

تفکیک گروه‌های سنگی با استفاده از واحدهای جریان‌ی و رخساره الکتریکی: مطالعه موردی، مخزن فهلان در یکی از میادین دشت آبادان

حدیث آروانی، امیرمهدی سرداری* و جهانبخش دانشیان

دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید خوارزمی

amirsardarimahdi@khu.ac.ir

چکیده

سازند فهلان به عنوان یکی از مخازن مهم هیدروکربنی در حوضه زاگرس و خلیج فارس شناخته می‌شود. این سازند عمدتاً از توالی‌های کربناتی تشکیل شده و دارای پیچیدگی‌های زیادی از نظر ویژگی‌های مخزنی است. تفکیک گروه‌های سنگی (Rock Types) یکی از مراحل کلیدی در مطالعات پتروفیزیکی و زمین‌شناسی مخزن است. این کار به درک بهتر رفتار مخزن، کیفیت آن و پیش‌بینی جریان سیالات کمک می‌کند. در این مطالعه با استفاده از روش نشانگر زون جریان‌ی (Flow Zone Indicator)، خوشه‌بندی رخساره الکتریکی (Clustering) و رخساره‌های میکروسکوپی، نتایج قابل قبول برای تعیین گونه‌های سنگی نشان می‌دهد. در مرحله اول با استفاده از مقاطع نازک از چاه A2 ۶ ریزرخساره متعلق به پهنه رمپ شامل لاگون و پشته‌های رسوبی شناسایی شدند. سپس در روش نشانگر زون جریان‌ی (Flow Zone Indicator) چهار واحد جریان‌ی بر اساس داده‌های تخلخل و تراوایی در چاه A2 مخزن فهلان تعیین شده است. با تلفیق داده‌های پتروگرافی و پتروفیزیک، و با شناسایی چهار واحد جریان‌ی در سازند فهلان، کیفیت مخزنی از خیلی ضعیف (RT1) تا خوب (RT4) رتبه‌بندی شد. سپس با استفاده از اطلاعات حاصل در ۳ لاگ پتروفیزیکی (تخلخل موثر، نوترون و صوتی) رخساره الکتریکی (Clustering) سازند فهلان به روش MRGC تعیین و منجر به شناسایی ۱۱ رخساره شد. ترکیب سه پارامتر رخساره رسوبی، رخساره الکتریکی و گونه‌بندی سنگی نشان می‌دهد که رخساره آبی (RT4, MF6) نشان دهنده کیفیت خوب و رخساره قرمز (RT1, MF1, MF2) نشان دهنده کیفیت خیلی ضعیف مخزنی است. این روش ترکیبی، چارچوبی موثر جهت زون‌بندی و رتبه‌بندی کیفیت مخزنی در مخازن کربناته ناهمگنی چون سازند فهلان ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی

مخزن فهلان، نشانگر زون جریان‌ی (FZI)، خوشه‌بندی رخساره الکتریکی (Clustering)، رخساره رسوبی.

Rock Facies Classification Using Hydraulic Flow Units and Electrofacies: A Case Study of the Fahliyan Reservoir in One of the Fields of Abadan Plain

Mahdi Amirsardari¹, Jahanbakhsh Daneshian², Hadis Arvani³

1. Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

2. Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

3. Master's degree, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

Abstract

The Fahliyan Formation is recognized as one of the major hydrocarbon reservoirs in the Zagros Basin and the Persian Gulf, mainly composed of carbonate sequences and exhibiting considerable complexity in terms of reservoir characteristics. Rock typing is a key step in petrophysical and geological reservoir studies, as it contributes to a better understanding of reservoir behavior, quality, and fluid flow prediction. In this study, an integrated approach using the Flow Zone Indicator (FZI) method, electrofacies clustering, and microscopic facies analysis has yielded reliable results for rock type determination. In the first step, six microfacies belonging to a ramp setting (including lagoon and shoal deposits) were identified from thin sections of well A2. Subsequently, using the FZI method, four hydraulic flow units were defined based on porosity and permeability data from the Fahliyan reservoir in well A2. By integrating petrographic and petrophysical data, reservoir quality was ranked from very poor (RT1) to good (RT4) based on the four identified flow units. Then, using data from three petrophysical logs (effective porosity, neutron, and sonic), electrofacies of the Fahliyan Formation were determined using the MRGC clustering method, resulting in the identification of 11 electrofacies. The combination of sedimentary facies, electrofacies, and rock typing indicates that the blue electrofacies (RT4, MF6) represents good reservoir quality, whereas the red electrofacies (RT1, MF1, MF2) represents very poor reservoir quality. This integrated approach provides an effective framework for zoning and ranking reservoir quality in heterogeneous carbonate reservoirs such as the Fahliyan Formation.

Keywords: Fahliyan Reservoir, Flow Zone Indicator (FZI), Electrofacies Clustering, Sedimentary Facies.

۱. مقدمه

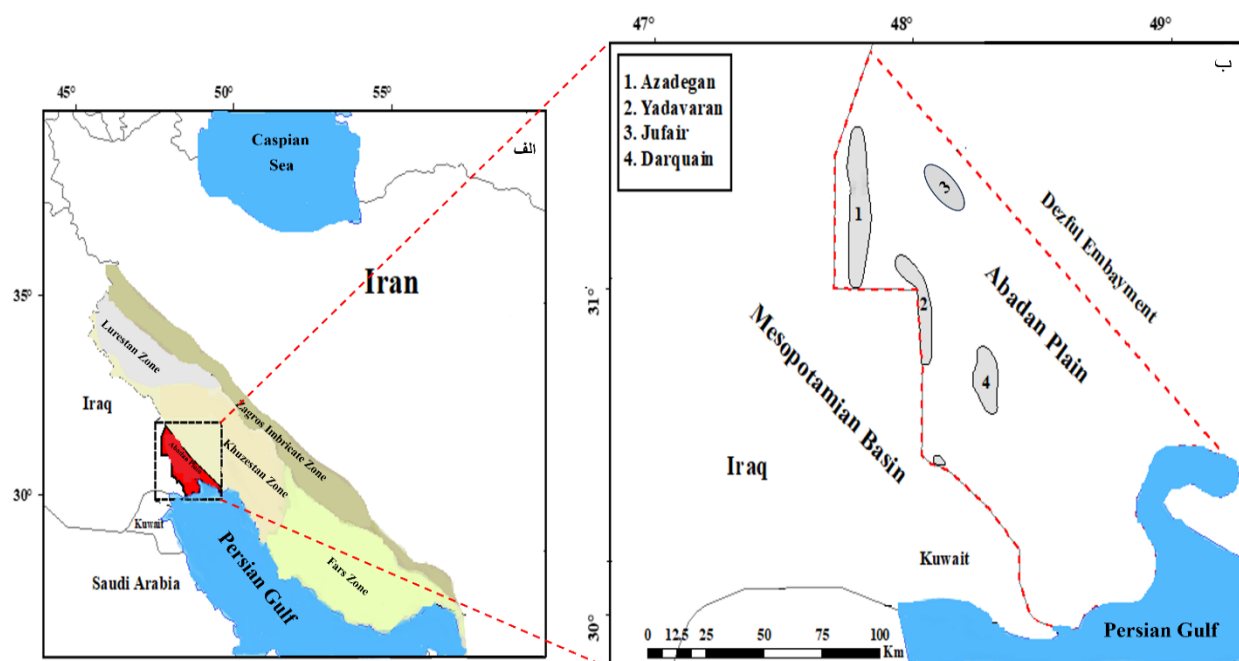
در ارزیابی کیفیت مخازن هیدروکربنی، به‌ویژه در محیط‌های ناهمگن، دستیابی به تولید مطلوب بدون محاسبات دقیق خواص پتروفیزیکی امکان‌پذیر نیست از این رو، تعیین گونه‌های سنگی به عنوان ابزاری کارآمد برای پیش‌بینی کیفیت مخزنی به کار می‌رود [۱]. این گونه‌ها اغلب بر اساس واحدهای جریانی و رخساره‌های الکتریکی در مخازن مختلف تفکیک می‌شوند [۲]. بنابراین، تفکیک گونه‌های سنگی با استفاده از روش‌های گوناگون، یکی از کاربردی‌ترین رویکردها در ارزیابی کیفیت مخزن و زون‌بندی آن محسوب می‌شود و باید چنان انجام گیرد که تا حد امکان به واقعیت زمین‌شناختی نزدیک باشد [۳]. گونه‌بندی و تفکیک گروه‌های سنگی در مخازن کربناته به دلیل هتروژنیته بالا (ناهمگونی در تخلخل، تراوایی و ویژگی‌های پتروفیزیکی) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است این ناهمگونی ناشی از فرآیندهای مختلف رسوب‌گذاری، دیاژنز و تأثیر عوامل تکتونیکی است که منجر به تغییرات شدید در کیفیت مخزن می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که تفکیک دقیق این گروه‌های سنگی بر اساس رخساره‌های رسوبی، داده‌های پتروفیزیکی و ویژگی‌های دینامیکی جریان، امکان شناسایی مناطق با پتانسیل هیدروکربوری بالا را فراهم می‌کند [۴]. در کنار این روش‌ها، مطالعه رخساره‌های رسوبی بر اساس ویژگی‌های بافتی و ساختاری، به درک بهتر فرآیندهای رسوبی و دیاژنتیک کمک می‌کند. ترکیب این روش‌ها نه تنها امکان تفکیک دقیق‌تر گروه‌های سنگی را فراهم می‌کند، بلکه زمینه را برای تفسیر دقیق‌تر محیط‌های رسوبی و پتانسیل مخزنی سنگ‌ها مهیا می‌سازد [۵]. مطالعات مختلفی بر روی تعیین گونه‌های سنگی با کمک داده‌های رخساره‌ای الکتریکی و آنالیز رخساره‌ای مغزه به منظور ارزیابی کیفیت مخزنی انجام شده است. به عنوان نمونه، اسعدی و همکاران، با بررسی ارزیابی

کیفیت مخزنی در یکی از میداین شمال باختر خلیج فارس، ۹ ریز رخساره در زیر محیط های لاگون، شول، ریف های پراکنده و بخش کم ژرفای دریای باز را شناسایی کردند و نتایج آن بر روی ارزیابی کیفیت مخزنی نشان داد که رخساره های دانه غالب خواص مخزنی بهتری را نشان می دهند [۶]. مهربانی و همکاران، این مطالعه منجر به شناسایی ۱۲ ریز رخساره در چهار کمربند رخسارایی و سه محیط دیاژنزی گردید. نتایج این مطالعه نشان داد موجودات چارچوب ساز نظیر مرجان و جلبک ها برای ایجاد سد و تقسیم کردن فرم پلت کربناته به دو بخش مجزا گسترش نداشتند و تنها *Lithocodium* و جلبک های همزیست آنها در مجاورت لاگون تشکیل شده اند [۷]. امیرسرداری، با استفاده از اطلاعات مغزه اعم از داده های استاتیکی و دینامیکی و نتایج تفسیر داده های نمودارگیری به منظور تعیین گونه های سنگی در یکی از مخازن کربناته در خلیج فارس پرداخت. از ویژگی های مهم این پژوهش، استفاده از تطابق داده های اشباع آب به دست آمده از تفسیرهای نمودارهای پتروفیزیکی و فشار مؤینگی برای تعیین بهینه گونه های سنگی است. روش پایه استفاده شده روش RQI-FZI است [۸]. نوریان و همکاران، با استفاده از روش نشانگر زون جریانی (Indicator Zone) (Flow) شش واحد جریانی بر اساس داده های تخلخل و تراوایی در دو چاه A و B مخزن بنگستان در میدان منصوری انجام دادند. مهمترین پارامترهای آماری داده های تخلخل و تراوایی برای هر کدام از واحدهای جریانی (HFU) نشان میدهد، HFU۱، HFU۳، HFU۵ و HFU۶ ضعیف ترین کیفیت مخزنی را دارند. به منظور ارزیابی مطالعه واحدهای جریانی، با مقایسه روش های خوشه بندی سلسله مراتبی (Clustering Hierarchical) و روش means-k با استفاده از روش اعتبارسنجی silhouette روش خوشه بندی سلسله مراتبی به عنوان روش بهینه انتخاب شد و داده های تخلخل و تراوایی هر دو چاه در شش خوشه (Type Rock) قرار گرفتند. مقایسه گونه های سنگی تعیین شده به روش خوشه بندی سلسله مراتبی با واحدهای جریانی و نیز رخساره های میکروسکوپی مخزن نتایج قابل قبول هر دو روش را برای تعیین گونه های سنگی نشان میدهد [۹]. معینی و همکاران، با استفاده از داده های زمین شناسی و پتروفیزیکی در دسترس از توالی های مخزن بنگستان از سه چاه واقع در میدان سرکان و نیز، بر مبنای بررسی های رسوب شناختی و پتروفیزیکی به روش لوسیا پنج گونه سنگی را شناسایی کردند و در چارچوب زون بندی ایجاد شده، شش زون مخزنی و غیر مخزنی را تعیین کردند. آن ها سازند ایلام به دو زون مخزنی، سازند سورگاه به یک زون غیر مخزنی و نیز سازند سروک به سه زون مخزنی تقسیم شدند [۱۰]. در این مطالعه تلاش شده است تا چارچوبی تلفیقی برای زون بندی مخازن کربناته ناهمگن ارائه گردد. در این چارچوب، سه رویکرد پتروفیزیک، واحدهای جریان هیدرولیکی و رخساره های رسوبی با یکدیگر تلفیق شده و چهار روش خوشه بندی (MRGC، AHC، SOM و DYNCLST) مقایسه شده است که از میان آنها سه روش MRGC، SOM و DYNCLST محاسبه شد. برخلاف مطالعات پیشین که یا فاقد تلفیق داده های زمین شناسی بوده اند و یا تنها از یک روش خوشه بندی بهره گرفته اند، این پژوهش با تلفیق سه رویکرد و مقایسه همزمان چهار روش (با محاسبه سه روش)، زون بندی مخزنی دقیق تری را برای سازند فهلیان فراهم می سازد.

۲. زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

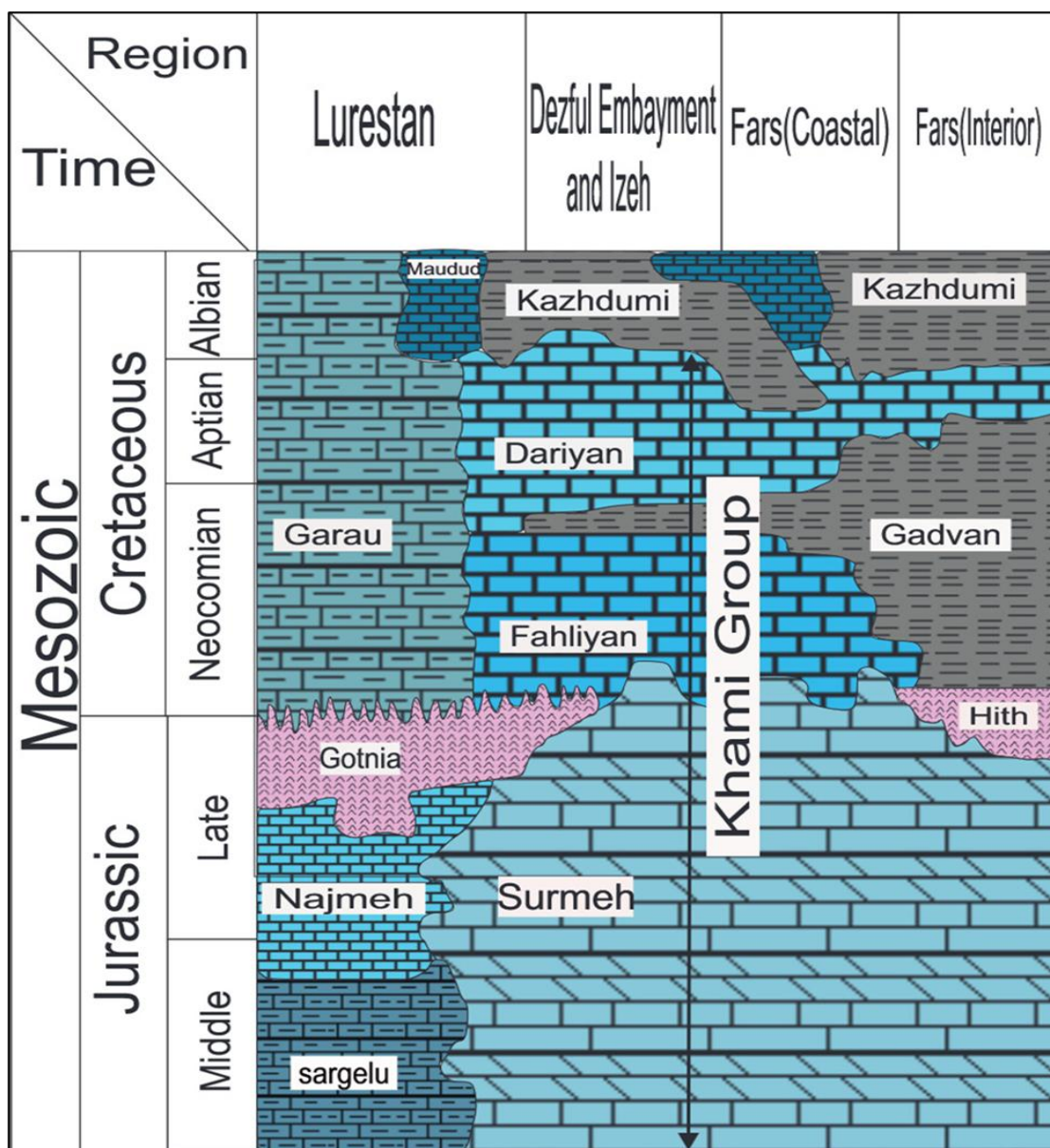
کمربند کوهزایی زاگرس بخشی از سیستم کوهزایی آلپ - هیمالیا است که با وجود توالی ضخیم از رسوبات ته نشین شده در منطقه ای با طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر مشخص می شود. بخشی از ایران که در غرب راندگی اصلی زاگرس قرار دارد زون زاگرس نام دارد. از دیدگاه زمین ساختاری، حوضه رسوبی زاگرس به بخش های مختلفی همچون زون همپوشان زاگرس، زون چین خورده زاگرس، پیش گودال زاگرس، حوضه خلیج فارس و دشت آبادان به عنوان بخشی از حوضه بین النهرین تقسیم شده است [۱۱]. دشت آبادان در جنوب غربی ایران و در مرز با کشور عراق واقع شده و هم چنین بخشی از نواحی دریایی شمال خلیج فارس را نیز دربرمی گیرد. این ناحیه از سمت شمال شرق به کمربند زاگرس و از جنوب به خلیج فارس منتهی می شود. تاقدیس های موجود در دشت آبادان

عمدتاً دارای روند شمالی - جنوبی بوده و در سطح زمین رخنمون ندارند. دشت آبادان با داشتن میادین عظیم نفتی از جمله آزادگان، یادآوران، جفیر و دارخوین به عنوان مهمترین منطقه نفتی ایران بعد از فروافتادگی دزفول به شمار می رود [۱۲] (شکل ۱).



شکل ۱- الف) نمایش زون های ساختاری مختلف حوضه رسوبی زاگرس با تاکید بر زون دشت آبادان ب) موقعیت میدان های نفتی مختلف در دشت آبادان [۱۲].

ریخت شناسی ناحیه دشت آبادان فاقد هرگونه توپوگرافی و یا بیرون زدگی بوده و چینه نگاری دشت آبادان از جمله سازند فهلیان با استفاده از داده ها و اطلاعات زیرسطحی و نتایج حفاری چاه مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. سازند کربناته فهلیان با سن کرتاسه پیشین یکی از مخازن مهم گروه خامی در حوضه نفتی زاگرس و معادل سازند یاماما در عربستان سعودی و عراق و همچنین سازند رتاوی در کویت و عراق است. برش نمونه این سازند در نزدیکی دهکده فهلیان از توابع نورآباد ممسنی در ناحیه فارس قرار دارد و نخستین بار جیمز و وایند آن را مطالعه و در گروه خامی بالایی جای دادند و حد زیرین و فوقانی این سازند به ترتیب سازندهای سورمه و گدوان بوده و براساس فونای به دست آمده سن آن بریازین تا هائوتروین (نئوکومین) تعیین کردند [۱۳]. سازند فهلیان را می توان در همه پهنه فارس، شمال خاوری خوزستان و شمال خاوری لرستان دید؛ ولی در جنوب باختری لرستان و خوزستان، این سازند به شیل و سنگ آهک های سازند گرو تبدیل می شود (شکل ۲).



شکل ۲- چینہ‌شناسی سازندهای ژوراسیک و کرتاسه زیرین (گروه خامی) در زاگرس [۱۴].

۳. مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ابتدا با بررسی ۱۲۱ مقطع نازک از مغزه‌های چاه A2، شش ریزرخساره رسوبی (MF1 تا MF6) تشخیص داده شد. مقاطع رسوبات کربناته با استفاده از طبقه‌بندی دانه‌نام‌گذاری و با روش فلوگل محیط رسوب‌گذاری آنها (رمپ کربناته شامل لاگون و پشته‌های رسوبی) تعیین شد. داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه در بازه عمقی ۸۷/۵۶ متر اندازه‌گیری شد. بر اساس این داده‌ها و با استفاده از روش نشانگر زون جریانی (FZI)، چهار واحد جریان هیدرولیکی در مخزن فلهیان شناسایی گردید. در مرحله بعد، ارزیابی پتروفیزیکی چاه A2 در سازند فلهیان در محدوده عمقی ۱۷۹/۱۵ متر با استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی شامل نمودارهای گاماری (GR-CGR)، مقاومت (LLD, LLS)، نوترون (NPHI) و قطر سنج (CALIPER) انجام شد. به منظور شناسایی و تفکیک بهتر گونه‌های

سنگی، چهار روش رایج خوشه‌بندی شامل MRGC، AHC، SOM و DYNCLUST مورد مقایسه قرار گرفت. از میان این چهار روش، سه روش MRGC، SOM و DYNCLUST با استفاده از داده‌های سه لایه پتروفیزیکی (تخلخل مؤثر، صوتی و نوترون) در نرم‌افزار ژئولاگ اجرا و محاسبه شدند. پس از مقایسه نتایج، روش MRGC به دلیل انتخاب خودکار تعداد بهینه خوشه‌ها و نمایش بهتر تغییرات تدریجی کیفیت مخزنی به عنوان روش نهایی انتخاب شد. به دلیل ناهمگونی بالای سازند فلهیان، یازده رخساره الکتریکی شناسایی شد. در نهایت، تلفیق نتایج حاصل از ریزرخساره‌های رسوبی، واحدهای جریان و رخساره‌های الکتریکی نشان می‌دهد که رخساره الکتریکی آبی (RT4, MF6) نشان دهنده کیفیت خوب مخزنی است، در صورتی که رخساره الکتریکی قرمز رنگ (RT1, MF1, MF2) کیفیت خیلی ضعیف مخزنی را دارد.

۴. بحث و بررسی

۱.۴. رخساره رسوبی

در این پژوهش پس از بررسی و تحلیل ۱۲۱ مقطع نازک از مغزه‌های موجود در چاه A2 که از عمق ۴۰۰۲.۳۹ متری تا ۴۰۳۰.۴۴ متری و قابل انطباق با زون 1c و 2a می‌باشد شش ریز رخساره شناسایی شد. بر این اساس ابتدا نوع آلوکم و ارتوکم، درصد فراوانی دانه‌ها و محیط رسوبگذاری در هر کدام از مقاطع بررسی گردید که در ادامه به هر کدام از این ریزرخساره‌ها پرداخته می‌شود.

۱.۱.۴. رخساره‌های لاگون

در این رخساره تعداد ۳ ریز رخساره شناسایی شدند. تنوع فراوان بایوکلاست‌ها شامل جلبک‌های آهکی و فرامینیفرهای کفزی نظیر *Trocholina* و میلیولید به همراه پلوییدها در یک ماتریکس گلی، نشان دهنده کمربند رخساره‌ای لاگون می‌باشد. اغلب ریز رخساره‌های این محیط، شامل دانه‌های اسکلتی است که در زمینه میکرایتی نهشته شده‌اند که نشان دهنده رسوبگذاری در محیط کم انرژی است. میکرایتی شدن دانه‌های اسکلتی در اثر عمل میکرو ارگانیسم‌ها و همچنین انحلال ساختار اسکلتی آراگونیتی جلبک‌های سبز و فرامینیفرهای بنتیک نظیر *Trocholina*، به خوبی مشاهده می‌گردد. از خصوصیات بارز رخساره‌های محیط لاگون، فراوانی گل، فرامینیفر بنتیک، جلبک سبز، دوکفه‌ای‌ها و گاستروپودها می‌باشد [۱۵].

۱.۱.۱.۴. ریز رخساره بایوکلاست و کستون/پکستون

MF1: (Bioclast Wackestone/Packstone)

توصیف: بخش بیشتر این ریزرخساره را زمینه گلی تشکیل می‌دهد. فراوانی بایوکلاست‌ها (۲۰-۳۰٪) است و از جمله قطعات غالب موجود در این ریزرخساره شامل خار اکینودرم، جلبک سبز، گاستروپود و خرده‌های فرامینیفرای بنتیک می‌باشد.

تفسیر: فلوگل [۱۶] حضور جلبک سبز را به محیط لاگون نسبت داده است. جلبک‌ها در محیط‌های عمیق خیلی شرایط زندگی را نخواهند داشت و بیشتر در محیط‌های کم عمق و گرم دریا زندگی می‌کنند. این ریز رخساره با RMF20 از ریز رخساره‌های استاندارد فلوگل [۱۶] قابل انطباق می‌باشد (شکل ۳-الف).

۲.۱.۱.۴. ریز رخساره بایوکلاست پلویید و کستون/پکستون

MF2: (Bioclast Peloid Wackestone/Packstone)

توصیف: ریز رخساره با فراوانی بایوکلاست ۳ تا ۴ درصد، پلوئید ۹ تا ۱۰ درصد در یک زمینه میکرایتی مشخص می‌شود. بایوکلاست‌ها شامل گاستروپود، جلبک داسی کلا، اکینودرم، فرامینفرا بنتیک می‌باشد.

تفسیر: پلوئیدها در محیط‌های مختلف مانند جزرومد، لاگون و آب‌های عمیق وجود دارد. حضور فراوان پلوئید را می‌توان به محیط لاگون نسبت داد [۱۷]. این ریز رخساره با RMF20 از ریز رخساره‌های استاندارد فلوگل [۱۶] قابل انطباق می‌باشد (شکل ۳-ب).

۳.۱.۱.۴ ریز رخساره *Lithocodium* بایوکلاست پلوئید وکستون/پکستون

MF3: (*Lithocodium* Bioclast Peloid Wackestone/Packstone)

توصیف: ریز رخساره با فراوانی لیتوکودیوم (*Lithocodium*) ۱ تا ۲ درصد، بایوکلاست ۲ تا ۳ درصد، پلوئید ۹ تا ۱۰ درصد در یک زمینه میکرایتی مشخص می‌شود. بایوکلاست‌ها شامل لیتوکودیوم (*Lithocodium*)، خرده‌های جلبک، فرامینفرا بنتیک، صدف دوکفه‌ای می‌باشد.

تفسیر: ریف‌های لیتوکودیوم (*Lithocodium*) به علت نبود ساختار اسکلت ساز، این جلبک معمولاً در محیط لاگون به صورت ریف کومه‌ای کلنی می‌سازد [۱۵]. این ریز رخساره با RMF20 از ریز رخساره‌های استاندارد فلوگل [۱۶] قابل انطباق می‌باشد (شکل ۳-پ).

۲.۱.۴ پشته‌های رسوبی

در این پهنه، ۳ ریز رخساره شناسایی شدند که غالباً شامل اینتراکلاست، پلوئید، بایوکلاست می‌باشند و سنگ حاصل دارای بافت گرینستونی تا پکستونی است. فراوانی آلوکمه‌ها، بافت دانه پشتیبان و نداشتن گل همراه، نشان‌دهنده محیط‌های پرانرژی است. گسترش پشته‌های رسوبی یکی از خصوصیات مهم رمپ‌های کربناته می‌باشد [۱۸].

۱.۲.۱.۴ ریز رخساره بایوکلاست اینتراکلاست پلوئید پکستون/گرینستون

MF4: (Bioclast Intraclast Peloid Packstone /Grainstone)

توصیف: ریز رخساره شامل ۱۰ تا ۱۵٪ اینتراکلاست و حدود ۲۰٪ پلوئید و ۵٪ قطعات بایوکلاست در زمینه میکرایتی تا سیمانی می‌باشد. قطعات بایوکلاست شامل *Lithocodium*، فرامینفرا بنتیک، اکینودرم می‌باشد.

تفسیر: چورشدگی نسبتاً خوب در اینتراکلاست‌ها و گردشگی متوسط تا خوب در پلوئیدها که ناشی از محیط رسوبگذاری است را می‌توان محل ته‌نشست این ریز رخساره‌ها را در بالا تحت تاثیر امواج در نظر گرفت. وجود مقدار کمی گل کربناته در کنار زمینه سیمان نشان‌دهنده این است که گل کربناته به طور کامل شسته نشده است. این ریز رخساره با RMF26 از ریز رخساره‌های استاندارد فلوگل [۱۶] قابل انطباق می‌باشد (شکل ۳-ت).

۲.۲.۱.۴ ریز رخساره بایوکلاست اینتراکلاست پلوئید گرینستون

MF5: (Bioclast Intraclast Peloid Grainstone)

توصیف: این ریزرخساره عمدتاً متشکل از پلوئید و اینتراکلاست می‌باشد. همچنین خرده‌های اکینوئید و به میزان کمتر جلبک سبز، برخی فرامینیفرهای بنتیک در این ریز رخساره وجود دارد.

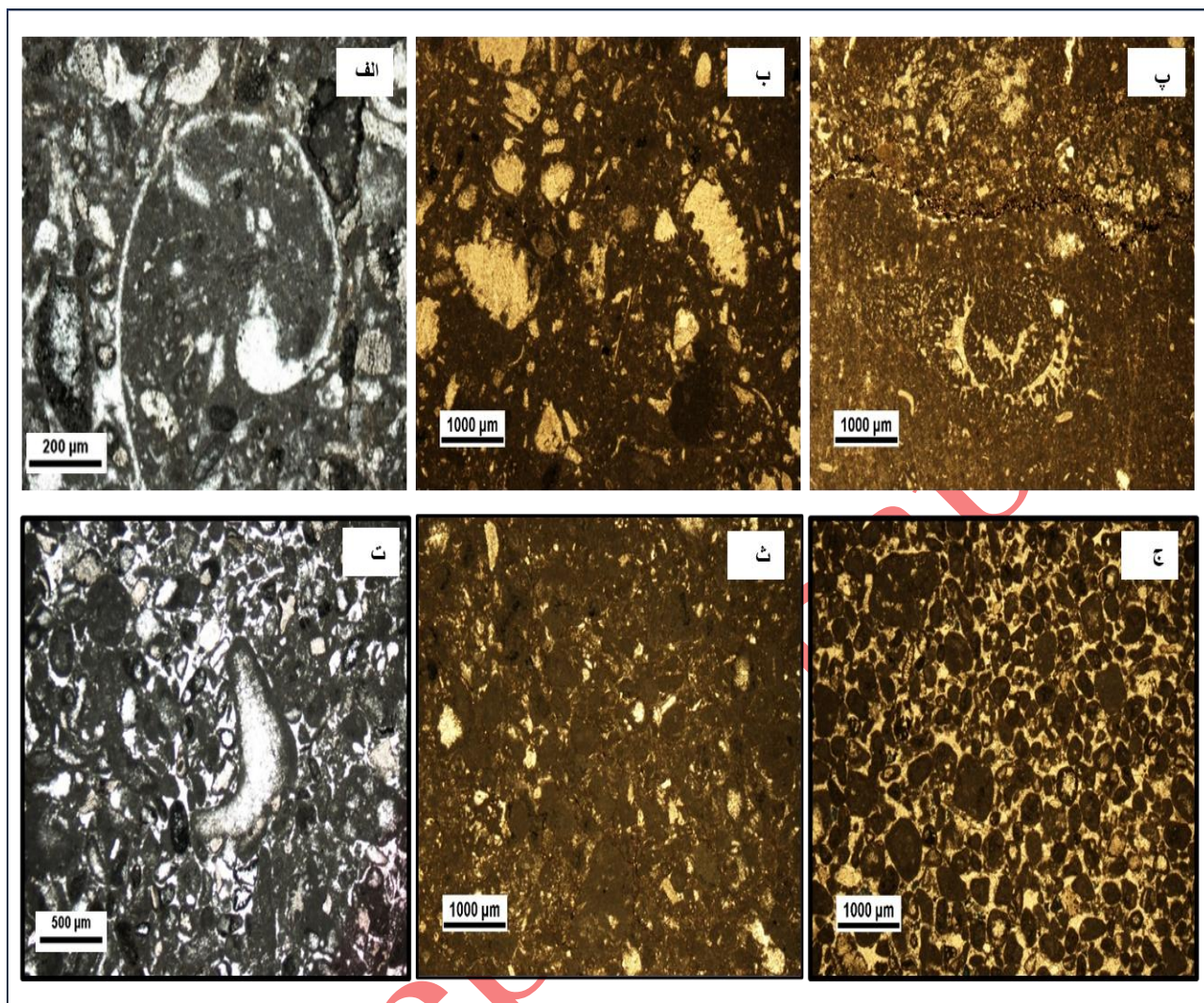
تفسیر: فشردگی بیش از حد در دانه‌ها نشان دهنده ماتریکس کاذب است و فضای موجود در بین دانه‌ها یا با استفاده از سیمان بلوکی سیمانی شده است یا در اثر فشردگی که از نوع مکانیکی است در هم فرو رفته است. این ریز رخساره با RMF26 از ریز رخساره‌های استاندارد فلوگل [۱۶] قابل انطباق می‌باشد (شکل ۳-ث).

۳.۲.۱.۴. ریز رخساره بایوکلاست اینتراکلاست گرینستون

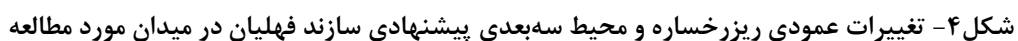
MF6: (Bioclast Intraclast Grainstone)

توصیف: این ریزرخساره شامل ۵٪ بایوکلاست، ۲۰٪ قطعات اینتراکلاست در زمینه سیمانی می‌باشد.

تفسیر: جورشدگی و گردشدگی خوب در اینتراکلاست‌ها نشان دهنده افزایش انرژی سطح آب دریا خواهد بود. زمینه اصلی این رخساره از سیمان تشکیل شده که نشان دهنده بالارفتن سطح انرژی آب و خروج گل میکرایتی است. این ریز رخساره با RMF26 از ریز رخساره‌های استاندارد فلوگل [۱۶] قابل انطباق می‌باشد (شکل ۳-ج).

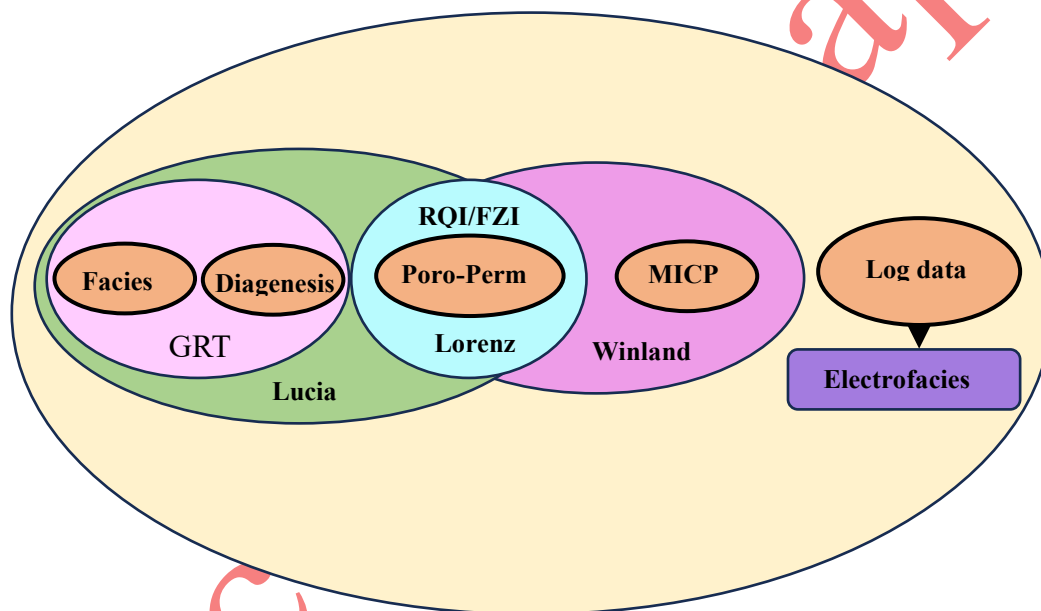


شکل ۳- الف) MF1 ریزرخساره بایوکلاست وکستون، پکستون (عمق ۴۰۰۵.۲۵ متری، نور ppl، مقیاس 200 μm). ب) MF2 ریزرخساره بایوکلاست پلوئید وکستون، پکستون (عمق ۴۰۰۷.۸۸ متری، نور ppl، مقیاس 1000 μm). پ) MF3 ریزرخساره *Lithocodium* بایوکلاست پلوئید وکستون، پکستون (عمق ۴۰۲۷.۵۸ متری، نور ppl، مقیاس 1000 μm). ت) MF4 ریزرخساره بایوکلاست اینتراکلاست پلوئید وکستون، گرینستون (عمق ۴۰۱۲.۶۴ متری، نور ppl، مقیاس 500 μm). ث) MF5 ریزرخساره بایوکلاست اینتراکلاست پلوئید گرینستون (عمق ۴۰۱۴.۶۱ متری، نور ppl، مقیاس 1000 μm). ج) MF6 ریزرخساره بایوکلاست اینتراکلاست گرینستون (عمق ۴۰۲۳.۹۷ متری، نور ppl، مقیاس 1000 μm).



۲.۴. شناسایی گونه‌های سنگی (Rock Types)

تعیین گونه‌های سنگی (Rock Types) یکی از ارکان اساسی در توصیف مخازن هیدروکربنی است که به منظور تفکیک سنگ‌ها بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و هیدرودینامیکی انجام می‌شود. این طبقه‌بندی به مهندسان نفت کمک می‌کند تا رفتار جریان سیال را در مخزن پیش‌بینی کنند، مناطق با کیفیت متفاوت را شناسایی نمایند و استراتژی‌های بهینه‌سازی تولید را طراحی کنند [۱۹]. روش‌های مختلفی برای تعیین گونه‌های سنگی توسعه یافته‌اند که هر کدام بر اساس معیارهای خاصی مانند تخلخل، تراوایی، ویژگی‌های سنگ‌شناسی یا داده‌های چاه‌نگاری عمل می‌کنند. روش‌های تعیین گونه‌های سنگی شامل: واحدهای جریان هیدرولیکی، واحدهای جریان الکتریکی، روش لوسیا، روش‌های وینلند و پیتمن، روش آرچی، روش باکلز، نمودار لورنز، رخساره‌ای الکتریکی و روش‌های ترکیبی است [۲۰] (شکل ۵). در این پژوهش با استفاده از داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه و اطلاعات پتروفیزیکی لاگ‌ها سعی شده تا تفکیک گروه‌های سنگی بر اساس روش RQI-FZI و خوشه‌بندی لاگ‌ها (Clustering) در مخزن فلهیلان انجام شود.



شکل ۵- ارتباط میان روش‌های شناسایی گونه‌های سنگی [۴].

۱.۲.۴. تعیین گونه‌های سنگی با استفاده از روش RQI-FZI

در مطالعات پتروفیزیکی، تعیین گونه‌های سنگی (Rock Types) یکی از مراحل مهمی برای ارزیابی کیفیت مخزن است. دو شاخص مهم در این زمینه، شاخص کیفیت سنگ (reservoir quality index) یا (RQI) و شاخص واحد جریان (flow zone indicator) یا (FZI) هستند که بر اساس داده‌های تخلخل و تراوایی، سنگ‌های مخزن را به گروه‌های همگن تقسیم‌بندی می‌کنند. در مخازنی که درز و شکاف‌های ریز به صورت یکنواخت توزیع شده‌اند، می‌توان از مفاهیم نشانگر زون جریان و شاخص کیفیت سنگ برای تحلیل رفتار هیدرودینامیکی مخزن استفاده کرد. واحدهای جریانی به بخش‌هایی از مخزن گفته می‌شود که از نظر تخلخل، تراوایی و ساختار حفره‌ها رفتار هیدرولیکی مشابهی دارند [۲۱]. تکنیک شاخص کیفیت سنگ (RQI) برای طبقه‌بندی انواع سنگ و پیش‌بینی ویژگی

های جریان استفاده می شود. این بر اساس پارامترهای زمین شناسی و فیزیک جریان در مقیاس سیستم منافذ و مفهوم شعاع هیدرولیکی متوسط است. شاخص کیفیت مخزن یک روش عالی برای همبستگی تخلخل و نفوذپذیری با داده‌های لاگ معمولی است [۲۲]. هر واحد جریانی هیدرولیکی (hydraulic flow unit) یا HFU بر اساس شاخص ناحیه جریانی (flow zone indicator) تعریف می‌شود. شاخص ناحیه جریانی یا FZI بر اساس شاخص کیفیت مخزنی یا RQI (reservoir quality index) و نسبت تخلخل به سنگ زمینه (ε) تعریف می‌شود و از معادلات ۱-۲-۳ قابل محاسبه است.

$$\varepsilon = \phi_z = \frac{\phi}{1-\phi} \quad (\text{معادله ۱})$$

در این رابطه ε: تخلخل نرمال شده است که برابر است با نسبت منافذ سنگ به دانه سنگ می‌باشد.

$$RQI = 0.0314 \sqrt{K}/\phi \quad (\text{معادله ۲})$$

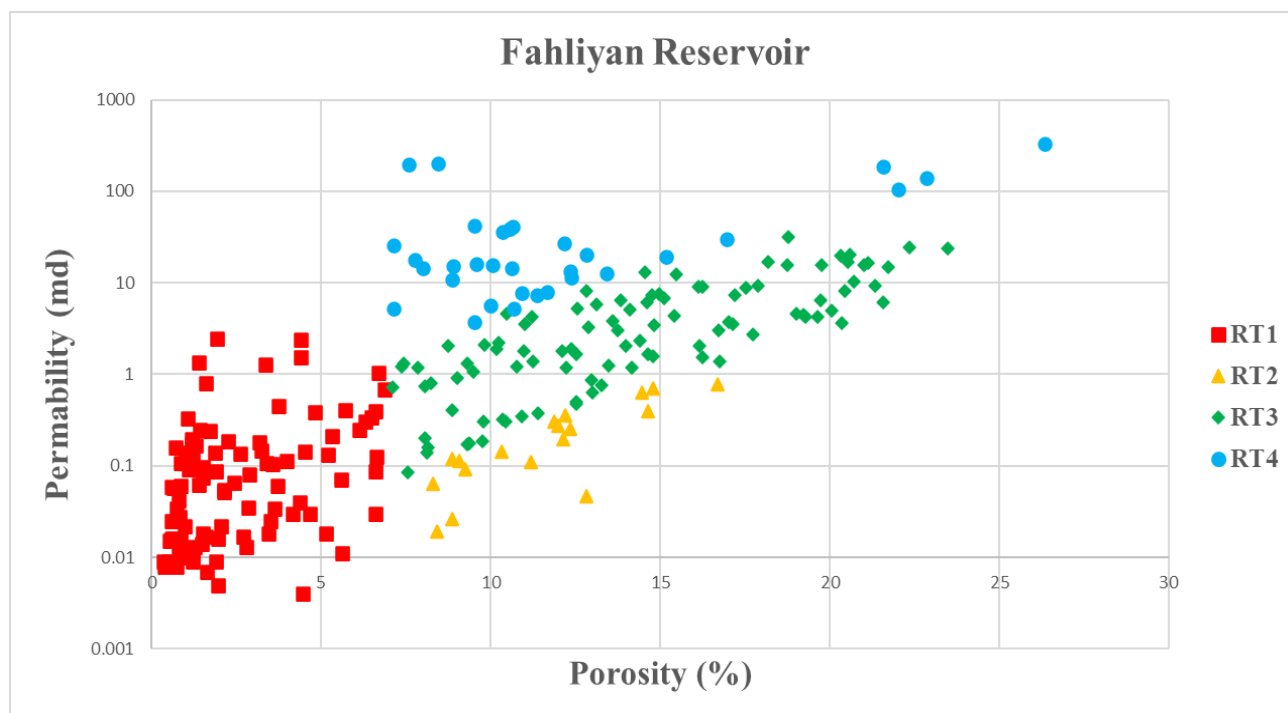
توزیع فضای منافذ که به عنوان شاخص کیفیت مخزن (RQI) شناخته می‌شود با استفاده از داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه طبق (معادله ۲) محاسبه می‌گردد.

$$FZI = \frac{RQI}{\varepsilon} \quad (\text{معادله ۳})$$

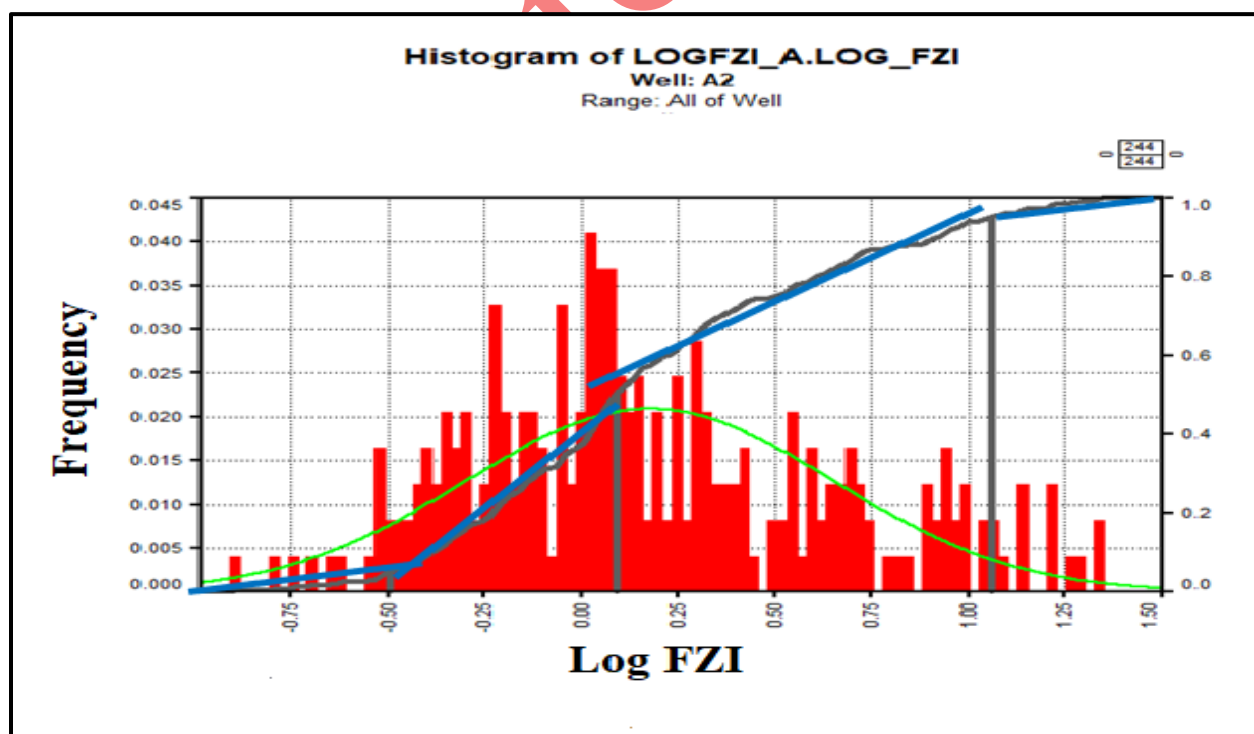
بر این اساس چهار واحد جریانی مربوط به سازند فهلپان در یکی از میادین دشت آبادان تعریف شد. جدول ۱ مشخصات مختلف هر واحد جریانی را نشان می‌دهد و بر اساس کیفیت مخزنی (از خیلی ضعیف تا خوب) رتبه‌بندی شده‌اند. سپس با رسم نمودار تراوایی در برابر تخلخل برای واحدهای جریانی شناسایی شده، چهار واحد جریانی از دید کیفیت مخزنی مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین RT4 بهترین کیفیت و RT1 ضعیف‌ترین کیفیت مخزنی را دارد (شکل ۶). با رسم نمودار هیستوگرام لگاریتم نشانگر زون جریان محاسبه شده برای داده‌های تخلخل و تراوایی و رسم نمودار تجمعی آن می‌توان به تعداد واحد جریانی دست یافت. تعیین تعداد بهینه واحدهای جریانی در این نمودار به تعیین نقاط شکست (تغییر شیب) در نمودار احتمال بستگی دارد. بر اساس این نمودار، چهار واحد جریان تعیین شد (شکل ۷).

جدول ۱- تعیین گونه‌های سنگی پتروفیزیکی بر اساس تخلخل و شاخص زون جریان

Rock type No.	FZI range		Porosity range		Reservoir Quality
	Lower	Upper	Lower	Upper	
RT1				7	Very Poor
RT2		0.4	7		Poor
RT3	0.4	1.8	7		Fair
RT4	1.8		7		Good



شکل ۶- واحدهای جریان‌ی مشخص شده بر اساس رابطه تخلخل و تراوایی در سازند فهلیان واقع در یکی از میادین دشت آبادان



شکل ۷- نمودار هیستوگرام لگاریتم شاخص زون جریان (FZI)

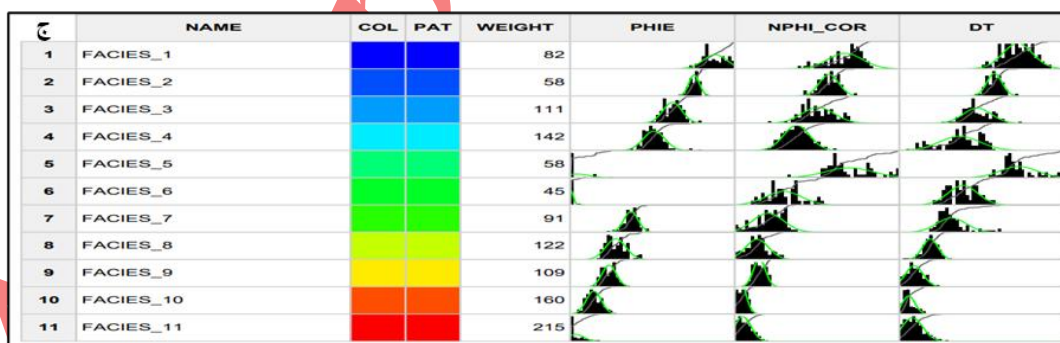
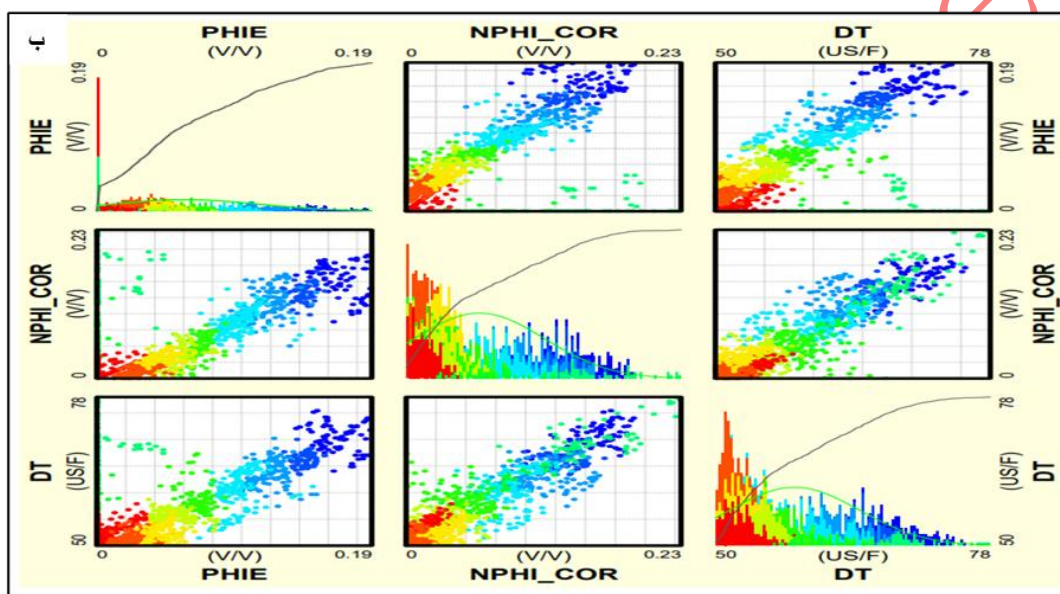
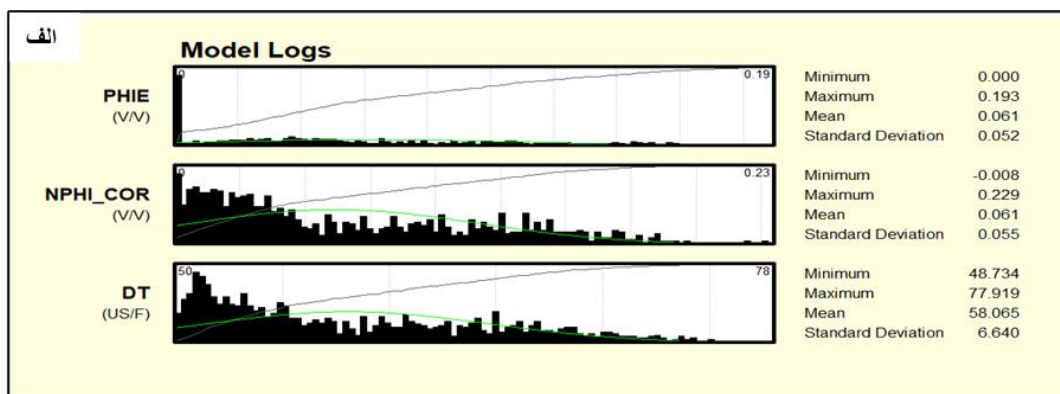
۲.۲.۴. تعیین گونه‌های سنگی با استفاده از رخساره‌های الکتریکی (Electrofacies)

رخساره‌های یک سازند رسوبی که بر مبنای اطلاعات لاگ‌های چاه برآورد می‌شوند، رخساره لاگی یا الکتوررخساره نامیده می‌شوند. اصطلاح الکتوررخساره نخستین بار توسط سرا [۲۳] مطرح گردید و به مجموعه‌ای از پاسخ‌های لاگ اطلاق می‌شود که لایه‌ای پتروفیزیکی را تعریف می‌کنند و آن لایه را از سایر لایه‌ها متمایز می‌سازند. [۲۳]. رخساره‌های الکتریکی به عنوان یکی از ابزارهای قدرتمند در تفسیر داده‌های چاه‌پیمایی شناخته می‌شوند که امکان تفکیک واحدهای سنگی را بر اساس پاسخ الکتریکی آنها فراهم می‌کنند. در اصل یک روش تحلیلی برای دسته‌بندی داده‌های چاه‌پیمایی (لاگ‌های پتروفیزیکی) است. این رخساره‌ها نشان‌دهنده تغییر در ویژگی‌های زمین‌شناسی یا مخزنی در اعماق زمین هستند. مبنای کار این است که داده‌های لاگ‌های مشابه در گروه‌های یکسان قرار می‌گیرند و از دیگر گروه‌ها متمایز می‌شوند. هر خوشه یا گروه، یک رخساره الکتریکی را تشکیل می‌دهد که انعکاسی از ویژگی‌های سنگ‌شناسی، بافتی و پتروفیزیکی لایه‌های زیرسطحی است [۲۴]. برای تعیین رخساره‌های الکتریکی، معمولاً از روش‌های آماری و ریاضی مختلفی استفاده می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها خوشه‌بندی است. خوشه‌بندی به عنوان یک رویکرد آماری ناپارامتریک، مسئله وابستگی به ابعاد را برطرف می‌سازد [۲۵]. روش‌های رایج خوشه‌بندی شامل روش چند تفکیکی بر پایه گراف (MRGC)، روش سلسله مراتبی (AHC)، روش شبکه عصبی خودسازمانده (SOM) و روش پویا (DYNCLUST) است. به منظور انتخاب روش مناسب خوشه‌بندی، ابتدا یک مطالعه مقایسه‌ای بر روی چهار روش رایج شامل روش چند تفکیکی بر پایه گراف (MRGC)، روش سلسله مراتبی (AHC)، روش شبکه عصبی خودسازمانده (SOM) و روش پویا (DYNCLUST) انجام شد که نتایج این مقایسه در قالب یک جدول جامع ارائه شده است (جدول ۲). از میان روش‌های مذکور، سه روش MRGC، SOM و DYNCLUST با استفاده از داده ورودی سه لاگ نوترون، صوتی و تخلخل مؤثر در نرم‌افزار ژئولاگ محاسبه شده و برای هر کدام ۱۱ رخساره الکتریکی استخراج گردید (شکل‌های ۸-۹-۱۰). علت انتخاب تعداد یازده رخساره، توانایی این تعداد در تفکیک زون‌های مختلف با کیفیت‌های متفاوت مخزنی در محیط ناهمگن سازند فلهلیان بود، چراکه هرچه ناهمگونی مخزن بیشتر باشد، تعداد بیشتری رخساره الکتریکی برای توصیف آن لازم است. پس از مقایسه نتایج حاصله از سه روش اجراشده، روش MRGC به عنوان روش نهایی تعیین رخساره‌های الکتریکی در این سازند انتخاب شد. دلیل اصلی این انتخاب این است که برخلاف روش‌های SOM و DYNCLUST که نیاز به تعیین پیش‌فرض تعداد خوشه دارند، مزیت روش MRGC در این است که به طور خودکار تعداد بهینه خوشه‌ها را استخراج می‌کند. افزون بر این، مقایسه رخساره‌های حاصل از روش MRGC با داده‌های پتروفیزیکی نشان داد که این روش، مرزهای زون‌های مخزنی و غیرمخزنی را با دقت بیشتری تفکیک کرده و تغییرات تدریجی کیفیت مخزنی (از آبی به قرمز) را به صورت واقع‌بینانه‌تری منعکس می‌کند (شکل ۱۱). بر این اساس، خوشه‌بندی با ۱۱ رخساره حاصل از روش MRGC به عنوان مبنای نهایی مدل رخساره‌های الکتریکی در چاه مورد مطالعه انتخاب شد (شکل ۱۲). شایان ذکر است که به دلیل مزایای فوق، روش MRGC به عنوان روشی محبوب در شرکت‌های نفتی برای آنالیز رخساره‌های الکتریکی در مخازن ناهمگن مورد توجه قرار گرفته است. در نهایت، تفسیر پتروفیزیکی و رخساره الکتریکی در چاه مورد مطالعه منجر به شناسایی زون‌های مخزنی از غیرمخزنی شد، به طوری که تغییرات رنگی رخساره‌ها از آبی به قرمز نشان‌دهنده کاهش کیفیت مخزنی است.

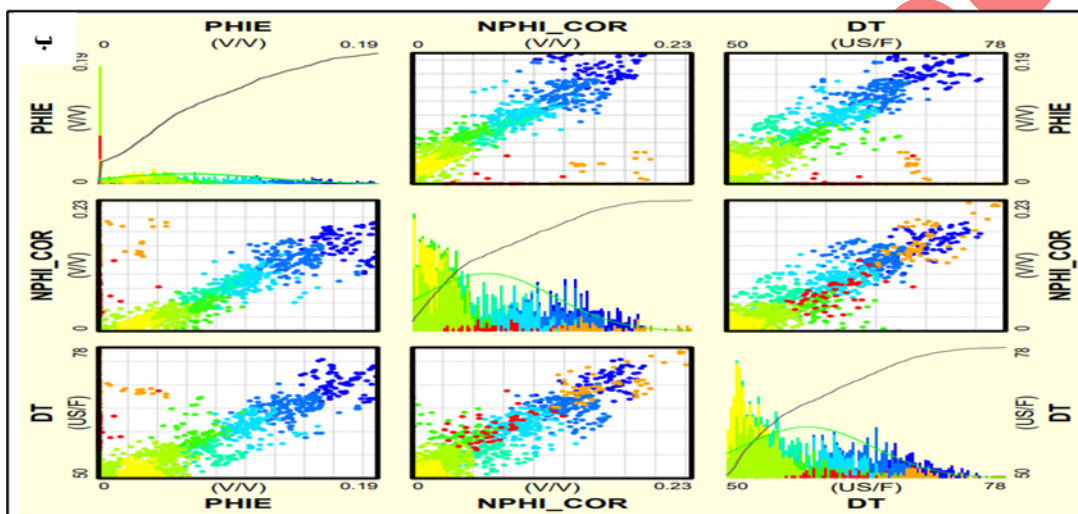
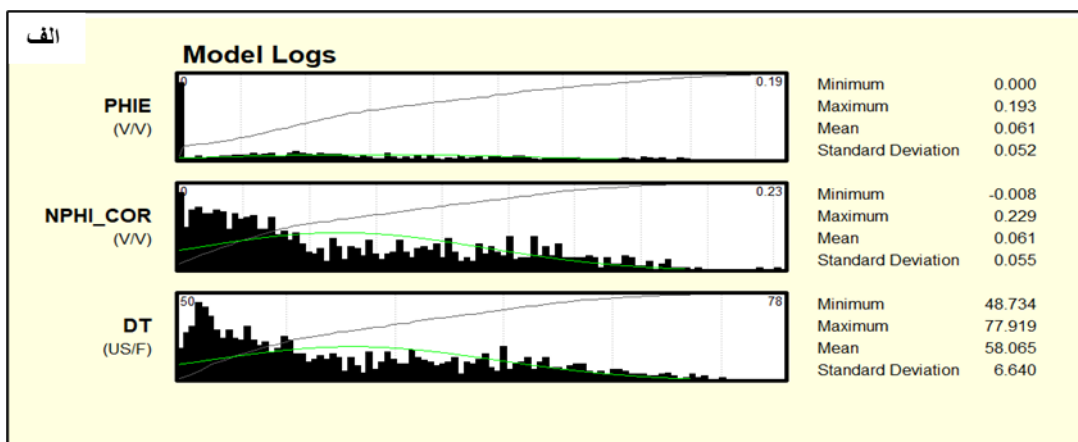
جدول ۲- مقایسه تطبیقی روش‌های خوشه‌بندی MRGC، SOM، AHC و DYNCLUST [۲۶] [۲۷] [۲۸]

معیار	MRGC	SOM	AHC	DYNCLUST (DYNAMIC)
ماهیت روش	روشی نوین، قدرتمند، آماری غیر پارامتریک مبتنی بر تشخیص الگوی نقطه‌ای چند بعدی بر مبنای نزدیک‌ترین همسایگی و نمایش گرافیکی داده‌ها. تلفیقی از هوش مصنوعی و خوشه‌بندی سلسله مراتبی.	یکی از مهمترین مدل‌های شبکه عصبی. یادگیری بدون نظارت برای تولید داده‌های رسته‌ای با استفاده از داده‌های ورودی. با استفاده از تابع همسایگی، ویژگی فضای ورودی حفظ می‌شود.	معروف‌ترین و پرکاربردترین روش خوشه‌بندی. روش موثر برای مخازن نفت و گاز. قابلیت تولید خوشه در ابعاد نامتناهی فضایی (خوشه‌ها حداکثر در سه بعد فضایی قابلیت بررسی دارند).	یکی از روش‌های تعیین رخساره‌های الکتریکی. روشی افزایشی و برخط که مدل را با ورود داده‌های جدید به روز می‌کند.
نحوه تعیین تعداد خوشه	نیازی نیست تعداد خوشه‌ها توسط کاربر تعیین شود. فقط بازه تعداد خوشه‌ها تعیین می‌شود. روش بهینه‌ترین دسته‌ها را بین حدود پایینی و بالایی از پیش تعیین شده ارائه می‌دهد.	تعداد خوشه مستقیماً توسط شبکه تعیین نمی‌شود. پس از آموزش SOM، معمولاً با روش‌های ثانویه (مانند خوشه‌بندی بر روی وزن نورون‌ها یا تحلیل نقشه U-matrix) تعداد خوشه‌ها مشخص می‌شود.	تعداد خوشه با برش دندروگرام در سطح آستانه مناسب تعیین می‌شود. کاربر با توجه به فاصله عمودی بین گره‌ها که نشان دهنده میزان جدایش است، سطح برش را انتخاب می‌کند.	عدم توانایی در تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها و نیاز به تعیین دستی یا تجربی این پارامتر.
مزایا	۱- مشکل وابستگی را از بین می‌برد. ۲- اطلاعات مفید در مورد رخساره‌های زمین شناسی به دست می‌آورد. ۳- نیازی به تعیین تعداد خوشه توسط کاربر نیست (فقط بازه تعیین می‌شود). تلفیقی از هوش مصنوعی و خوشه‌بندی سلسله مراتبی	در زمینه‌های مختلف (آنالیز تصاویر، تفسیر امواج لرزه‌ای، مهندسی ترافیک، جهت حرکت بادها) کاربرد دارد. با استفاده از تابع همسایگی، ویژگی فضای ورودی حفظ می‌شود. در حل مسائل شناخت و طبقه‌بندی الگوها استفاده می‌شود.	معروف‌ترین و پرکاربردترین روش، روشی برای مخازن نفت و گاز، قابلیت تولید خوشه در ابعاد نامتناهی فضایی، در اکثر مراجع و کتاب‌های خوشه‌بندی، نمایش درختی (دندروگرام) با قابلیت تفسیر سلسله مراتب داده‌ها، مستقل از ترتیب ورود داده‌ها.	حجم محاسباتی پایین و خطی نسبت به داده‌های جدید
محدودیت‌ها	حجم محاسباتی نسبتاً بالا برای داده‌های بسیار بزرگ. حساسیت به انتخاب پارامتر K (تعداد نقاط بررسی) در فرمول اندیس همسایگی. پیاده سازی پیچیده‌تر نسبت به روش‌های ساده مانند K-means	روش‌های بدون ناظر فقط می‌توانند رخساره‌های تعیین شده را گروه‌بندی کنند و قابلیت شناسایی و نامگذاری آنها را ندارند. بیشتر در مراحل اولیه کشف ذخایر هیدروکربن که چاه‌های زیادی وجود ندارند، استفاده می‌شود.	خوشه‌ها حداکثر در سه بعد فضایی قابلیت بررسی دارند (مثلاً اگر از ۵ بعد استفاده شود، بیش از سه بعد آن قابل بررسی نیست). حجم محاسباتی بسیار بالا و برای داده‌های بزرگتر از چند ده هزار رکورد عملاً غیر عملی است. حساسیت شدید به نویز و نقاط پرت.	عدم توانایی در تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها، قابلیت پایین در تفکیک نواحی مختلف و تعیین رخساره‌های متفاوت، نیاز به اطلاعات قبلی از داده‌ها، محدودیت در نوع و تعداد داده‌ها، عدم شناسایی الگوهای طبیعی موجود در نمودارهای پتروفیزیکی.

دامنه کاربرد	رخساره‌های زمین شناسی	آنالیز تصاویر، تفسیر امواج لرزه‌ای، جهت حرکت بادهای، شناخت و طبقه‌بندی الگوها، مراحل اولیه کشف ذخایر هیدروکربن	مخازن نفت و گاز، ساخت خوشه از نمودارهای پتروفیزیکی (نوترون، چگالی، گاما، صوتی و مقاومت)	تعیین رخساره‌های الکتریکی
حجم داده	تشخیص الگوی نقطه‌ای چند بعدی	نگاشت از فضای چند بعدی به فضای یک بعدی (مناسب برای داده‌های بسیار بزرگ).	قابلیت تولید خوشه در ابعاد نامتناهی فضایی (اما بررسی فقط تا ۳ بعد امکان پذیر است)	محدودیت در نوع و تعداد داده‌ها.
مراحل اجرا	۱- تعیین مقادیر اندیس همسایگی برای هر نقطه ۲- تشکیل گروه‌های کوچک بنیانی با استفاده از الگوریتم k نزدیکترین همسایه ۳- تعیین اندیس شاخص کرنل نقاط اندازه‌گیری ۴- منظم کردن نقاط بر مبنای اندیس شاخص کرنل ۵- پیشنهاد یک یا چند خوشه بهینه به کاربر.	۱- محاسبه فاصله بین الگو و تمام سلول‌های عصبی ۲- انتخاب نزدیکترین نورون به عنوان نورون برنده ۳- به روزرسانی هر نورون ۴- تکرار تا رسیدن به معیار توقف (کاهش نرخ یادگیری و شعاع همسایگی در هر تکرار برای همگرایی)	دو دسته کلی: Agglomerative (پایین به بالا): هر نمونه ابتدا یک خوشه است، در هر مرحله نمونه‌ها به هم می‌چسبند تا خوشه‌های بزرگتر تولید شود و نهایتاً یک خوشه بزرگ تشکیل می‌شود. Partitionning (بالا به پایین): ابتدا همه نمونه‌ها یک خوشه بزرگ هستند، در هر مرحله به خوشه‌های کوچکتر تقسیم می‌شوند تا هر نمونه یک خوشه شود.	۱- پالایش داده و حذف اولویت‌بندی ۲- نوپز ۳- پیکسل‌ها ۴- ادغام آماری خوشه‌های مشابه ۵- کنترل کیفیت و خروجی

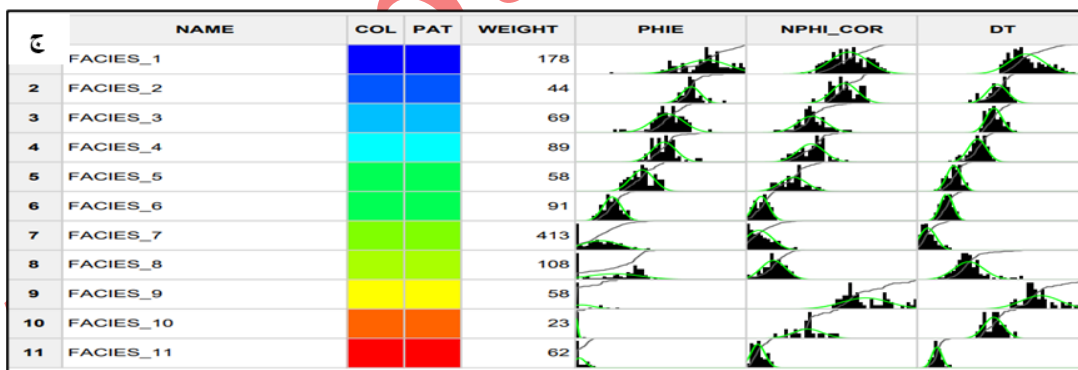
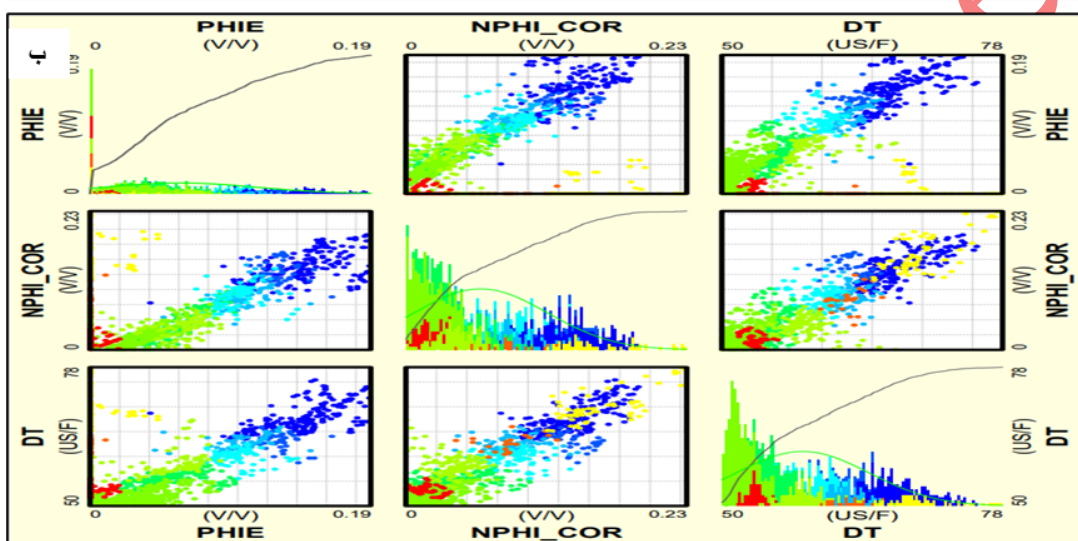
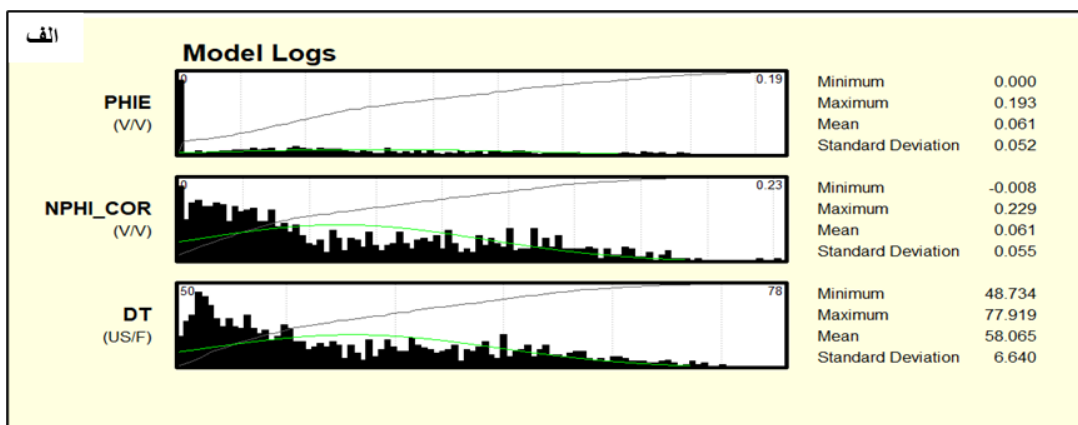


شکل ۸- فرآیند تحلیل خوشه‌بندی: الف) توزیع و مشخصات آماری داده‌های ورودی ب) کراس پلات‌های متقابل متغیرها ج) مدل نهایی خوشه‌بندی رخساره الکتریکی با استفاده از روش MRGC

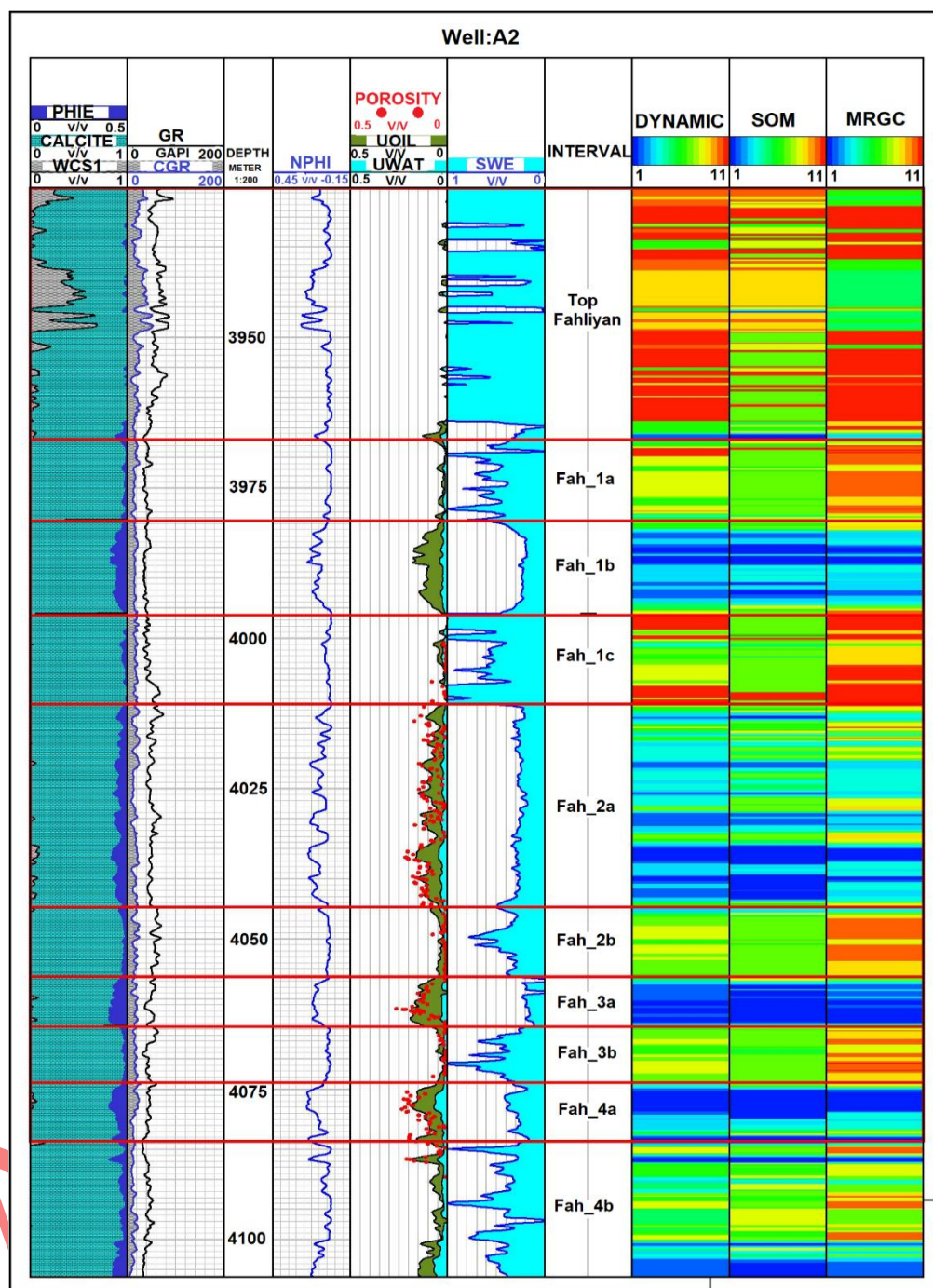


ج	NAME	COL	PAT	WEIGHT	PHIE	NPHI_COR	DT
1	FACIES_1			82			
2	FACIES_2			138			
3	FACIES_3			147			
4	FACIES_4			89			
5	FACIES_5			71			
6	FACIES_6			389			
7	FACIES_7			174			
8	FACIES_8			58			
9	FACIES_9			45			

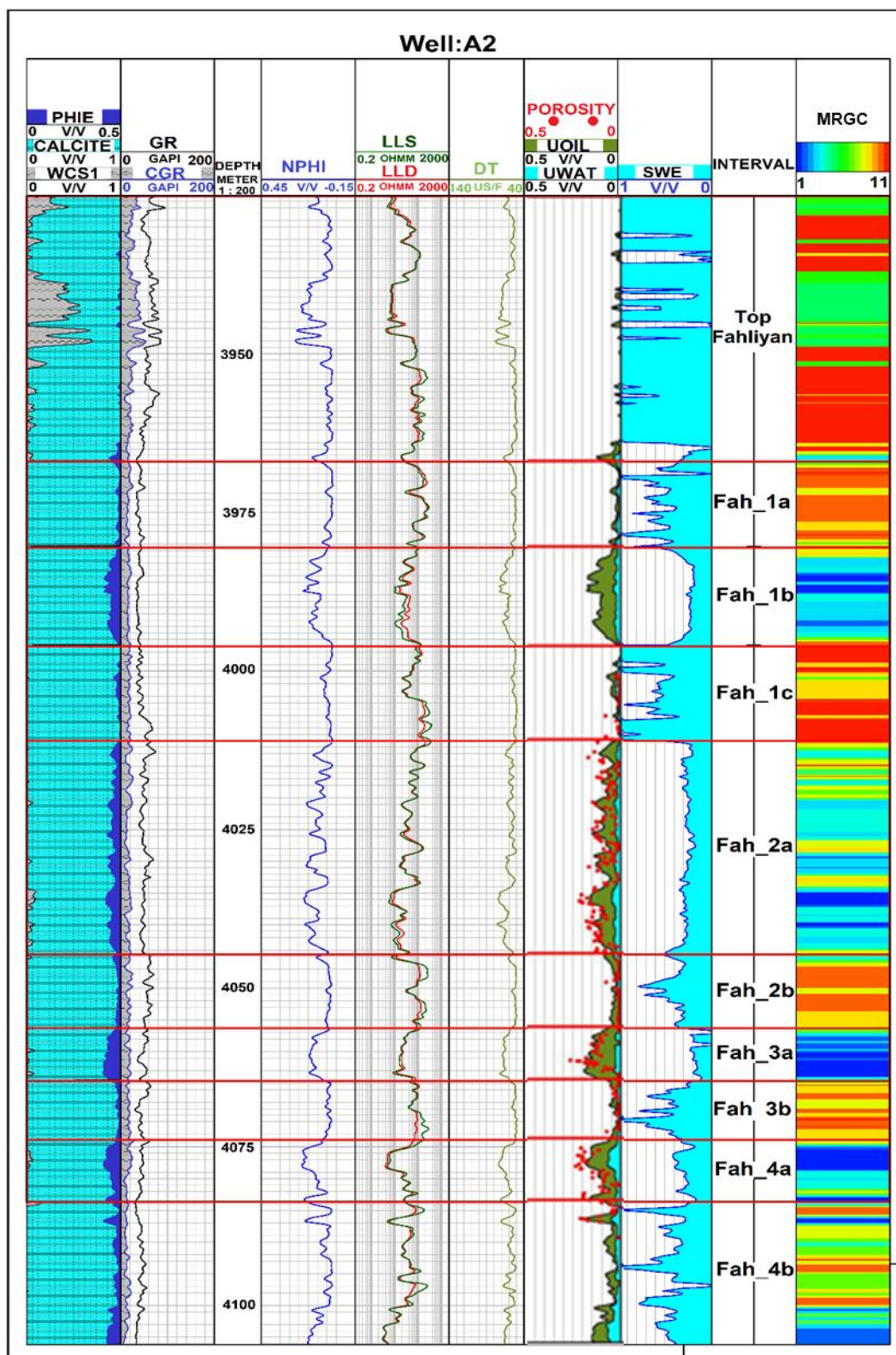
شکل ۹- فرآیند تحلیل خوشه‌بندی: الف) توزیع و مشخصات آماری داده‌های ورودی ب) کراس پلات‌های متقابل متغیرها ج) مدل نهایی خوشه‌بندی رخساره الکتریکی با استفاده از روش DYNCLUSTER



شکل ۱۰- فرآیند تحلیل خوشه‌بندی: الف) توزیع و مشخصات آماری داده‌های ورودی ب) کراس پلات‌های متقابل متغیرها ج) مدل نهایی خوشه‌بندی رخساره الکتریکی با استفاده از روش SOM



شکل ۱۱- تحلیل مقایسه‌ای الگوریتم‌های DYNAMIC، SOM و MRGC در تفکیک رخساره‌های الکتریکی و انطباق آن‌ها با خصوصیات پتروفیزیکی مخزن کربناته فهلیان در چاه A2



شکل ۱۲- تفکیک پذیری بهتر رخساره الکتریکی حاصل از روش MRGC با خصوصیات پتروفیزیکی مخزن کربناته فهلیمان در

چاه A2

۳.۴. زون‌بندی مخزن (Reservoir Zonation)

جهت بررسی کیفیت مخزنی و ایجاد ارتباط بین داده‌های پتروفیزیکی و پتروگرافی، مطالعات پتروفیزیکی شامل ارزیابی پتروفیزیکی چاه‌پیمایی، رخساره الکتریکی و داده‌های تخلخل ناشی از مغزه به همراه مطالعات پتروگرافی شامل رخساره‌های رسوبی پایه و روشی قدرتمند برای زون‌بندی خواهد بود. در ادامه روابط داده‌های پتروگرافی و پتروفیزیکی در قالب زون‌بندی مخزنی تفسیر و تشریح شده است.

Top-Fahliyan: این لایه فاصله عمقی ۳۹۲۵/۲۷ متری تا ۳۹۶۶/۹۰ متری و به ضخامت ۴۱/۶۳ متر را در چاه مورد مطالعه شامل می‌شود (شکل ۱۳). از نظر سنگ‌شناسی از آهک و مقادیر نسبتاً زیادی شیل تشکیل شده است. گسترش لایه‌های شیلی باعث کاهش تخلخل و در نتیجه کیفیت مخزن شده است. به دلیل میانگین حجم شیل بالا و تخلخل پایین و اشباع آب بالا این لایه فاقد پتانسیل مخزنی دارد. رنگ‌بندی رخساره الکتریکی این زون از سازند به دلیل کیفیت نامناسب مخزنی قرمز رنگ می‌باشد.

Fah-1a: این لایه فاصله عمقی ۳۹۶۷/۰۷ متری تا ۳۹۸۰/۲۹ متری و به ضخامت ۱۳/۲۲ متری را در چاه مورد مطالعه شامل می‌شود (شکل ۱۳). از نظر سنگ‌شناسی از آهک متراکم و مقادیر ناچیزی شیل تشکیل شده است. این لایه با میانگین تخلخل ۲/۹ درصد و اشباع آب ۶۵ درصد پتانسیل مخزنی ضعیفی دارد. رنگ‌بندی رخساره الکتریکی این زون از سازند به دلیل کیفیت نامناسب مخزنی زرد و قرمز رنگ می‌باشد.

Fah-1b: این لایه فاصله عمقی ۳۹۸۰/۷۰ متری تا ۳۹۹۵/۸۹ متری و به ضخامت ۱۵/۱۹ متری را در چاه مورد مطالعه شامل می‌شود (شکل ۱۳). از نظر سنگ‌شناسی از آهک تمیز (فاقد شیل) تشکیل شده است. این لایه با افزایش نمودار نوترون و میانگین تخلخل ۱۱ درصد و اشباع آب ۲۶ درصد و ستون هیدروکربنی بالا پتانسیل مخزنی خوبی را دارد. رنگ‌بندی رخساره الکتریکی این زون از سازند به دلیل کیفیت خوب مخزنی آبی رنگ می‌باشد.

Fah-1c: این لایه فاصله عمقی ۳۹۹۶/۲۲ متری تا ۴۱۰/۹۲ متری و به ضخامت ۱۴/۹۶ متری را در چاه مورد مطالعه شامل می‌شود (شکل ۱۳). از نظر سنگ‌شناسی از آهک و مقادیر ناچیزی شیل تشکیل شده است. این لایه با افت نمودار نوترون و میانگین تخلخل ۲/۳ درصد و اشباع آب ۷۵ درصد پتانسیل مخزنی ضعیفی دارد. رنگ‌بندی رخساره الکتریکی این زون از سازند به دلیل کیفیت نامناسب مخزنی زرد و قرمز رنگ می‌باشد. وجود پلوییدهای ریز در زمینه سنگ و جلبک‌های آهکی و بنتیک فرامینفرا نشان از محیط لاگون می‌باشد که سبب کاهش کیفیت مخزنی می‌شود و مطابق با ریزرخساره MF1 و MF2 است. با گونه‌بندی RT1 قابل انطباق می‌باشد.

Fah-2a: این لایه فاصله عمقی ۴۰۱۱ / ۰۸ متری تا ۴۰۴۴/۵۸ متری و به ضخامت ۳۳/۵۰ متری را در چاه مورد مطالعه شامل می‌شود (شکل ۱۳). از نظر سنگ‌شناسی از آهک و مقادیر ناچیزی شیل تشکیل شده است. تخلخل مفید محاسبه شده ۹/۵ درصد و اشباع آب ۲۷ درصد می‌باشد. این لایه به دلیل تخلخل مفید خوب و اشباع نفت بالا پتانسیل مخزنی خوبی را دارد. به دلیل هتروژنی بالا، رنگ‌بندی رخساره الکتریکی این زون از سازند شامل رنگ‌های آبی، زرد و کمی قرمز می‌باشد. با عبور از زون Fah-1c به زون Fah-2a به دلیل شسته شدن بخشی از ماتریکس گلی همراه با جایگزینی سیمان و افزایش اندازه دانه‌های بایوکلاست منجر به کاهش اشباع آب، افزایش نمودار نوترون و افزایش تخلخل موثر می‌شود. رنگ‌بندی رخساره الکتریکی در این عمق به رنگ سبز می‌باشد و مطابق با ریزرخساره MF4 و RT3 است. تراکم فیزیکی موجود در بین دانه‌ها در عمق ۴۰۱۴.۶۱ سبب ماتریکس کاذب و کاهش کیفیت مخزنی است. رنگ‌بندی رخساره الکتریکی در این عمق به رنگ زرد می‌باشد و مطابق با ریزرخساره MF5

RT2 می‌باشد. افزایش اندازه و جورشدگی خوب دانه‌ها و شسته شدن ماتریکس گلی و سیمانی شده زمینه سنگ نشان دهنده بلوغ رسوبی و محیط پر انرژی است که در عمق ۴۰۲۳.۹۷ متر به افزایش تخلخل موثر می‌شود. رنگ‌بندی رخساره الکتریکی در این عمق به رنگ آبی می‌باشد و مطابق با ریزرخساره MF6 و RT4 می‌باشد. وجود پلوییدهای ریز در زمینه سنگ و خرده‌های جلبک همراه با *Lithocodium* نشان دهنده محیط لاگون در عمق ۴۰۲۷.۵۸ می‌باشد و با ریزرخساره MF3 قابل انطباق است. رنگ‌بندی رخساره الکتریکی در این عمق به رنگ زرد است و با RT2 قابل انطباق می‌باشد.

Fah-2b: این لایه فاصله عمقی ۴۰۴۴/۷۵ متری تا ۴۰۵۶/۲۴ متری و به ضخامت ۱۱/۴۹ متری را در چاه مورد مطالعه شامل می‌شود (شکل ۱۳). از نظر سنگ‌شناسی از آهک و مقادیر ناچیزی شیل تشکیل شده است. این لایه با افت نمودار نوترون و میانگین تخلخل مفید ۲ درصد و اشباع نفت پایین فاقد پتانسیل مخزنی است. تخلخل ناشی از مغزه هم این موضوع را تایید می‌کند. رنگ‌بندی رخساره الکتریکی در این عمق به رنگ قرمز و زرد می‌باشد و با RT1 و RT2 قابل انطباق است.

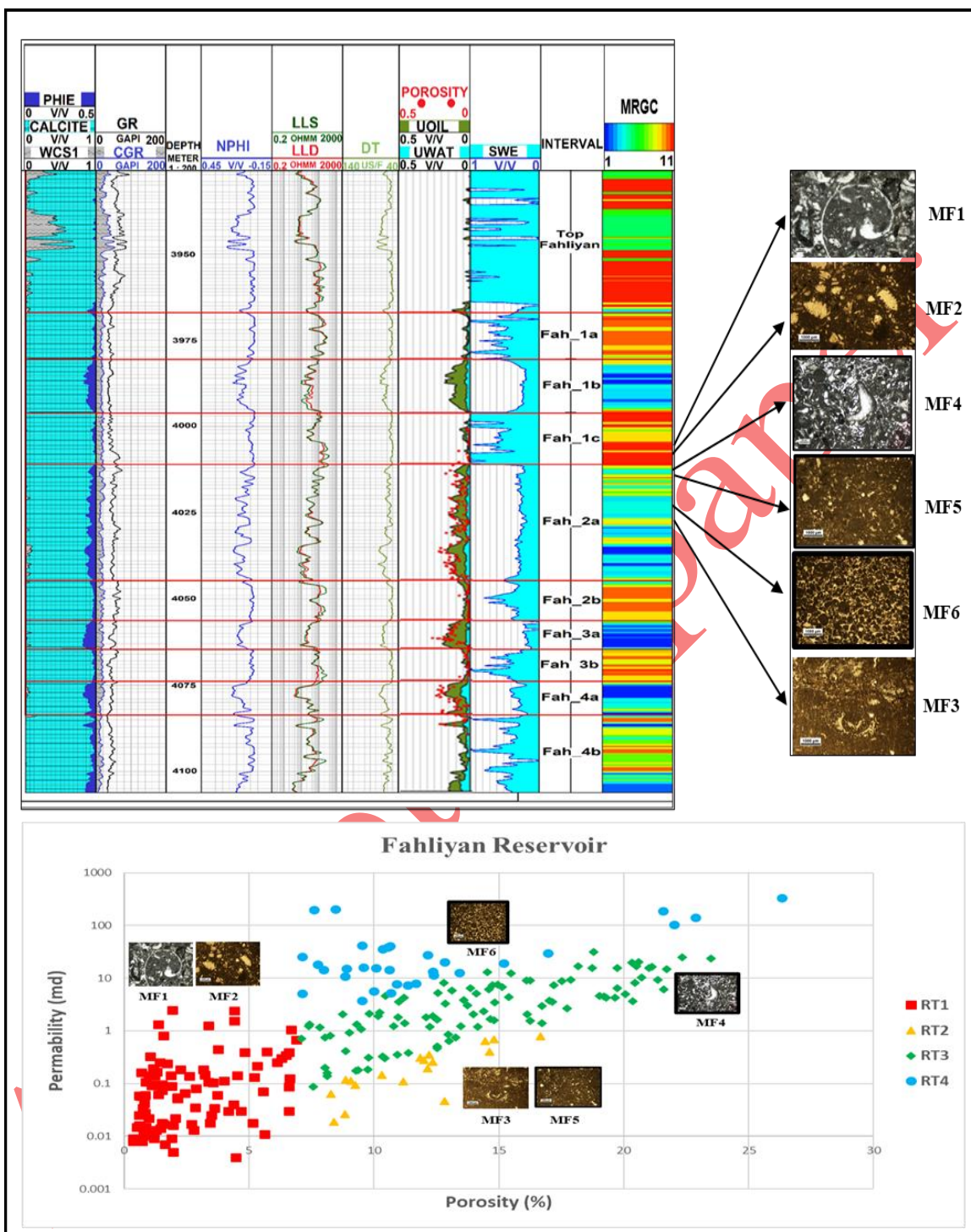
Fah-3a: این لایه فاصله عمقی ۴۰۵۶/۳۲ متری تا ۴۰۶۴/۴۵ متری و به ضخامت ۸/۱۲ متری را در چاه مورد مطالعه شامل می‌شود (شکل ۱۳). از نظر سنگ‌شناسی از آهک و مقادیر ناچیزی شیل تشکیل شده است. میانگین تخلخل مفید محاسبه شده ۱۵ درصد می‌باشد که ۸۰ درصد فضای تخلخلی، اشباع از نفت و قابل انطباق بر تخلخل حاصل از مغزه و دارای پتانسیل مخزنی است. رنگ‌بندی رخساره الکتریکی در این زون به رنگ آبی می‌باشد و با RT4 قابل انطباق است.

Fah-3b: این لایه فاصله عمقی ۴۰۶۴/۷۰ متری تا ۴۰۷۳/۷۳ متری و به ضخامت ۹/۰۳ متری را در چاه مورد مطالعه شامل می‌شود (شکل ۱۳). از نظر سنگ‌شناسی از آهک و مقادیر ناچیزی شیل تشکیل شده است. این لایه با تخلخل مفید پایین و اشباع آب بالا فاقد پتانسیل مخزنی است. رنگ‌بندی رخساره الکتریکی در این زون به رنگ زرد و قرمز می‌باشد و با RT1 و RT2 قابل انطباق است.

Fah-4a: این لایه فاصله عمقی ۴۰۷۳/۹۰ متری تا ۴۰۸۳/۵۸ متری و به ضخامت ۹/۶۸ متری را در چاه مورد مطالعه شامل می‌شود (شکل ۱۳). از نظر سنگ‌شناسی از آهک و مقادیر ناچیزی شیل تشکیل شده است. میانگین تخلخل محاسبه شده ۱۲ درصد است. این لایه به دلیل تخلخل خوب و اشباع آب پایین دارای پتانسیل مخزنی است. رنگ‌بندی رخساره الکتریکی در این زون به رنگ آبی و سبز می‌باشد و با RT4 و RT3 قابل انطباق است.

Fah-4b: این لایه فاصله عمقی ۴۰۸۳/۷۵ متری تا ۴۱۰۶/۰۸ متری و به ضخامت ۲۲/۳۳ متری را در چاه مورد مطالعه شامل می‌شود (شکل ۱۳). از نظر سنگ‌شناسی از آهک و مقادیر ناچیزی شیل تشکیل شده است. این لایه دارای میانگین تخلخل مفید ۷/۴ درصد می‌باشد و پتانسیل مخزنی را دارد. رنگ‌بندی رخساره الکتریکی در این زون به دلیل هتروژنی بالا به رنگ‌های آبی، سبز و زرد می‌باشد و با RT4، RT3 و RT2 قابل انطباق است.

تطابق سیستماتیک بین ریزرخساره، رخساره الکتریکی، گونه‌بندی و کیفیت مخزنی در جدول ۳ نشان می‌دهد که رخساره الکتریکی آبی (RT4, MF6) نشان دهنده کیفیت خوب مخزنی است، در صورتی که رخساره الکتریکی قرمز رنگ (RT1, MF1, MF2) کیفیت خیلی ضعیفی را دارد.



شکل ۱۳- ارتباط ارزیابی پتروفیزیکی، رخساره الکتریکی، گونه‌بندی و ریزرخساره رسوبی در چاه A2 فاهلیان

جدول ۳- طبقه بندی کیفیت مخزنی بر مبنای Rock type و Electrofacies Microfacies

Rock type No.	Microfacies (MF)	Electrofacies	Reservoir Quality
RT1	MF1,MF2	Red	Very Poor
RT2	MF3,MF5	Yellow	Poor
RT3	MF4	Green	Fair
RT4	MF6	Blue	Good

۵. نتیجه گیری

با استفاده از مقاطع نازک از چاه A2 ۶ ریزرخساره متعلق به پهنه رمپ شامل لاگون و پشته های رسوبی شناسایی شدند. با استفاده از روش نشانگر زون جریان (Flow Zone Indicator) چهار واحد جریانی بر اساس داده های تخلخل و تراوایی در چاه A2 مخزن فهلیان تعیین شده است. با تلفیق داده های پتروگرافی و پتروفیزیک، و با شناسایی چهار واحد جریانی در سازند فهلیان، کیفیت مخزنی از خیلی ضعیف (RT1) تا خوب (RT4) رتبه بندی شد. برای دستیابی به تعداد بهینه رخساره ها و تفکیک بهتر زون های مخزنی از غیر مخزنی، چهار روش رایج خوشه بندی شامل MRGC (روش چند تفکیکی بر پایه گراف)، AHC (روش سلسله مراتبی)، SOM (شبکه عصبی خودسازمانده) و DYNCLUST (روش پویا) مورد مقایسه قرار گرفت. از میان این چهار روش، سه روش MRGC، SOM و DYNCLUST با استفاده از داده های ورودی شامل لاگ نوترون، صوتی و تخلخل موثر در نرم افزار ژئولاگ اجرا و محاسبه شدند. روش MRGC به دلیل انتخاب تعداد بهینه خوشه بندی به صورت خودکار و نمایش بهتر تغییرات تدریجی کیفیت مخزنی (از آبی به قرمز) به عنوان روش نهایی تعیین رخساره الکتریکی انتخاب شد و منجر به شناسایی ۱۱ رخساره گردید. زون های متراکم 1a,1c,2b,3b به دلیل تخلخل موثر نزدیک صفر و اشباع آب بالا دارای تغییرات رنگی قرمز رنگ می باشد. زون های 1b,2a,3a,4a,4b به دلیل اشباع آب کم و تخلخل موثر بالا دارای پتانسیل مخزنی و تغییرات رنگی آبی را خواهد داشت. Top fahliyan به دلیل حجم شیل بالا و تخلخل موثر نزدیک صفر و اشباع آب بالا دارای تغییرات رخساره قرمز می باشد. تطابق سیستماتیک بین ریزرخساره، رخساره الکتریکی، گونه بندی و کیفیت مخزنی نشان می دهد که رخساره الکتریکی آبی (RT4, MF6) نشان دهنده کیفیت خوب مخزنی است، در صورتی که رخساره الکتریکی قرمز رنگ (RT1, MF1, MF2) کیفیت خیلی ضعیف مخزنی را دارد.

- [1]. Hosseinzadeh, S., Kadkhodaie, A., & Yarmohammadi, S. (2020). NMR derived capillary pressure and relative permeability curves as an aid in rock typing of carbonate reservoirs. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 184, 106593.
- [2]. Mohsenipour, A., Soleimani, B., Zahmatkesh, I., & Veisi, I. (2022). Determination of reservoir rock typing using integrating geological and petrophysical methods in one of the oil field in south-west of Iran. *Carbonates and Evaporites*, 37(2), 31.
- [3]. Ahmed Radhi, F., & Al-Fatlawi, O. (2024). Petrophysical Characterization and Lithology of the Mishrif Formation in Ratawi Oil Field, Southern Iraq. *The Iraqi Geological Journal*, 195-215.
- [4]. Tavakoli, V. (2019). Carbonate reservoir heterogeneity: overcoming the challenges. Springer Nature.
- [5]. Mehdipour, V., Kadkhodaie, A., & Awadh, S. M. (2024). Determination of Reservoir Rock Type in Sarvak Reservoir of an Iranian Oilfield. *The Iraqi Geological Journal*, 1-13.
- [6]. Asadi, A., Imandoust, A., Sarfi, M., & Ghane Ezzabadi, M. (2022). Reservoir quality evaluation of the Fahliyan Formation in an oil field of northwestern Persian Gulf. *Geosciences Scientific Quarterly Journal*, 32(1), 15-26. doi.org/10.48308/gsj.2022.136706.
- [7]. Mehrabi, H., Nouri, H., & Sobhani, J. (2020). Investigation of facies characteristics and diagenetic processes controls on reservoir quality of the Fahliyan Formation in Central Zagros region. *Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 79, 75-104.
- [8]. Amirsardari, M. (2020). Determination of reservoir rock types based on petrophysical data and special core analysis in a carbonate reservoir of the Persian Gulf. *Geosciences Journal*, 6(2), 235-254. doi.org/10.48308/gsj.2020.136706.
- [9]. Nourian, Y., Mousavi Harami, S. R., Mahboobi, A., Kadkhodaie, A., & Abdollahi Mousavi, S. A. (2015). Rock type determination using flow units and clustering method: A case study of the Bangestan reservoir in Mansouri oil field. *Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 24(95), 199-208.
- [10]. Moeini, M., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V., Moradpour, M., Madanipour, S., & Rezapanah, H. (2014). Reservoir zonation and rock type determination of the Bangestan reservoir based on sedimentological and petrophysical studies in Sarakan oil field. *Applied Sedimentology*, 2(4).
- [11]. Aghanabati, A. (2006). Geology of Iran. Geological Survey and Mineral Explorations of Iran.
- [12]. Alavi, M. (1994). Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(3-4), 211-238. doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2.
- [13]. Motiei, H. (1993). Stratigraphy of Zagros, Treatise on the geology of Iran. Iran Geological Survey, 1, 281-289.
- [14]. James, G. A., & Wynd, J. G. (1965). Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *AAPG Bulletin*, 49 (12), 2182-2245.
- [15]. Tucker, M. E. (1991). Sequence stratigraphy of carbonate-evaporite basins: Models and application to the Upper Permian (Zechstein) of northeast England and adjoining North Sea. *Journal of the Geological Society*, London, 148(6), 1019-1036.
- [16]. Flügel, E., & Munnecke, A. (2010). Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application. Berlin: springer.

- [17]. Wilson, J. L. (1975). Carbonate facies in geologic history. Springer.
- [18]. Elrick, M., & Read, J. F. (1991). Cyclic ramp-to-basin carbonate deposits, Lower Mississippian, Wyoming and Montana: A combined field and computer modeling study. *Journal of Sedimentary Research*, 61 (7), 1194-1224. doi.org/10.1306/D426780E-2B26-11D7-8648000102C1865D.
- [19]. Mirzaei-Paiaman, A., Ostadhassan, M., Rezaee, R., Saboorian-Jooybari, H., & Chen, Z. (2018). A new approach in petrophysical rock typing. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 166, 445-464.
- [20]. Skalinski, M., & Kenter, J. A. (2015). Carbonate petrophysical rock typing: integrating geological attributes and petrophysical properties while linking with dynamic behaviour.
- [21]. Abbaszadeh, M., Fujii, H., & Fujimoto, F. (1996). Permeability prediction by hydraulic flow units theory and applications. *SPE Formation Evaluation*, 11(04), 263-271.
- [22]. Porras, J. C., Barbato, R., & Khazen, L. (1999, April). Reservoir flow units: A comparison between three different models in the Santa Barbara and Pirital fields, North Monagas Area, Eastern Venezuela Basin. In *SPE Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference* (pp. SPE-53671). SPE.
- [23]. Serra, O. E. (1982). Fundamentals of well-log interpretation.
- [24]. Doveton, J. H. (1994). Geologic log analysis using computer methods (Vol. 2, p. 169). Tulsa: American Association of Petroleum Geologists.
- [25]. Ye, S. J., & Rabiller, P. (2000, June). A new tool for electro-facies analysis: multi-resolution graph-based clustering. In *SPWLA Annual Logging Symposium* (pp. SPWLA-2000). SPWLA.
- [26]. Cross, T. A., & Homewood, P. W. (1997). Amant Gressly's role in founding modern stratigraphy. *Geological Society of America Bulletin*, 109(12), 1617-1630.
- [27]. Lippmann, R. P. (1989). Pattern classification using neural networks. *IEEE communications magazine*, 27(11), 47-50.
- [28]. Mukherjee, A. (1997). Self-organizing neural network for identification of natural modes. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 11(1), 74-77.