

ارزیابی پتانسیل مخزنی زون‌های سازندهای آپشرون و آچاگیل در یکی از چاه‌های خزر جنوبی براساس رخساره‌های رسوبی و الکتروفاسیس

طاهر گلی^۱، سیدرضا موسوی حرمی^{۱*}، اسداله محبوبی^۱، علی کدخدایی^۲ و فرید طاعتی^۳

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۲- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

۳- شرکت ملی نفت خزر، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۶ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲۷

چکیده

در این مطالعه استعداد مخزنی دو سازند آچاگیل و آپشرون که عمدتاً شامل ماسه، سیلت و شیل می‌باشند بررسی شده است. به این منظور مقاطع نازک موجود از خرده‌های حفاری مربوط به چاه A بررسی و چهار رخساره سیلت ماسه‌ای، گل ماسه‌ای، سیلتی و گلی شناسایی شده است. براساس تغییرات نمودار اشعه گاما (GR) و رخساره‌های رسوبی چاه مورد مطالعه به ۸ زون تفکیک شده است. زون ۷ این چاه به دلیل کامل بودن داده‌های پتروفیزیکی و زمین‌شناسی برای بررسی کیفیت مخزنی انتخاب شده است. در ادامه نمودارهای گامای تصحیح شده (CGR)، تخلخل نوترونی (NPHI) و چگالی (RHOZ) به‌عنوان داده‌های ورودی برای مدل‌سازی الکتروفاسیس انتخاب شد، و با استفاده از روش خوشه‌بندی MRGC مقادیر این نمودارها در ۵ الکتروفاسیس خوشه‌بندی شده‌اند. الکتروفاسیس ۱ به دلیل مقادیر بالای نمودارهای CGR و RHOZ و پایین NPHI و الکتروفاسیس ۵ به دلیل مقادیر پایین CGR و RHOZ و بالای NPHI به ترتیب پایین‌ترین و بالاترین کیفیت مخزنی را دارا می‌باشند. از طرفی مقایسه الکتروفاسیس‌ها و رخساره‌های رسوبی نشان‌دهنده انطباق الکتروفاسیس‌های دارای کیفیت خوب و پایین به ترتیب سیلت، گل ماسه‌ای و گل است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد داده‌های پتروفیزیکی در چاه‌های دارای داده‌های ناقص زمین‌شناسی می‌تواند در تحلیل کیفیت مخزنی مفید واقع شود.

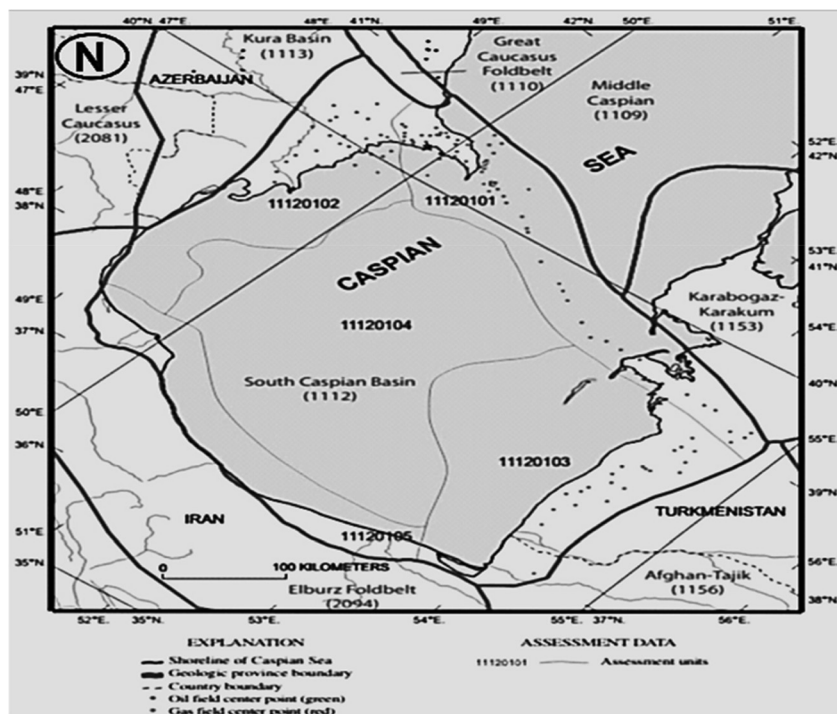
کلمات کلیدی: الکتروفاسیس، استعداد مخزنی، خوشه‌بندی، رخساره رسوبی، آپشرون، آچاگیل.

مقدمه

در ایران قرار دارد [۶]. نرخ تجمع رسوبات در این حوضه بسیار غیر عادی و بالاست و تغییرات آن از ۱ تا ۴/۵ km در میلیون سال می‌باشد [۷]. رسوبات فاقد تراکم بالا بوده [۷ و ۸] و درجه زمین‌گرایی منطقه به نسبت پایین است (۱/۵ تا ۱/۸ °C در ۱۰۰ m) و این درجه اجازه تولید نفت با مرغوبیت بالا حتی در اعماق بسیار زیاد را می‌دهد [۹].

رسوبات سازند آچاگیل به سن پلیوسن فوقانی و نیز آپشرون به سن پلیستوسن در ایران به‌ندرت رخنمون دارند. یکی از این معدود بیرون زدگی‌ها در منطقه مغان است. در این توالی سازند آچاگیل عمدتاً از ماسه و ماسه‌سنگ‌های نیمه سخت شده، لایه‌های ضخیم گلی همراه با لایه‌های خاکستر آتشفشانی، کنگلومرا و سنگ‌های آهکی تشکیل شده است. سازند آپشرون از کنگلومرا، ماسه، گل و سنگ آهک تشکیل یافته است و با افزایش ناگهانی گراول از بخش زیرین خود متمایز می‌گردد به علاوه به‌صورت ناپیوسته بر روی سازند آچاگیل قرار می‌گیرد [۱۰ و ۱۱] (شکل ۲)

دریای خزر به ذخایر بالای هیدروکربنی آن شهرت دارد که در تولید نفت و گاز دارای موقعیت جهانی است [۱]. دریای خزر از سه حوضه شمالی، مرکزی و جنوبی تشکیل شده و مساحت آن ۳۷۱۰۰۰ Km² است که بزرگ‌ترین دریاچه جهان می‌باشد [۲]. خزر جنوبی بر اثر برخورد صفحه عربستان با اورازیا در ائوسن تشکیل شده است [۳]. این حوضه بازمانده حوضه پشت قوسی لبه شمالی پالتوتیس در نظر گرفته می‌شود [۴]. حوضه جنوب خزر به‌عنوان یکی از مناطق با نرخ رسوب‌گذاری و مقدار ضخامت رسوبی بالا (بین ۱۵ تا ۲۸ km) شناخته می‌شود. همچنین این ناحیه به داشتن پوسته اقیانوسی شهرت دارد. مدل‌های تکتونیکی، سن گسترش و بازشدگی پوسته اقیانوسی خزر را به بازه زمانی ژوراسیک تا پالئوژن منتسب می‌کند [۵]. حوضه جنوبی خزر شامل بخش‌های جنوبی دریای خزر و مناطق خشکی شرق آذربایجان، غرب ترکمنستان و شمال ایران است (شکل ۱) که تقریباً ۴۵٪ آن در آذربایجان، ۳۵٪ آن در ترکمنستان و ۲۰٪



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی دریای خزر [۷].

Time Stratigraphic Units		Rock Stratigraphic Units	Based on Iranian nomination
Quaternary	present	Neocaspian (Novocaspian)	
	0.0117	Khvalynskian	Khvalyn
		Khazarin	Khazar
		Bakuvian	Baku
	2.58	Apsheronian	Apsheron
Tertiary	Pliocene	Akchagyl	Akchagyl
	5.333	L-M Pliocene	Cheleken (Main Objective) (Continental Series)

شکل ۲ ستون چینه‌شناسی خزر جنوبی اقباس از بحرینی و اتحاد با تغییرات (۱۱).

یک میدان می‌تواند به شناخت توزیع سه‌بعدی تخلخل، حجم شیل و دیگر پارامترهای یک مخزن کمک فراوانی کند. تحلیل الکتروفاسیس‌ها روشی است برای تقسیم‌بندی نمودارهای الکتریکی به زیر مجموعه‌هایی که نشان‌دهنده رخساره‌های زمین‌شناسی بوده و توزیع آنها اساس زون‌بندی چینه‌شناسی را تشکیل می‌دهد [۱۷]. ولف و همکاران (۱۹۸۲) اولین روش خودکار دسته‌بندی نمودارها به الکتروفاسیس را ارائه نمودند [۱۸]. در این روش از تجزیه مولفه‌های اصلی و دسته‌بندی سازمان‌دهی شده صعودی استفاده می‌شود [۱۹]. در حقیقت الکتروفاسیس گروه‌بندی داده‌های نمودار با توجه به تشابه پتروفیزیکی آنهاست و می‌تواند با داده‌های مغزه، خرده حفاری یا رخنمون قابل مقایسه شوند [۲۰]. برای خوشه‌بندی، روش‌های مختلفی توسط افراد متفاوتی ارائه شده که از جمله این روش‌ها روش (MRGC)^۱ می‌باشد که توسط Ye و Rabiller در سال ۲۰۰۰ معرفی شده است [۲۱]. اساس این روش شناخت الگوی نقطه‌ای چند بعدی مبتنی بر اصل غیر پارامتری (شاخص همسایگی) است. به‌طور کلی هدف از این مطالعه، بررسی کیفیت مخزنی سازند آچاگیل در بخش‌هایی از چاه مورد مطالعه واقع در خزر جنوبی، براساس داده‌های پتروفیزیکی و زمین‌شناسی موجود بوده است.

به نقشه درآوردن خصوصیات مخزنی یک نکته کلیدی برای مطالعات جامع مخزنی است. در صورت در دسترس بودن داده‌های نمودار معمولی، به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان روابطی غیر خطی بین داده‌های نمودار و پارامترهای مخزنی بدست آورد [۱۲]. با روش‌های معمول پتروفیزیکی می‌توان پارامترهایی مانند تراوی و درصد اشباع و دیگر ویژگی‌های پتروفیزیکی را محاسبه نمود. ولی با این روش‌ها به تنهایی نمی‌توان ویژگی‌های زمین‌شناسی یک مخزن را با اطمینان توصیف کرد [۱۳]. برای یک توصیف جامع بهتر است از تلفیق داده‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی استفاده کرد تا ویژگی‌های مخزنی را به گونه‌ای توصیف کند که نزدیک‌ترین شباهت به واقعیت‌های زمین‌شناسی به‌دست آید [۱۴]. در سال‌های اخیر زمین‌شناسان تلاش زیادی کرده‌اند تا با ایجاد ارتباط منطقی میان رخساره‌های رسوبی و داده‌های پتروفیزیکی، تحت عنوان تجزیه و تحلیل الکتروفاسیس، ویژگی‌های مخزنی را به بهترین شکل توصیف کنند [۱۵]. با ایجاد روش‌های مطالعاتی زیر سطحی مانند استفاده از نمودارهای الکتریکی، رخساره‌هایی تعریف شدند که اساس آنها دیگر خصوصیات مستقیم به‌دست آمده از سنگ‌ها نبود و این رخساره‌ها را تحت عنوان الکتروفاسیس معرفی کردند [۱۶]. بر همین اساس، پی بردن به نحوه پراکندگی رخساره‌های رسوبی و فرآیندهای دیاژنتیکی در

1. Multi- Resolution Graph clustering

روش مطالعه

به‌طور کلی به‌علت عدم وجود مغزه در این چاه، تنها از خرده‌های حفاری برای مطالعه رخساره‌های رسوبی استفاده شده است. برای این منظور در ابتدا رخساره‌های رسوبی و پتروفاسیس‌ها براساس ۴۰ مقطع نازک تهیه شده از ۱۳۰ نمونه خرده حفاری (به‌دلیل سست بودن رسوبات و در ابتدا با استفاده از چسب بوند ۵۰۲ سخت شده‌اند) چاه مذکور مورد مطالعه قرار گرفتند. همچنین نوع دانه‌ها و درصد فراوانی آنها مشخص گردید و سپس نام‌گذاری براساس تقسیم‌بندی فولک [۲۲ و ۲۳]، انجام شد و معادل سنگی رخساره‌ها بر مبنای تقسیم‌بندی پتی جان و همکاران تعیین گردید [۲۴]. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار Geolog داده‌های ورودی مناسب برای تعیین الکتروفاسیس انتخاب شد. در این پژوهش براساس تغییرات نمودار گاما و رخساره‌های رسوبی این چاه، به ۸ زون تقسیم شد که تغییرات لیتولوژی زیادی نشان نمی‌دهند (شکل ۳). لیتولوژی غالب در این زون‌ها شیلی، ماسه‌ای و سیلتی است. از نمودارهای RHOZ، NPHI، CGR به‌دلیل اینکه تحت تاثیر مستقیم ترکیب سنگ هستند، در زون ۷ به‌عنوان داده‌های ورودی (به‌علت کامل بودن داده‌های پتروفیزیکی و زمین‌شناسی در این زون) برای مدل الکتروفاسیس استفاده گردیده است. در ادامه براساس روش خوشه‌بندی MRGC یک مدل ۵ رخساره‌ای ایجاد گردید.

رخساره‌های رسوبی

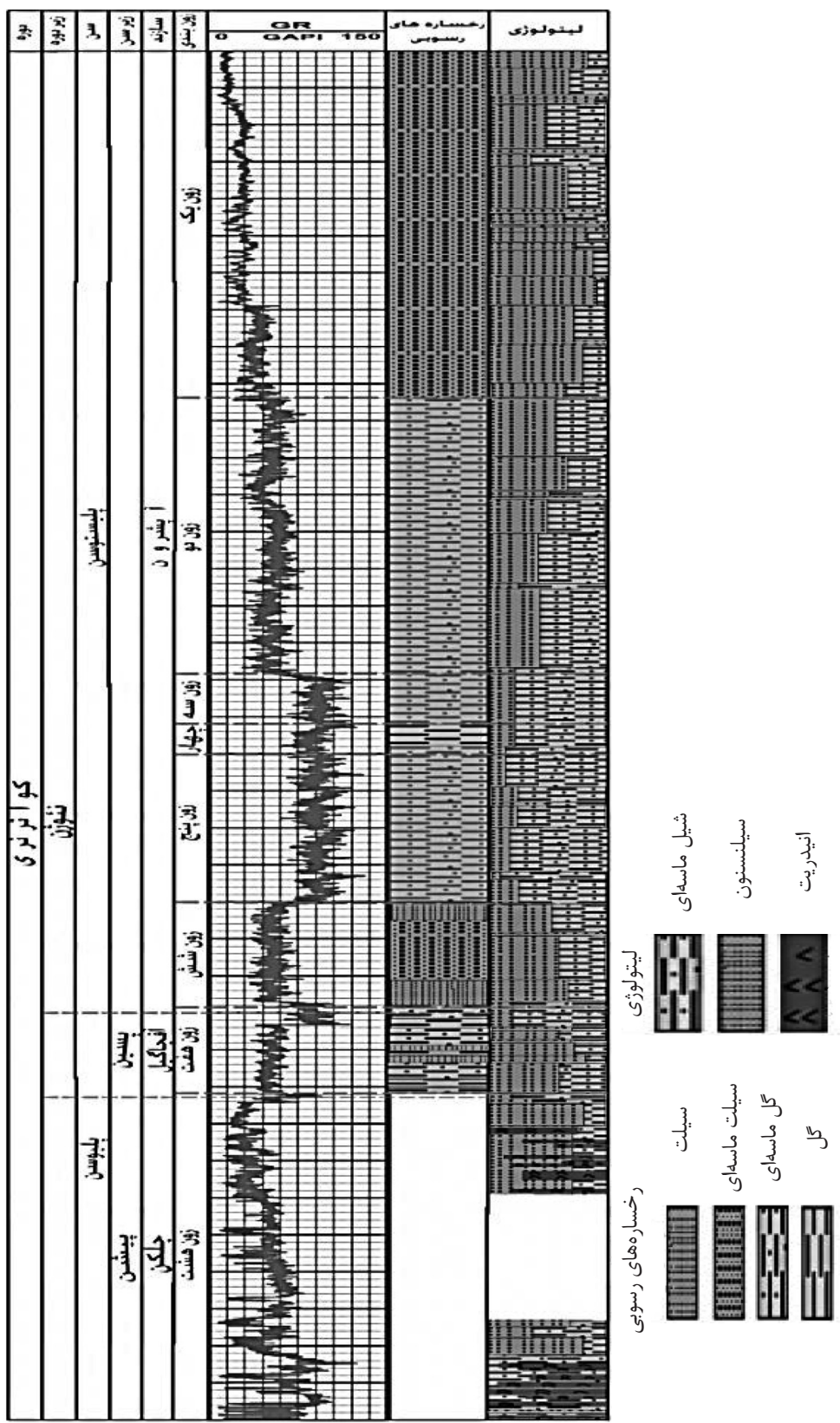
براساس مطالعه ۴۰ مقطع نازک، ابتدا نوع دانه‌ها و درصد فراوانی دانه‌ها، سپس اندازه دانه‌ها در هر کدام از مقاطع مشخص شدند. براساس اختصاصات ترکیبی و آنالیز اندازه دانه، ۴ رخساره رسوبی (معادل سنگی ۳ پتروفاسیس) سیلت ماسه‌ای، گل ماسه‌ای، سیلت و گل (معادل سنگی آرکوز وک، فلدسپات و لیتیک گری‌وک) برای سازندهای آپشرون و آچاگیل شناسایی شده است که به شرح زیر است.

رخساره سیلت ماسه‌ای

این رخساره در زون‌های ۱، قسمتی از زون ۲ و قسمتی از زون ۶ دیده می‌شود (شکل ۳). دانه‌ها در اندازه‌های مختلف از ۰/۲ - ۰/۱ mm و ریزتر (ماسه‌ریز، ماسه خیلی ریز، سیلت و رس) را شامل می‌شوند (شکل ۴). این رسوبات دارای اجزایی نظیر کوارتز مونو کریستالین (کوارتز پلوتونیک و رسوبی) با فراوانی ۴۴ تا ۶۲٪، کوارتز پلی کریستالین (کوارتز دگرگونی شیبستوز، دگرگونی کشیده شده و ولکانیکی) با فراوانی ۱۰٪-۰، فلدسپات (ارتوکلاز، پلاژیوکلاز و میکروکلین) با فراوانی ۱۸٪-۲۹٪، خرده سنگ ولکانیکی با فراوانی ۱۲٪-۰، خرده سنگ رسوبی دگرگونی با فراوانی ۰-۱۰٪، خرده سنگ رسوبی (چرت و کربناته) با فراوانی ۰-۷٪، کانی‌های سنگین زیرکن و تورمالین به‌صورت اینکلوژن در داخل کوارتز و میکا است. معادل سنگی این رخساره در طبقه‌بندی پتی جان و همکاران [۲۴] آرکوزیک وک (شکل ۵) (شکل ۶ الف و ب) و بر مبنای طبقه‌بندی پنج‌گانه فولک [۲۳] ماسه ریز تا خیلی ریز سلت و رس دار نابالغ معادل آرکوزیک‌وک قرار می‌گیرند.

رخساره گل ماسه‌ای

این رخساره در زون‌های ۲ تا ۵ و قسمت‌هایی از زون‌های ۵ تا ۷ دیده می‌شود (شکل ۳). این دانه‌ها در اندازه‌های مختلف از ۰/۲ mm تا اندازه رس متغییر هستند (شکل ۴). این رسوبات دارای اجزایی نظیر کوارتز مونو کریستالین (پلوتونیک و رسوبی) با فراوانی ۳۳ تا ۷۰٪، کوارتز پلی کریستالین (دگرگونی شیبستوز، دگرگونی کشیده شده و ولکانیکی) با فراوانی ۰ تا ۲۱٪، فلدسپات (ارتوکلاز، پلاژیوکلاز و میکروکلین) با فراوانی ۹ تا ۴۶٪، خرده سنگ ولکانیکی با فراوانی ۰ تا ۲۸٪، خرده سنگ دگرگونی با فراوانی ۰ تا ۸٪، خرده سنگ رسوبی (چرت و کربناته) با فراوانی ۰ تا ۶٪، کانی‌های سنگین زیرکن و تورمالین به‌صورت اینکلوژن در داخل کوارتز و نیز مسکویت به‌صورت اینکلوژن در داخل کوارتز و فلدسپات و مسکویت کمتر از ۵٪ می‌باشد.



شکل ۳ زون‌بندی سازندهای آپشرون و آچاگیل براساس تغییرات نمودار گاما و رخساره‌های رسوبی.

پتی جان و همکاران [۲۴] آرکوزیک وک و لیتیک گریوک را شامل می‌شود (شکل ۵ و شکل ۶ ح و خ). بر مبنای طبقه‌بندی پنج‌گانه فولک [۲۳] نام این رسوبات ماسه خیلی ریز سیلت و رس‌دار نابالغ تا نیمه‌بالغ، معادل آرکوزیک وک و لیتیک گریوک قرار می‌گیرند.

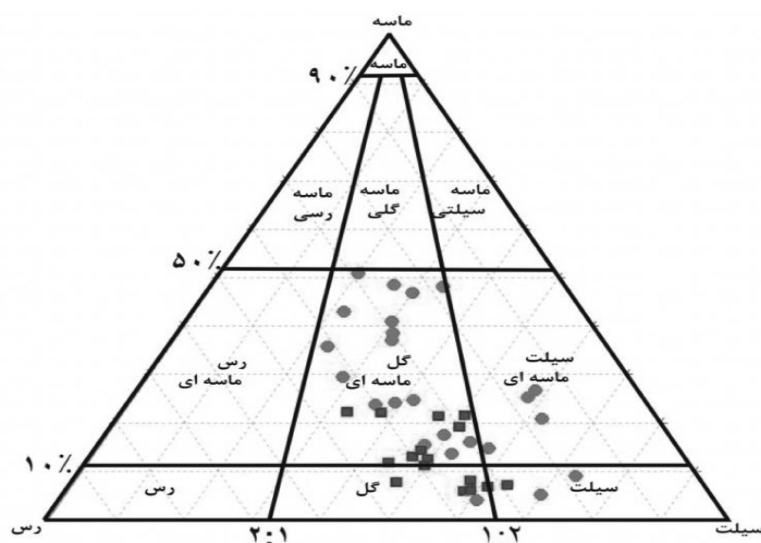
رخساره گلی

این رخساره در قسمت‌هایی از زون ۵ و ۷ دیده می‌شود (شکل ۳). اندازه دانه‌ها از 0.07 mm تا اندازه رس تغییر می‌کند (شکل ۲). این رسوبات دارای اجزایی پراکنده نظیر کوارتز مونوکریستالین، کوارتز پلی کریستالین، فلدسپات، خرده سنگ ولکانیکی، خرده سنگ دگرگونی، خرده سنگ رسوبی، کانی سنگین زیرکن به‌صورت اینکلوژن در داخل کوارتز دیده می‌شود. که معادل سنگی این رخساره در طبقه‌بندی پتی جان و همکاران [۲۴] مادستون را شامل می‌شود (شکل ۶ و شکل ۷ الف و ب). بر مبنای طبقه‌بندی پنج‌گانه فولک [۲۳] نام این رسوبات سیلت و رس نابالغ، معادل مادستون قرار می‌گیرند.

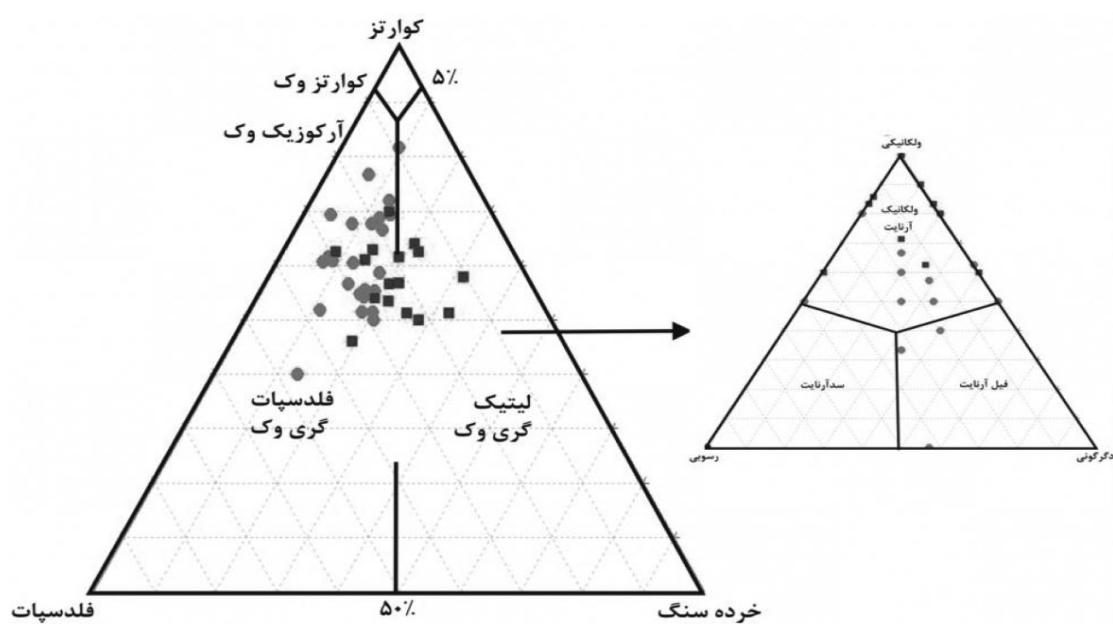
معادل سنگی این رخساره در طبقه‌بندی پتی جان و همکاران [۲۴] آرکوز وک، و به مقدار کم فلدسپات گریوک و لیتیک گریوک را شامل می‌شود (شکل ۵) (شکل ۶ ج و د). بر مبنای طبقه‌بندی پنج‌گانه فولک [۲۳] نام این رسوبات ماسه ریز تا خیلی ریز سیلت و رس‌دار نابالغ تا نیمه‌بالغ، معادل آرکوزیک وک، فلدسپاتیک گریوک و لیتیک وک قرار می‌گیرند.

رخساره سیلتی

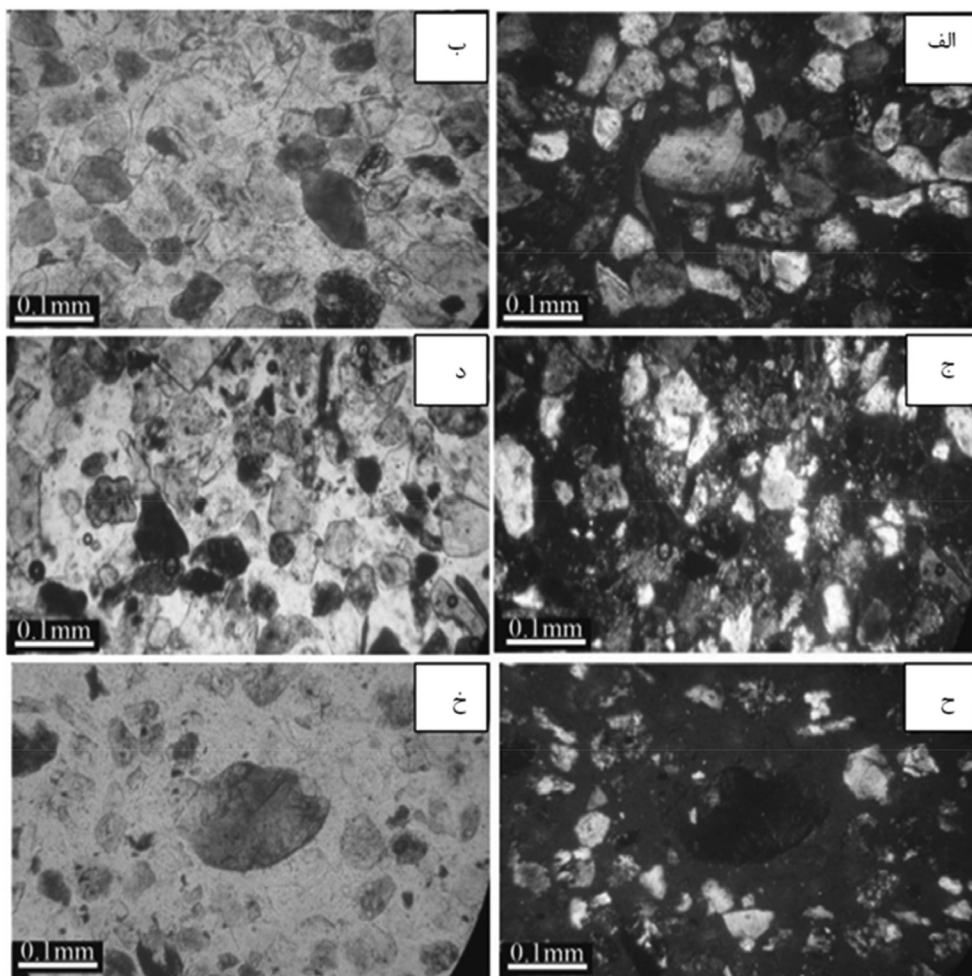
این رخساره در قسمت‌هایی از زون‌هایی ۶ و ۷ دیده می‌شود (شکل ۳). این دانه‌ها در اندازه‌های مختلف از 0.07 mm تا اندازه رس متغییر بوده (شکل ۵). این رسوبات دارای اجزایی نظیر کوارتز مونوکریستالین با فراوانی ۵۰ تا ۵۹٪، کوارتز پلی کریستالین با فراوانی ۲-۱۲٪، فلدسپات با فراوانی ۱۰-۲۷٪، خرده سنگ ولکانیکی با فراوانی ۵-۲۷٪، خرده سنگ دگرگونی با فراوانی ۰ تا ۷٪، خرده سنگ رسوبی با فراوانی ۰-۳٪، کانی‌های سنگین تورمالین و زیرکن به‌صورت اینکلوژن در داخل کوارتز دیده می‌شود. معادل سنگی این رخساره در طبقه‌بندی



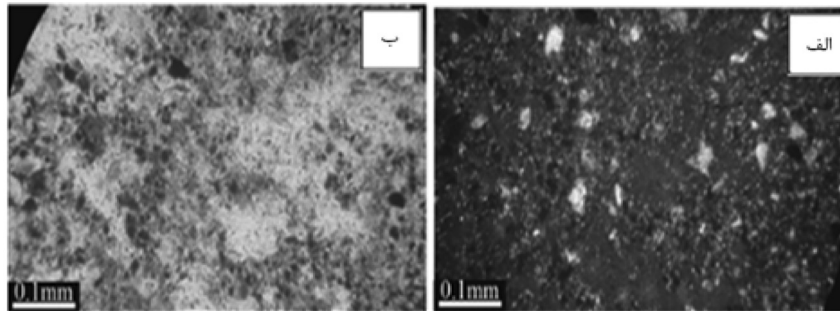
شکل ۴ طبقه‌بندی رسوبات سازندهای آپشرون (دایره) و آچاگیل (مربع) براساس اندازه دانه [۲۲].



شکل ۵ معادل سنگی رخساره‌های رسوبی سازندهای آپشرون (دایره) و آچاگیل (مربع) [۲۴].



شکل ۶ رخساره‌های رسوبی سازندهای آپشرون و آچاگیل عکس‌های سمت راست XPL، عکس‌های سمت چپ PPL می‌باشند. الف و ب) ماسه ریز تا خیلی ریز معادل سنگی آرکوزیک وک ج و د) ماسه ریز تا خیلی ریز معادل سنگی آرکوزیک وک، فلدسپاتیک گری وک و لیتیک گری وک ح و خ) ماسه خیلی ریز معادل سنگی آرکوزیک وک و لیتیک گری وک



شکل ۷ الف و ب) سیلت و رس معادل مادستون.

عمدتا ماسه‌ای و شیلی می‌باشند (شکل ۸).

الکتروفاسیس

داده‌های ورودی

ایجاد یک مدل رخساره الکتریکی در ابتدا نیازمند انتخاب بهترین داده‌های ورودی منطبق بر مطالعه مورد نظر است. به منظور ایجاد یک مدل الکتروفاسیس که بتواند بهترین انطباق را با داده‌های زمین‌شناسی سازندها یعنی رخساره‌های رسوبی داشته باشد، نمودارهای الکتریکی مانند CGR, RHOZ, NPHI که تا حد زیادی متأثر از جنس سنگ و بافت آن می‌باشد انتخاب شده است (شکل ۹).

خوشه‌بندی

خوشه‌بندی داده‌ها پایه و اساس الگوریتم‌های مدل‌سازی و دسته‌بندی محسوب می‌شود. هدف از این فرآیند تعریف گروه‌های طبیعی و اساسی کوچک از یک گروه بزرگ داده‌ها محسوب می‌شود [۲۸]. معمولاً زمانی یک خوشه‌سازی خوب محسوب می‌شود که بیشترین شباهت را بین داده‌های موجود در یک دسته یکسان داشته باشیم و به عبارت دیگر کم‌ترین شباهت را بین دسته‌های مختلف داشته باشیم. روش‌های مختلف خوشه‌سازی را می‌توان به دو گروه کلی مبتنی بر ناظر و بدون ناظر تقسیم کرد. از گروه اول می‌توان از شبکه‌های عصبی پس از انتشار خطا و منطق فازی نام برد و از نوع دوم به شبکه عصبی خود سازمان‌دهنده (SOM)^۱، طبقه‌بندی ترتیبی صعودی (AHC)^۲، خوشه‌سازی پویا (Dynamic clustering) و خوشه‌سازی گراف پایه با توان تفکیک چندگانه (MRGC) اشاره کرد [۲۹].

ارزیابی پارامترهای پتروفیزیکی

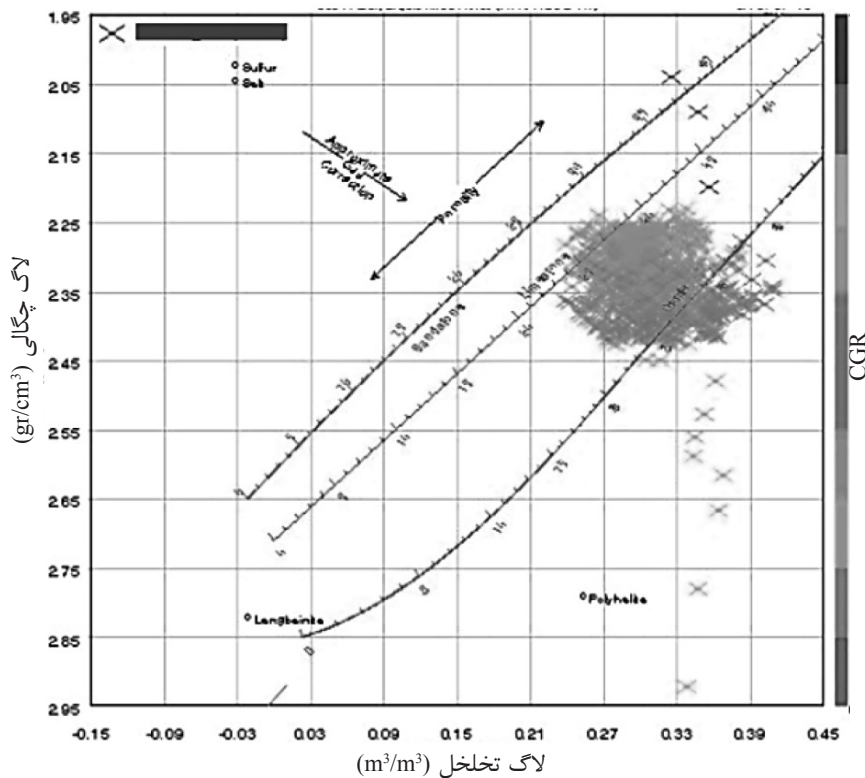
محاسبه تخلخل و تعیین لیتولوژی زون ۷ با استفاده

از کراس پلات‌های نوترون-چگالی

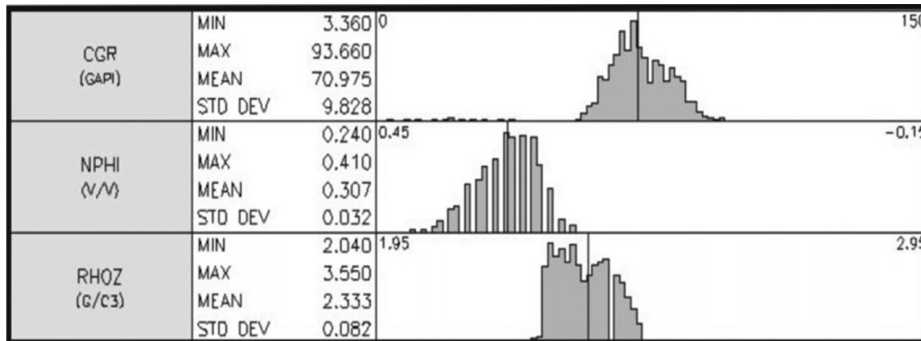
برای به دست آوردن تخلخل از چارت شلومبرژه [۲۵]، چگالی در مقابل نوترون، استفاده شده است. محل پلات شدن نقطه با توجه به فاصله نقطه از خطوط ماتریکس نشان‌گر درصد لیتولوژی است. موازی بودن خطوط نشان‌گر عدم وابستگی تخلخل به لیتولوژی است [۲۵]. موازی بودن نسبی خطوط در کراس پلات نوترون-چگالی نسبت به سایر کراس پلات‌ها، دلیل برتری این کراس پلات بر سایر کراس پلات‌ها است [۲۵]. برای محاسبه تخلخل روش‌های مختلفی ارائه شده است. از جمله ساده‌ترین این روش‌ها می‌توان به روش فرتل [۲۶] اشاره کرد. وجود هیدروکربن به‌ویژه گاز در سازند باعث می‌شود که نقاط به سمت شمال غرب کراس پلات انتقال یابند. این انتقال در مسیر خطی و به موازات خطوط هم تخلخل صورت می‌گیرد. بنابراین تاثیر آن بر تخلخل ناچیز است، ولی در محاسبه لیتولوژی خطا ایجاد می‌کند [۲۵]. وجود شیل در سازند باعث انتقال نقاط به جنوب شرق کراس پلات می‌شوند. با انجام تصحیح شیل بر روی نمودار فوق توسط شرکت ملی نفت خزر (۲۷)، تخلخل به دست آمده از کراس پلات، برابر تخلخل ماتریکس گردید. با مشخص شدن تخلخل شیل می‌توان تخلخل کل را محاسبه نمود. با توجه به کراس پلات داده‌های زون ۷ با ضخامت ۱۲۰ m، تخلخل این زون از ۲۲/۲۵ تا ۲۵/۴۱٪ متغییر بوده که از تخلخل خوبی برخوردار می‌باشد و با توجه به خطوط کراس پلات جنس این رسوبات

1. Self-Organizing Maps

2. Agglomerative Hierarchical Clustering



شکل ۸ محاسبه تخلخل و تعیین لیتولوژی زون ۷ با استفاده از کراس پلات‌های نوترون-چگالی (۲۷).



شکل ۹ توزیع فراوانی نمودارهای الکتریکی استفاده شده برای تهیه مدل رخساره الکتریکی در یکی از چاه‌های خزر جنوبی.

هم‌جواری تعیین می‌گردد. شاخص هم‌جواری از رتبه هر داده، نسبت به داده‌های مورد نظر به دست می‌آید. با توجه به اینکه در روش MRGC به جای استفاده از قدر مطلق فاصله، از رتبه سایر داده‌ها استفاده می‌گردد، براساس شاخص هم‌جواری، (Kernel Representative Inde) برای دو خوشه براساس معادله ۱ تعریف می‌شود [۲۹].

$$KRI(x) = m.NI(x).D(x,y) \quad (1)$$

که در اینجا $D(x,y)$ فاصله بین دو نقطه X و Y در داخل خوشه‌ها می‌باشد.

روش MRGC مزیت‌هایی همچون قدرت شناسایی الگوهای طبیعی موجود در نمودارهای الکتریکی، بی‌نیازی از دانش قبلی در مورد داده‌ها، پیشنهاد خودکار بهترین تعداد خوشه‌ها، کم‌ترین پارامترها و عدم حساسیت به تغییرات آنها و عدم محدودیت در نوع و تعداد داده‌ها و خوشه‌ها دارد [۲۹]. بنابراین این روش به‌عنوان یک روش مفید برای خوشه‌بندی انتخاب شد. در روش خوشه‌بندی بر پایه نمودار چندبعدی، در ابتدا با استفاده از تراکم داده‌ها تعداد بهینه خوشه‌ها، از طریق شاخص

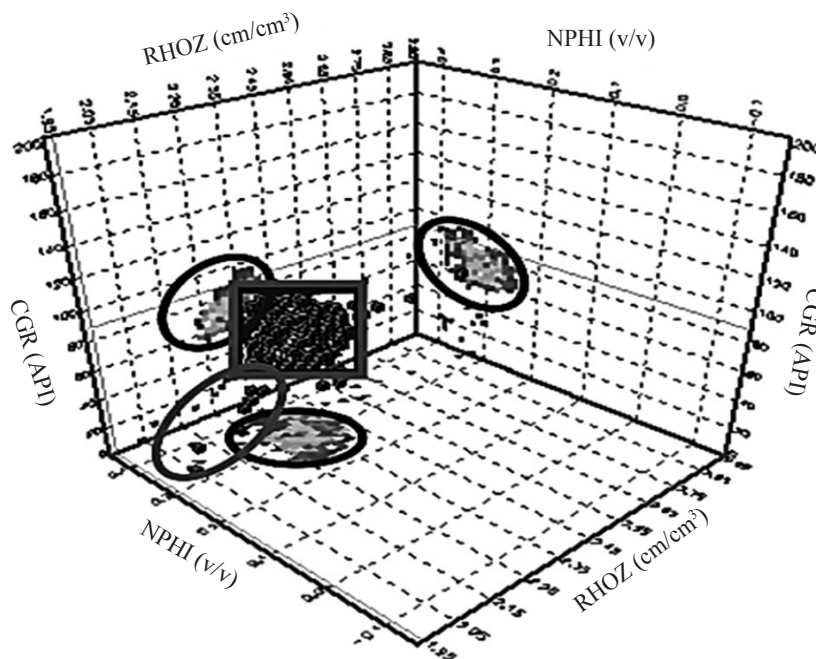
انطباق خوب با مدل رسوبی ۴ رخساره‌ای متعلق به محیط رسوب‌گذاری سازندها، مدل الکتریکی ۵ رخساره‌ای انتخاب شد.

در مرحله بعد نمودار سه‌بعدی CGR ، NPHI و RHOZ به منظور مشخص نمودن روابط این نمودارها با یکدیگر رسم گردید (شکل ۱۰). مقادیر متوسط نمودارهای الکتریکی در هر کدام از الکتروفاسیس‌ها محاسبه گردید (شکل ۱۱). کیفیت مخزنی بهتر در الکتروفاسیس‌ها از روی مقادیر پایین CGR و RHOZ و بالای NPHI قابل تفسیر است (شکل ۱۲).

برای محاسبه فاصله بین داده‌ها که میزان نزدیکی داده‌ها را تعیین می‌کند از روش Euclidean معادله ۲ استفاده شده است.

$$d(i,j)=\sqrt{(xi1 - xj1)^2 + (xi2 - xj2)^2 + \dots + (xip - xjp)^2}$$
 (۲)

در ابتدا برای خوشه‌بندی داده‌ها با توجه به تنوع پایین رخساره‌های رسوبی در رسوبات آواری حد پایین و بالا دسته‌ها به ترتیب ۵ و ۲۰ مدل رخساره‌ای در نظر گرفته شد. مدل ۸ رخساره‌ای به دلیل بهترین حد تفکیک انتخاب شد و رخساره‌هایی که از نظر آماری نزدیک به هم بودند باهم ادغام و تبدیل به یک مدل ۵ رخساره‌ای شد. برای ایجاد



1 **Color FREQUENCY** 16

شکل ۱۰ نمودار سه بعدی فراوانی CGR ، NPHI و RHOZ برای رخساره‌های الکتریکی زون هفت.

FACIES	WEIGHT	CGR	NPHI	RHOZ
1	105	78.27	0.36	2.41
5	260	67.95	0.32	2.32
1	29	79.23	0.30	2.37
3	96	71.21	0.31	2.32
5	72	67.65	0.29	2.31
4	85	68.82	0.28	2.31
5	41	67.40	0.26	2.31
2	118	73.74	0.27	2.34

شکل ۱۱ الکتروفاسیس‌های به دست آمده با روش MRGC در چاه مورد مطالعه.

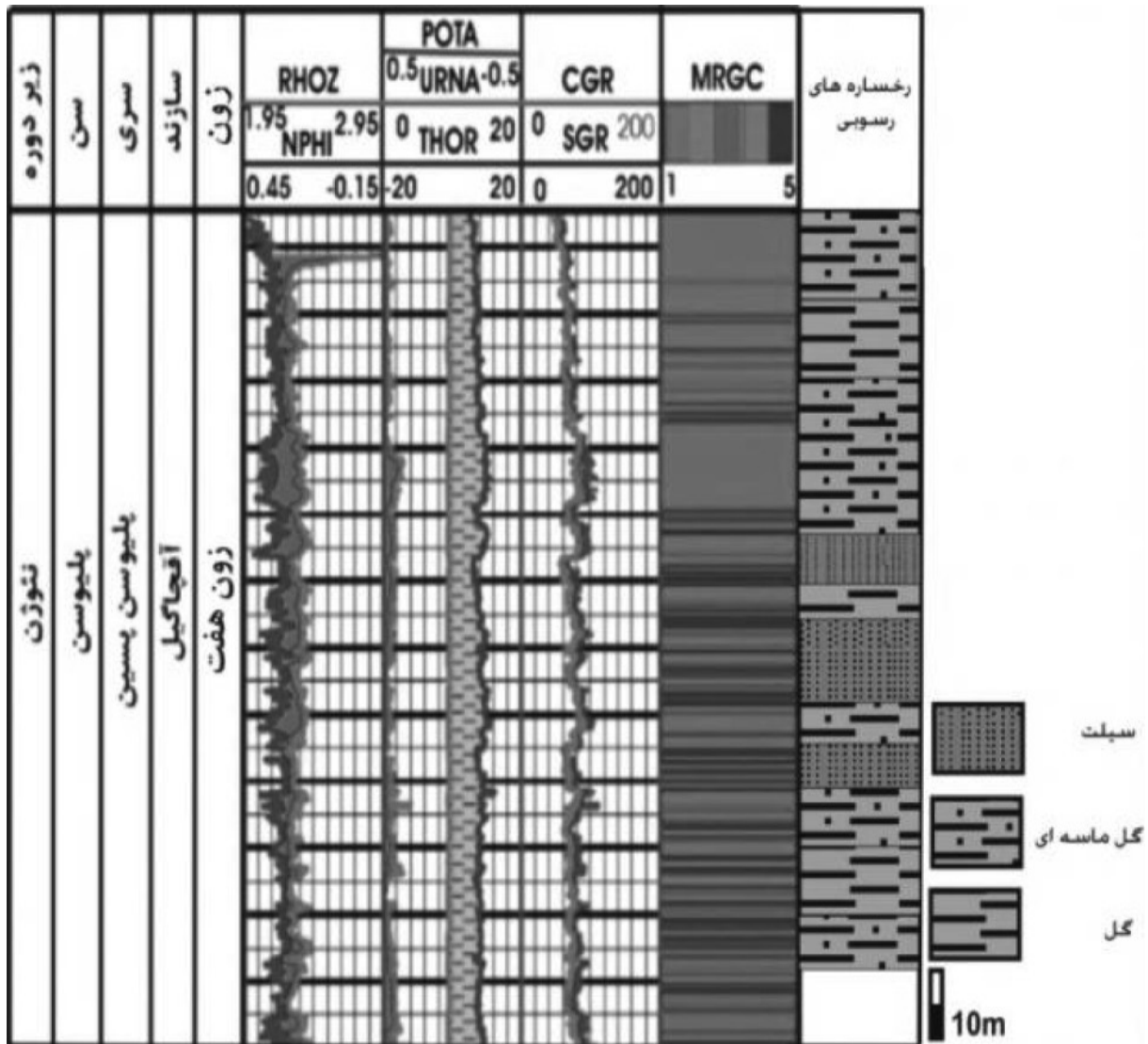
NAME	COL	PAT	WEIGHT	CGR	NPHI	RHOZ
FACIES-1			134			
FACIES-2			118			
FACIES-3			96			
FACIES-4			85			
FACIES-5			373			

شکل ۱۲ رده‌بندی الکتروفاسیس‌های به‌دست آمده با روش MRGC از نظر کیفیت مخزنی در چاه مورد مطالعه.

از آزمون‌های متفاوت، بهترین مدلی که توانست از نظر کیفیت و شرایط مخزنی، مطلوب باشد انتخاب گردید. به این صورت که در این زون از چاه با انطباق مدل به‌دست آمده از رخساره‌های رسوبی با مدل الکتروفاسیس به‌دست آمده از نمودارهای پتروفیزیکی، قادر به تجزیه و تحلیل شرایط مخزنی الکتروفاسیس‌ها باشیم. در مخزن مورد مطالعه، ۸ الکتروفاسیس حاصل شده از روش MRGC، با همدیگر ادغام گردید و این الکتروفاسیس‌ها از نظر کیفیت مخزنی در ۵ رده و در شماره‌های ۱ تا ۵ تقسیم شدند که الکتروفاسیس ۱ به دلیل مقدار بالای CGR پایین‌ترین کیفیت مخزنی و الکتروفاسیس ۵ به دلیل میزان پایین CGR و ماسه‌ای بودن بهترین کیفیت مخزنی را دارند (شکل ۱۱). در ادامه با استفاده از روش K-Nearest-Neighbor (KNN Facies Propagation) با قیاس الکتروفاسیس‌های تعیین شده در چاه مورد مطالعه، با رخساره‌های رسوبی مشخص گردید که رخساره سیلتی با الکتروفاسیس ۵ (دارای کیفیت مخزنی خوب) و رخساره گلی با الکتروفاسیس ۱ (دارای کیفیت مخزنی پایین) قابل تطبیق است.

بحث و نتایج

چون زون ۷ از داده‌های کاملی برخوردار بود الکتروفاسیس‌های این زون تعیین گردید. (شکل ۱۳) میزان فراوانی نمودار CGR نشان‌دهنده میزان شیل موجود در هر رخساره می‌باشد و می‌تواند کیفیت مخزنی رخساره‌ها را به دلیل کاهش میزان نفوذپذیری پایین آورد. مقدار فاصله CGR با SGR نشان‌دهنده نفت اروانیوم‌دار می‌باشد [۳۰]. مقایسه نمودارهای NPHI و RHOZ در عمق‌هایی که این دو نمودار از هم فاصله گرفته‌اند نشانگر افزایش میزان تخلخل و کاهش چگالی است [۳۰]. لذا کیفیت مخزنی رخساره افزایش یافته است. با توجه به کراس پلات نوترون و چگالی، تخلخل این زون از ۲۲/۲۵ تا ۲۵/۴۱٪ متغیر بوده که از تخلخل خوبی برخوردار است. با توجه به خطوط کراس پلات جنس این رسوبات عمدتاً ماسه‌ای و شیلی است که با مدل الکتریکی تعیین شده تطابق خوبی را نشان می‌دهند. مدل الکتروفاسیس زون ۷ می‌تواند برای کل چاه تعمیم داده شود و همچنین آن را در تفسیر محیط رسوبی به‌کار گرفت. بنابراین در زون ۷ که دارای داده‌های کامل پتروفیزیکی و رسوبی است بعد



شکل ۱۳ لاگ‌های پتروفیزیکی و الکتروفاسیس‌های زون ۷ سازند آقچاگیل.

استفاده از نمودارهای RHOZ و CGR، NPHI و روش خوشه‌بندی MRGC، ادغام رخساره‌های مشابه در مدل ۸ الکتروفاسیس به‌دست آمده از روش MRGC صورت گرفت که نهایتاً یک مدل ۵ رخساره‌ای تعیین گردید. الکتروفاسیس ۱ دارای کم‌ترین کیفیت مخزنی و رخساره ۵ دارای بیشترین کیفیت مخزنی است. مقایسه الکتروفاسیس و رخساره رسوبی نشان می‌دهد که کیفیت مخزنی به‌ترتیب از سیلت به گل‌ماسه‌ای و گل کاهش می‌یابد. با توجه به مطالعات، نتایج و تخلخل خوب (۲۲/۲۵ تا ۲۵/۴۱٪) زون ۷ که از کراس پلات نوترون

نتیجه‌گیری

در این مطالعه با بررسی ۴۰ مقطع نازک مربوط به خرده‌های حفاری سازندهای آپشرون و آقچاگیل (در قسمتهایی از چاه که این خرده‌های حفاری وجود داشتند)، چهار رخساره رسوبی سیلت ماسه‌ای، گل ماسه‌ای، سیلتی و گلی تعیین گردید. زون‌بندی پتروفیزیکی از روی تغییرات نمودار گاما و رخساره‌های رسوبی انجام گرفت که در مجموع ۸ زون تفکیک شد. با توجه به غنی بودن داده‌های پتروفیزیکی و اطلاعات زمین‌شناسی در زون ۷، این زون برای بررسی کیفیت مخزنی انتخاب گردید. با

و چگالی نتیجه شد، این زون استعداد مخزنی خوبی دارد. مولفان بر خود لازم می‌دانند تا از حمایت‌های بی‌دریغ شرکت ملی نفت خزر برای انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

تقدیر و تشکر

مراجع

- [1]. Javanshir R. J., Riley G. W., Duppenbecker S. J. and Abdullayev N., "Validation of interalfuidflow in an overpressured sand-shale sequence during development of Azeri-Chirag-Gunashli oilfield and Shah Deniz gasfield", South Caspian Basin, Azerbaijan, Marine and Petroleum Geology, Vol. 59, PP. 593-610, 2015.
- [2]. Esedo R., "Spectral gamma ray log chracterization of balakhany VIII reservoir unit of Azeri Chirag gunashli field, offshore Azerbaijan," M.S.c. Thesis, University of Houston, p. 92, 2009.
- [3]. Hinds D. J., Simmons M. D., Allen M. B., and Aliyeva E., "Architecture variability in the Pereriva and Balakhany suites of the neogene productive series, Azerbaijan: implications for reservoir quality: in, Yilmaz, P.O and Isaksen, G.H ed., Oil and gas of the Greater Caspian area", AAPG Studies in Geology 55, pp. 87-107, 2007.
- [4]. Morton A., Allen M., Simmons M., Spathopoulos F., Still J., Hinds D., Zadeh A.I. and Kroonenberg S., "Provenance patterns in a neotectonic basin: pliocene and quaternary sediment supply to the South Caspian," Basin Research, Vol. 15, pp. 321-337, 2003.
- [5]. Vincent S. J., Davies C. E., Richards K. and Aliyeva E., "Contrasting pliocene fluvial depositional systems within the rapidly subsiding South Caspian Basin; acase study of the palaeo-Volga and palaeo-Kura river systems in the Surakhany Suite, upper productive series, onshore Azerbaijan", Marine and Petroleum Geology, Vol. 27, pp. 2079-2106, 2010.
- [6]. باقری تیر تاش الف، "مطالعه و تطابق داده‌های زمین‌شناسی میادین شاه‌دنیز- لنکران و تاش‌دنیز آذربایجان"، گزارش زمین‌شناسی، شرکت اکتشاف و تولید نفت خزر، ۱۳۸۹.
- [7]. Smith Rouch L. S., "Oligocene-miocene maykopl diatom total petroleum system of the south Caspian basin province, Azarbaijan, Iran and Turkmenistan", Bulletin 2201-I, U.S. Geological Survey, 27. 2006.
- [8]. Feyzullayev A., "Mud volcanoes in the South Caspian basin: nature and estimated depth of its products," Natu-ral Science. Vol. 4, No. 7, pp. 445-453, 2012.
- [9]. Asli Surek M., "Cluster analysis of the balakhany vill reservoir unit with spectral gamma ray logs Azeri-chirag-Gunashli field offshore Azerbaijan a thesis presented to the faculty of the department of earth and atmospheric", Sciences University of Houston 121. 2013.
- [۱۰]. رفیعی ب، "رسوب‌شناسی و محیط رسوبی و ژئوشیمی سازندهای آقچاگیل و آپشرون در منطقه دشت مغان، شمال غرب ایران"، پایان‌نامه دکترا، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۳۷۹.
- [۱۱]. بحرینی س.ر، اتحاد ک، "زمین‌شناسی حوضه جنوب خزر از نگاهی دیگر"، انتشارات سارگل، چاپ اول، ۲۷۶ صفحه، ۱۳۹۴.
- [12]. Sfidari E., Amini A., Kadkhodaie A. and Ahmadi B., "Electrofacies clustering and a hybrid intelligent based method for porosity and permeability prediction in the South Pars Gas Field", Persian Gulf, Jgeope, Vol. 2, pp. 11-23, 2012.

- [۱۳]. نوریان ی، "تهیه مدل رخساره‌ای مخزن بنگستان در میدان منصوری با استفاده از رخساره‌های الکتریکی،" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۸۷ صفحه، ۱۳۹۲.
- [14]. Lucia F.J., "Rock-fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization," AAPG, Vol. 79, No.9, PP. 1275-1300, 1995.
- [۱۵]. رحیمی ب.ع، پرهام س، "تجزیه و تحلیل رخساره‌های الکتریکی براساس رخساره‌های رسوبی،" دوره ۵، شماره ۱، صفحات ۶۱-۷۴، ۱۳۹۱.
- [16]. Serra O. and Sulpice L., "Sedimentological Analysis of shale-sand series from well logs," SPWLA, 16th Ann. Log. Symp, 1975.
- [17]. Rabiller P., "Facies prediction and data modeling for reservoir characterization," 1st ed., Rabiller Geo-consulting, 2005.
- [18]. Wolff M. and Pelissier-combesure., "Automatic electrofacies determination, 23rd Annual Logging Symposium Transactions," Society of Professional Well Log Analysts, p. 22, 1982.
- [19]. Serra O., "Fundamentals of well-log, The interpretation of logging data", Amsterdam Elsevier., Vol. 2, p. 684, 1986.
- [۲۰]. گلی ط، موسوی حرمی ر، محبوبی ا، کدخدائی ع، طاعتی ف، "طبقه‌بندی الکتروفاسیس‌های ماسه‌سنگ‌های سازندهای چلکن و آقچاگیل براساس داده‌های پتروفیزیکی در یکی از چاه‌های خزر جنوبی،" سی و سومین گردهمایی علوم زمین، ۱۳۹۳.
- [21]. Ye S., Rabiller P., "A new tool for electrofacies analysis," Multi resolution graph based clustering, SPWLA, 41 Annual Logging Symposium, 2000.
- [22]. Folk R. L., "The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary nomenclature," Journal of Geology, Vol.62, pp. 344-359, 1974.
- [23]. Folk E., "Petrography of sedimentary rocks," Hemphill Publishing Company, 1980.
- [24]. Petijohn F.J., Potter P.E., Siever R., "Sand and sandstone Second editim", Springer- Verlog, New, 1986.
- [۲۵]. رضایی م.ر، چهارازی ع، "اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه‌پیمایی،" انتشارات دانشگاه تهران، ۷۰۰ صفحه، ۱۳۸۹.
- [26]. Fertl W.H., Open hole cross- plot concepts- A powerful technique in well log analysis, J. Pet. Tech. Vol.33, March, pp. 535-549, 1981.
- [۲۷]. خادم م، "گزارش داخلی شرکت ملی نفت خزر،" ۹۲ صفحه، ۱۳۹۳.
- [۲۸]. کدخدائی ایلخچی ع، رضایی م.ر، معلمی س.ع، شیخ‌زاده ا، "تخمین گونه‌های سنگی و تراوایی در میدان گازی پارس جنوبی با استفاده از تکنیک خوشه‌سازی میان منطق فازی و مدل‌سازی فازی،" نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه خوارزمی تهران، ۱۳۸۴.
- [29]. Ye S., Rabiller P., "A new tool for electrofacies analysis: Multi resolution graph based clustering," SPWLA, 41 Annual Logging Symposium, 2000.
- [30]. Schlumberger, "Log Interpretation Principles/Applications," Houston , SMP-7017, 1989.