

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

حسن باقری^{۱*}، فرهاد خوشبخت^۲، لیلا فضلی^۳

۱- کارشناس پتروفیزیک، اداره زمین شناسی، شرکت ملی حفاری ایران (NIDC)

۲- پتروفیزیکست، عضو هیئت علمی پژوهشکده مطالعات مخزن، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۳- استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، دماوند، ایران

*پست الکترونیک: h64b@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۱۸

چکیده

رخساره الکتریکی، واحدی از رسوبات یک توالی عمودی است که بر اساس قرائت نگارهای چاه پیمایی از واحدهای بالا و پایین خود قابل تفکیک است. برای شناسایی رخساره‌های الکتریکی توالی دو سازند کنگان و قسمت بالایی سازند دالان، از نگارهای چاه پیمایی با نظارت اطلاعات آنالیز مغزه حفاری چهار چاه (A، B، C و D) در میدان گازی پارس جنوبی استفاده شد. با توجه به این که تنها اطلاعات مغزه چاه A در دسترس بود، ابتدا به بررسی مقاطع نازک تهیه شده از پلاگهای مغزه حفاری در این چاه پرداخته شد که موجب شناسایی ۱۲ ریزرخساره و ۷ محیط رسوبی شد. برای شناسایی رخساره‌های الکتریکی با استفاده از این داده‌ها روشهای خوشه‌بندی استفاده شد تا پاسخ نگارها و داده‌های مغزه در دسته‌های همگن قرار گیرند. در مطالعه حاضر، گونه‌های سنگی که خصوصیات مخزنی یکسانی دارند با استفاده از نمودار متقاطع تخلخل/تراوایی مغزه شناسایی شدند که بر این اساس ۶ گونه سنگی شناسایی شد. پس از دسته‌بندی و واسنجی گونه‌های سنگی و ریزرخساره‌های حاصل از اطلاعات مغزه حفاری، مدل‌های MRGC این رخساره‌ها در نگارهای چاه A نیز شناسایی شدند. مدل بهینه شده در چاه A، B، C و D به کار گرفته شد تا رخساره‌های الکتریکی را در این چاه‌ها که فاقد مغزه بودند شناسایی کند. برای کنترل کیفیت رخساره‌های پیش‌بینی شده در این چاه‌ها، میانگین خواص پتروفیزیکی هر یک از رخساره‌ها در چاه‌های مختلف با هم مقایسه گردید. همچنین این رخساره‌ها در ۴ چاه باهم مطابقت داده شدند تا میزان همخوانی آنها با یکدیگر تعیین شود. در نتیجه تعداد ۶ رخساره الکتریکی با خواص پتروفیزیکی متفاوت شناسایی شدند که ضعیف‌ترین کیفیت مخزنی متعلق به رخساره شماره ۱ با سنگ شناسی غالب انیدریت لایه‌ای و بهترین کیفیت مخزنی متعلق به رخساره شماره ۶ با سنگ شناسی غالب دولومیت و کلسیت با بافت گریستونی بود. با توجه به دقت بالای نتایج به دست آمده، مدل به دست آمده در سایر چاههای میدان قابل استفاده است.

واژه‌های کلیدی: رخساره الکتریکی؛ رخساره رسوبی؛ خوشه‌بندی؛ روش MRGC؛ نگارهای چاه پیمایی

مقدمه

ذاتی این داده‌ها تک بعدی بودن آنها است، بدین معنی که تنها در جهت عمق مخزن برداشت می‌شوند و فاقد گسترش

اطلاعات قابل اعتماد از مخازن نفت و گاز محدود به داده‌های مغزه و نگارهای چاه پیمایی می‌شوند. محدودیت

شده برای رخساره، به صورت مستقیم با بررسیهای صحرایی و ماکروسکپی، برخی نیز با روشهای آزمایشگاهی و میکروسکپی و در برخی موارد به صورت غیرمستقیم از تلفیق اطلاعات نمودارهای الکتریکی به عمل می‌آید.

نگارهای چاه پیمایی یکی از منابع اصلی تهیه اطلاعات زیر سطحی در میدانهای نفتی/گازی می‌باشند. این ابزارها خصوصیات مانند ترکیب کانی شناسی، بافت، ساختهای رسوبی، خصوصیات مخزنی (مانند تخلخل و تراوایی) را به صورت مستقیم یا غیرمستقیم نشان می‌دهند (Serra, 1986). اگرچه این ابزارها برای تعیین خصوصیات پتروفیزیکی مخازن مناسب می‌باشند، اما در امر مطالعات چینه شناسی و رسوب شناسی کمک چندانی نمی‌کنند. در نتیجه می‌توان از تلفیق داده‌های حاصل از مجموعه نگارها در مطالعات چینه نگاری و رسوب شناسی استفاده کرده و رخساره‌های زمین شناسی و مخزنی را مشخص نمود. بر این اساس، به منظور استفادهٔ بهینه از داده‌های نگار در پژوهشهای چینه نگاری، مجموعهٔ واحدهای رسوبی با مشخصات (قابل ثبت در روی نگارها) یکسان شناسایی و نام گذاری می‌شوند. به عبارت دیگر توالیهای مورد نظر به مجموعه‌هایی با مشخصات یکسان تقسیم می‌شوند که با توجه به نوع داده‌های در دسترس، مجموعه واحدهای رسوبی با مشخصات فیزیکی یکسان (قابل بررسی روی نگار) در قالب رخسارهٔ لاگ یا رخسارهٔ الکتریکی رده بندی می‌شوند (امینی، ۱۳۸۸). مفهوم رخسارهٔ الکتریکی، گروه بندی مشروط داده‌های متکی بر تشابه خصوصیات پتروفیزیکی در واحدهای زمین شناسی می‌باشد که اغلب به عنوان دسته بندی یک مجموعه از داده‌های نگار به عنوان رخسارهٔ الکتریکی معرفی می‌شود که قابل مقایسه با رخنمون یا دادهٔ مغزهٔ حفاری می‌باشد (Sutadiwirya, 2008).

جانبی هستند. با توجه به این که مخازن نفت به صورت توده سه بعدی در لایه‌های زمین قرار دارند، لذا تعمیم داده‌های نقطه‌ای چاهها به سرتاسر یک مخزن با استفاده از روشهای آماری و زمین آماری انجام می‌شود. در روشهای تعمیم خصوصیات به کل گستره مخزن نمی‌توان از داده‌های مغزه و نگار به حالت استاندارد خود استفاده کرد چرا که چندین نگار در هر چاه برداشت می‌شود و هر یک دارای هزاران داده هستند. این داده‌ها در حالت استاندارد خود دو محدودیت اساسی دارند که آنها را فاقد صلاحیت برای استفاده در مدل سازیهای سه بعدی مخزن می‌کند. نخست این که تعداد نمونه‌های هر نگار آن قدر زیاد است که مدل یک مخزن با تعداد زیادی چاه دارای میلیاردها سلول خواهد شد که هیچ سخت افزار کامپیوتری قادر به انجام محاسبات آن نخواهد بود و زمان و هزینه مدل سازی را بسیار زیاد خواهد کرد. دوم آن که تغییرات جزئی و محلی نگارها، الگوریتمهای مدل سازی را در شناخت روندها و الگوهای زمین شناختی مخزن ناتوان خواهند کرد. برای چیره شدن به این دو محدودیت نیاز است تا قبل از عملیات مدل سازی داده‌های مغزه و نگار در واحدهای معناداری دسته بندی شوند تا هم تعداد نمونه‌ها به طرز چشم گیری کاهش یابد و هم تغییرات محلی که ناشی از شرایط مخزن و خطای برداشت نگار است از بین رفته و داده‌ها نماینده واقعیتی از مخزن باشند. دسته‌هایی که داده‌های مغزه و نگار در آنها قرار می‌گیرند، رخساره‌های الکتریکی (Electrofacies) نامیده می‌شوند.

به مجموع واحدهای رسوبی با مشخصات سنگ شناسی، ساخت رسوبی، فرم هندسی، ضمامن فسیلی، طرح جریانهای دیرینه و سطوح لایه بندی مشابه که از روی مشخصات مذکور قابل تمایز با واحدهای مجاور باشند، رخساره گفته می‌شود (Selly, 1996). تحلیل برخی از مشخصات ذکر

یابند (Askari & Behrouzi, 2011). در این میان تجزیه و تحلیل رخساره‌های لاگ برای بیان خصوصیات مخزن بسیار مهم است (Ye & Rabiller, 2000). تحلیل رخساره‌های الکتریکی روشی است برای تقسیم بندی نگارها به زیرمجموعه‌هایی که نشان دهنده رخساره‌های زمین شناسی/مخزنی می‌باشد (Rabiller, 2005) که امروزه با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی این تحلیل صورت می‌گیرد. شبکه‌های عصبی مصنوعی از ارتباطات غیرخطی عناصر تشکیل دهنده آنها یعنی نورون که مشابه سیستم عصبی انسان هستند تشکیل می‌شوند (Gholizadeh & Darand, 2009).

شبکه عصبی مصنوعی در سال ۱۹۵۷ در آزمایشگاه Frank Rosenblatt و به وسیله Cornell Aeronautical در ساده‌ترین شکل خود (پرسپترون) ابداع شد. مهمترین عامل تمایز شبکه عصبی نسبت به دیگر روشها این است که خودش راه حل مسأله را کشف می‌کند. هر شبکه عصبی مانند شبکه‌های زیستی دارای سه بخش ورودی، پردازشگر و خروجی است (سروش‌نیا، ۱۳۹۱). ویژگی اصلی شبکه‌های عصبی، توانایی آموزش ویژگیهای درونی یک سیستم به وسیله تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌ها می‌باشد. چنانچه نگارهای متعارف چاه در دسترس باشد، شبکه‌های عصبی مصنوعی قادر به شناخت روابط غیرخطی بین اطلاعات نگارها و شاخصه‌های مخزن می‌باشند (Sefidari et al., 2012). روشهای مختلفی برای دسته بندی داده‌ها ارائه شده است که آنها را می‌توان به دو گروه کلی مبتنی بر ناظر و بدون ناظر تقسیم بندی نمود (رحیمی بهار و پرهام، ۱۳۹۱). از گروه اول می‌توان به شبکه‌های عصبی پس انتشار خطا (BPNN)^۱ و منطق فازی (Fuzzy Logic) و از گروه دوم نیز به شبکه‌های عصبی

امروزه تعیین رخساره‌های الکتریکی در سازندهای مخزنی یکی از مطالعات رایج در زمینه توصیف خصوصیات مخازن است. کاربرد فراوان این رخساره‌ها و قابلیت انعطاف آنها جهت تعیین شاخصه‌های مخزنی خاص، با توجه به نوع داده‌های ورودی، امروزه این روش را به یکی از توانمندترین ابزارها در مطالعات مخزنی تبدیل نموده است. از رخساره‌ها در مواردی مانند تفکیک بخشهای مخزنی از غیرمخزنی، تطابق سازندی در سطح میدان و بزرگ مقیاس نمودن داده‌های نگار استفاده می‌گردد. اهمیت این داده‌ها به عنوان مغزه مجازی نام برده می‌شود (Rabiller, 2005). تعیین این رخساره‌ها ممکن است به صورت استخراج سنگ شناسی از برخی نگارها (مانند محاسبه حجم شیل از نگار CGR) یا بر اساس شکل نگارها (مانند استفاده از شکل نمودار گاما در تشخیص سنگ شناسی) صورت گیرد (Serra, 1986)، اما متداولترین روش، استفاده ترکیبی از مشخصه‌های فیزیکی اندازه گیری شده در روی نگارهای مختلف است (Tavakoli & Amini, 2006) که جهت 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. اصطلاح رخساره الکتریکی به وسیله Serra & Abbott (1980) معرفی شد. این عنوان به مجموعه‌ایی از پاسخهای نگار گفته می‌شود که سبب تمایز شدن یک لایه یا چینه از دیگر لایه‌ها می‌شود. رخساره الکتریکی معمولاً به یک یا چند رخساره سنگی که به عنوان پاسخهای نگار از خصوصیات پتروفیزیکی سنگها اندازه گیری می‌شوند، اختصاص داده می‌شود (Kumar & Kishore, 2006). زمین شناسان، پتروفیزیتها و مهندسين مخزن جهت نشان دادن توصیفی از جزئیات مخزن باید به شناسایی قابل توجهی از نواحی درون مخزن که بیشترین ویژگیهای مشابه را با هم دارند، دست

در این مطالعه مربوط به چهار چاه از میدان بزرگ گازی پارس جنوبی در جنوب ایران است.

زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه
میدان گازی پارس جنوبی، یکی از میدانی جنوب ایران و شامل دو مخزن کنگان و قسمت بالایی سازند دالان در حوضه رسوبی زاگرس است (موحد و همکاران، ۱۳۹۰). این میدان به همراه بخش قطری، بزرگترین میدان گازی جهان بوده و در آبهای خلیج فارس روی خط موازی مشترک ایران - قطر، به فاصله ۱۰۰ کیلومتری از بندر عسلویه در ساحل جنوبی ایران، ۱۰۵ کیلومتری شمال شرقی شبه جزیره قطر و ۳۳۰ کیلومتری شمال غربی شهر دبی واقع شده است. وسعت این میدان (همراه با بخش قطری) حدود ۹۷۰۰ کیلومتر مربع است. اولین چاه اکتشافی در میدان پارس جنوبی در سال ۱۹۹۰ میلادی حفر گردید. پس از حفر اولین چاه اکتشافی و اثبات ذخایر گازی و کیفیت مخزنی مناسب در این چاه، جهت توسعه میدان اقدام به حفاری بیشتر چاههای توصیفی و توسعه‌ای گردید. در خصوص ساختمان مخزن میدان پارس جنوبی بخشی از بالا آمدگی قطر- فارس بوده که در قسمت شمالی این بالا آمدگی قرار دارد و جهت امتداد آن شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد. این ساختمان دارای طاق‌دیس رویشی آرامی است که میزان شیب در آن کمتر از ۴ درجه می‌باشد. به دلیل ماهیت رویشی (Growth) بالا آمدگی قطر- فارس، طبقات و سازندهای موجود در میدان نسبت به طبقات مشابه در میدانی مجاور دارای عمق و ضخامت کمتری هستند. مهمترین سازندهای مخزنی در حوضه خلیج فارس سازندهای کنگان و دالان (بخشی از گروه دهرم) می‌باشند که شامل چهار واحد مخزنی K1، K2، K3 و K4 هستند. سازند کنگان در پارس جنوبی دارای متوسط ضخامت ۲۱۰ متر و دالان بالایی دارای متوسط ضخامت ۳۶۰ متر است.

خود سامان ده (SOM)^۲، طبقه بندی سلسله مراتبی صعودی (AHC)^۳، خوشه سازی پویا (D-C)^۴ و خوشه سازی گراف پایه با توان تفکیک چندگانه (MRGC)^۵ نام برد. یکی از تکنیکهای آزمایش شده، روش MRGC می‌باشد که مؤثرترین نتایج را در شناسایی رخساره‌های الکتریکی در مخازن کربناته می‌دهد. در این روش، معایب دیگر روشهای خوشه بندی مانند آگاهی قبلی در مورد تعداد خوشه‌ها، معیارهای اولیه و قابل اعتماد بودن نتایج حذف شده است. روش MRGC برای آنالیز ساختارهای پیچیده و دسته بندی طبیعی گروههای داده‌ها در شکلها، اندازه‌ها و چگالیهای متفاوت بسیار مناسب است (Khoshbakht & Mohammadnia, 2012). در نتیجه با شناسایی رخساره‌های رسوبی در یک توالی مخزنی، دید بهتری نسبت به شکل مخزن، پراکندگی خصوصیات پتروفیزیکی و سنگ شناسی سازند مخزنی و در نهایت واحدهای جریان‌ی موجود در آن سازند مخزنی پیدا می‌شود. شناخت صحیح این ویژگیها در اکتشاف، تولید و بهره برداری از مخازن نفت و گاز حایز اهمیت فراوانی است.

در مطالعه حاضر نگاره‌های چاه پیمایی پس از انجام تصحیحات محیطی لازم از شرایط موجود در چاه، با استفاده از یک روش خوشه بندی پیشرفته و سازگار با ماهیت این داده‌ها به نام MRGC به رخساره‌های الکتریکی دسته بندی شدند. برای این که این رخساره‌ها از نظر رسوب شناسی مخزن نیز معنادار شوند از داده‌های مستقیم مغزه برای واسنجی (Calibration) آنها استفاده شد. سپس مدل واسنجی شده در چاههای فاقد مغزه بر روی لاگها اعمال شد تا همان رخساره‌های واسنجی شده در چاه اول در چاههای دیگر نیز شناسایی شوند. داده‌های مورد استفاده

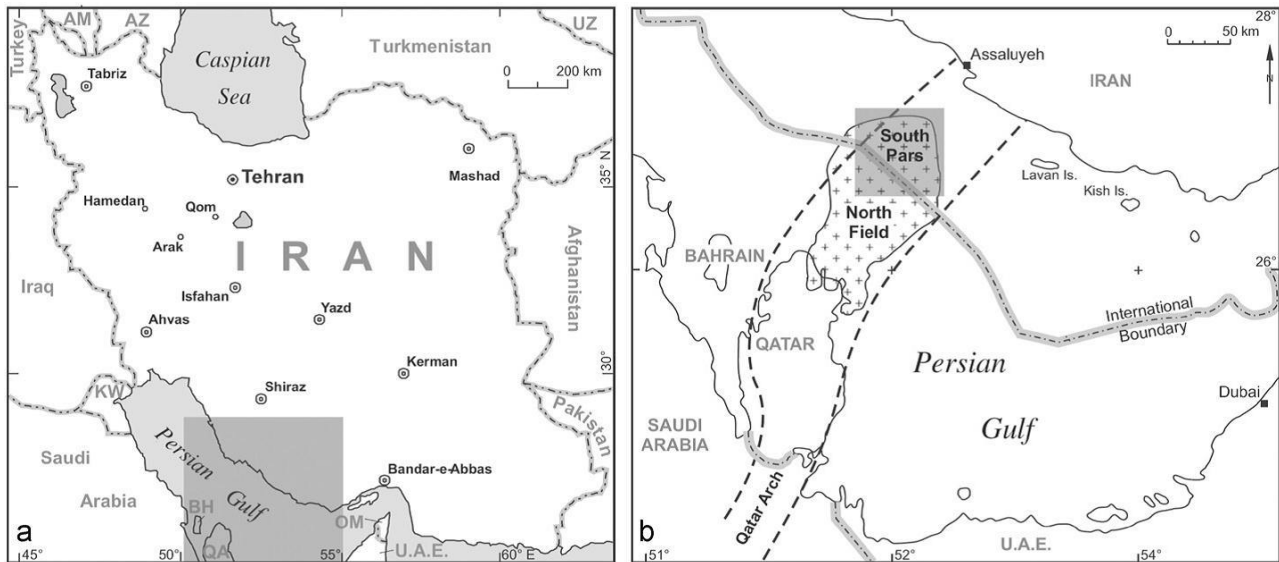
2 - Self Organizing Map

3- Ascendant Hierarchical Clustering

4- DynamicClustering

5 - Multi Resolution Graph BaseClustering

هیدروکربنی مورد توجه هستند. بخشی از ذخایر گازی میدان کنگان در کربناته‌های سازند دالان (پرمین پسین) است. شکل ۱ موقعیت میدان گازی پارس جنوبی در خلیج همیشه فارس را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت میدان گازی پارس جنوبی در خلیج فارس (Alizadeh et al. 2012)

پتروفیزیکی (تخلخل و تراوایی) مختلفی بودند شناسایی شدند. برای این منظور، با استفاده از نمودار مقاطع تخلخل/تراوایی رسم شده، محدوده‌های با خواص پتروفیزیکی یکسان تحت عنوان گونه‌های سنگی معرفی و برای هر کدام کد و نماد مشخصی تعریف شد. در نتیجه رخساره حاصل از اطلاعات مغزه تحت عنوان لاگی به نام رخساره مغزه در اطلاعات چاه A ایجاد شد و میانگین تخلخل و تراوایی هر کدام از گونه‌های سنگی مشخص شده نیز تعیین گردید.

در مرحله بعد، گونه‌های سنگی مشخص شده با ریزرخساره‌های معرفی شده از مقاطع نازک، مورد مقایسه قرار گرفتند و ارتباط معناداری بین آنها برقرار شد. در ادامه، پس از دسته بندی و واسنجی رخساره‌های رسوبی از اطلاعات مغزه حفاری، سعی شد تا با استفاده از خوشه سازی و روش MRGC، مدل بهینه‌ای برای

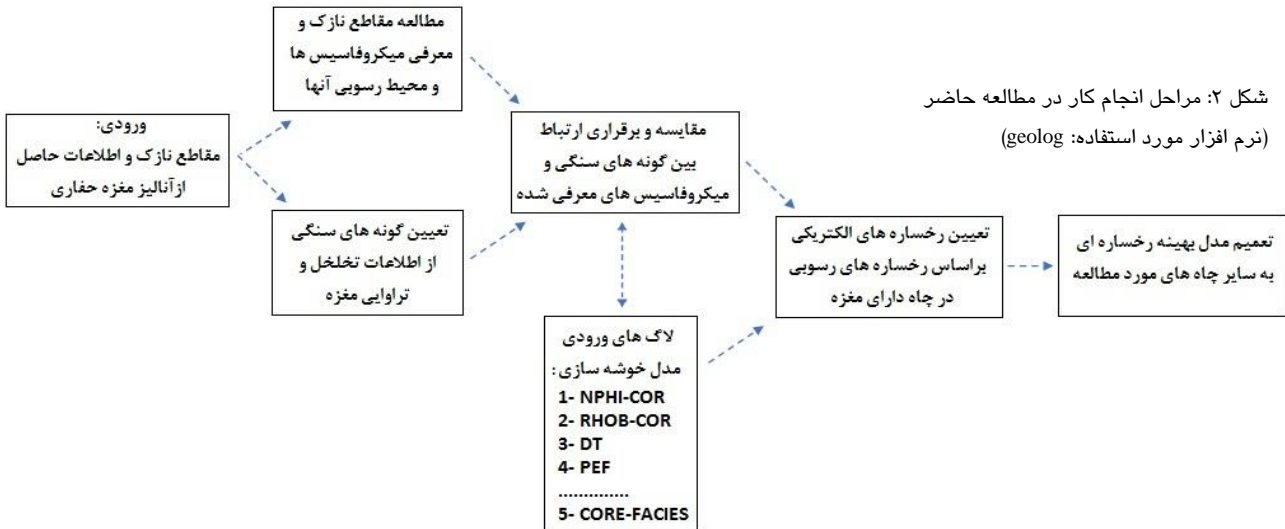
سنگ منشأ اصلی مخازن گازی افق گروه دهرم، نهشته‌های سیلورین (سازند سرچاهان) می‌باشد (آقاباتی، ۱۳۸۳). نهشته‌های کربناتی سازند دالان (پرمین بالایی) نیز به دلیل داشتن مواد آلی به عنوان سنگ منشأ از نظر ذخایر

روش مطالعه

برای دستیابی به هدف اصلی این مطالعه که تعیین رخساره‌های الکتریکی در توالیهای سازند کنگان و قسمت بالایی سازند دالان در چهار حلقه چاه A, B, C و D واقع در میدان گازی پارس جنوبی بر اساس رخساره‌های رسوبی از نمونه‌های واقعی برداشت شده از مخزن است (نمونه‌های مغزه حفاری)، مراحل مختلفی انجام گرفت که در شکل ۲ به اختصار آورده شده است. در گام اول، تعدادی مقطع نازک که از پلاکهای تهیه شده از مغزه‌های حفاری در توالی چاه A در دسترس بود، مورد بررسی قرار گرفت و ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی آنها مشخص شدند. سپس با استفاده از اطلاعات آنالیز مغزه‌های حفاری چاه A، نمودار مقطعی بر اساس دو معیار تخلخل و تراوایی مغزه ترسیم شد و بر اساس پراکنندگی داده‌ها در روی این نمودار، گونه‌های سنگی (Rock-Type) که دارای خواص

در چاه‌های B، C و D به کار گرفته شدند تا رخساره‌های الکتریکی را در این چاهها که فاقد مغزه بودند با دقت بالایی شناسایی کند.

دسته بندی نگاره‌های چاه پیمایی در چاه A با نظارت ریزرخساره‌ها و گونه‌های سنگی مشخص شده از اطلاعات مغزه حفاری، شناسایی شود. در نهایت مدل بهینه شده در چاه A پس از مقایسه با رخساره‌های رسوبی مغزه،



دیرینه شناسی آنها (ساختهای زیستی و اجزا) بر روی مقاطع نازکی که از پلاکهای تهیه شده از نمونه‌های مغزه گرفته شده است، صورت گرفت. همچنین تخلخل و تراوایی اندازه‌گیری شده از این پلاکها نیز برای مقاطع نازک تهیه شده از آنها اندازه‌گیری و برای رخساره‌های معرفی شده از آنها منظور گردیده است. بر این اساس ۱۲ ریزرخساره به شرح زیر شناسایی شد.

۱- **انیدریت لایه‌ای**: کریستالهای بی‌شکل در مقیاسهای میکروسکوپی و عموماً موزائیکی یا موزائیکهای کج و معوج، کریستالهای سوزنی شکل در اندازه چند میکرون (بافتهای میکرو کریستالین حالت نمد پوش)، تخلخل ۵۵٪/۰ و تراوایی md ۰/۸۱.

۲- **دولومادستون همراه با انیدریت لایه‌ای**: گل‌سنگ دولومیتی با کریستالها یا نودولهای شکل دار انیدریت که به حالت نمدپوش و با بافت میکرو کریستالین دیده می‌شوند و نوارهای نازک دولومیت به همراه لیتو کلاستها نیز مشاهده می‌شود. تخلخل ۵/۰۹٪ و تراوایی md ۲/۹۲۶.

تعیین ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی آنها

بیشتر میدانهای عظیم تولید هیدروکربور جهان (بیش از ۵۰ درصد مخازن جهان) از سنگهای کربناته تشکیل شده‌اند. چهره مشخص و منحصر به فرد سنگهای کربناته در حوضه‌های رسوبی، وابستگی اولیه آنها به حضور مواد آلی در حین رسوب گذاری و مستعد بودن آنها برای تغییر به وسیله سازوکارهای پس از رسوب گذاری، سبب بااهمیت شدن این سنگها از لحاظ تشخیص سودمندی نسبت به ماسه سنگها و شیلها شده است. تشکیلات کربناته در محیطهای خاص دارای مواد آلی، ترکیباتی بیوشیمیایی می‌باشند که اندامهای تشکیل دهنده آنها و همچنین فرآیندهای فشردگی، سنگ شدگی، دیاژنز و ... در آنها سبب اختلافاتی در کیفیت مخزنی آنها می‌شوند. این رسوبات همچنین به تغییرات محیطی بسیار حساس هستند. شناسایی رخساره‌ها و تفسیر آنها در محدوده‌های محیطهای رسوبی بر اساس مطالعات رسوب شناسی (کانی شناسی، فابریک رسوبی، بافت و لایه بندی مقاطع) و معیارهای

روزن داران محدود که به طور مشترک با لیتوکلستیتها

ترکیب شده‌اند. تخلخل $10/88\%$ و تراوایی $11/187$ md

۱۱- مادستون / وکستون: دانه‌های با گردشگی خوب

کلستیت/دولومیت در زمینه گلی (مادستون - پکستون) همراه با بیوکلستیکهای حاوی اکتینوئیدها، اسفنجها و

روزن داران. تخلخل $13/94\%$ و تراوایی $2/306$ md

۱۲- لخته‌های آهکی باندستونی: باندستون، همراه با

انواع بافت غیر لایه‌ای توده‌های سفت سیمانی شده میکریتی

شده به وسیله کلستیت. تخلخل $1/73\%$ و تراوایی

$0/005$ md

نمایی از ریزرخساره‌های مطالعه شده در شکل ۳ نشان داده

شده است. براساس تفسیر محیط رسوبی رخساره‌های

معرفی شده از دو سازند کنگان و بخش بالایی سازند دالان

در توالی چاه A، ۷ محیط رسوبی مختلف به شرح زیر

معرفی گردید:

- فلاتهای قاره‌ای باز (Subtidal)

- پهلوهای دریایی گسترده کم عمق (Subtidal)

- اوولیتیک تا اووبیو کلاستیکهای مناطق کم عمق

(Subtidal to Intertidal)

- پهنه‌های Leeward مناطق کم عمق (Subtidal to

Intertidal)

- مرداب (Lagoon) زیر جزرومدی (Subtidal)

- پهنه‌های جزرومدی (Intertidal و Supratidal) با

تعدادی زیر محیط رسوبی از قبیل ستیغهای ساحلی، پهنه-

های بین جزرومدی و کانالهای جزرومدی)

- پهنه‌های سبخایی و تبخیری یا فلاتهای نمکی

(Supratidal/Intertidal to Subtidal)

۳- انیدریت‌های برشی سیمان شده همراه با دولستون:

این رخساره حاوی کریستالهای بلوکی شکل انیدریت و

خیلی به ندرت میکرو کریستالی به همراه سیمان انیدریتی

است. تخلخل $2/29\%$ و تراوایی $0/016$ md

۴- دولومادستونهای شیلی سبز رنگ: لایه‌های نازک

شیلی بی شکل همراه با لئزهای منفرد گلستگهای دولومیتی.

تخلخل $5/72\%$ و تراوایی $1/155$ md.

۵- دولومادستونهای توده‌ای: گلستگ دولومیتی و خیلی

به ندرت گلستگهای کلسیتی و به صورت توده‌ای در

مقیاس میکروسکوپی و لایه بندی در آن به ندرت دیده

می شود. تخلخل $6/73\%$ و تراوایی $3/993$ md

۶- دولومادستونهای لایه‌ای: گلستگهای دولومیتی

لایه بندی شده و وکستونهای دولومیتی همراه با انیدریت‌های

درون لایه‌ای. تخلخل $12/48\%$ و تراوایی $0/35$ md

۷- خرده سنگهای گرینستونی: گرینستونهای دولومیتی با

جورشدگی خیلی کم و به صورت پی در پی آنکوئیدها و

بیوکلستیتها و اووئیدهای مخلوط دیده می شوند. تخلخل

$20/04\%$ و تراوایی $6/453$ md

۸- گرینستون دولومیتی همراه با خرده‌های فسیلی:

دانه‌های متوسط تا درشت گرینستون دولومیتی به همراه

جلبکها و روزن داران غالب به علاوه قطعات پوسته نرم‌تنان

که همراه با پلوئیدها و لیتو کلاستها دیده می شوند. تخلخل

$3/56\%$ و تراوایی $0/04$ md

۹- گرین استونهای دولومیتی اووئیدی: دانه‌های به

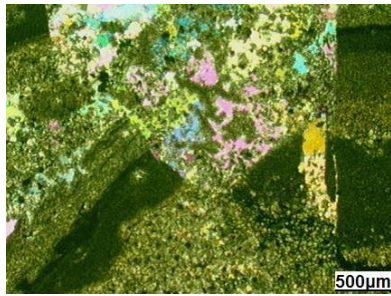
خوبی جور شده متوسط دولومیت‌های گرینستونی اووئیدی به

همراه پلوئیدها. تخلخل $15/44\%$ و تراوایی $0/294$ md

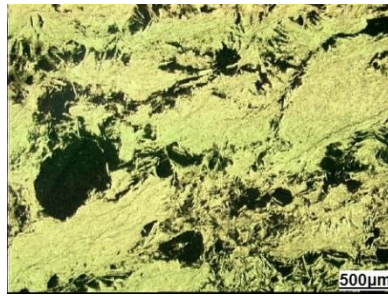
۱۰- گرینستونهای دولومیتی پلوئیدی: دانه‌های با

جورشدگی خوب و کاملاً گرد شده دولومیت‌های

گرینستونی و کلسیت به همراه پلوئیدهای فراوان و محتوای



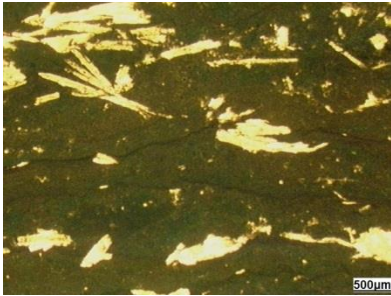
microfacies-3



microfacies-2



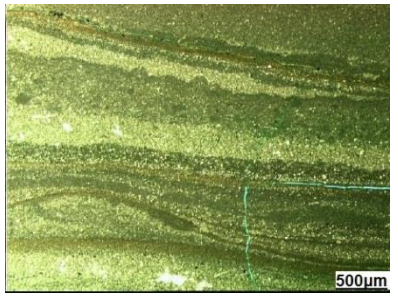
microfacies-1



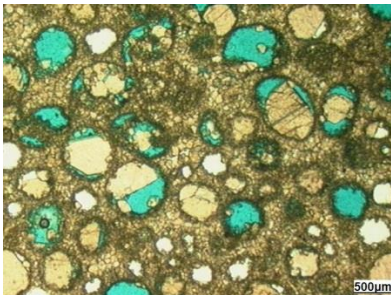
microfacies-6



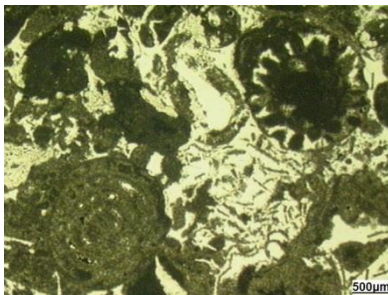
microfacies-5



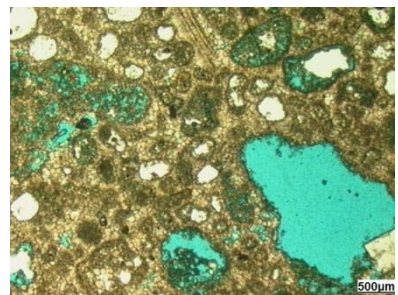
microfacies-4



microfacies-9



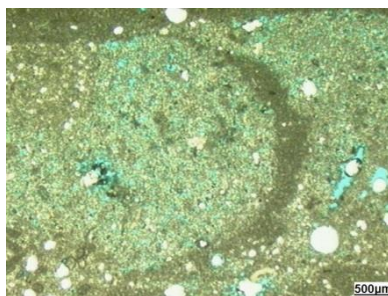
microfacies-8



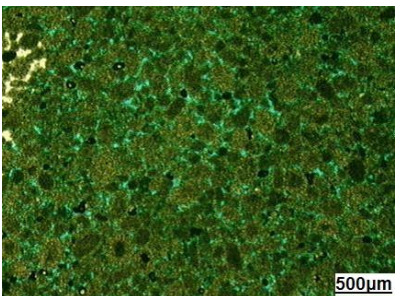
microfacies-7



microfacies-12



microfacies-11



microfacies-10

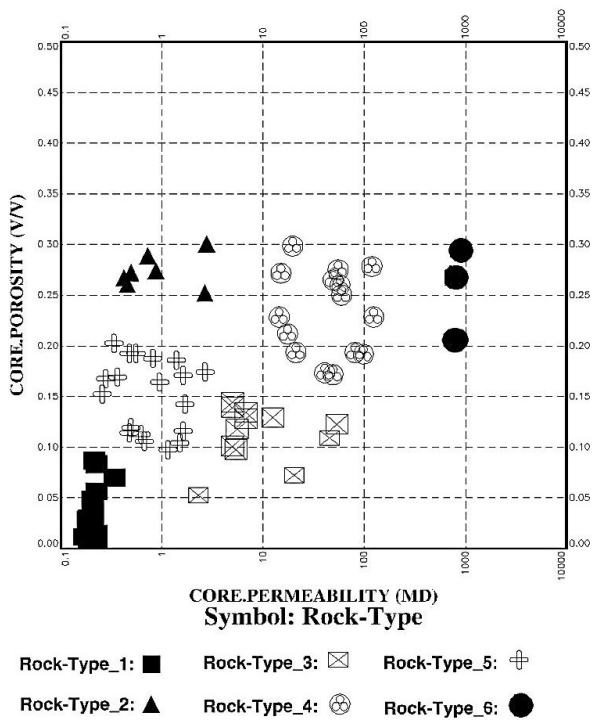
شکل ۳: ریزرخساره‌های شناسایی شده در مقاطع نازک مورد مطالعه؛ (۱) انیدریت لایه‌ای، (۲) دولومادستون همراه با انیدریت لایه‌ای، (۳) انیدریت‌های برشی سیمان شده همراه با دولستون، (۴) دولومادستون‌های شیلی سبز رنگ، (۵) دولومادستون‌های توده‌ای، (۶) دولومادستون‌های لایه‌ای، (۷) خرده سنگ‌های گریستونی، (۸) گریستون دولومیتی همراه با خرده‌های فسیلی، (۹) گرین استون‌های دولومیتی اووئیدی، (۱۰) گریستون‌های دولومیتی پلوئیدی، (۱۱) مادستون/وکستون، (۱۲) لخته‌های آهکی باندستونی.

خصوصیات مخزنی می‌باشد (Bagheri & Biranvand 2006). دسته بندی سنگی (Rock-Typing) فرآیند طبقه بندی سنگهای مخزن به واحدهای مشخصی می‌باشد

تعیین گونه‌های سنگی از داده مغزه

شناسایی گونه‌های مختلف سنگی یک مخزن و تغییرات عمودی و افقی آنها یکی از موارد ضروری در امر بررسی

CORE.POR vs. CORE.PERM Crossplot



شکل ۴: دسته بندی داده‌ها در گروه‌های مختلف از نظر تخلخل و تراوایی

جدول ۱: میانگین تخلخل و تراوایی داده‌های مغزه در هر یک از شش گونه سنگی

| Rock-Type | POR (%) | PERM (md) |
|-------------|---------|-----------|
| Rock-Type 1 | ۷/۲ | ۰/۲۰۵ |
| Rock-Type 2 | ۴/۲۷ | ۱/۲ |
| Rock-Type 3 | ۳/۵ | ۱۴/۴۵۱ |
| Rock-Type 4 | ۳/۲۳ | ۵۴/۶۷۳ |
| Rock-Type 5 | ۱/۱۵ | ۰/۹۳۲ |
| Rock-Type 6 | ۳/۲۴ | ۸۳۰/۷۵ |

شکل ۵، فراوانی دو ویژگی تخلخل و تراوایی اندازه‌گیری شده از داده‌های مغزه را در هر یک از گونه‌های سنگی به صورت هیستوگرام نمایش می‌دهد. در هر دو نمودار شکل ۴ مشاهده می‌شود که گونه سنگی شماره ۶ دارای تخلخل و به ویژه تراوایی به نسبت بالاتری از سایر گونه‌های سنگی و نشان دهنده شرایط مطلوب مخزنی است

که هر کدام از این واحدها تحت شرایط زمین‌شناسی مشابهی رسوب کرده‌اند و همچنین تحت تغییرات دیاژنزی مشابهی قرار گرفته‌اند (کوت‌زاده، ۱۳۹۱). به بیان دیگر، گونه‌های سنگی به مجموعه رخساره‌هایی گفته می‌شود که با در نظر گرفتن چندین معیار مشخص، در یک گروه یا دسته قرار می‌گیرند (Schlumberger, 1989). معمول‌ترین روش دسته‌بندی گونه‌های سنگی، استفاده از اندازه‌گیری‌های تخلخل و تراوایی مغزه می‌باشد (Xu & Torres-Verdin, 2012). در این روش، داده‌ها با استفاده از نمودار مقاطع دو ویژگی تخلخل و تراوایی به دست آمده از آنالیز مغزه و با توجه به پراکندگی داده‌ها در قسمتهای مختلف این نمودار که نشان دهنده ویژگیهای متفاوت داده‌ها از لحاظ شرایط مخزنی می‌باشند، در دسته‌هایی قرار می‌گیرند که به عنوان نماینده یک رخساره خاص معرفی می‌شوند. در چاه A از ۴۲۱ متر توالی مخزنی، ۱۵۰ متر در قسمت میانی مغزه‌گیری شده است. شکل ۴ داده‌های دو عامل تخلخل و تراوایی مغزه که در مقابل هم رسم شده‌اند را نشان می‌دهد. بر این اساس، ۶ گونه سنگی با توجه به پراکندگی داده‌ها در محدوده‌های مختلف و با نماد متفاوت مشخص شد که فواصل مربوط به هر کدام از گونه‌های سنگی با کد مشخصی تعریف و نگار رخساره مغزه بر مبنای گونه‌های مختلف سنگی در اطلاعات چاه تعریف گردید.

جدول ۱ میانگین تخلخل و تراوایی در هر یک از این شش گونه سنگی را نشان می‌دهد. بر این اساس ملاحظه می‌شود که گونه سنگی شماره ۱ (Rock-Type 1) کمترین و گونه سنگی شماره ۶ (Rock-Type 6) بیشترین میزان تخلخل و تراوایی را دارند و این دو گونه سنگی از لحاظ کیفیت مخزنی به ترتیب ضعیف‌ترین و بهترین کیفیت مخزنی را در بین سایر گونه‌های سنگی دارا می‌باشند.

برقرار می‌کند. در نتیجه گونه‌ها و رخساره‌های سنگی که دارای خواص مخزنی (تخلخل و تراوایی) تقریباً برابری هستند در یک دسته قرار گرفتند. این مقایسه تا حدودی وضعیت سنگ شناسی گونه‌های سنگی معرفی شده از نمودار متقاطع تخلخل/تراوایی را نیز مشخص می‌نماید. بر این اساس، گونه سنگی شماره ۱ که دارای ضعیفترین شرایط مخزنی است با رخساره سنگی شماره ۱ و ۱۲ در یک گروه قرار می‌گیرند ضمن این که هر دو دارای سنگ شناسی انیدریت‌های لایه‌ای (به طور غالب) هستند. همچنین گونه سنگی شماره ۶ با بهترین شرایط مخزنی در بین سایر گونه‌های سنگی، با رخساره‌های سنگی شماره ۷ و ۱۰ در یک گروه قرار می‌گیرند که دارای سنگ شناسی دولومیت و کلسیت با بافت گرینستونی است. سایر گونه‌های سنگی و ریزرخساره‌های معرفی شده نیز با هم مقایسه و در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۲: مقایسه گونه‌های سنگی با ریزرخساره‌های شناسایی شده از اطلاعات مغزه حفاری

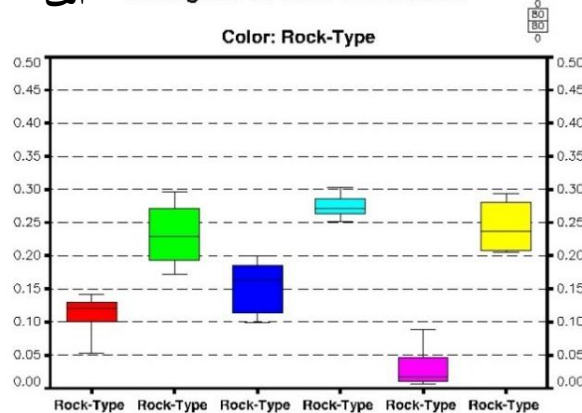
| Rock-Type | Micro-facies |
|-----------|--------------|
| ۱ | ۱ و ۱۲ |
| ۲ | ۶ و ۹ |
| ۳ | ۳ و ۸ |
| ۴ | ۲ و ۴ و ۵ |
| ۵ | ۱۱ |
| ۶ | ۷ و ۱۰ |

نگارهای ورودی برای ساخت مدل MRGC

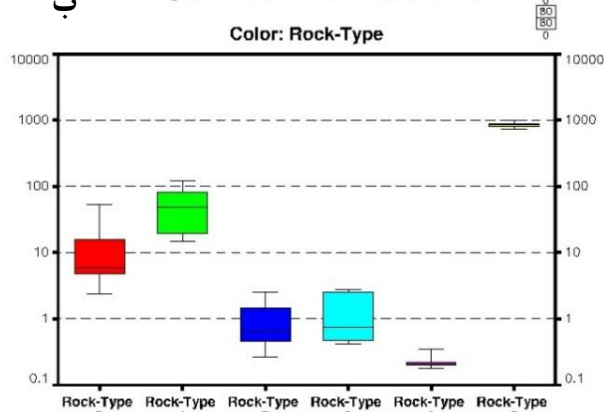
در انتخاب نمودارهای الکتریکی جهت تعیین رخساره‌های الکتریکی از نگاره‌هایی استفاده شد که خصوصیات پتروفیزیکی و سنگ شناسی مخزن توسط آنها ثبت شده باشد. به عنوان مثال، مقدار تخلخل توسط نگاره‌های دانسیته، سونیک و نوترون برداشت شده است و یا سنگ شناسی که از مؤلفه‌های اصلی هر رخساره رسوبی است توسط نگار

و در مقابل، گونه سنگی شماره ۱ دارای میزان تخلخل و تراوایی پایینتر از سایر رخساره‌ها بوده و شرایط نامطلوبی از لحاظ مخزنی دارد. همچنین گونه سنگی شماره ۴ پس از گونه سنگی شماره ۶، شرایط مطلوب مخزنی دارد، اما گونه سنگی شماره ۲ با این که تخلخل به نسبت بیشتری از سایر گونه‌های سنگی دارد، اما میزان تراوایی پایینی داشته که نشان دهنده تخلخل‌های غیر مرتبط است و در نتیجه نمی‌تواند از لحاظ مخزنی مورد توجه قرار گیرد.

الف Histogram of CORE.POROSITY



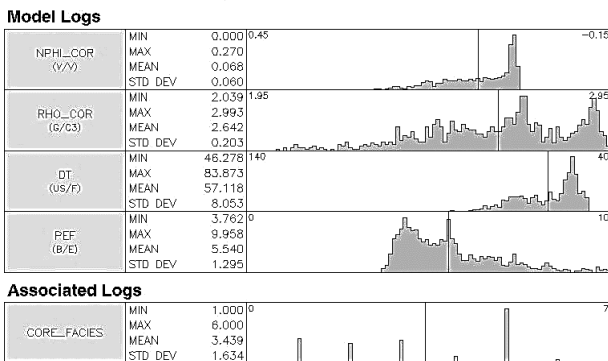
ب Histogram of CORE.PERMEABILITY



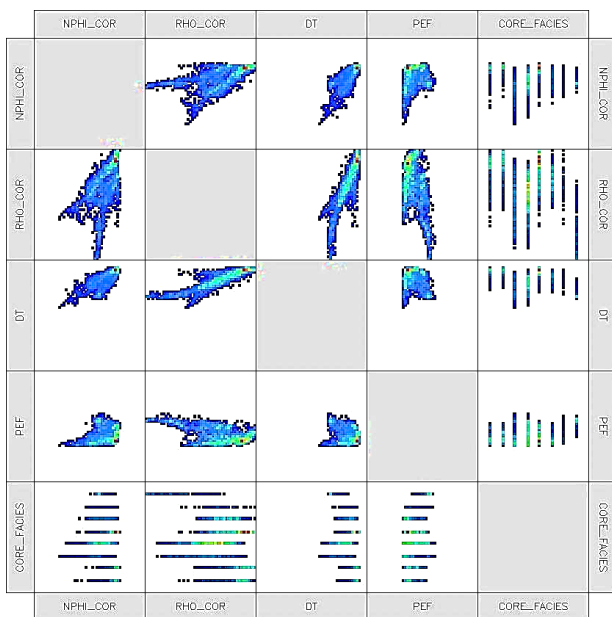
شکل ۵: فراوانی دو ویژگی تخلخل (الف) و تراوایی (ب) در هر یک از گونه‌های سنگی معرفی شده

جدول ۲، ریزرخساره‌های معرفی شده در مقاطع نازک بر اساس خواص مخزنی آنها (تخلخل و تراوایی) را با گونه‌های سنگی معرفی شده از نمودار متقاطع تخلخل/تراوایی مغزه مقایسه و بین آنها ارتباط معناداری

984 Samples - 15 Samples outside plot limits



شکل ۶: نمودار فراوانی لاگهای ورودی



شکل ۷: نمودارهای مقاطع لاگهای ورودی نسبت به هم

ویژگیهایی که یک روش مناسب برای انجام عملیات خوشه سازی داده‌های نگار باید داشته باشد شامل قدرت شناسایی گروههای طبیعی داده‌های نگار، عدم داشتن دانش قبلی در ارتباط با داده‌ها، پیشنهاد بهترین تعداد خوشه‌ها به صورت خودکار، استفاده از دسته داده‌هایی با ترکیبات بسیار پیچیده، استفاده از کمترین معیارها و عدم حساسیت به تغییرات آنها و عدم محدودیت در نوع و تعداد داده‌ها و خوشه‌ها می‌باشد (Rabiller, 2005). روش MRGC یکی از معدود روشهای غیر پارامتریک و بسیار مناسب جهت مطالعه و تحلیل خوشه‌ای داده‌های حاصل از نگارها می‌باشد که ویژگیهای ذکر شده را دارد. در این روش،

اندیس فتوالکتریک و نگار دانسیته برداشت شده است. همچنین این نگارها در تمام چاههای مورد مطالعه موجود بودند. در نتیجه نگارهای مورد استفاده شامل نگارهای مشخصه سنگ شناسی و تخلخل می‌باشند و عبارتند از نوترون تصحیح شده (NPHI-COR)، چگالی تصحیح شده (RHO-COR)، صوتی (DT) و ضریب جذب فتوالکتریک (PEF). همچنین نگار رخساره مغزه (CORE-FACIES) که از رخساره‌های معرفی شده حاصل از اطلاعات مغزه به دست آمده است، به عنوان ناظر برای تعیین رخساره‌های الکتریکی در چاه A استفاده شد. در توالی چاههای مورد بررسی، به دلیل پایین بودن میزان مواد رادیواکتیو که نمایانگر وجود شیل است و تمیز بودن توالی از لایه‌های شیلی، از نگار گاما (GR) استفاده نشد. نمودار فراوانی و نمودار مقاطع نگارهای ورودی مدل در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است.

روش دسته بندی رخساره‌های الکتریکی

خوشه بندی داده‌ها پایه و اساس الگوریتمهای مدل سازی و دسته بندی محسوب می‌شود. هدف از این فرآیند تعریف گروههای طبیعی و اساسی کوچک از یک گروه بزرگ داده‌ها محسوب می‌شود (کدخدایی ایلخچی و همکاران، ۱۳۸۴). الگوی دسته بندی رخساره‌ها بر اساس نگارهای چاه پیمایی در تمام روشهای دسته بندی، بر این اساس می‌باشد 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 دسته بندی محدوده‌های قرائت نگارهای مورد استفاده خواهد شد و این محدوده‌های دسته بندی شده در توالی مورد ارزیابی، موجب تفکیک رخساره‌های زمین شناسی و مخزنی می‌شود.

رخساره‌ها را نشان می‌دهد. در این جا مشاهده می‌شود که برخی رخساره‌های مغزه مانند رخساره‌های شماره ۱، ۳ و ۵ با تمامی رخساره‌های الکتریکی همبستگی دارند در حالی که رخساره‌های ۲، ۴ و به خصوص ۶ تنها با تعدادی از رخساره‌های الکتریکی همبستگی دارند.

ارائه مدل رخساره‌ای در چاههای مورد مطالعه

پس از دسته‌بندی رخساره‌ها بر اساس نگاره‌های ورودی با نظارت رخساره مغزه، مدل ساخته شده در چاه A اعمال شد. در اینجا قرائتهای لاگهای ورودی مدل در توالی این چاه بر اساس نوع و درصد کانیهای مختلف دسته‌بندی شدند. از آن جایی که لاگهای ورودی مدل به طور مستقیم، تخلخل سازند را اندازه‌گیری می‌کنند (به غیر از لاگ PEF)، در نتیجه تخلخل نیز عامل دیگری در تفکیک این ۶ رخساره الکتریکی در توالی مورد بررسی بود. شکل ۱۰، رخساره‌های دسته‌بندی شده به همراه رخساره حاصل از مغزه را در چاه A نشان می‌دهد. با توجه به ستون سنگ شناسی (ستون اول از سمت چپ) در شکل ۱۰، تفکیک رخساره‌های مختلف از لحاظ نوع کانی و میزان تخلخل را به خوبی می‌توان مشاهده نمود. همچنین انطباق بسیار خوب رخساره‌های الکتریکی (ستون MRGC.EFAC) با رخساره‌های حاصل از اطلاعات مغزه (ستون CORE.FACIES) با توجه به تفکیک رنگهای مربوط به هر رخساره قابل مشاهده است.

هر رخساره علاوه بر اختلاف در میزان کانیهای تشکیل شده، از لحاظ شرایط مخزنی نیز قابل تفکیک هستند. در شکل ۱۱ فراوانی دو عامل تخلخل مؤثر و حجم گاز در هر یک از رخساره‌های الکتریکی به صورت هیستوگرام نمایش داده شده است. بالاترین میزان تخلخل مؤثر و حجم گاز در رخساره الکتریکی شماره ۶ مشاهده می‌شود که بهترین شرایط مخزنی را داراست و با گونه سنگی شماره ۶

داده‌های نگارها توسط دو شاخص 6NI (پارامتر شاخص همسایگی) که موقعیت نزدیک بودن هر نقطه در یک مجموعه داده را به قله یا قعر تابع چگالی احتمالی داده‌ها مشخص می‌کند و 6KRI (پارامتر هسته خوشه) که شاخصی جهت تعیین نقاط مستعد برای نمایندگی به عنوان هسته یا مرکز خوشه است، ارزیابی می‌شود. این دو شاخص نشانه‌های رابطه همسایگی میان داده‌ها هستند. رابطه همسایگی از روی فاصله فضایی داده‌ها (نگارها) محاسبه می‌شود. بر اساس این دو شاخص، گروههای کوچکی از داده‌ها با نام گروههای جذبی شکل می‌گیرند که این گروهها ممکن است از لحاظ شکل، اندازه، چگالی و نسبت جدایش باهم تفاوت داشته باشند. این گروههای جذبی به وسیله مرزهایی از یکدیگر جدا شده و در نهایت در یک فرآیند روبه رشد با یکدیگر ترکیب و گروههای بزرگتر که همان رخساره‌های مختلف الکتریکی می‌باشند را تشکیل می‌دهند. در مطالعه حاضر که بر مبنای روش MRGC انجام گرفته است، حد پایین و بالای داده‌ها به ترتیب ۵ و ۲۵ با حداقل ۳ مدل بهینه در نظر گرفته شد که در نهایت پس از اجرا به وسیله نرم افزار، سه مدل رخساره‌ای دارای ۶، ۸ و ۱۰ رخساره حاصل شد که از بین سه مدل به دست آمده، مدل با ۶ رخساره که ارتباط بهتری با تعداد گونه‌های سنگی داشت به عنوان مدل بهینه انتخاب شد. دو تصویر موجود در شکل ۸، تعداد رخساره‌های الکتریکی دسته‌بندی شده به همراه وزن و قرائتهای دسته‌بندی شده نگاره‌های ورودی مدل را به صورت رقومی و فراوانی نشان می‌دهد. در این جا محدوده‌های قرائت هر نگار در ۶ دسته مختلف قرار می‌گیرند.

شکل ۹ مقایسه رخساره‌های الکتریکی با رخساره‌های مغزه را از لحاظ آماری نشان می‌دهد که میزان انطباق بیشتر

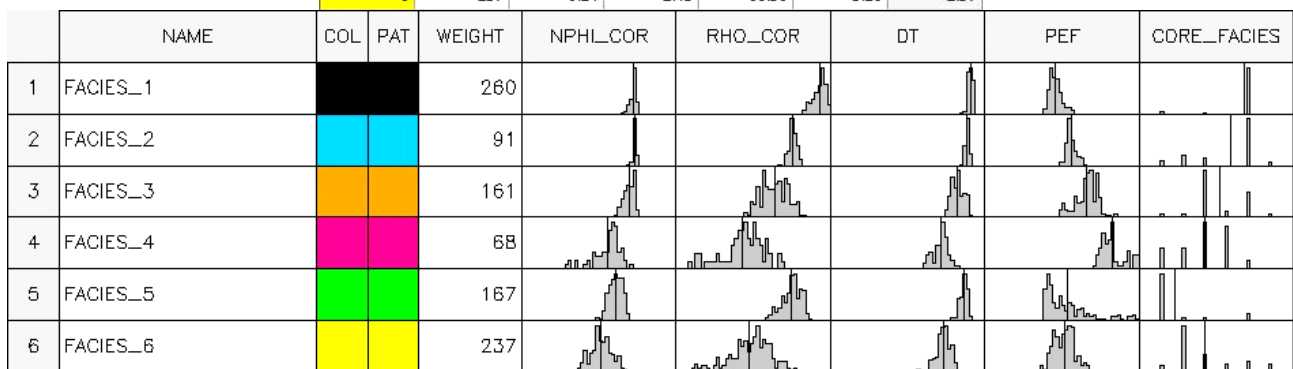
6 - Neighboring Index

7 - Kernel Representative Index

ضعیفترین شرایط مخزنی را در بین سایر رخساره‌های الکتریکی دسته بندی شده دارد، با گونه سنگی شماره ۱ حاصل از اطلاعات مغزه که دارای میانگین پایین تخلخل و تراوایی در بین گونه‌های سنگی دیگر است مرتبط می‌باشد.

حاصل از داده‌های مغزه یا همان رخساره‌های مشخص شده از اطلاعات مغزه که بالاترین میزان تخلخل و تراوایی را دارد کاملاً مرتبط است. همین طور رخساره الکتریکی شماره ۱ با پایتترین میزان تخلخل مؤثر و حجم گاز که

| FACIES | WEIGHT | NPHI_COR | RHO_COR | DT | PEF | ORE_FACIE |
|--------|--------|----------|---------|-------|------|-----------|
| 1 | 260 | 0.02 | 2.88 | 49.19 | 4.58 | 4.78 |
| 2 | 91 | 0.01 | 2.71 | 51.40 | 5.63 | 4.13 |
| 3 | 161 | 0.03 | 2.59 | 57.58 | 6.63 | 3.67 |
| 4 | 68 | 0.12 | 2.38 | 68.48 | 8.29 | 2.99 |
| 5 | 167 | 0.09 | 2.70 | 53.62 | 5.36 | 1.60 |
| 6 | 237 | 0.14 | 2.43 | 66.90 | 5.16 | 2.97 |



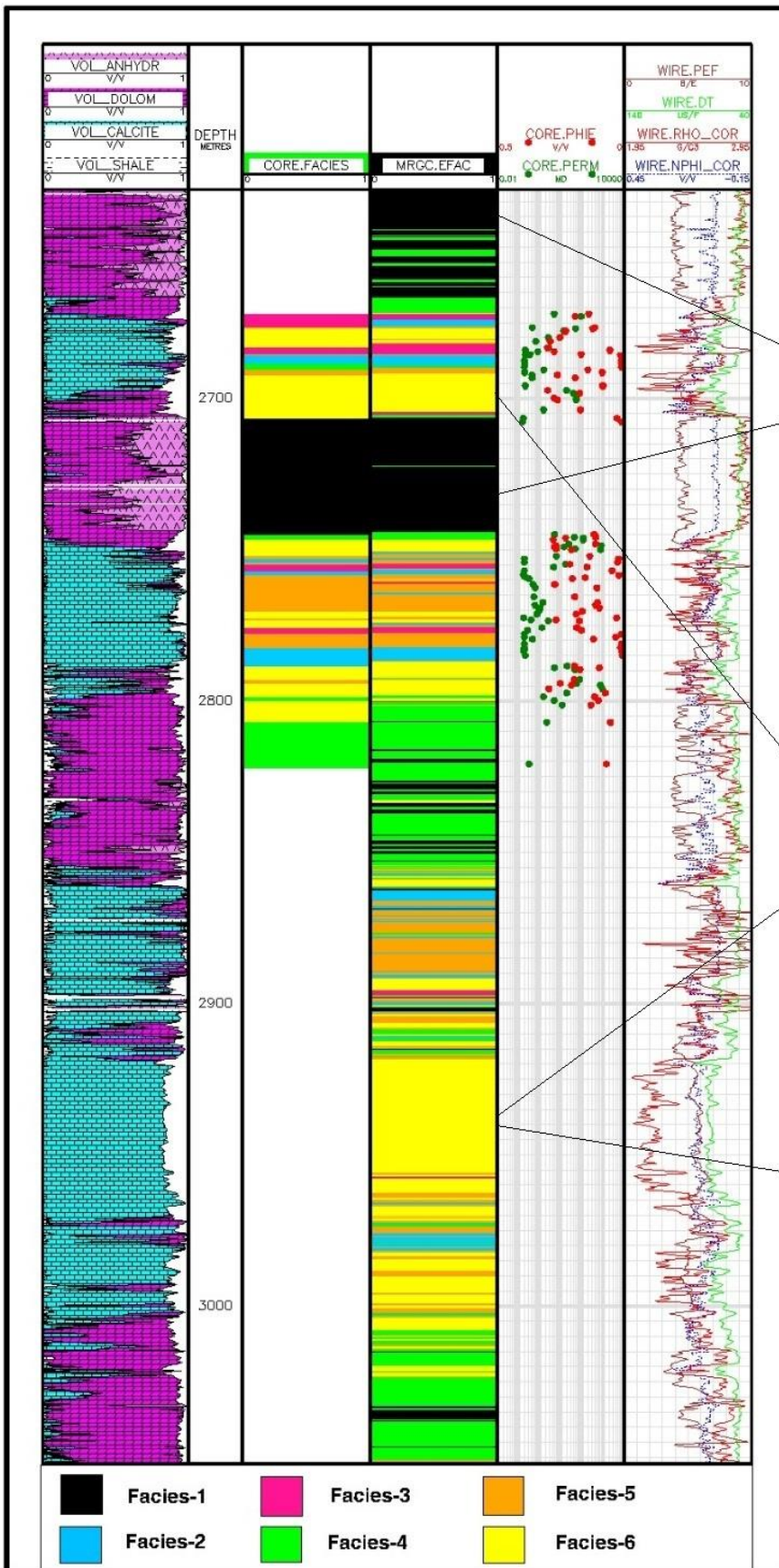
شکل ۸: رخساره‌های دسته بندی شده بر اساس لاگهای ورودی

| | | MRGC_6_CLUSTER | | | | | |
|------------------|---|----------------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| CORE CORE FACIES | 3 | 5% | 7% | 3% | 15% | 80% | 7% |
| | 4 | | 14% | 4% | 15% | 4% | 47% |
| | 5 | 1% | 11% | 53% | 34% | 4% | 18% |
| | 2 | | | 7% | 31% | | 8% |
| | 1 | 94% | 64% | 29% | 6% | 12% | 11% |
| | 6 | | 4% | 4% | | | 9% |
| TOTAL | | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

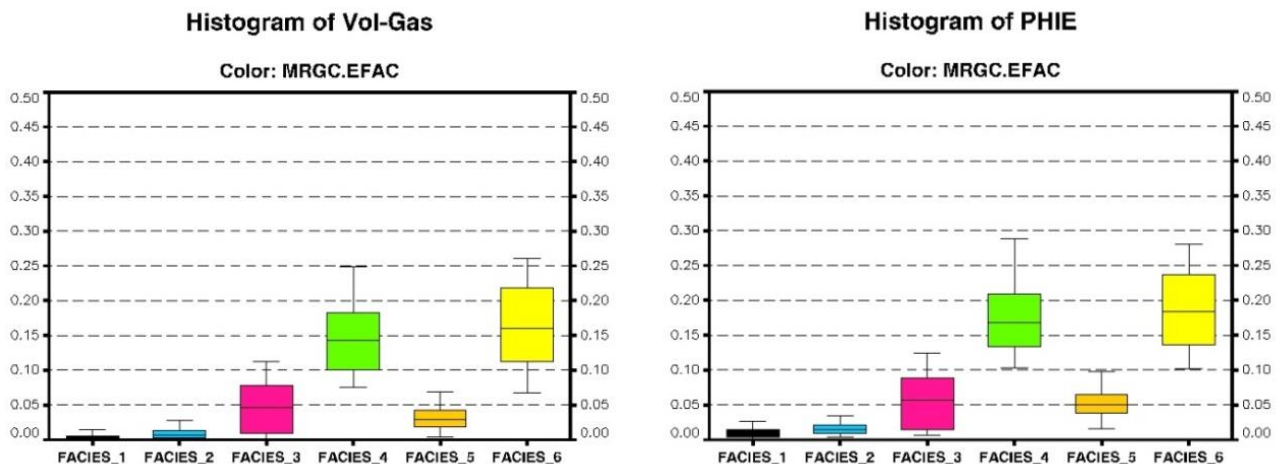
شکل ۹: مقایسه رخساره‌های الکتریکی و رخساره‌های مغزه؛ درصدی بالاتر، انطباق بیشتر رخساره مغزه با رخساره الکتریکی را نشان می‌دهد.

می‌توان ارتباط مخزنی در هر سه روش مورد بررسی (ریزرخساره‌ها، گونه‌های سنگی و رخساره‌های الکتریکی) را مشاهده نمود و بهترین و ضعیفترین رخساره‌های مخزنی که همان رخساره‌های الکتریکی و گونه‌های سنگی به ترتیب شماره ۶ و ۱ هستند را شناسایی و با ریزرخساره‌های

در جدول ۳، میانگین تخلخل مؤثر (PHIE) و حجم گاز (Vol-GAS) در هر ۶ رخساره الکتریکی مشخص شده است. همچنین در این جدول، میزان تخلخل و تراوایی هر کدام از گونه‌های سنگی (Rock-Type) و ریزرخساره‌های معادل این گونه‌های سنگی ارائه شده است. در این جا



شکل ۱۰: دسته بندی رخساره‌ها در توالی چاه A و انطباق آن با رخساره‌های حاصل از مغزه و سنگ شناسی توالی چاه A (از سمت چپ: ستون اول سنگ شناسی توالی چاه، ستون دوم عمق، ستون سوم رخساره حاصل از مغزه، ستون چهارم رخساره‌های الکتریکی دسته بندی شده به روش mrgc، ستون پنجم میزان تخلخل و تراوایی حاصل از آنالیز مغزه حفاری و ستون ششم لاگهای ورودی مدل mrgc).



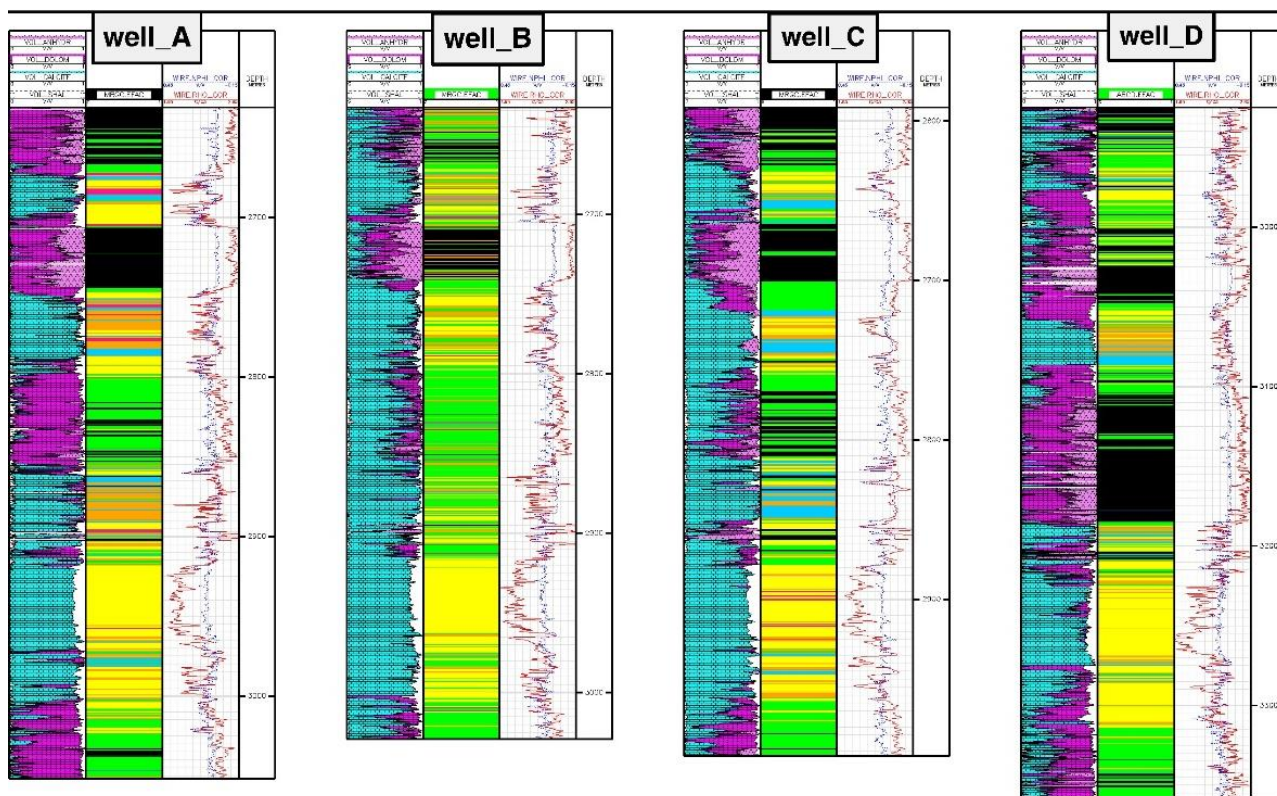
شکل ۱۱: تفکیک توالی چاه A بر اساس میزان تخلخل مؤثر و حجم گاز در هر رخساره

جدول ۳: میانگین تخلخل و حجم گاز در هر رخساره الکتریکی و مقایسه آنها با اطلاعات مغزه حفاری

| Log Data | | | Core Data | | | | | |
|---------------|---------|-------------|-----------|---------|-----------|------------------|------------------|---------------------|
| Electrofacies | | | Rock-Type | | | Microfacies | | |
| EF-number | por (%) | vol-gas (%) | RT-number | por (%) | perm (md) | MF-number | por (%) | perm (md) |
| EF-1 | 0.9 | 0.3 | RT-1 | 2.7 | 0.205 | MF-1, MF-12 | 0.55, 1.73 | 0.081, 0.005 |
| EF-2 | 1.5 | 0.8 | RT-2 | 27.4 | 1.2 | MF-6, MF-9 | 12.48, 15.44 | 0.35, 0.294 |
| EF-3 | 5.6 | 4.7 | RT-3 | 5.3 | 14.451 | MF-3, MF-8 | 2.29, 3.56 | 0.016, 0.004 |
| EF-4 | 17.5 | 14.5 | RT-4 | 23.3 | 54.673 | MF-2, MF-4, MF-5 | 5.09, 5.72, 6.73 | 2.926, 1.155, 3.993 |
| EF-5 | 5.2 | 3.1 | RT-5 | 15.1 | 0.932 | MF-11 | 13.94 | 2.306 |
| EF-6 | 18.6 | 16.3 | RT-6 | 24.3 | 830.75 | MF-7, MF-10 | 20.04, 10.88 | 6.453, 11.187 |

می‌دهد. در ادامه پس از تفکیک و تحلیل مناسب رخساره‌ها در چاه A، مدل رخساره‌ای در چاه‌های B، C و D اعمال گردید (شکل ۱۲) و محدوده‌های هر رخساره در توالی این چاهها نیز مشخص شد. با توجه به دسته بندی رخساره‌ها در سایر چاه‌ها که به خوبی از الگوی مدل رخساره‌ای چاه A و نمونه‌های واقعی در دسترس (نمونه‌های مغزه) تبعیت نموده است، نتیجه می‌شود که مدل رخساره‌ای به جهت استفاده در سایر چاههای میدان مناسب است.

معادل، بررسی نمود. همچنین معیارهای پتروفیزیکی (تخلخل مؤثر و حجم گاز) در جدول شماره ۳ در هر رخساره، به خوبی قابل مقایسه با ویژگیهای پتروفیزیکی اندازه گیری شده در گونه‌های سنگی و ریزرخساره‌های معرفی شده از داده‌های مغزه می‌باشد. این اطلاعات، ارتباط این رخساره‌ها به ویژه رخساره‌های ۱ و ۶ به ترتیب به عنوان ضعیفترین و بهترین رخساره‌ها از لحاظ کیفیت مخزنی که سنگ شناسی غالب در این دو رخساره با توجه به ستون سنگ شناسی در شکل ۱۰ و مقاطع نازک مطالعه شده به ترتیب شامل انیدریت و دولومیت / آهک هستند، را نشان



شکل ۱۲: رخساره‌های الکتریکی در دو چاه A و B

نتیجه‌گیری

سنگی و ریزرخساره‌های معرفی شده ارتباط معناداری برقرار شد. سپس با استفاده از تلفیق قرائت نگاره‌های چاه پیمایی با نظارت گونه‌های سنگی حاصل از نمونه‌های واقعی مخزن و استفاده از روش خوشه بندی MRGC، تعداد ۶ رخساره الکتریکی در توالی مورد ارزیابی در چاه A شناسایی شد که هر کدام از این رخساره‌ها بر اساس درصد کانیهای تشکیل دهنده و میزان تخلخل، با رخساره‌های دیگر متفاوت بودند. میانگین دو معیار پتروفیزیکی تخلخل مؤثر و حجم گاز در هر یک از رخساره‌های الکتریکی دسته بندی شده، ارتباط مستقیمی با میانگین دو ویژگی پتروفیزیکی تخلخل و تراوایی مغزه در هر کدام از گونه‌های سنگی را نشان می‌دهد. شرایط مطلوب و نامطلوب مخزنی در رخساره‌های الکتریکی و گونه‌های سنگی کاملاً مشهود و قابل قیاس بود که بر این

تخلخل و تراوایی به عنوان دو عامل بسیار اساسی در بهره‌دهی و کیفیت مخزنی، به طور قطعی از آنالیزهای آزمایشگاهی بر روی مغزه‌های حفاری به دست می‌آیند و دانش کافی را در ارتباط با خصوصیات سنگ مخزن و واحدهای جریانی در اختیار قرار می‌دهند. متأسفانه در میادین نفتی / گازی به دلیل هزینه‌های بسیار بالای عملیات مغزه‌گیری، همیشه در تعداد اندکی از چاهها مغزه گرفته می‌شود. در مطالعه حاضر که بر روی چهار حلقه چاه (A)، B، C و D در میدان گازی پارس جنوبی صورت گرفت، از اطلاعات مغزه حفاری یکی از چاهها (چاه A) استفاده شد و با استفاده از مطالعه مقاطع نازک، ۱۲ ریزرخساره و ۷ محیط رسوبی در این چاه معرفی گردید. همچنین با استفاده از نمودار متقاطع دو ویژگی تخلخل و تراوایی داده‌های مغزه، ۶ گونه سنگی در چاه A تشخیص و بین گونه‌های

اطلاعات نمودارهای درون چاه‌ی و روش خوشه‌سازی مناسب در یک میدان با نظارت نمونه‌های واقعی مخزن (نمونه‌های مغزه حفاری)، اطلاعات با ارزشی از خصوصیات مخزن و رخساره‌های 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.

اساس گونه‌های سنگی و رخساره‌های الکتریکی شماره ۱ و ۶ به ترتیب ضعیفترین و بهترین کیفیت مخزنی را دارا بودند. در نهایت مدل رخساره‌ای در چاه‌های B، C و D نیز اعمال گردید و رخساره‌ها در توالی این چاه‌ها نیز به خوبی از الگوی اجرا شده در چاه A پیروی کردند. از مقایسه رخساره‌های الکتریکی در چاه‌های مورد مطالعه با رخساره‌های مغزه، دقت بالای روش مورد استفاده نیز اثبات گردید. در نتیجه مشخص شد که با استفاده از تلفیق

منابع

- امینی، ع.، ۱۳۸۸. مبانی چینه‌نگاری سکانسی. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۲۴ ص.
- آقانباتی، س.ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۵۸۶ ص.
- رحیمی بهار، ع.ا.، پرهام، س.، ۱۳۹۱. تجزیه و تحلیل رخساره‌های الکتریکی بر اساس رخساره‌های رسوبی. رخساره‌های رسوبی، ۵ (۱): ۶۱-۷۴.
- سروش‌نیا، م.، کدخدائی ایلخچی، ع.، نوری، ب.، ۱۳۹۱. بررسی روش‌های خوشه‌سازی در تعیین الکتروفاسیسها و نیز میکروفاسیسهای مخزنی با استفاده از اطلاعات پتروفیزیکی و پتروگرافی در سازند آسماری در یکی از میدانی نفتی خلیج فارس. سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کدخدائی ایلخچی، ع.، رضائی، م.ر.، معلمی، س.ع.، شیخ‌زاده، ا.، ۱۳۸۴. تخمین گونه‌های سنگی و تراوایی در میدان گازی پارس جنوبی با استفاده از تکنیک خوشه‌سازی میان مرکز فازی و مدلسازی فازی. نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، ص ۶۷۸-۶۹۰.
- کوت‌زاده، آ.، ۱۳۹۱. تعیین دسته‌بندی سنگی مخزن به کمک روش‌های موجود در مهندسی نفت. سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- موحد، ب.، کهنسال قدیم‌وند، ن.، زمان‌نژاد، م.ر.، ۱۳۹۰. ارزیابی پتروفیزیکی سازندهای کنگان و دالان فوقانی - چاه Sp.x در میدان گازی پارس جنوبی. فصلنامه زمین، ۶ (۲۱): ۱۸۵-۱۶۹.
- Alizadeh, B., Najjari, S., & Kadkhodaei-Ilkhchi, A., 2012. Artificial neural network modeling and cluster analysis for organic facies and burial history estimation using well log data: A case study of the South Pars Gas Field, Persian Gulf, Iran. *Computers & Geosciences, Elsevier Press*. 45: 261-269.
- Askari, A.A., & 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.
- Bagheri, A.M., & Biranvand, B., 2006. Characterization of Reservoir Rock Types in a Heterogeneous Clastic and Carbonate Reservoir, *JSUT*, 32 (2): 29-38.
- Gholizadeh, M.H., & Darand, M., 2009. Forecasting precipitation with artificial neural networks (case study: Tehran). *Journal of Applied Sciences*, 5: 23-32.
- Khoshbakht, F., & 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.

- Kumar, B., Kishore, M., 2006. Electrofacies Classification—A Critical Approach. 6th *International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics*, New Delhi, India, pp. 822-825.
- Rabiller, P., 2005. Facies prediction and data modeling for reservoir characterization. 1th Ed., *Rabiller Geoconsulting*.
- Schlumberger, 1989. Log Interpretation Principles/Applications. Schlumberger, Houston, Texas, pp. 1-241.
- Sefidari, E., Amini, A., Kadkhodaei, A., & Ahmadi, B., 2012. Electrofacies clustering and a hybrid intelligent based method for porosity and permeability prediction in the South Pars Gas Field, Persian Gulf, *Geopersia*, 2 (2): 11-23.
- Selley, R.C., 1996. Ancient Sedimentary Environments and their Sub-Surface Diagnosis, 4th ed. *Nelson Thornes (Publisher) Ltd.*, England, 315 pp.
- Serra, O., & Abbott, H.T., 1980. The contribution of logging data to sedimentology and stratigraphic, SPE 9270, 55th *Annual Fall Technical Conference and Exhibition*, Dallas, Texas, pp. 19.
- Serra, O., 1986. Fundamentals of Well-Log Interpretation 2. The Interpretation of Logging Data. *Developments in Petroleum Science*, 15 (B): 3-679
- Sutadiwirya, Y., 2008. Using MRGC (Multi Resolution Graph-Based Clustering) Method to Integrate Log Data Analysis and Core Facies to Define Electrofacies, in the Benua Field, Central Sumatera Basin, Indonesia. *International Gas Union Research Conference, IGRC*, Paris, pp. 2-12.
- Tvakoli, V., & 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.
- Xu, C., & Torres-Verdin, C., 2012. saturation-height and invasion consistent hydraulic rock typing using multi-well conventional logs. *SPWLA, 53rd Annual Logging Symposium*, pp. 1-16.
- Ye, S.J., & Rabiller Ph., 2000. A new tool for electrofacies analysis: multi resolution graph based clustering. *SPWLA, 41st Annual Logging Symposium*.

Electro-facies determined based on sedimentary facies and rock types using clustering methods, wire-line logs and core data in the Kangan and Dalan Formations, Southern Pars gas field

Bagheri, H.^{1*}, Khoshbakht, F.², Fazli, L.³

1- Expert petro-physics, Geology Department, National Iranian Drilling Company (NIDC)

2- Research Institute for reservoir Studies, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Damavand Branch, Damavand, Iran

*Email: hb.hasanbagheri@gmail.com

Abstract

Electro-facies is a unit of the vertical sediments sequence on the wire-line logs that can be differentiated from the upper and lower units. For detection of the electro-facies interval in Kangan and upper Dalan formations in south Pars Gas Field, wire-line log and core data analysis (wells A, B, C and D) were used. Note, only core data analysis in well A were available. First, thin-Sections study core plugs from this well resulted in the identification of 12 micro-facies and 7 sedimentary environment. For recognition of electro-facies based on these data, clustering method and core data were used to categories their homogenization of data. In this study, Rock-Types (R-T) that have similar reservoir characteristics were identified using porosity/permeability cross plot from core data; therefore based on these data, 6 Rock-Type were identified. After classification of Rock-Types and micro-facies from the core data, MRGC models of these facies were identified from the wire-line logs in well A. Optimized model in well A were applied in the wells B, C and D to recognized electro-facies in these wells with no-core data. Average petro-physical properties of each facies in different wells were compared for quality controls of predicted facies. Also facies of 4 wells were correlated to see if they are comparable. As a result, 6 electro-facies were identified with different petro-physical characteristics and the poorest reservoir quality belong to the facies (1) with dominant anhydrite lithology and the best quality reservoir belong to the facies (6) with the dominant dolomite and limetone with grainstone textue. Due to the high accuracy of the results, the suggested model can be used in other wells in this field.

Keywords: Electro-facies; sedimentary facies; clustering; MRGC method; wire-line logs