشخص است. میانگین داده‌های تخلخل و تراوایی براساس این رابطه در ۰۱ نشان داده شده است. این میانگین براساس هر نوع خاص سنگی به تفکیک آورده شده است. نمودار رابطه تخلخل با تراوایی به صورت ۰۱۰ است. واحدهای جریانی با توجه به مقادیر تخلخل و تراوایی آن‌ها به چهار دسته کلی به شرح ذیل قابل تفکیک‌اند:

۱- با تخلخل بالا و تراوایی پایین (واحد جریانی ۱)

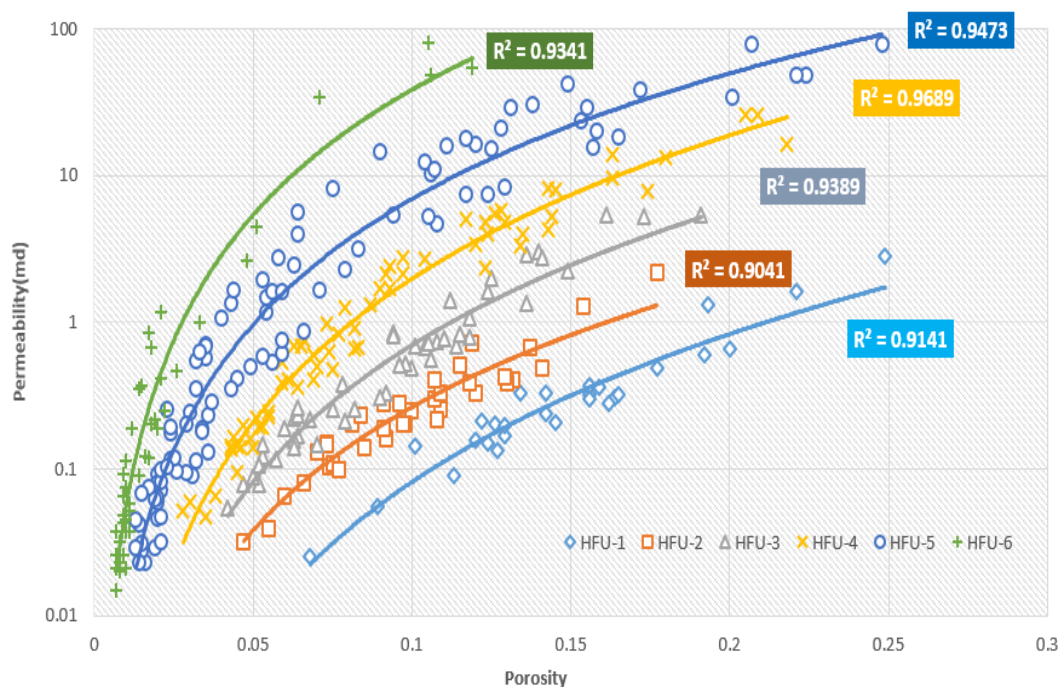
۲- با تخلخل متوسط و تراوایی پایین (واحدهای جریانی ۲ و ۳)

۳- با تخلخل متوسط و تراوایی پایین تا متوسط (واحدهای جریانی ۴ و ۵)

۴- با تخلخل پایین و تراوایی متوسط (واحد جریانی ۶)

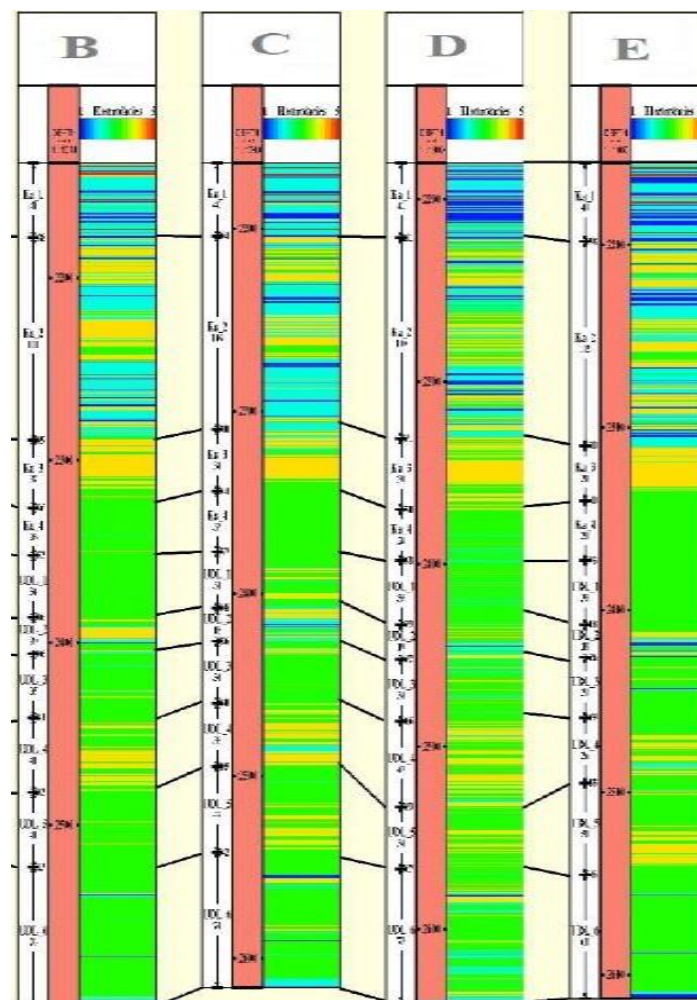
جدول ۱: مقادیر میانگین تخلخل و تراوایی به تفکیک هر واحد جریانی

HFU	میانگین تراوایی	میانگین تخلخل
۱	۰/۴۴	۰/۱۴
۲	۰/۳۴	۰/۰۹۹
۳	۰/۹۸	۰/۰۹۴
۴	۳/۲۶	۰/۰۹۱
۵	۱۲/۷۶	۰/۰۷۴
۶	۳۲/۵۰	۰/۰۲۶

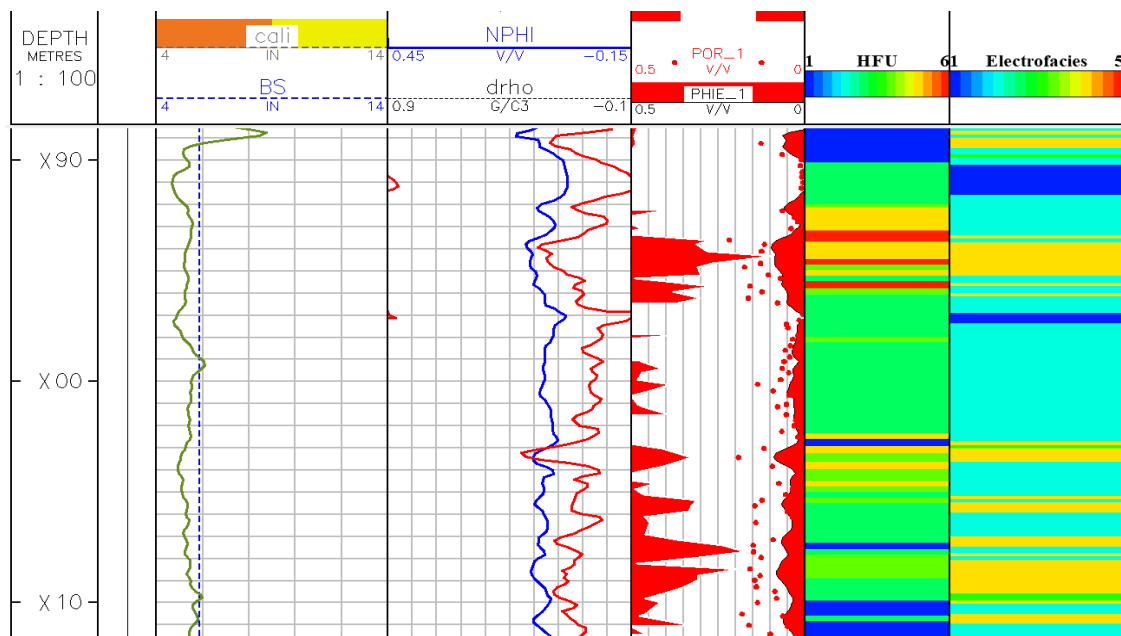


شکل ۱۰: رابطه بین تخلخل و تراوایی در واحدهای جریانی مختلف

در این مطالعه چهار چاه یکی از میداین گازی جنوب کشور در سازندهای دالان و کنگان مورد بررسی قرار گرفتند. تمام این چاه‌ها دارای نمودارهای پتروفیزیکی در کل ناحیه سازند دالان و کنگان می‌باشند. لذا پس از تعیین رخساره‌های الکتریکی در یک چاه، این رخساره‌ها به چاه‌های دیگر تعمیم داده شد. پس از بررسی سازند تمام چاه‌ها مشخص شد که استفاده از روش خوشه‌بندی MRGC دقت مناسبی در تفکیک نواحی مختلف چاه‌ها از هم دارد و می‌توان در کل گستره میدان با این روش رخساره‌های الکتریکی را تعیین کرد. طبق ستون چاه‌ها واحد کنگان ۳ در سازند کنگان و واحد دالان بالایی ۴ در سازند دالان بالایی به دلیل مشاهده رخساره الکتریکی شماره ۴ بهترین نواحی چاه‌ها هستند. واحد کنگان ۱ دارای بیشترین فراوانی رخساره الکتریکی شماره ۱ انیدریتی است. به‌طور کلی و با توجه به نمودار هیستوگرام فراوانی انواع رخساره‌های الکتریکی و نمودار مقاطع شکل ۱۱ بیشترین فراوانی مربوط به رخساره الکتریکی شماره ۳ است که ستون مقطع رخساره‌های الکتریکی تفکیک شده چهار چاه در سازندهای کنگان و دالان بالایی را به صورت کدهای رنگی نشان می‌دهد. این ستون‌ها از تطابق عمقی و لایه‌ای در لایه‌های مختلف برخوردار هستند. همچنین با استفاده از روش‌های تعیین واحد جریانی مشخص شده که ۶ واحد جریانی در این میدان وجود دارد که در شکل ۱۲ مقاطع عرضی چاه ارتباط خوبی بین واحدهای جریانی و رخساره‌های الکتریکی تعیین شده نشان می‌دهند.



شکل ۱۱: ستون رخساره‌های الکتریکی تفکیک شده در چاه‌های مورد مطالعه در سازند کنگان و دالان بالایی



شکل ۱۲: واحدهای جریانی و رخساره‌های الکتریکی تعیین شده نسبت به عمق

نتیجه‌گیری

در این مطالعه با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی و مغزه، به تعیین رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریانی یکی از میدادین گازی ایران در سازندهای کنگان و دالان بالایی پرداخته شد. با روش MRGC، پنج رخساره الکتریکی مشخص گردید که هر رخساره نشان دهنده لیتولوژی خاص و کیفیت مخزنی متفاوت است. با مقایسه نمودارهای جعبه‌ای تخلخل موثر، حجم شیل و تفسیر نمودارهای پتروفیزیکی، رخساره شماره ۴ با رنگ زرد به عنوان بهترین رخساره با پتانسیل تولید بالا تشخیص داده شد. به طور متوسط ضخامت رخساره الکتریکی با کیفیت در چاه‌های مورد مطالعه بین ۲۵ تا ۴۰ متر است. مقایسه نتایج لیتولوژی، حجم شیل و تخلخل رخساره‌های تعیین شده توسط روش MRGC، تطابق قابل قبولی را بین رخساره‌های الکتریکی و مرزهای لیتولوژیکی تعریفی نشان می‌دهد. در نهایت با استفاده از روش‌های مختلف به منظوری برقراری ارتباط بین نواحی تولیدی و رخساره‌های الکتریکی ۶ واحد جریانی تعیین شده و با استفاده از مقطع عرضی ارتباط خوبی بین رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریانی در چاه مشاهده شد. این رخساره‌ها تقسیم‌بندی جدیدی از سازند را ارائه می‌کند که این تقسیم‌بندی جنبه مخزنی داشته و تغییر خواص پتروفیزیکی در هر رخساره منحصر به فرد بوده و تغییر این شاخص‌ها در هر رخساره کاملاً از هم جدا و مشخص است.

سپاسگزاری

لازم است از اداره مطالعات پتروفیزیک شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی و شرکت نفت مناطق مرکزی برای در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز در این تحقیق تشکر و قدردانی شود.

پانویس

- 1-Facies
- 2-Gressly, (1838)
- 3-Multi Resolution Graph-based Clustering (MRGC)
- 4-Self Organizing Map(SOM)
- 5-Ascendant Hierarchical Clustering (AHC)
- 6-Dynamic Clustering (DYNCLUST)
- 7-Gamma Ray
- 8-Delta-T
- 9-Neutron density
- 10-Neutron Porosity
- 11-KNN
- 12-Propagation
- 13-NPHI/RHOB plot

منابع

- افضلی، ل.، ۱۳۹۶. ارزیابی پتروفیزیکی مخازن هیدروکربنی به روش قطعی و احتمالی، مرجع نرم افزار ژولاگ.
- ایزدی، م.، ۱۳۹۱. محاسبه تراوایی در چاه‌های فاقد مغزه با استفاده از مفهوم واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی اکتشاف و تولید ۹۸، ص ۶۵-۶۸.
- باقری، ح.، ۱۳۹۲. استفاده از خوشه‌سازی لاگ‌ها به منظور زون‌بندی مخزنی سازند فلهیان در یکی از میادین جنوب غرب ایران، پژوهش نفت، شماره ۸۲، ص ۴۵-۵۹.
- خوشبخت، ف.، ۱۳۸۴. شناخت ویژگی‌های شکستگی‌ها و پارامترهای پتروفیزیکی مخازن نفتی با استفاده از لاگ‌های تصویری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ایران.
- رهسپار، ا.، ۱۳۹۳. تعیین رخساره‌های الکتریکی مخزنی با استفاده از روش‌های خوشه‌سازی MRGC, AHC, SOM و DYNCLUST در بخش عرب در چاه میدان نفتی سلمان، پژوهش نفت، شماره ۸۷، ص ۱۰۷-۱۲۵.

-Amaefule, J.O., Altunbay, M., Tiab, D., Kersey, D.G. and Keelan, D.K., 1993. Enhanced reservoir description: using core and log data to identify hydraulic (flow) units and predict permeability in uncored intervals/wells. SPE annual technical conference and exhibition, Society of Petroleum Engineers.

-Ahrimankosh, M., Kasiri, N. and Mousavi, S., 2011. Improved permeability prediction of a heterogeneous carbonate reservoir using artificial neural networks based on the flow zone index approach. Petroleum Science and Technology, v. 29(23), p. 2494-2506.

-Baneshi, M., Behzadijo, M.R. and Soroushnia, M., 2016. Evaluation of the performance of ANN in predicting of electrofacies (estimated by SOM, AHC, and MRGC models). Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, v. 38.8, p. 1081-1088.

-Burki, M. and Darwish, M., 2017. Electrofacies vs. lithofacies sandstone reservoir characterization Campanian sequence, Arshad gas/oil field, Central Sirt Basin, Libya. Journal of African Earth Sciences, v. 130, p. 319-336.

-Correia, G.G. and Schiozer, D.J., Reservoir characterization using electrofacies analysis in the sandstone reservoir of the Norne Field (offshore Norway). Petroleum Geoscience, v. 22(2), p. 165-176.

- Cross, T.A. and Homewood, P.W., 1997. Amanz Gressly's role in founding modern stratigraphy Geological Society of America Bulletin, v. 109(12), p. 1617-1630.
- Enayati-Bidgoli, A.H., Rahimpour-Bonab, H. and Mehrabi, H., 2014. FLOW UNIT CHARACTERISATION IN THE PERMIAN-TRIASSIC CARBONATE RESERVOIR SUCCESSION AT SOUTH PARS GASFIELD, OFFSHORE IRAN, Journal of Petroleum Geology, v. 37.3, p. 205-230.
- 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, p. 58-69.
- Jafarzadeh, N., Kadkhodaie, A., Jan Ahmad, B. and Karimi, M., 2019. Identification of electrical and petrophysical rock types based on core and well logs: utilizing the results to delineate prolific zones in deep water sandy packages from the Shah Deniz gas field in the South Caspian Sea Basin. Journal of Natural Gas Science and Engineering, DOI: 10.1016/j.jngse.2019.102923.
- Torghabeh, A., Rezaee, R., Moussavi-Harami, R., Pradhan, B., Kamali, M. and Kadkhodaie-Ilkhchi, A., 2014. Electrofacies in gas shale from well log data via cluster analysis: A case study of the Perth Basin, Western Australia Open Geosciences, v. 6(3), p. 393-402
- Khoshbakht, F. and Mohammadnia, M., 2010. Assessment of clustering methods for predicting permeability in a heterogeneous carbonate reservoir." 4th EAGE St. Petersburg International Conference and Exhibition on Geosciences-New Discoveries through Integration of Geosciences.
- Pittman, E.D., 1992. Relationship of porosity and permeability to various parameters derived from mercury injection-capillary pressure curves for sandstone (1), AAPG bulletin, v. 76(2), p. 191-198.
- Serra, O.T. and Abbott, H.T., 1982. The contribution of logging data to sedimentology and stratigraphy, Society of Petroleum Engineers Journal, v. 22, p. 117-131.
- Shazly, T.F. and Ramadan, M., 2011. Well Logs Application in Determining the Impact of Mineral Types and Proportions on the Reservoir Performance of Bahariya Formation of Bassel-1x Well, Western Desert, Egypt. Journal of American Science, DOI: 10.13140/RG.2.2.11167.46244.