هفتمین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی با رویکرد توسعه ارتباط بین دولت، دانشگاه و صنعت
International Conference on Oil , Gas , Refining & Petrochemical With focus Relationship Beetween Government , University & Industry

# تعیین رخساره های الکتریکی با استفاده از روش MRGC در یکی از میادین گازی ایران

**علی دهقان ابنوی[1*]، امیر کریمیان طرقبه[2]، جعفر قاجار[3]**

**1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه شیراز**

**2- استادیار بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز**

**3- استادیار بخش مهندسی نفت، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه شیراز**

a.dehghan@shirazu.ac.ir

## خلاصه

مشخصه سازی و شناسایی زون های مخزنی نقش مهمی در تولید بهینه و شناخت بهتر مخزن دارد. جهت شناخت مخزن روش های متنوعی وجود دارد که تعیین رخساره های الکتریکی[1] یکی از این روش ها می باشد. هر رخساره الکتریکی مجموعه ای از پاسخ لاگ های پتروفیزیکی است که لایه های از جنس مختلف را از نظر گونه سنگ و یا کیفیت مخزنی، از یکدیگر تفکیک نماید. رخساره های الکتریکی برمبنای خوشه بندی داده ها تعریف می شود. مبنای خوشه بندی ، قراردادن داده های نمودارهای پتروفیزیکی مشابه درگروه های یکسان و تمایز آنها از سایر گروه ها می باشد. این خوشه ها به گونه ای است که داده های درون هر خوشه با هم بیشترین شباهت و با داده های دیگر خوشه ها بیشترین تفاوت را دارند. در این مطالعه با استفاده از روش MRGC به تعیین رخساره های الکتریکی در 4 چاه از یکی از میادین گازی ایران پرداخته می شود. تعداد رخساره های این میدان با استفاده از نرم افزار ژولاگ انجام شده که در نتیجه پس از بهینه سازی تعداد رخساره ها، 5 رخساره تشخیص داده شد.

**کلمات کلیدی: رخساره الکتریکی، خوشه بندی، نمودار های پتروفیزیکی**

[1] Electrofacies

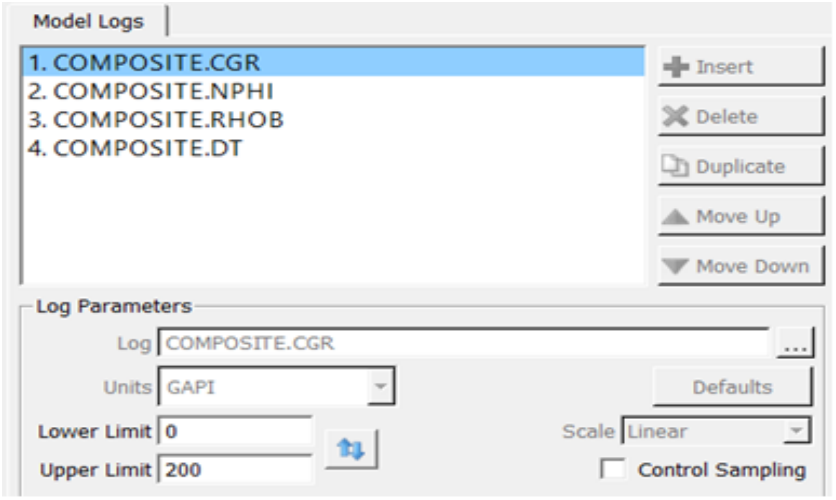
## 1. مقدمه

از جمله روش های معمول شناسی مخازن هیدوکربنی، نمودارهای پتروفیزیکی است. اطلاعاتی که از این روش بدست می آید می تواند نقش مهمی در شناسایی زون ها، تشخیص سنگ مخزن، تعیین خصوصیات پتروفیزیکی سنگ مخزن که شامل :درجه اشباع، درجه بلوغ سنگ، تخلخل، فاکتور های ساخت و غیره داشته باشد. اما برای تفسیر و ارزیابی داده های حاصل، به مهارت زیاد مفسر و اطلاعات آزمایشگاهی وقت گیر و پر هزینه نیاز است .بنابراین، طراحی مدلی که توانایی ارزیابی شاخص های پتروفیزیکی و خوشه بندی رخساره ها به کمک داده های چا ه نگاری را داشته باشد و در عین حال نیاز به اطلاعات آزمایشگاهی را برطرف سازد، بسیار مفید و اقتصادی خواهد بود. به ویژه زمانی که اطلاعات مربوط به مغزه را نداشته باشیم.[1] از این جهت، اهمیت تعیین رخساره های الکتریکی قابل چشم پوشی نیست. مفهوم رخساره های الکتریکی در ابتدا توسط گرسلی (1838) معرفی گردید و توسط سرا و ابوت (1982) توسعه داده شد[2و3]. در اوایل رخساره ها به مجموعه مشخصات یک واحد رسوبی، شامل خصوصیت لیتولوژیکی و فسیل شناسی بیان می شد ولی با گذشت زمان، رخساره رسوبی به مجوعه رسوبات با ویژگی های سنگ شناسی، دیرینه شناسی و شکل هندسی است که بوسیله این خصوصیات از دیگر رخساره ها قابل تشخیص و تفکیک است. خوشه بندی در واقع، یک ساختار درون یک مجموعه از داده های بدون برچسب می باشد. خوشه به مجموعه ای از داده ها گفته می شود که به هم شباهت داشته باشند. در خوشه بندی سعی می شود تا داده ها به خوشه هایی تقسیم شوند که شباهت بین داده های درون هر خوشه، حداکثر وشباهت بین درون خوشه های متفاوت، حداقل شود.[4و5] روش های مختلفی برای خوشه بندی داده ها وجود دارد از جمله: روش (MRGC)، روش (SOM)، روش (AHC) و روش (DYNCLUST) اشاره کرد. روش (MRGC) به دلیل قابلیت تفکیک و دقت بالا، عدم نیاز به اطلاعات اولیه از داده های ورودی، پایدار بودن نتیجه با تغییر پارامترها و همچنین تولید تعداد بهینه خوشه ها، بهترین روش بین چهار روش مذکور است. در این روش لازم نیست در ابتدا تعداد خوشه ها توسط کاربر به الگوریتم داده شود بلکه فقط بازه تعداد خوشه ها تعیین می شود. الگوریتم با استفاده از روش چند بعدی تشخیص الگو بر اساس شاخص همسایگی انجام می شود.

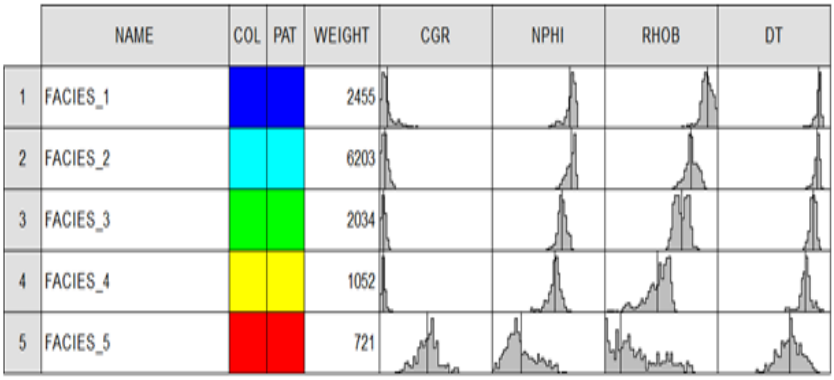
## 2. روش انجام کار

برای تعیین رخساره های الکتریکی در یک میدان، ابتدا مدل را در یک چاه، که چاه مبنا است ساخته می شود و پس از برسی و تطبیق به کل چاه های مخزن توسعه داده می شود. جهت تعیین رخساره های الکتریکی این میدان ، ابتدادر قسمت ماژول FACIMAGE™ نرم افزار ژئولاگ نمودارهای پتروفیزیکی، شامل : نموداراشعه گاما (CGR) نمودار صوتی (DT) نمودارچگالی (RHOB) نمودار نوترون (NPHI) انتخاب گردیده اند. تعداد 12465 داده نمودارهای چاه پیمایی با انتخاب نمودارهای ذکر شده ارزیابی شد. درادامه، با استفاده از روش خوشه بندی به روش (MRGC)، تعداد خوشه هاتوسط نرم افزار پیشنهاد گردید. سپس با تحلیل و برسی این تعداد خوشه ها به تعداد بهینه و قابل قبول تغییر یافت. در مخزن موردمطالعه پس از خوشه بندی با

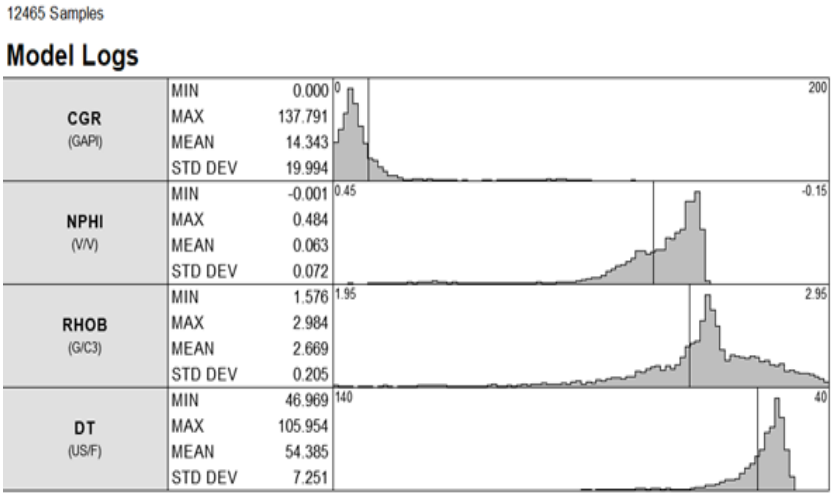
روش MRGC و بررسی داده ها از بین خوشه های پیشنهاد شده توسط نرم افزار خوشه ای که دارای 13 رخساره الکتریکی بود از بین خوشه های دیگر انتخاب گردید. بعد از بررسی، باید رخساره هایی که دارای خواص یکسان هستند با یکدیگر ادغام شوند تا از تکثر یک رخساره خاص، که باعث ایجاد خطا در مدل می شود، جلوگیری کرد. در نهایت 5 رخساره به عنوان مناسب ترین خوشه انتخاب گردید. در ادامه با استفاده از روش KNN Facies Propagation رخساره های تعیین شده درتمام قسمت های چاه مبنا تعمیم داده شد و سپس این مدل به دیگر چاه های میدان توسعه داده شد. روش MRGC بدلیل حساسیت و دقت بالا در برابر تغییرات اساسی نمودارهای پتروفیزیکی، حساسیت نشان داده و رخساره های الکتریکی جداگانه ای برای هر تغییر خاص ساخته است. تغییرات ناچیز نمودارهای پتروفیزیکی، نشان دهنده تغییرات اساسی در کیفیت مخزنی نمی باشد لذا این روش در برابر تغییرات ناچیز نمودارهای پتروفیزیکی حساسیت نشان نداده و در مقابل این تغییرات، رخساره الکتریکی جداگانه ای به وجود نیاورده است. در این مطالعه رخساره های سازند های کنگان و دالان در یکی از میادین گازی جنوب ایران مد نظر بوده است. نمایی از این مدل با تعداد 5 رخساره لاگ، رنگ آمیزی شده به همراه داده های ورودی به نرم افزار در شکل 2 و نمایی از خوشه بندی داده های نمودارهای پتروفیزیکی چاه مبنا بر اساس داده های نمودارهای پتروفیزیکی ذکر شده، ارزیابی شده درشکل 3 نشان داده شده است.



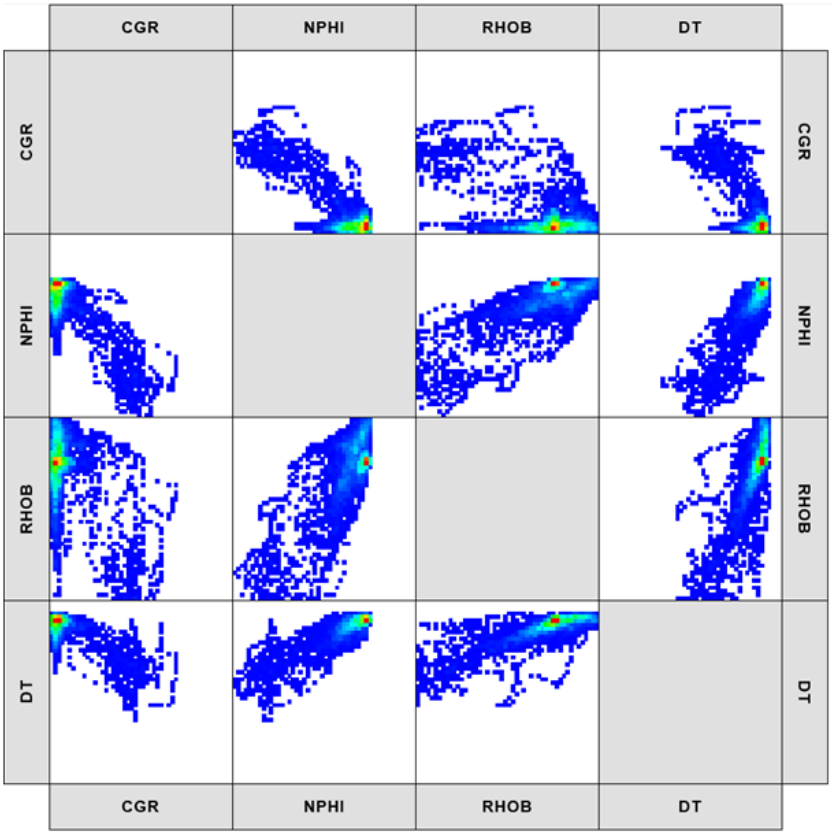

**شکل 1.جدول نمودارهای پتروفیزیکی ورودی مدل**




**شکل۲.نمودار فراوانی لاگ های ورودی برای مدل رخساره ای**

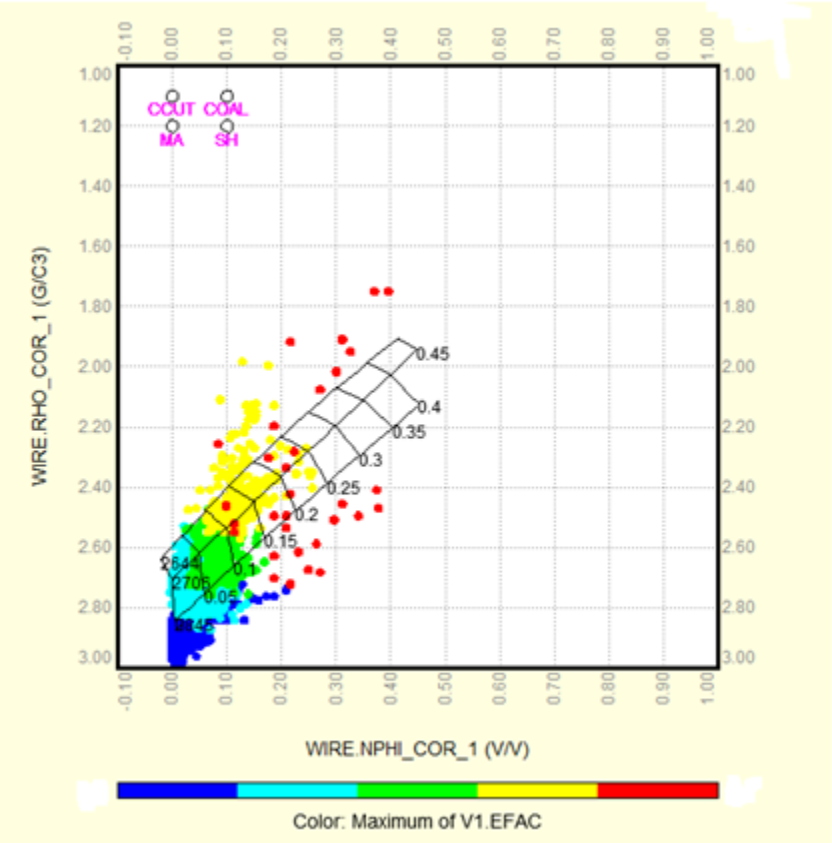



**شکل3.رخساره های دسته بندی شده بر اساس لاگ های ورودی**




**شکل 4. نمودارهای متقاطع لاگ های ورودی نسبت به هم**

از مقایسه رخساره های الکتریکی در چاه های مورد مطالعه دقت بالای روش مورد استفاده نیز اثبات گردید. در نتیجه مشخص شد که با استفاده از تلفیق اطلاعات نمودارهای درون چاهی و روش خوشه سازی مناسب در یک میدان اطلاعات با ارزشی ازخصوصیات مخزن و رخساره های متفاوت در آن به دست خواهد آمد که دید بهتری در ارزیابی کیفیت مخزنی و فواصل دارای شرایط مطلوب و نامطلوب در یک چاه و کل میدان به ما خواهد داد. برای محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی این میدان، لیتولوژی با استفاده از نمودارهای مقاطع نوترون/چگالی(NPHI/RHOB plot) مشخص شد. در شکل 5 نمودار مقاطع نوترون/چگالی نشان داده شده است.




**شکل5. نمودارهای مقاطع نوترون-چگالی 5 رخساره تشخیص داده شده به تفکیک رنگ**

**رخساره شماره 1**

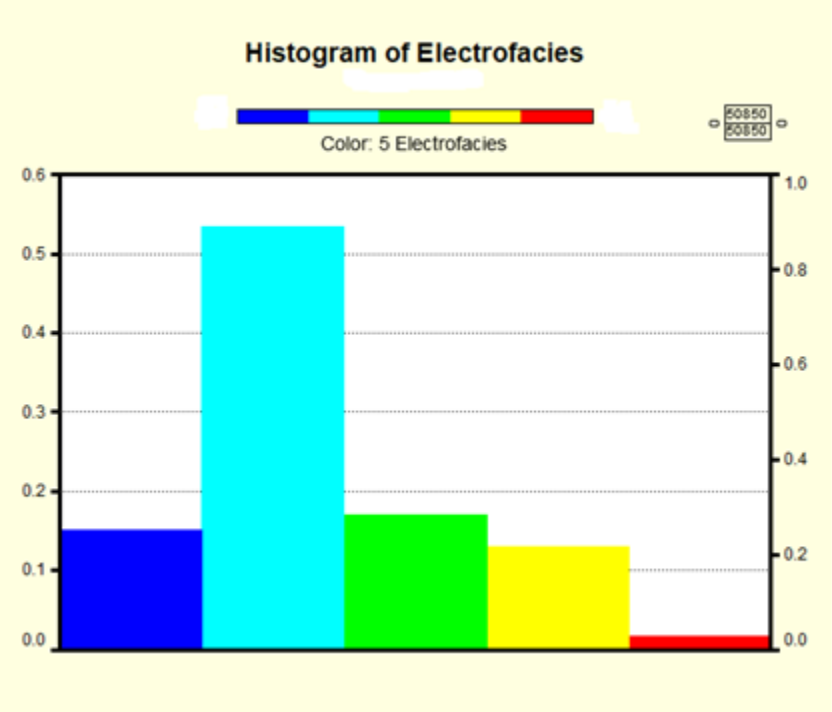
این رخساره با طیف رنگی آبی و لیتولوژی غالب انیدریت است. روند نمودار صوتی به صورت ثابت و ترند کاهشی، نمودار چگالی و نوترون با اثر عکس هم یعنی نمودار چگالی در مقادیر بالای خود(2.95) و نمودار نوترون با روند کاهشی و نمودار گاما نیز دارای مقداری کاهشی است. انیدریت بیشتر در لایه های موسوم به پوش سنگی، به دلیل عدم تخلخل و نفوذ پذیری، حالت پلاستیکی و انعطاف پذیری قرار دارد. به همین دلیل بیشتر در نقاط ابتدایی نمودارها مشاهده می شود. همان گونه که در شکل 5 مشاهده می شود، این رخسار با رنگ آبی دارای مقادیر بالای نمودار چگالی و مقادیر ناچیز نمودار نوترون می باشد.

**رخساره شماره 2**

طیف رنگی مربوط به این رخساره آبی روشن بوده و لیتولوژی غالب آن کلسیت است. روند نمودار صوتی به صورت کاهشی، نمودار چگالی به صورت کاهشی، نمودار نوترون به صورت ترند ثابت (01.-06.)و نمودار چگالی دارای مقادیر پایین می باشد. این رخساره نیز به دلیل ناچیز بودن میزان تخلخل، کیفیت پایین مخزنی دارد. این رخساره با توجه به شکل 6، بیشترین میزان فراوانی را نسبت به بقیه رخساره ها دارا می باشد. با توجه به شکل 5 مشاهده می شود که این رخساره با رنگ آبی روشن دارای مقادیر نمودار نوترون ناچیز و چگالی 2.55 الی 2.8 می باشد.

**رخساره شماره 3**

این رخساره دارای طیف رنگی سبز می باشد. لیتولوژی این رخساره دولومیت آهکی ، که زون با کیفیت نسبتا خوب است. سنگ‌های آهکی و دولومیتی سوراخ‌های ریزتری نسبت به ماسه سنگ ها دارند، میزان تخلخل آنها کمتر است و دارای شکاف می‌باشند. از لحاظ کیفیت، این رخساره رتبه دوم را بعد از رخساره شماره 4 با طیف رنگی زرد دارد. روند نمودار صوتی به صورت افزایشی ، نمودار چگالی و نمودار نوترون به صورت افزایشی نسبت به رخساره شماره 2 و نمودار گاما دارای مقادیر پایین می باشد. مقادیر پایین نمودار گاما نشان دهنده کیفیت بالای زون می باشد.



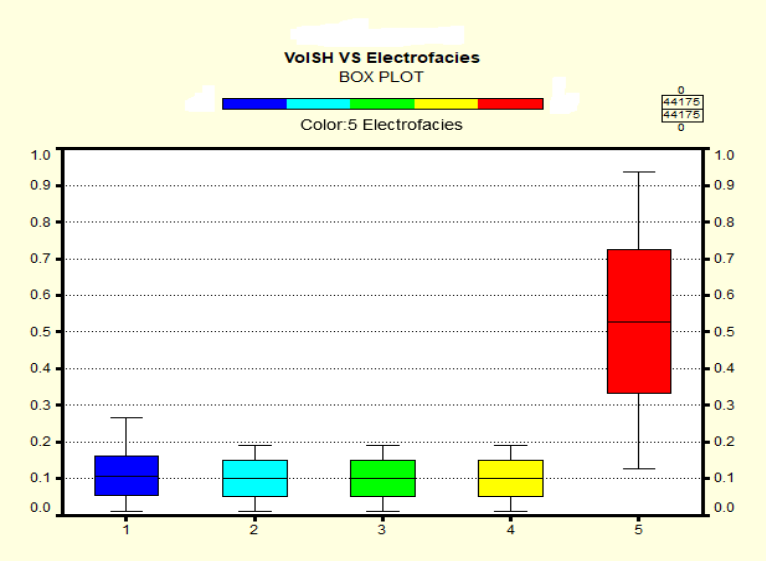

**شکل6.نمودار فراوانی انواع رخساره ها در میدان**

**رخساره شماره 4**

رخساره شماره 4 معرف بهترین کیفیت مخزنی تشخیص داده شده است. این رخساره با رنگ زرد و با لیتولوژی آهک دولومیتی و روند نمودار صوتی به صورت افزایشی ، نمودار چگالی و نمودار نوترون به صورت افزایشی نسبت به رخساره شماره 2 و حتی رخساره شماره 3، که افزایش نمودار نوترون نشان دهنده بالا بودن میزان تخلخل است. نمودار چگالی دارای مقادیر پایین می باشد. مقادیر پایین این نمودار نشان دهنده بالا بودن کیفیت زون های مخزنی می باشد.

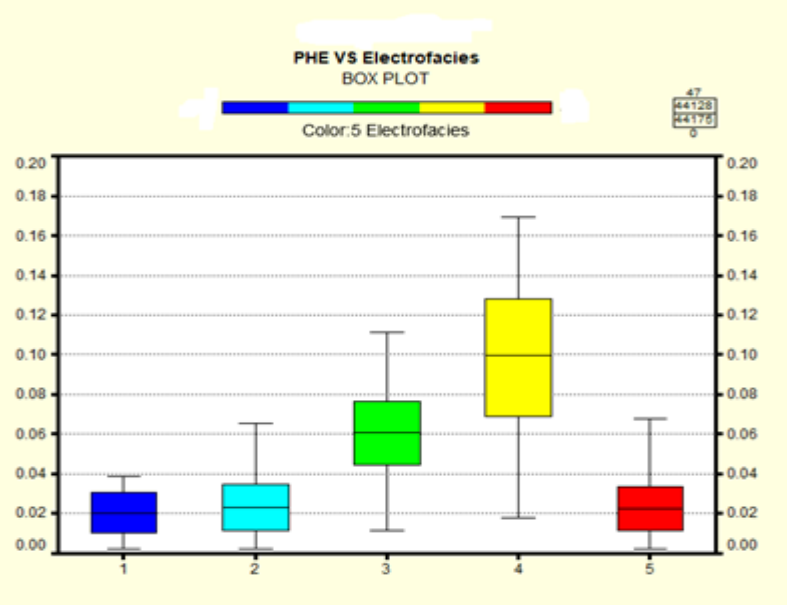
**رخساره شماره 5**

رخساره شماره 5 با رنگ قرمز ، عمدتا از جنس لایه های شیلی است. روند افزایشی نمودار گاما بیان گر میزان شیل بالا و کاهش کیفیت مخزنی است. همچنین نمودار نوترون و صوتی روندی افزایشی و نمودار چگالی روندی کاهشی با مقادیر میانگین 2.09 است. لایه های شیلی دارای کیفیت ضعیف مخزنی هستند. شیل مطابق تعریف، سنگ آواری دانه ریزی است که خیلی به سهولت ورقه ورقه و یا در امتداد سطوح معینی خرد و شکسته می شود .در واقع این سنگ های رسوبی دانه ریز، بر اثر سخت شدگی رس و سیلت یا گل تشکیل می شود .شیل ها با ساخت لایه ای یا لامیناسیون ظریف و یا تورقی که به تقریب موازی با لایه بندی است ، شناخته می شوند. این رخساره بی کیفیت ترین زون مخزنی در نظر گرفته می شود. شکل 7 نمودار باکس پلات حجم شیل است. با توجه به این نمودار می توان به کیفیت مخزنی رخساره های تشخیص داده شده پی برد. به طوری که رخساره شماره 5 به دلیل مقدار شیل بالا به رخساره شیلی تعریف می شود و کیفیت مخزنی پایینی دارد.

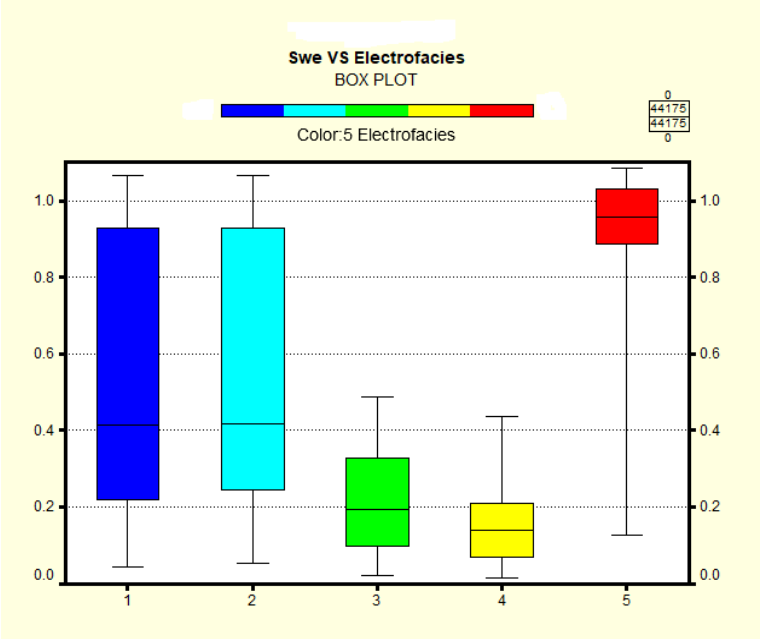



**شکل 7.نمودار باکس پلات حجم شیل برای رخساره های تعیین شده**

بعد از تعیین رخساره ها، می توان از این رخساره ها در جهت تعیین زون های با کیفیت و تفکیک آن ها از زون های بی کیفیت استفاده کرد. مشخص کردن زون های با کیفیت بالای مخزن می تواند نقش بسزایی در شناخت بهتر میدان در جهت توسعه و مشخصه سازی آن داشته باشد. دروقع با شناسی این زون ها می توان سناریوهای شبیه سازی مخزن و تخمین آینده مخزن را با دقت بالاتر ارائه کرد. همچنین شناسایی این زون ها در فرایند هایی نظیر ازدیاد برداشت نقش بسزایی خواهد داشت. با برسی رخساره های تعیین شده مشخص شد که رخساره شماره 4 با طیف رنگی زرد دارای بالاترین کیفیت مخزنی می باشد که دارای اشباع آب پایین، تخلخل موثر بالا و حجم شیل پایین می باشد. پس از این رخساره، رخساره شماره 3 با طیف رنگی سبز کیفیت مخزنی مناسبی دارد و فراوانی بالاتری نسبت به رخساره شماره 4 دارد. رخساره شماره 1 و 2 نیز اهمیت مخزنی چندانی ندارند. در نهایت، رخساره شماره 5 با طیف رنگی قرمز نیز که رخساره شیلی است کیفیت مناسب مخزنی ندارد. همچنین دارای کمترین فراوانی می باشد. برای اثبات کیفیت این رخساره ها می توان از نمودار باکس پلات این رخساره ها بر اساس تخلخل موثر، اشباع آب و حجم شیل استفاده کرد. رخساره شماره 1 با رنگ آبی که مقدار تخلخل نزدیک به صفر دارد را می توان با توجه به خصوصیات سنگ شناسی و بررسی نمودار باکس پلات تخلخل، رخساره انیدریتی نامید. شکل 8 باکس پلات تخلخل موثر مربوط به 5 رخساره تعیین شده است. با توجه به نمودار این نتیجه قابل برداشت است که رخساره شماره 4 و پس از آن رخساره شماره 3 دارای بهترین کیفیت مخزنی هستند. در شکل 8 و 9 نمودار باکس پلات مربوط به اشباع آب و تخلخل موثر به تفکیک هر رخساره آورده شده است.



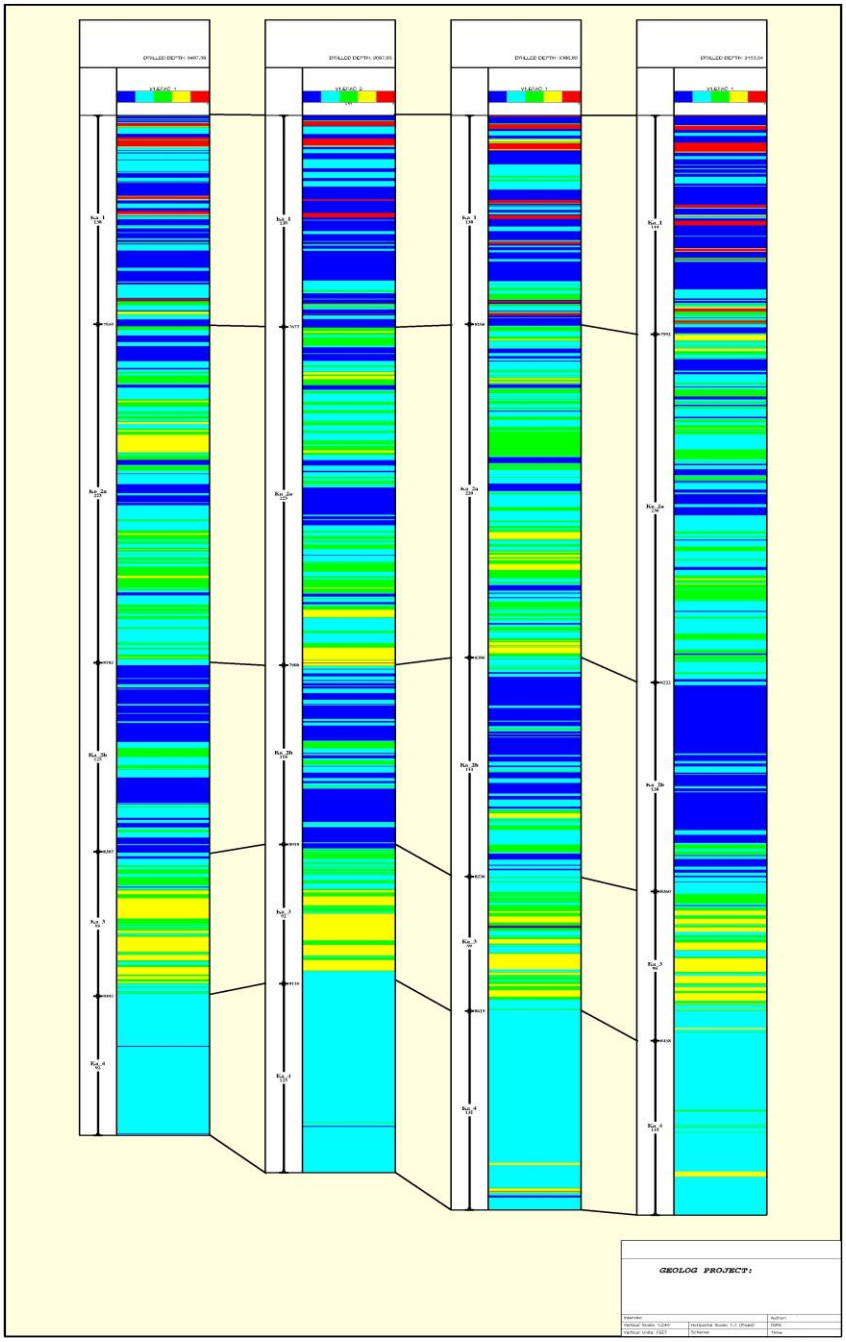

**شکل 8.نمودار باکس پلات تخلخل موثر برای رخساره های تعیین شده**




**شکل 9.نمودار باکس پلات اشباع آب برای رخساره های تعیین شده**

با توجه به نمودارهای باکس پلات این نکته قابل برداشت است که رخساره شماره 4 وبعد از آن رخساره شماره 3 دارای کیفیت مخزنی مناسب می باشند. این رخساره ها دارای تخلخل موثر بالا و حجم شیل و اشباع آب کمتری، نسبت به دیگر رخساره ها هستند در نتیجه از کیفیت بالاتری برخودارند.

شکل 10 مقطع عرضی الکتروفاسیس های محاسبه شده در 4 چاه این میدان را نشان می دهد. این مقاطع از تطابق عمقی و لایه ای در لایه های مختلف برخودار است. در تفسیر مقطع عرضی بین چاه ها، می توان لیتولوژی چاه ها نظیر نوع و میزان شیل، کربنات ها و ماسه سنگ های موجود درچاه ها و خواص پتروفیزیکی بین دو چاه را با هم مقایسه کرد.




**شکل10.نمایش مقطع عرضی چاه ها**

## 3. نتیجه‌گیری

استفاده از رخساره های الکتریکی امروزه یکی از مهم ترین روش ها در مباحث تولید از مخازن هیدروکربنی و توسعه میادین است. از آنجایی که در هر چاهی که در یک میدان حفاری می شود، حتماً نمودارهای پتروفیزیکی در سازندهایی که پتانسیل تولید هیدروکربوری دارند رانده می شوند، بنابراین اطلاعات زیاد با هزینه نسبتاً کمی نسبت به سایر روش ها در اختیار محققان و مدل سازان قرارمی گیرد که کمک شایانی در شناخت بهتر مخزن می کند. نقش نمودار گیری از چاه ها در صنعت نفت بحدی است که به صورت چشم انسان عمل می کند و می توان گفت که ارزیابی دقیق مخازن، تعیین وضعیت لایه هادر اعماق زمین، وضعیت سیمان پشت لوله جداری وده ها مورد دیگر بدون استفاده از این نوع نمودارها تقریبا غیر ممکن است. در این مطالعه با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی، به تعیین رخساره های الکتریکی در یکی از میادین گازی جنوب ایران پرداخته شده است. با استفاده از روش MRGC، 5 رخساره الکتریکی مشخص گردید که هر رخساره نشان دهنده لیتولوژی خاص و کیفیت مخزنی متفاوت است. با مقایسه نمودارها باکس پلات تخلخل موثر، حجم شیل، اشباع آب و تفسیر نمودارهای پتروفیزیکی،ر خساره شماره 3 با رنگ زرد به عنوان بهترین رخساره با پتانسیل تولید بالا تشخیص داده شد. مقایسه نتایج لیتولوژی، حجم شیل، تخلخل و اشباع آب با رخساره های تعیین شده توسط روش MRGC ، تطابق قابل قبولی را بین رخساره های الکتریکی و مرزهای لیتولوژیکی تعریفی نشان می دهد. این رخساره ها تقسیم بندی جدیدی از سازند را ارائه می کند که این تقسیم بندی جنبه مخزنی داشته و تغییر خواص پتروفیزیکی در هر رخساره منحصر به فرد بوده و تغییر این شاخص ها در هر رخساره کاملا از هم جدا و مشخص است.

.

**منابع**

**1**-ر هسپار، ا(1393)"تعیین رخساره های الکتریکی مخزنی با استفاده از رو شهای خوشه سازی MRGC،AHC،SOMو DYNCLUST دربخش عرب در چاه میدان نفتی سلمان "، مقاله علمی پژوهشی، پژوهش نفت ،شماره87 صفحه 107

2-Cross, T.A. and P.W. Homewood, Amanz Gressly's role in founding modern stratigraphy Geological Society of America Bulletin, 1997. 109(12): p. 1617 -1630

3- Serra, O. T., and H. T. Abbott. "The contribution of logging data to sedimentology and stratigraphy." *Society of Petroleum Engineers Journal* 22.01 (1982): 117-131.

4- Torghabeh, Amir and Rezaee, Reza and Moussavi-Harami, Reza and Pradhan, Biswajeet and Kamali, Mohammad and Kadkhodaie-Ilkhchi, Ali,( 2014)“Electrofacies in gas shale from well log data via cluster analysis: A case study of the Perth Basin, Western Australia” Open Geosciences},volume 6,number 3, pages 393--402

5. Kadkhodaie-Ilkhchi, R., Rezaee, R., MousaviHarami, R., Kadkhodaie-Ilkhchi, A (2013) Analysis of reservoir electrofacies in the framework of hydraulic flow units in the Whicher Range Field, Perth Basin, Western Australia, Journal of Petroleum Science and Engineering, v.111, p. 106-120.