

(مقاله پژوهشی)

زون‌بندی مخزنی بر اساس داده‌های پتروگرافی و پتروفیزیکی (مطالعه موردی: بخش بالایی سازند سروک در یکی از میدان‌های نفی ناحیه دشت آبادان، جنوب غربی ایران)

آراد کیانی^۱، محمدحسین صابری^{۱*}، بهمن زارع نژاد^۲، الهام اسدی مهماندوستی^۳، نسیم رحمانی^۴

۱- گروه اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- گروه صنایع گاز، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۴- شرکت مهندسی و توسعه نفت، تهران، ایران

(دریافت: فروردین ۱۴۰۰، پذیرش: تیر ۱۴۰۰)

چکیده

سازند سروک در کرتاسه میانی به سن آلبین - تورونین با ترکیب سنگ‌شناسی غالب سنگ‌آهک و آهک دولومیتی یکی از مهم‌ترین مخازن نفی در جنوب غربی ایران به شمار می‌رود. در این مطالعه به‌منظور ارزیابی کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سروک در یکی از میدان‌های نفی ناحیه دشت آبادان از نتایج مطالعات مقاطع نازک میکروسکوپی، داده‌های تخلخل-تراوایی مغزه و نمودارهای پتروفیزیکی یک چاه استفاده شده است. بر اساس مطالعات مقاطع میکروسکوپی، سازند سروک در ۵ کمر بند رخساره‌ای پهنه جزر و مدی، لاگون، پشته سدی، رمپ میانی و رمپ خارجی نهشته شده است. انحلال، شکستگی، سیمانی شدن، تراکم و دولومیتی‌شدن از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر تغییرات کیفیت مخزنی این سازند به حساب می‌روند. رخساره‌های الکتریکی (EF) بر مبنای نمودارهای چاه‌پیمایی و آنالیز خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی تعیین شده است. با استفاده از روش‌های پتروفیزیکی شاخص زون جریانی (FZI) و لورنز اصلاح‌شده بر مبنای چینه‌شناسی (SMLP) به ترتیب ۵ و ۷ واحد جریانی تعیین شد. در نهایت، مطالعات مقاطع میکروسکوپی، رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریانی هیدرولیکی در چارچوب زون‌بندی مخزنی به روش لورنز بررسی شده و ارتباطات آن‌ها مورد بررسی و تفسیر قرار گرفته است. در نتیجه، رخساره‌های دانه پشتیبان مربوط به کمر بندهای رخساره‌ای پشته سدی و رمپ میانی (به سمت خشکی) و فرآیندهای دیاژنزی افزاینده کیفیت مخزنی مانند انحلال و شکستگی بهترین زون‌های مخزنی را تشکیل داده‌اند. در طرف مقابل، رخساره‌های گل پشتیبان کمر بندهای رخساره‌ای رمپ میانی (به سمت دریای باز) و رمپ خارجی، پهنه جزر و مدی و لاگون و فرآیندهای دیاژنزی کاهنده مانند سیمانی‌شدن، تراکم و دولومیتی‌شدن به‌عنوان زون‌های ضعیف یا غیر مخزنی معرفی شده‌اند. به‌طور کلی رخساره‌های رسوبی و بعد از آن دیاژنزی، مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده گسترش زون‌های مخزنی در بخش بالایی سازند سروک محسوب می‌شوند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که زون‌بندی مخزنی بر اساس روش لورنز اصلاح‌شده بر مبنای چینه‌شناسی (SMLP) می‌تواند در تفسیر ناهمگنی‌های مخزنی بخش بالایی سازند سروک در مقیاس میدانی مفید باشد.

کلمات کلیدی

پتروگرافی، زون‌بندی مخزنی، کیفیت مخزنی، واحدهای جریانی، رخساره‌های الکتریکی

* عهده دار مکاتبات: Mh.saberi@semnan.ac.ir

۱- مقدمه

سنگ‌های کربناته یکی از بهترین و مهم‌ترین مخازن و ذخایر نفتی در جهان محسوب می‌شوند [۱]. این مخازن در مقابل مخازن ماسه‌سنگی دارای ناهمگنی و پیچیدگی‌های زمین‌شناسی بیشتری هستند که به‌وضوح در نحوه توزیع تخلخل و تراوایی آن‌ها مشاهده می‌شود. مدل‌سازی ساختاری و زمین‌شناسی در مدیریت مخزن برای تجزیه و تحلیل ناهمگنی مخزن صورت می‌گیرد، زیرا ذخیره و جریان سیالات را در محیط‌های متخلخل کنترل می‌کند [۲]. خواص مخزنی توسط فرآیندهای دیاژنزی و رسوب‌شناسی کنترل می‌شوند، به همین علت مدل‌سازی مخازن کربناته دشوار است [۳]. ناهمگنی کربناته‌ها به این صورت است که احتمال دارد قسمتی از سنگ در مرحله رسوب‌گذاری ویژگی مخزنی پیدا کند اما در مرحله دیاژنزی این ویژگی را از دست دهد و یا بالعکس آن به وقوع بپیوندد [۴، ۵]. مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی شامل رخساره‌های رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی نخستین و اساسی‌ترین قدم در تجزیه و تحلیل مخازن کربناته است [۱]. نوع تخلخل، هندسه گلوگاه منافذ، توزیع اندازه حفره‌ها و تراوایی تحت تأثیر محیط‌های رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی هستند [۶]. تعیین گونه‌های سنگی با روش‌های مختلف یکی از مراحل شناسایی ویژگی‌های مخزنی و پهنه‌بندی مخزنی قلمداد می‌شود [۷]. داده‌های پتروفیزیکی به همراه داده‌های زمین‌شناسی می‌توانند اطلاعات جامع و دقیق‌تری از ویژگی‌های مخزنی در اختیار پژوهشگران قرار دهند [۸].

روش‌های مختلفی برای تعیین گونه‌های سنگی وجود دارد که از میان آن‌ها می‌توان به روش‌های رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریانی اشاره کرد [۹-۱۱]. رخساره الکتریکی درواقع روشی است که طی آن نمودارهای چاه‌پیمایی از خود واکنش معینی نشان می‌دهند و از این طریق واحدهای رسوبی از یکدیگر تفکیک می‌شوند [۱۲]. در این روش به‌جای استفاده از یک نمودار از چند نمودار چاه‌پیمایی استفاده می‌شود تا ویژگی‌ها و خصوصیات بیشتری از یک لایه نمایش داده شود [۱۳-۱۴]. واحدهای جریانی یک روش برای دسته‌بندی سنگ‌های مخزنی به واحدهای گوناگون و مجزا است که درواقع تحت شرایط زمین‌شناسی و پتروفیزیکی مشابه قرار گرفته است و نقش مهمی در حرکت سیالات بر عهده دارد [۶، ۷، ۱۰، ۱۵]. واحدهای جریانی نمایی از ناهمگنی در سراسر مخزن در

مقیاس‌های مختلف از یک چاه تا یک میدان است [۱۶]. اکتشاف منابع جدید هیدروکربوری در ناحیه دشت آبادان بیانگر نیاز به انجام مطالعات بیشتر جهت تعیین محیط رسوبی، شناسایی فرآیندهای دیاژنزی و واحدهای مخزنی است. سازند کربناته سروک و معادل آن در صفحه عربی، یکی از مهم‌ترین مخازن نفتی ناهمگن شناسایی‌شده در مناطق زاگرس و خلیج فارس است [۱۷-۲۱]. قرارگیری سازند سروک در مجاورت فرآیندهای جوی تأثیر ویژه‌ای بر سیستم‌های منفذی و مقادیر تخلخل-تراوایی آن در زمان ناپیوستگی‌های تورونین میانی و سنومانین - تورونین داشته است [۲۰، ۲۲]. به دلیل ناهمگنی رخساره‌ها و فرآیندهای دیاژنزی، کربنات‌های سازند سروک دستخوش تغییرات زیادی در توزیع مقادیر تخلخل و تراوایی شده‌اند. اهمیت این تغییرات سبب شده که مطالعات بسیاری از جنبه‌های مختلف زمین‌شناسی و مخزنی مانند آنالیز رخساره‌های رسوبی، محیط رسوبی، فرآیندهای دیاژنزی، چینه‌شناسی سکansı و پتروفیزیکی در ایران و صفحه عربی صورت گیرد [۱۷، ۱۸، ۲۰-۳۴]. بااین‌حال، مطالعات اندکی پیرامون ارتباط داده‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی در ناحیه دشت آبادان صورت گرفته است [۲۸-۳۴]. درواقع نقش کنترل‌های زمین‌شناسی در توزیع واحدهای جریان و سهم آن در خواص مخزن سازند سروک هنوز به‌اندازه کافی در نظر گرفته نشده است. تغییرات گسترده در تخلخل و تراوایی باعث می‌شود صحبت در مورد پهنه‌بندی بر اساس رخساره‌های رسوبی، فرآیندهای دیاژنزی و رخساره‌های الکتریکی در چارچوب واحدهای جریانی مفید باشد. هدف اصلی این مطالعه بررسی کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سروک در یکی از میدان‌های نفتی ناحیه دشت آبادان با استفاده از آنالیز رخساره‌ها و محیط رسوبی، سیستم منافذ، فرآیندهای دیاژنزی، رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریانی است. برای دستیابی به این اهداف مجموعه‌ای از داده‌های مقاطع میکروسکوپی، داده‌های تخلخل-تراوایی مغزه و نمودارهای چاه‌پیمایی استفاده شده است. مزیت استفاده از این روش قابلیت پیش‌بینی و توجیه تغییرات کیفیت مخزنی، ایجاد و ارائه مدل‌سازی مخزنی، پهنه‌بندی مخزنی و کاهش هزینه‌های حفاری در میدان نفتی مورد مطالعه است.

۲- زمین‌شناسی و موقعیت میدان نفتی مورد مطالعه

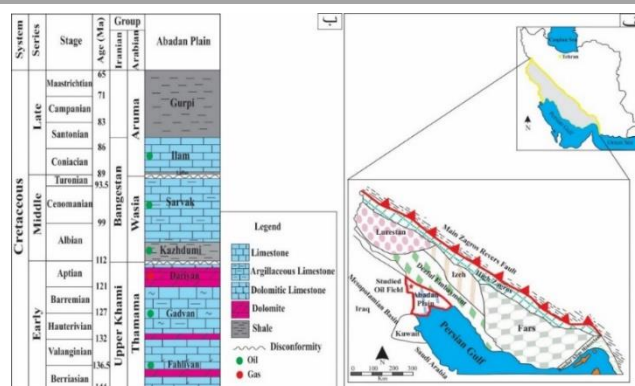
توالی کربناته کرتاسه در صفحه‌ی عربی و حوضه زاگرس میزبان ذخایر مهم هیدروکربنی است [۳۵، ۳۶]. در کرتاسه

بالایی آن با شیل و مارن سازند گورپی قاطع است [۴۱]. در ناحیه دشت آبادان یک لایه نازک به ضخامت حدودی ۵ تا ۱۰ متر دارای ترکیب سنگ‌شناسی رس و یا شیل به نام بخش لافان، سازند سروک را از ایلام جدا کرده است (شکل ۱-ب) [۴۶]. ضخامت سازند سروک در چاه مورد مطالعه ۶۱۵ متر است که بخش بالایی آن به ضخامت ۲۶۹ متر مطالعه شده است. سنگ‌شناسی سازند سروک در این چاه غالباً شامل سنگ‌های آهکی تمیز است. در قسمت‌هایی از توالی مورد مطالعه آهک دولومیتی، دولومیت‌های آهکی و آهک حاوی رس نیز دیده می‌شود.

۳- مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل ۲۶۹ متر از مغزه‌های حفاری، ۶۹۴ عدد مقطع نازک تهیه‌شده از مغزه‌ها، داده‌های تخلخل-تراوایی از ۵۴۸ نمونه پلاگ مغزه و نمودارهای پتروفیزیکی شامل گاما، نوترون، صوتی، چگالی و مقاومت در یک چاه کلیدی (دارای مغزه) در یکی از میدان‌های نفتی ناحیه دشت آبادان در جنوب غربی ایران است. جهت تشخیص کلسیت از دولومیت یک‌سوم از تمامی مقاطع نازک با محلول آلزاین قرمز و فروسیانید پتاسیم به روش دیکسون رنگ‌آمیزی شده است [۴۷]. طبقه‌بندی بافت رسوبی و نام‌گذاری سنگ‌های کربناته از روش دانهام [۴۸] و امری و کلوان [۴۹] و برای تفسیر رخساره‌ها از مدل استاندارد فلوگل [۵۰] استفاده شده است. پس از کنترل کیفی داده‌های چاه‌پیمایی مانند تصحیح‌های محیطی، شیل و هیدروکربن در نرم‌افزار ژئولاگ، از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی برای تعیین رخساره‌های الکتریکی استفاده شده است. بر اساس داده‌های تخلخل و تراوایی با استفاده از روش‌های پتروفیزیکی شاخص زون جریانی (FZI) [۹] و لورنز اصلاح شده بر مبنای چینه‌شناسی (SMLP) [۱۰] واحدهای جریانی شناسایی و معرفی شده است. اندازه‌گیری تخلخل به روش هلیوم و اندازه‌گیری تراوایی با استفاده از هوا از قبل توسط شرکت مهندسی و توسعه نفت (متن) صورت گرفته بود. درنهایت مطالعات پتروگرافی (بافت رسوبی، کمربندهای رخساره‌ای، فرآیندهای دیاژنری و سیستم منافذ) و مطالعات پتروفیزیکی در چارچوب زون‌های معرفی‌شده به روش لورنز اصلاح‌شده بر مبنای چینه‌شناسی (SMLP) انطباق داده‌شده و ارتباط بین آن‌ها مورد بررسی و تفسیر قرار گرفت.

میانی فعالیت دوباره قائم بلوک‌های پی‌سنگی و حرکت‌های زمین‌ساختمانی نمک باعث تشکیل چندین بالاآمدگی از جمله بلندی‌های هندیجان و بورگان - آزادگان و پایین‌آمدگی در فروافتادگی دزفول و دشت آبادان شده است. تاقدیس این ناحیه در سطح زمین فاقد هرگونه رخنمون بوده که توسط آبرفت‌های زمان حاضر پوشیده شده است [۳۸،۳۷]. ناحیه دشت آبادان به عنوان بخشی از حوضه رسوبی زاگرس یکی از مهم‌ترین مناطق هیدروکربنی ایران محسوب می‌شود [۳۸]. میدان‌های هیدروکربنی این ناحیه دارای دو امتداد اصلی در پهنه زاگرس و صفحه عربی هستند. در پهنه زاگرس امتداد شمال غربی - جنوب شرقی و در صفحه عربی شمالی - جنوبی و شمال شرقی - جنوب غربی است [۳۷]. میدان نفتی مورد مطالعه در دشت آبادان واقع‌شده و بین ایران و عراق مشترک است و ما را از ذکر نام واقعی آن بازمی‌دارد. این میدان در ۸۰ کیلومتری غرب اهواز و ۳۰ کیلومتری جنوب غربی میدان نفتی جفیر قرار گرفته است (شکل ۱-الف). میدان نفتی مورد مطالعه با روند شمالی - جنوبی در ناحیه دشت آبادان به عنوان یکی از زیرپهنه‌های ناحیه زاگرس و بر روی بلندای دیرینه بورگان واقع‌شده است و شباهت زیادی به حوضه مزوپوتامین عراق دارد [۳۷-۳۸]. در این میدان نفتی چهار سازند سروک، کژدمی (ماسه‌سنگ بورگان)، گدوان (ماسه‌سنگ زبیر) و فلهیان به عنوان سنگ مخزن شناخته شده‌اند [۳۹،۲۷]. توالی کرتاسه آلبین - تورونین ناحیه خوزستان و فارس در پهنه زاگرس شامل سازندهای سروک و کژدمی بین دو ناپیوستگی منطقه‌ای آپتین پسین و تورونین پیشین قرار گرفته‌اند [۴۰]. سازند سروک به سن آلبین-تورونین یکی از سازندهای گروه بنگستان است [۴۱] که در حاشیه جنوب تیتیس جدید رسوب‌گذاری کرده است [۱۹]. این سازند در خلیج فارس معادل سازندهای احمدی، مودود و میشریف، در عراق و عربستان سعودی معادل سازندهای احمدی، وارا و میشریف و در عمان معادل سازند ناتج است [۴۲]. سازند سروک پس از سازند آسماری به عنوان دومین افق نفتی ایران در نظر گرفته می‌شود [۴۳]. تغییرات سطح آب دریا از آلبین تا تورونین، فعالیت زمین ساختی و وجود آب‌وهوای گرم و مرطوب تأثیر زیادی بر گسترش رسوبات، فرآیندهای دیاژنری و انحلال قابل‌توجه داشته است که درنهایت باعث افزایش کیفیت مخزنی به‌ویژه در واحدهای کربناته گل پشیمان ناحیه جنوب غربی ایران شده است [۴۴]. حد پایینی سازند سروک در برش نمونه [۴۵] با سازند کژدمی تدریجی و همساز و حد



شکل ۱- (الف) تقسیم‌بندی زیرپهنه‌های اصلی زاگرس [۴۵]، (ب) چینه‌شناسی کرتاسه در ناحیه دشت آبادان با اندکی تغییرات از [۴۶]

۴- نتایج و بحث

۴-۱- مطالعات پتروگرافی

۴-۱-۱- کمربندهای رخساره‌ای

کیفیت مخازن کربناته به عوامل مختلفی از جمله رخساره‌ها، فرآیندهای دیاژنزی و ویژگی‌های تکتونیکی وابسته است [۵۱]. تفسیر ریزرخساره‌ها و کمربندهای رخساره‌ای یکی از مهم‌ترین قسمت‌های تجزیه و تحلیل زمین‌شناسی مخازن است [۵۳، ۵۲، ۴۱]. با توجه به تحلیل‌های رخساره‌ای ۱۳ ریزرخساره رسوبی در قالب ۵ کمربند رخساره‌ای پهنه جزر و مدی، لاگون، پشته سدی، رمپ میانی و رمپ خارجی تفسیر شد (شکل ۲). از آنجا که هدف اصلی این مطالعه بررسی کیفیت مخزنی است، به صورت خلاصه به معرفی کمربندهای رخساره‌ای پرداخته شده است. ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی سازند سروک در میدان نفتی مورد مطالعه، در مطالعات گذشته به صورت جامع تفسیر شده است [۵۴]. کمربند رخساره‌ای پهنه جزر و مدی شامل ریزرخساره MF-1 با بافت گل پشתיبان بوده و بلورهای دولومیتی شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار به مقدار ۱۵ تا ۲۰ درصد در آن قابل مشاهده است (شکل ۲- الف). کمربند رخساره‌ای لاگون شامل ریزرخساره‌های MF-2 تا MF-4 است. بافت این کمربند رخساره‌ای از گل تا دانه پشתיبان متغیر بوده و دارای بیشترین میزان اجزای اسکلتی می‌باشد. ریزرخساره MF-2 بافت وکستونی دارد و روزن‌داران کفزی و پلوئید در آن فراوان است. دیگر اجزای اسکلتی مانند خرده‌های رودیست، دوکفه‌ای‌ها، خارپوست، شکم‌پایان، رودیست و جلبک‌ها به صورت نادر در این ریزرخساره مشاهده شده است. این ریزرخساره در محیط لاگون محدود تشکیل شده است (شکل

۲- ب). ریزرخساره MF-3 دارای بافت گل تا دانه پشתיبان و اجزای اسکلتی اصلی آن شامل خرده‌های خارپوست، دوکفه‌ای‌ها، مرجان، روزن‌داران کفزی و استراکود می‌باشد. پلوئید مهم‌ترین اجزای غیراسکلتی این ریزرخساره است. این ریزرخساره در بخش کم انرژی مرکزی محیط لاگون واقع شده است (شکل ۲- پ). ریزرخساره MF-4 دارای بافت دانه پشתיبان بوده است و شامل مقدار زیادی انواع روزن‌داران کفزی و شکم‌پایان، خارپوستان، دوکفه‌ای‌ها و خرده‌های رودیست می‌باشد. پلوئید و اینتراکلاست شاخص‌ترین اجزای غیر اسکلتی آن محسوب می‌شود. این ریزرخساره در محیط لاگون به سمت پشته‌سدی نهشته شده است (شکل ۲- ت). کمربند رخساره‌ای پشته سدی شامل ریزرخساره‌های دانه پشתיبان MF-5 تا MF-8 است. ریزرخساره‌های این کمربند دارای بیشترین اجزای غیراسکلتی هستند. ریزرخساره‌های MF-5 (شکل ۲- ث) و MF-6 (شکل ۲- ج) دارای انواع روزن‌داران کفزی هستند و پلوئید و اینتراکلاست به مقدار فراوان قابل تشخیص می‌باشد. فراوانی بالای انواع روزن‌داران کفزی و بافت دانه پشתיبان مشخصه‌ای از نهشته شدن ریزرخساره‌های نامبرده در محیط پرنرژی پشته سدی کم عمق به طرف لاگون است. در ریزرخساره‌های MF-7 (شکل ۲- چ) و MF-8 (شکل ۲- ح) فراوانی روزن‌داران کفزی نسبت به دو ریزرخساره قبلی کاهش یافته و در مقابل آن مقدار رودیست‌ها، خرده‌های رودیستی و خارپوستان افزایش قابل توجهی می‌یابند. این شواهد بیانگر نهشته شدن ریزرخساره‌های MF-7 و MF-8 در محیط پرنرژی پشته سدی به سمت دریای باز است. رمپ میانی شامل ریزرخساره‌های MF-9 تا MF-11 است. ریزرخساره MF-9 دارای بافت پکستونی است و خارپوستان ۴۰ تا ۴۵ درصد این ریزرخساره را تشکیل داده‌اند (شکل ۲- خ). مهم‌ترین اجزای غیراسکلتی آن پلوئید است.

۴-۱-۲- فرآیندهای دیاژنزی

کربنات‌ها از لحاظ ماده معدنی ناپایدار بوده و این توانایی را دارند که پس از رسوب‌گذاری تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنزی قرار بگیرند [۵۱]. با توجه به این اهمیت فرآیندهای دیاژنزی سازند سروک از طریق مقاطع نازک میکروسکوپی مورد مطالعه قرار گرفته است. انحلال، سیمانی‌شدن، شکستگی، تراکم مکانیکی و شیمیایی، دولومیتی‌شدن، میکرایتی‌شدن، نوشکلی و آشفستگی زیستی از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی شناسایی‌شده در بخش بالایی سازند سروک در میدان نفتی مطالعه هستند (شکل ۴). به دلیل دیاژنز گسترده و پیچیدگی فرآیندها، چندین مرحله از انحلال، تمام مواد تشکیل‌دهنده سنگ از جمله دانه‌ها، ماتریکس و سیمان را تحت تأثیر قرار داده است. انحلال با ایجاد انواع تخلخل‌های گسترده در رخساره‌های لاگونی در روزن‌داران کفزی و بایوکلاست‌ها مؤثرترین فرآیند دیاژنزی در بخش بالایی سازند سروک در ناحیه دشت آبادان محسوب می‌شود. فراوانی روزن‌داران کفزی، رودیست‌ها و ارتباط این منافذ با یکدیگر سبب ایجاد کیفیت مخزنی مناسب در سازند سروک شده است. از جمله تخلخل‌های شاخص می‌توان به تخلخل حفره‌ای، قالبی، بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای و بین‌بلوری اشاره کرد. تخلخل حفره‌ای، قالبی و درون‌دانه‌ای به‌وفور در مقاطع نازک میکروسکوپی رخساره‌های لاگون دیده شده است. تخلخل بین‌دانه‌ای در ریزرخساره‌های دانه پشتیبان مربوط به رخساره پشته سدی و رمپ میانی می‌شوند. انحلال در سازند سروک بیشتر در ارتباط با تأثیرات آب‌های متوریک تحت اشباع در محیط تدفینی کم‌عمق به وقوع پیوسته است (شکل ۴-الف، ب، پ، ت، ث، ج). شکستگی‌ها و ریزشکستگی‌ها در رخساره‌های گل پشتیبان و دانه پشتیبان بخش بالایی سازند سروک مشاهده شده‌اند و نقش ویژه‌ای در افزایش تراوایی رخساره‌های گل و دانه پشتیبان داشته‌اند. اگرچه برخی از شکستگی‌ها توسط سیمان‌ها کاملاً مسدود شده‌اند (شکل ۴-ج، ح). مهم‌ترین سیمان‌های شناسایی‌شده برای سازند سروک در این ناحیه عبارت‌اند از: بلوکی، هم بعد، دروزی، رشد اضافی هم‌محور و حاشیه‌ای هم ضخامت. سیمان‌های بلوکی، هم بعد و دروزی فضاهای مختلف فسیلی مانند رودیست‌ها و اجزای اسکلتی و همچنین شکستگی‌ها و ریزشکستگی‌ها را پر می‌کنند. سیمان رشد اضافی هم‌محور باعث انسداد تخلخل‌های اولیه و تا حدودی تخلخل‌های ثانویه شده است. سیمان حاشیه‌ای هم ضخامت در رخساره‌های پراثری مانند

بازوپایان، خرده‌های رودیست، جلبک و روزن‌داران شناور و کفزی دیگر اجزای اسکلتی قابل‌مشاهده در این ریزرخساره هستند. ریزرخساره MF-10 در زمینه میکرایتی می‌باشد و شامل روزن‌داران کفزی بزرگ (اوربیتولینا) به مقدار ۲۰ تا ۲۵ درصد است. خرده‌های رودیست، خارپوستان و دوکفه‌ای از دیگر اجزای با مقدار فراوانی نسبتاً بالا در این ریزرخساره به حساب می‌روند. پلوئید و اینتراکلاست در این دو ریزرخساره به‌خوبی قابل‌مشاهده است. همچنین روزن‌داران شناور به‌صورت نادر در آن‌ها دیده شده است.

این ریزرخساره‌ها در بخش دارای انرژی متوسط رمپ میانی به سمت پشته سدی نهشته شده است (شکل ۲-د). ریزرخساره MF-11 شامل روزن‌داران شناور و کفزی کوچک و الیگوستژینا بوده و مقدار ناچیزی پلوئید، دوکفه‌ای‌ها، خارپوستان و خرده‌های رودیست در آن مشاهده شده است. ریزرخساره MF-11 نسبت به دو ریزرخساره دیگر، در محیط نسبتاً عمیق‌تر رمپ میانی نهشته شده است (شکل ۲-ذ). کمر بند رخساره‌ای رمپ خارجی شامل دو ریزرخساره MF-12 و MF-13 است.

ریزرخساره MF-12 شامل انواع روزن‌داران شناور و مقداری روزن‌داران کفزی کوچک (احتمالاً انتقالی از رمپ میانی) است. سوزن‌های اسفنجی، خرده‌های خارپوست و رودیست از دیگر اجزای مشاهده شده در این ریزرخساره است. با توجه به بافت گلی، افزایش روزن‌داران شناور و وجود سوزن‌های اسفنجی این ریزرخساره در بخش نسبتاً عمیق رمپ خارجی نهشته شده است (شکل ۲-ر). ریزرخساره MF-13 شامل مقدار زیادی سوزن‌های اسفنجی و الیگوستژینا و روزن‌داران شناور است. بافت گل‌پشتیبان و مقدار بالای سوزن‌های اسفنجی در این ریزرخساره نمایشی از محیط عمیق رمپ خارجی یا حوضه است (شکل ۲-ز).

با توجه به ریزرخساره‌های معرفی‌شده و پراکندگی آن‌ها، فقدان سدهای ریفی متصل و نبود رسوبات ریزشی و لغزشی و تغییرات تدریجی رخساره‌ها نسبت به هم یک مدل رمپ کربناته هم‌شیب برای بخش بالایی سازند سروک معرفی شد (شکل ۳) [۳۱، ۲۳، ۲۱، ۲۰]. بر اساس داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه، ریزرخساره‌های دانه پشتیبان نسبت به ریزرخساره‌های گل پشتیبان دارای مقادیر بالاتری از تخلخل و تراوایی هستند [۵۴]. در شکل ۲ مقادیر تخلخل و تراوایی مغزه برای ریزرخساره‌های شناسایی‌شده بخش بالایی سازند سروک در ناحیه دشت آبادان نمایش داده شده است.

محاسبه فاصله بین داده‌ها وجود دارد. بهترین و رایج‌ترین روش اندازه‌گیری فاصله بین دو نمونه، روش فاصله اقلیدوسی (رابطه ۱) و فاصله اقلیدوسی استاندارد (رابطه ۲) می‌باشد که در ادامه شرح داده شده است.

$$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)(X_r - X_s) \quad (1)$$

$$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)D^{-1}(X_r - X_s) \quad (2)$$

در این رابطه d فاصله اقلیدوسی برای دو خوشه r و s در فواصل بین x_s و x_r برای ماتریکس x حاوی داده‌های m و n است. در این روش از درخت خوشه‌ای کمک گرفته می‌شود و یک سلسله خوشه از خوشه‌های کوچک‌تر با محتوای داده‌ای نزدیک به هم برای به وجود آوردن خوشه‌های بزرگ‌تر که به نسبت خوشه‌های دیگر تفاوت دارند را از یکدیگر جدا می‌کند [۲۹]. درخت مجموعه‌ای از خوشه‌ها نیست بلکه یک سلسله‌مراتب چندسطحی است، جایی که خوشه‌ها در یک سطح با خوشه‌های سطح بعدی در ارتباط هستند [۵]. مراحل ادغام خوشه‌ها در یک نمودار درختی یا شاخه‌ای نشان داده می‌شود [۵۸، ۵۷]. محور افقی خوشه‌های استخراج‌شده از آنالیز خوشه‌بندی و محور عمودی فاصله بین داده‌ها است [۶]. درنهایت، نمودار درختی داده‌های موجود ترسیم شد و تعداد ۵ رخساره الکتریکی بر اساس مکان برش بر روی درخت خوشه‌بندی تعیین شد (شکل ۵). در جدول ۱ مقادیر متوسط نمودارهای چاه پیمایی مورد استفاده در هر رخساره الکتریکی ارائه شده است. سپس، ارتباط بین داده‌های مقاطع نازک میکروسکوپی و رخساره‌های الکتریکی مورد بررسی قرار گرفت. رخساره‌های الکتریکی EF 4 و EF 5 بهترین کیفیت مخزنی را دارا می‌باشند که مربوط به مقادیر بالای نمودارهای مقاومت، نوترون و مقادیر کم نمودار گاما است. در رخساره‌های الکتریکی EF 4 و EF 5 کمربندهای رخساره‌ای رمپ میانی، لاگون و پشته سدی گسترش دارند. تفاوت اصلی این دو رخساره الکتریکی در نحوه توزیع فرآیندهای دیاژنزی به‌ویژه انحلال و سیمانی‌شدن است. رخساره الکتریکی EF 4 در بخش پایینی توالی مورد مطالعه از گسترش بیشتری برخوردار است.

در این رخساره الکتریکی مقدار فرآیند سیمانی‌شدن نسبت به رخساره الکتریکی EF 5 بیشتر است. در طرف دیگر رخساره الکتریکی EF 5 که غالباً در بخش بالایی سازند سروک مشاهده شده است، فرآیند دیاژنزی انحلال به‌صورت انواع تخلخل‌های حفره‌ای، قالبی، بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای غالب است. رخساره‌های الکتریکی EF 2 و EF 3 از لحاظ کیفیت مخزنی (بر اساس داده‌های چاه پیمایی) در رده متوسط

گریستون و رودستون دیده می‌شود و فاقد تأثیر مثبت یا منفی بر روی کیفیت مخزنی است (شکل ۴-خ، د، ذ، ر، ز). تراکم در بخش بالایی سازند به دو صورت مکانیکی (شکستگی و تغییر شکل روزن‌داران کفزی، خارپوستان، رودیست‌ها و دوکفه‌ای‌ها) و شیمیایی (استیلولیت و رگچه‌های انحلالی) مشاهده می‌شود (شکل ۴-ژ، س، ش). دولومیتی‌شدن می‌تواند باعث افزایش یا کاهش کیفیت مخزنی شود و یا تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در کیفیت مخزنی نداشته باشد [۵۵]. این فرآیند در سازند سروک رایج به‌حساب نمی‌آید و از گسترش کمی برخوردار است و غالباً در کمربند رخساره‌ای دریای باز دیده می‌شود. دولواسپاریت، دولومیتی‌شدن حاشیه استیلولیت‌ها و دولومیتی‌شدن ماتریکس از انواع دولومیت‌های شناسایی‌شده برای سازند سروک در ناحیه دشت آبادان هستند (شکل ۴-ص، ض، ط). فرآیندهای دیاژنزی بخش بالایی سازند سروک در سه محیط دیاژنزی دریایی، متئوریک و تدفینی رخ داده‌اند. دیاژنز دریایی با میکرایتی‌شدن، آشفستگی زیستی و سیمان حاشیه‌ای هم ضخامت شناسایی شد. در محیط دیاژنزی متئوریک انحلال، دولومیتی‌شدن، نوشکلی، سیمانی‌شدن (بلوکی، هم بعد، رشد اضافی هم‌محور و دروزی) و تراکم رخ داده است. شکستگی‌ها و تراکم شیمیایی به عنوان فرآیندهای دیاژنزی محیط تدفینی شناخته شده‌اند. با توجه به مطالعات فرآیندهای دیاژنزی، انحلال و شکستگی نقش ویژه‌ای در افزایش کیفیت مخزنی و سیمانی‌شدن، تراکم و دولومیتی‌شدن از جمله عوامل مهم در کاهش کیفیت مخزنی سازند مورد مطالعه هستند. میکرایتی‌شدن، نوشکلی و آشفستگی زیستی به دلیل عدم گسترش قابل توجه و تأثیر ناچیز نقش مؤثری بر کیفیت مخزنی نداشته‌اند (شکل ۴-ظ، ع، غ). در اکثر واحدهای جریان‌ی نقش فرآیندهای دیاژنزی به‌وفور دیده شده است. تفسیر جامع فرآیندهای دیاژنزی و تأثیر آن‌ها بر کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سروک در مطالعات گذشته ارائه شده است [۵۴].

۲-۴- رخساره‌های الکتریکی (EF)

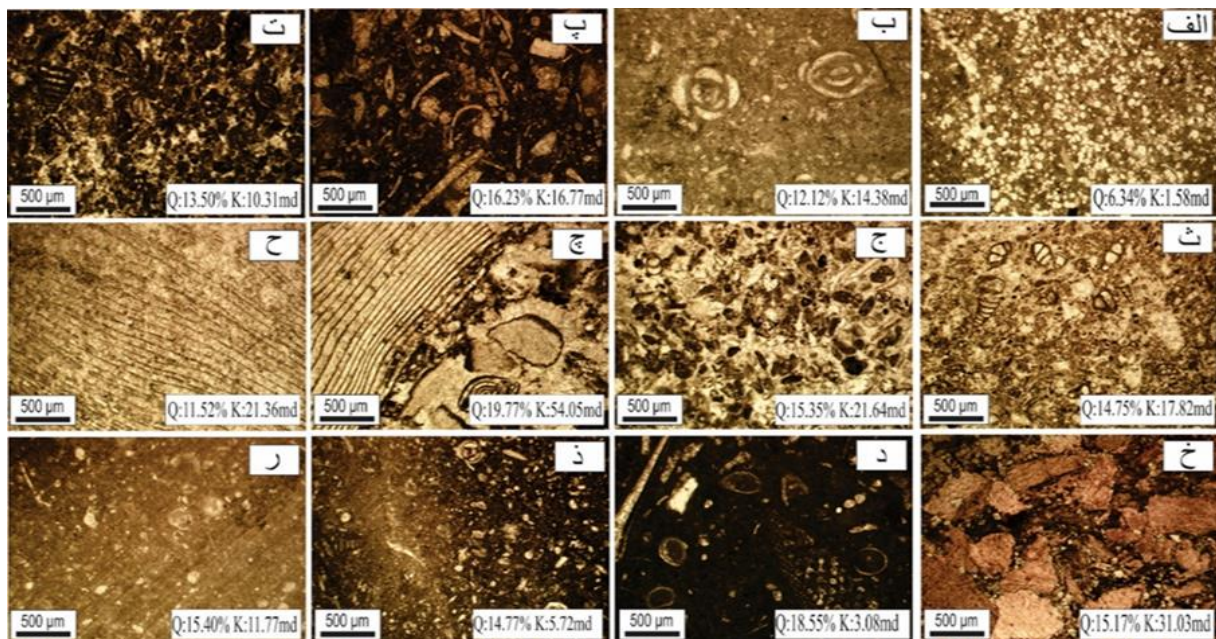
در این پژوهش به‌منظور تعیین رخساره‌های الکتریکی، ۵ نمودار چاه‌پیمایی گاما، نوترون، صوتی، چگالی و مقاومت در چاه مورد مطالعه با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی مورد ارزیابی قرار گرفت. خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی یک روش غیرنظارتی می‌باشد [۲۹]. معیاری که خوشه‌بندی بر اساس آن صورت می‌گیرد، فاصله است [۵۶]. روش‌های گوناگونی برای

میانی و پایینی مشاهده شده‌اند. رخساره الکتریکی EF 1 با مقادیر بالای نمودار گاما، صوتی و نوترون و مقادیر پایین نمودار مقاومت و چگالی مشخص شده که نشان از کیفیت مخزنی کم است. این رخساره الکتریکی به صورت میان لایه‌های نازک بوده و قابل انطباق و مقایسه با رخساره‌های رسوبی کم انرژی و فرآیندهای دیاژنزی کاهنده کیفیت مخزنی مانند سیمانی شدن، تراکم و دولومیتی شدن است. در شکل ۵ نمودارهای متقاطع رخساره‌های الکتریکی و درخت خوشه‌بندی برای بخش بالایی سازند سروک در چاه مورد مطالعه نشان داده شده است.

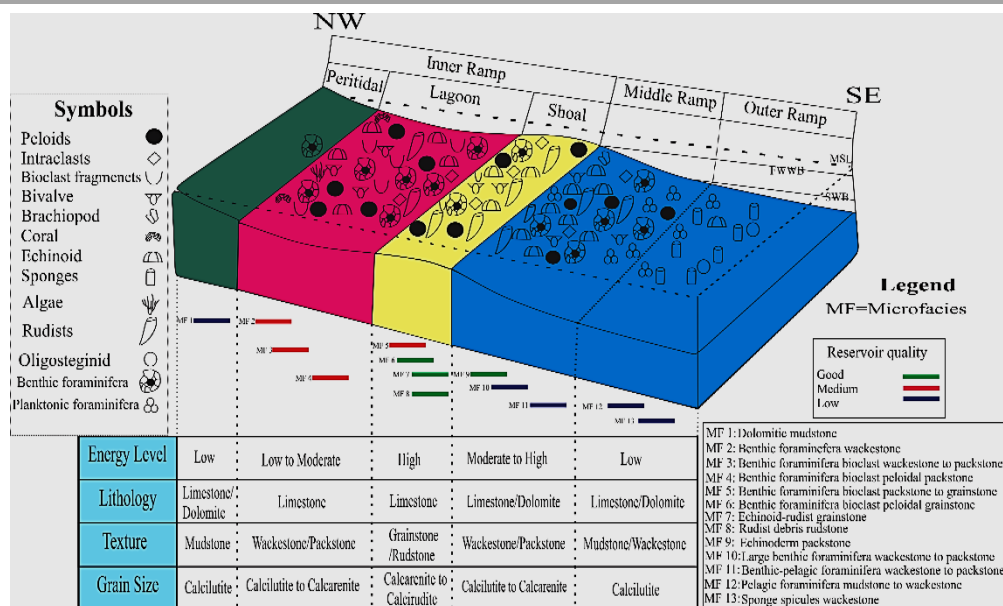
طبقه‌بندی شده‌اند. مقایسه دو رخساره الکتریکی نشان می‌دهد که مقادیر نمودارهای گاما و چگالی در رخساره الکتریکی EF 3 نسبت به رخساره الکتریکی EF 2 بیشتر است. در رخساره‌های الکتریکی نامبرده تنوع محیط رسوبی، فرآیندهای دیاژنزی و سیستم منافذ بالا است. تمایز این دو رخساره الکتریکی در مقادیر چگالی و گاما می‌باشد. مقدار بالای نمودارهای چگالی و صوتی در رخساره الکتریکی EF 3 نمایشی از وقوع فرآیند دولومیتی شدن است. همچنین مقاطع نازک میکروسکوپی نیز فرآیند دولومیتی شدن در این رخساره الکتریکی را تأیید می‌کنند. رخساره‌های الکتریکی نامبرده به طور گسترده در طول سازند سروک به ویژه قسمت‌های

جدول ۱- میانگین نمودارهای چاه پیمایی استفاده شده در آنالیز خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی جهت تعیین رخساره‌های الکتریکی در چاه مورد مطالعه

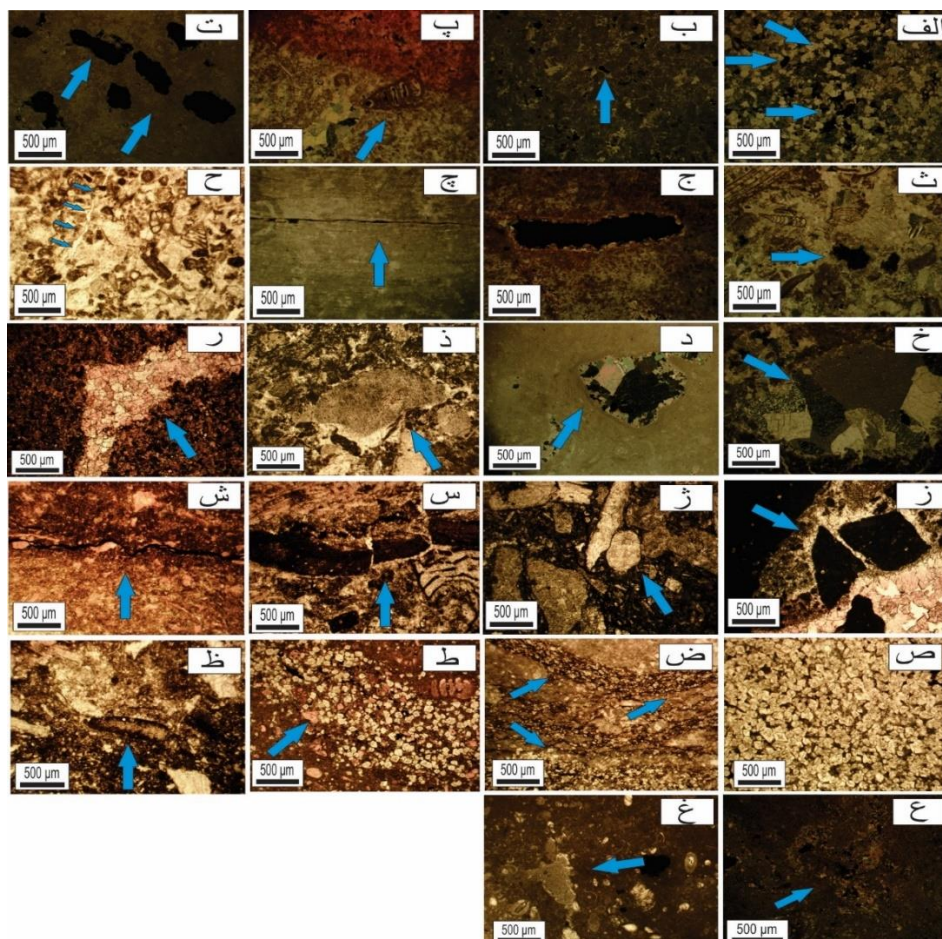
رخساره الکتریکی	گاما	صوتی	نوترون	چگالی	مقاومت	رنگ رخساره الکتریکی	درصد فراوانی رخساره الکتریکی
۱	۶۲٫۷۵	۷۲٫۵۸	۰٫۱۹	۲٫۲۴	۱۶٫۳۶	آبی	۷
۲	۳۲٫۵۲	۶۱٫۸۷	۰٫۰۸	۲٫۵۳	۲۲٫۱۴	بنفش	۱۰
۳	۴۲٫۴۵	۶۰٫۳۶	۰٫۰۶	۲٫۵۹	۲۱٫۹۷	سبز	۳۴
۴	۱۹٫۷۲	۶۳٫۶۴	۰٫۱۲	۲٫۴۹	۳۴٫۴۰	زرد	۱۹
۵	۲۴٫۹۳	۷۱٫۰۳	۰٫۱۷	۲٫۴۴	۹۰٫۹۴	قرمز	۳۰



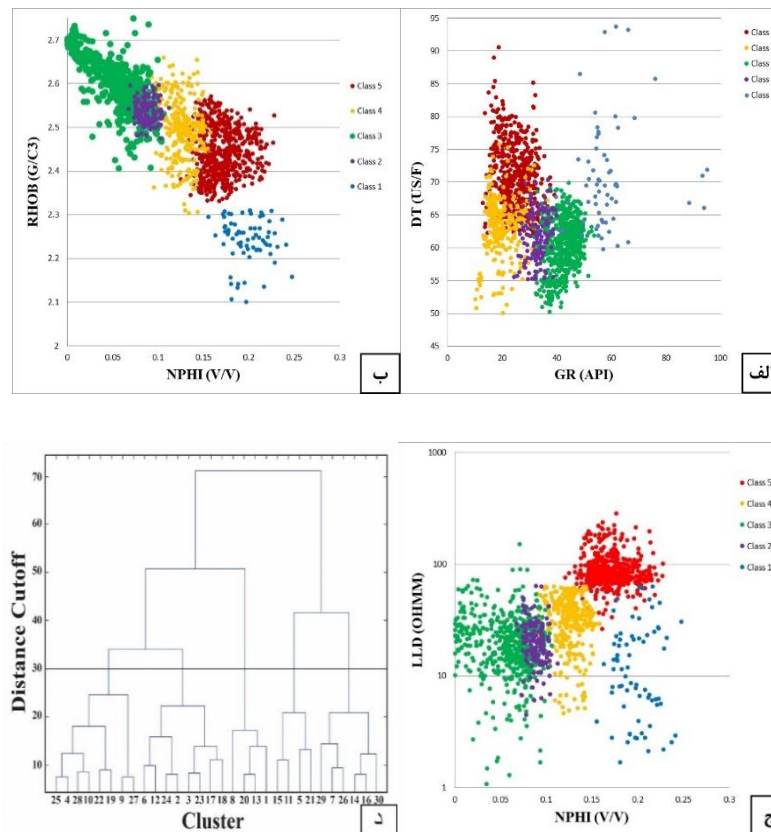
شکل ۲- ریزرخساره‌های بخش بالایی سازند سروک؛ الف) مادستون دولومیتی، ب) وکستون حاوی روزن‌داران کف زی، پ) وکستون تا پکستون بایوکلاستی حاوی روزن‌داران کف زی، ت) پکستون پلوئیدی بایوکلاستی حاوی روزن‌داران کف زی، ث) پکستون تا گرینستون بایوکلاستی حاوی روزن‌داران کف زی، ج) گرینستون پلوئیدی بایوکلاستی حاوی روزن‌داران کف زی، چ) گرینستون حاوی خرده‌های رودیست و خارپوست، ح) رودستون حاوی خرده‌های رودیست، خ) پکستون حاوی خارپوستان، د) وکستون تا پکستون حاوی روزن‌داران کف زی بزرگ، ذ) وکستون تا پکستون حاوی روزن‌داران شناور و کف زی، ر) مادستون تا وکستون حاوی روزن‌داران کف زی و شناور، ز) وکستون حاوی سوزن‌های اسفنجی



شکل ۳- مدل شماتیکی از محیط رسوب‌گذاری بخش بالایی سازند سروک در چاه مورد مطالعه [۵۴]



شکل ۴- انواع فرآیندهای دیاژنزی مهم بخش بالایی سازند سروک. الف) تخلخل بین‌بلوری، ب) تخلخل بین‌دانه‌ای، پ) تخلخل درون‌دانه‌ای، ت) تخلخل حفره‌ای، ث) تخلخل حفره‌ای، ج) تخلخل قالبی، چ) شکستگی، ح) شکستگی، خ) سیمان بلوکی، د) سیمان دروزی، ذ) سیمان رشد اضافی هم‌محور، ر) سیمان بلوکی هم بعد، ز) سیمان حاشیه‌ای هم ضخامت، ژ) تراکم مکانیکی، س) تراکم مکانیکی، ش) تراکم شیمیایی، ص) دولواسپارایت، ض) دولومیت‌های حاشیه استیلولیت، ط) دولومیتی‌شدن ماتریکس، ظ) میکرایتی شدن، ع) نوشکلی، غ) آشفته‌گی زیستی



شکل ۵- نمودارهای متقاطع استفاده‌شده در روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی. الف) نمودار متقاطع گاما در برابر صوت؛ ب) نمودار متقاطع نوترون در برابر چگالی؛ ج) نمودار متقاطع نوترون در برابر مقاومت ناحیه دست‌نخورده؛ د) درخت خوشه‌ای سلسله‌مراتبی برای چاه مورد مطالعه

۳-۴- واحدهای جریان (FU)

یک واحد جریانی، حجمی از سنگ مخزن است که به‌صورت عمودی و جانبی پیوسته و قابل پیش‌بینی بوده و ویژگی‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی مؤثر بر روی جریان سیال در درون آن ثابت می‌باشد و بر این اساس از بخش‌های دیگر سنگ متمایز می‌شود [۹]. یک مخزن نفتی ممکن است بر اساس ویژگی‌های مهندسی نفت و زمین‌شناسی در مراحل تولید به چند واحد جریانی تقسیم شود [۲۱]. در این پژوهش به‌منظور تعیین واحدهای جریانی از روش شاخص زون جریانی (FZI) [۹] و لورنز اصلاح‌شده بر مبنای چینه‌شناسی (SMLP) [۱۰] استفاده شده است.

۳-۴-۱- روش شاخص زون جریانی (FZI)

در سال ۱۹۹۳ آمافوله [۹] یک روش نوین جهت تعیین گونه‌های سنگی ارائه داد. تفکیک واحدهای جریانی هیدرولیکی یکی از معمول‌ترین روش‌ها برای پهنه‌بندی مخزنی از غیر مخزنی در سنگ‌های رسوبی است [۹]. در این

روش با استفاده از داده‌های تخلخل-تراوایی مغزه و جایگزین

کردن در رابطه (۳)، پهنه‌بندی مخزنی صورت می‌گیرد [۶].

$$FZI = RQI / NPI = \left\{ \left(0.0314 \sqrt{\frac{K}{\phi}} \right) / (1 - \phi) \right\} \quad (3)$$

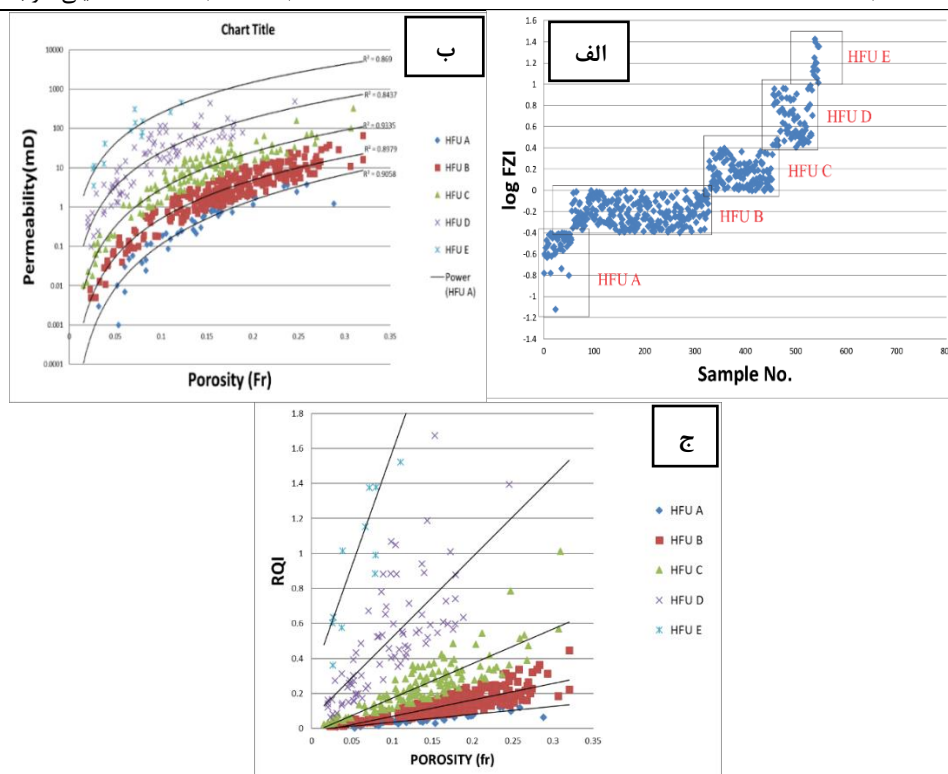
با توجه به رابطه مطرح‌شده، NPI اندیس تخلخل نرمالیزه شده، ϕ تخلخل مؤثر بر پایه کسر، K تراوایی بر پایه میلی داری، ثابت 0.0314 پارامتر تبدیل تراوایی از میکرومتر مربع به میلی داری، RQI شاخص کیفیت مخزنی برحسب میکرومتر و FZI شاخص واحد جریانی است. شاخص کیفیت مخزنی میانگین شعاع هیدرولیک در مخزن نفتی است و درواقع تخلخل، تراوایی و فشار موینگی را به یکدیگر متصل می‌کند [۹]. بعد از شناسایی شاخص واحد جریانی، این شاخص در مقابل داده‌های موجود ترسیم شد (شکل ۶). با استفاده از نمودار لگاریتمی FZI در بخش بالایی سازند سروک ۵ واحد جریانی هیدرولیکی مجزا از یکدیگر شناسایی شده است که کیفیت مخزنی آن‌ها بر اساس شاخص کیفیت مخزنی (RQI) از واحد جریانی HFU A به HFU E افزایش می‌یابد (شکل ۶).

تخلخل و تراوایی برای واحدهای جریان شناسایی شده بخش بالایی سازند سروک نمایش داده شده است. تصور می‌شود که تمایز واحدهای جریان تحت تأثیر شرایط رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی باشد که متعاقب آن بر روی سیستم منفذی مؤثر بوده است.

در جدول ۲ مقادیر متوسط تخلخل-تراوایی، قابلیت هدایت جریان و حد برش لگاریتمی برای هر واحد جریانی نمایش داده شده است. بر این اساس مقدار تخلخل از واحد جریانی HFU C تا HFU E کاهش و مقدار تراوایی به سمت واحد جریانی HFU E افزایش می‌یابد. در شکل ۶ رابطه تخلخل برابر شاخص کیفیت مخزنی و روند تغییرات مقادیر

جدول ۲- پارامترهای متوسط تخلخل، تراوایی و مقادیر حد برش لگاریتمی بر پایه روش شاخص زون جریانی در چاه مورد مطالعه

HFU	تخلخل (fr)	تراوایی (میلی داریسی)	حد برش لگاریتمی FZI	RQI	FZI	قابلیت هدایت جریان
A	۰٫۱۴	۰٫۷	$< -۰٫۴$	۰٫۰۵۵	۰٫۳۱۶	خیلی کم
B	۰٫۱۷	۴٫۹	$۰٫۴ < FZI < ۰$	۰٫۱۳۴	۰٫۶۴۰	کم
C	۰٫۱۴	۱۶٫۵۶	$۰ < FZI < ۰٫۴$	۰٫۲۴۷	۱٫۵۰۶	متوسط
D	۰٫۱۰	۴۶٫۷	$۰٫۴ < FZI < ۱$	۰٫۴۹۹	۴٫۸۴۷	خوب
E	۰٫۰۶	۱۲۴	$FZI > ۱$	۱٫۱۱۲	۱۷٫۱۶۵	خیلی خوب



شکل ۶- الف) تفکیک واحدهای جریانی با استفاده از نمودار لگاریتمی FZI در مقابل تعداد نمونه‌های موجود با استفاده از روش شاخص زون جریانی، ب) تفکیک واحدهای جریانی بر روی نمودار تخلخل و تراوایی، ج) رابطه تخلخل در برابر شاخص کیفیت مخزنی

منافذ و پتروفیزیک سنگ، ظرفیت ذخیره و جریان استفاده می‌کند [۶۰، ۱۰]. اساس کار این روش به این صورت است که داده‌های پیوسته تخلخل و تراوایی و کسر تراوایی به تخلخل در یک ترتیب یا نظم چینه‌شناسی قرار می‌گیرند. ظرفیت جریان^۱ (Kh) و ظرفیت ذخیره^۲ (Φh) با توجه به اعماق نمونه‌برداری تابع مقادیر تخلخل و تراوایی هستند (رابطه ۴ و ۵) [۶۰، ۲۱، ۱۰].

۴-۳-۲- روش لورنز اصلاح‌شده بر مبنای چینه‌شناسی (SMLP)

روش لورنز اصلاح‌شده بر مبنای چینه‌شناسی (SMLP) یک روش مناسب برای تعیین واحدهای جریانی در مخازن نفتی است [۵۹، ۲۱، ۱۰، ۶]. این روش به صورت یک ابزار گرافیکی داده‌های گوناگون مانند چارچوب زمین‌شناسی، انواع

در ادامه حاصل ضرب تراوایی در عمق مربوطه به عنوان ظرفیت جریان و حاصل ضرب تخلخل در عمق مربوطه ظرفیت ذخیره است [۱۶،۱۰].

روش محاسبه ظرفیت جریان بر اساس رابطه ۶ و ظرفیت ذخیره بر پایه رابطه ۷ است. درنهایت داده‌های مقادیر ظرفیت ذخیره در مقابل ظرفیت جریان بر روی یک مقیاس لگاریتمی ترسیم می‌شود [۳۴]. بخش‌های دارای شیب زیاد نمایشی از واحدهای با ظرفیت جریان بالا و بخش‌های کم شیب نشان از واحدهای دارای تخلخل و تراوایی کم است [۱۰]. در نقاط که منحنی دارای شکست می‌شود واحدهای جریان از یکدیگر تفکیک می‌شوند [۶۱،۳۴،۱۰].

$$Kh = K_1 (h_1 - h_0), K_2 (h_2 - h_1), \dots, K_n (h_n - h_{n-1}) \quad (۴)$$

$$\Phi h = \Phi_1 (h_1 - h_0), \Phi_2 (h_2 - h_1), \dots, \Phi_n (h_n - h_{n-1}) \quad (۵)$$

$$(k_h)_{cum} = k_1 (h_1 - h_0) + k_2 (h_2 - h_1) + \frac{\varphi_i (h_i - (h_i - 1))}{\sum k_i - (h_i - 1)} \quad (۶)$$

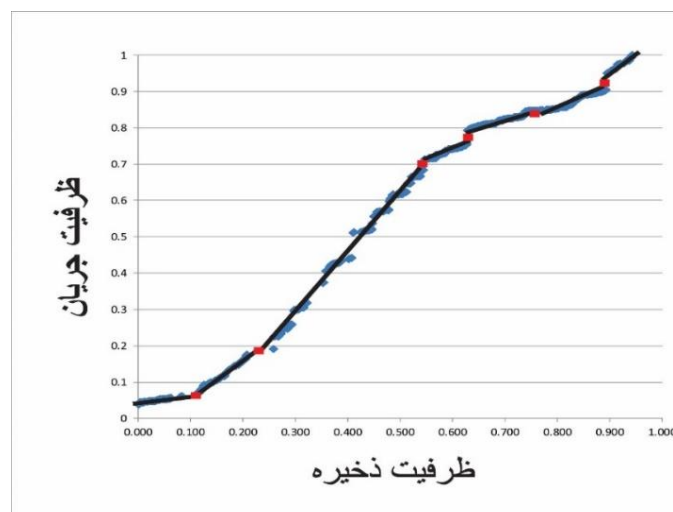
$$(\varphi_h)_{cum} = \varphi_1 (h_1 - h_0) + \varphi_2 (h_2 - h_1) + \frac{\varphi_i (h_i - (h_i - 1))}{\sum \varphi_i (h_i - (h_i - 1))} \quad (۷)$$

در این روش بر اساس ویژگی‌های جریان سیال و ذخیره متفاوت، چهار گروه شامل واحد مخزنی نرمال^۲ سدی^۳، به شدت تراوا^۴ و واحدهای بافل^۵ تفکیک می‌شوند. واحد مخزنی نرمال ظرفیت جریان و ظرفیت ذخیره همخوانی داشته، واحد سدی دارای ظرفیت جریان و ظرفیت ذخیره بسیار پایین، واحدهای به شدت تراوا دارای ظرفیت جریان بالا و ظرفیت ذخیره بسیار پایین و واحدهای بافل دارای ظرفیت ذخیره بالا و ظرفیت

جریان پایین هستند [۳۴،۲۸،۲۶،۱۰،۶]. در روش لورنز اصلاح شده بر مبنای چینه‌شناسی (SMLP) خصوصیات پتروفیزیکی سنگ و ضخامت واحدها در نظر گرفته می‌شود روش مناسب‌تری برای تفکیک واحدهای مخزنی به حساب می‌رود [۲۱،۱۰]. در چاه مورد مطالعه بر اساس استفاده از داده‌های پیوسته میزان ظرفیت ذخیره و ظرفیت جریان ۷ زون از یکدیگر تفکیک شدند (شکل ۷). برای مقایسه بهتر واحدهای جریانی میانگین تخلخل و تراوایی هر یک از واحدهای شناسایی شده در جدول ۳ ارائه شده است.

در بخش مورد مطالعه زون ۳ به عنوان واحد سرعت یا گذرگاه تراوایی بسیار بالایی داشته است و بهترین کیفیت مخزنی را دارد. بعدازآن به ترتیب زون‌های ۲، ۴ و ۶ از لحاظ ظرفیت جریان و ظرفیت ذخیره جریان دارای کیفیت مخزنی مناسب هستند. این واحدها، حد واسط (مخزنی/بافل) با ظرفیت ذخیره و جریان نسبتاً بالا به عنوان واحدهای باکیفیت مخزنی متوسط تا خوب عمل کرده‌اند.

زون‌های ۵ و ۷ با دارا بودن ظرفیت ذخیره نسبتاً بالا و تراوایی پایین به عنوان زون‌های بافل، دارای کیفیت مخزنی متوسط هستند. زون ۱ در بالاترین بخش سازند سروک به دلیل تخلخل بالا و تراوایی ناچیز مانند یک واحد سدی عمل کرده است و فاقد کیفیت مخزنی مناسب است. در بخش بعدی (زون بندی مخزنی) واحدهای جریانی شناسایی شده از روش لورنز اصلاح شده بر مبنای چینه‌شناسی تحت عنوان زون‌های مخزنی تعریف شده‌اند و به صورت جامع از دید پتروگرافی و پتروفیزیکی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.



شکل ۷- نمودار ظرفیت جریان در مقابل ظرفیت ذخیره در چاه مورد مطالعه

جدول ۳- میانگین تخلخل و تراوایی واحدهای جریان‌ی شناسایی شده به روش لورنز در بخش بالایی سازند سروک در چاه مورد مطالعه

واحد جریان‌ی	متوسط تخلخل (درصد)	متوسط تراوایی (میلی داری)	کیفیت مخزنی
۱	۱۰,۸۰	۲,۹۳	سدی
۲	۱۹,۶۲	۲۳,۷۷	بافل/مخزنی
۳	۱۴,۵۶	۳۲,۲۵	تراوا
۴	۱۳,۸۷	۱۳,۰۱	بافل/مخزنی
۵	۱۵,۴۹	۴,۶۶	بافل
۶	۱۸,۸۷	۲۱,۰۸	بافل/مخزنی
۷	۱۱,۴۶	۱۴,۶۷	بافل

۴-۴- زون بندی مخزنی

جهت بررسی کیفیت مخزنی و برقراری ارتباط بین داده‌های پتروفیزیکی و پتروگرافی، مطالعات پتروفیزیکی شامل رخساره‌های الکتریکی، واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی و زون‌های تعیین شده به روش لورنز اصلاح شده بر مبنای چینه‌شناسی به همراه مطالعات پتروگرافی شامل رخساره‌های رسوبی، فرآیندهای دیانژنی و سیستم منافذ ترسیم شده است (شکل ۸). روش‌های شاخص زون جریان‌ی و رخساره‌های الکتریکی برای زون بندی و تفسیر مخزن در مقیاس کوچک‌تر مناسب هستند. ضخامت‌های کم واحدهای هیدرولیکی تعیین شده بر اساس روش شاخص زون جریان‌ی غالباً ۵۰ سانتی‌متر تا یک متر می‌باشد و به ندرت ضخامت یک واحد هیدرولیکی به ۲ تا ۳ متر می‌رسد. همچنین با توجه به مطالعات رخساره‌های الکتریکی، ضخامت تعیین شده این رخساره‌ها حداکثر به یک تا چند متر می‌رسد. اگرچه روش‌های پتروفیزیکی نامبرده در تفکیک پهنه‌های مخزنی از غیر مخزنی کارآمد است، اما در این مطالعه با توجه به ناهمگنی کربناته‌های سازند سروک از روش لورنز اصلاح شده بر مبنای چینه‌شناسی به عنوان بهترین روش برای تعیین زون بندی مخزنی بخش بالایی این سازند در ناحیه دشت آبادان استفاده شده است. این روش برای تقسیم مخزن با واحدهای جریان‌ی بزرگ استفاده می‌شود [۲۹]. در چاه مورد مطالعه، روش‌های نامبرده در چارچوب زون بندی مخزنی به روش لورنز اصلاح شده بر مبنای چینه‌شناسی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. با توجه به ضخامت کم و تنوع بسیار بالای واحدهای هیدرولیکی عملاً نمی‌توان مقایسه مناسبی با داده‌های پتروگرافی و پتروفیزیکی برقرار کرد. در این مطالعه مطابق شکل ۸ ارتباط مناسبی بین گسترش فرآیندهای رسوبی، دیانژنی و رخساره‌های الکتریکی در زون‌های

تعیین شده به روش لورنز وجود دارد. در عین حال با توجه به این که روش هیدرولیکی مطابقت خوبی ندارد. نتایج نشان می‌دهد با مقایسه این روش‌ها با یکدیگر، می‌توان زون‌های مختلف بخش بالایی سازند سروک را در ناحیه دشت آبادان به درستی تفسیر نمود.

هر یک از زون‌های تفکیک شده در سازند سروک دارای ویژگی‌های مخزنی مختص به خود هستند. مشخصات زون‌های شناسایی شده بخش بالایی سازند سروک در چاه مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. در ادامه، روابط داده‌های پتروگرافی و پتروفیزیکی در قالب زون بندی مخزنی به روش لورنز تفسیر و تشریح شده است.

زون ۱: این زون در بالاترین بخش سازند سروک در چاه مورد مطالعه قرار گرفته است. ضخامت این زون ۲۵ متر است و دارای ترکیب سنگ‌شناسی غالب آهک‌رسی، آهک و آهک دولومیتی است. این زون دربرگیرنده کمربندهای رخساره‌ای کم انرژی رمپ میانی (ریزرخساره‌های گل پش‌تیبان)، رمپ خارجی، لاگون و پهنه جزر و مدی است، همچنین انحلال، سیمانی شدن، تراکم شیمیایی و دولومیتی شدن از فرآیندهای دیانژنی شاخص در این زون به حساب می‌آیند. رخساره‌های الکتریکی EF 3 و EF 5 به صورت کامل در این زون قابل مشاهده است. در این زون فواصلی که از رخساره الکتریکی EF 3 تشکیل شده، به دلیل افزایش فرآیند سیمانی شدن تخلخل و تراوایی در این رخساره کاهش یافته و به دنبال آن دارای کیفیت مخزنی ضعیف است، همچنین در این فواصل تراکم شیمیایی به صورت استیلولیت‌ها و رگچه‌های انحلالی به همراه دولومیت‌های پراکنده در زمینه میکرایتی قابل تشخیص هستند. در مقابل در فواصلی که رخساره الکتریکی EF 5 قابل رؤیت است به علت داشتن تخلخل‌های بین بلوری، حفره‌ای مجزا و فقدان فرآیند سیمانی شدن، این رخساره دارای کیفیت مخزنی بهتری نسبت به رخساره EF 5 است؛ اما

به‌طور کل، این زون پایین‌ترین کیفیت مخزنی را نسبت به دیگر زون‌های مورد مطالعه در سازند سروک دارد. علت اصلی این مسئله بافت گل پش‌تیبان، رخساره‌های کم انرژی و غلبه فرآیندهای دیاژنزی کاهنده کیفیت مخزنی است. میانگین تخلخل در این زون ۱۰/۸۰ درصد و تراوایی ۲/۹۳ میلی داری است. با توجه به ظرفیت جریان و ظرفیت ذخیره بسیار پایین، این زون به عنوان یک زون سدی یا غیر مخزنی معرفی شده است.

زون ۲: این زون به ضخامت ۳۸ متر از سنگ‌آهک تشکیل شده است. با بررسی و تفسیر مقاطع نازک میکروسکوپی مشخص می‌شود در این زون رخساره‌های پشته سدی، لاگون و به مقدار کمتر رمپ خارجی نهشته شده است. این زون از رخساره‌های الکتریکی EF 4 و EF 5 که دارای کیفیت مخزنی متوسط تا بالا هستند، تشکیل شده است. شکستگی‌ها و ریزش‌کستگی‌ها، تخلخل‌های بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، قالبی و حفره‌های مرتبط و غیر مرتبط سیستم اصلی منافذ این زون را تشکیل داده‌اند، این عوامل سبب افزایش تخلخل و تراوایی، در نتیجه افزایش کیفیت مخزنی در این زون شده است. میانگین تخلخل و تراوایی در این زون به ترتیب ۱۹/۶۲ درصد و ۲۳/۷۷ میلی داری است. با توجه به ظرفیت ذخیره و جریان نسبتاً بالا، این زون به عنوان یک زون مخزنی/بافل بوده و دارای کیفیت مخزنی متوسط تا خوب است.

زون ۳: این زون در فواصل مربوط به قسمت میانی بخش بالایی سازند سروک در چاه مورد مطالعه شناسایی شده است. ضخامت این زون ۶۱ متر بوده و سنگ‌شناسی آن در بخش بالایی آهک خالص و بخش پایینی از میان لایه‌های دولومیت آهکی تشکیل شده است. بافت رسوبی این زون متنوع و دربرگیرنده گریستون، رودستون، پکستون و مقداری وکستون است. رخساره الکتریکی EF 5 به‌طور کلی غالب این زون را در بر گرفته است که حاوی رخساره‌های پشته سدی، لاگون و رمپ میانی (ریز رخساره‌های دانه پش‌تیبان) می‌باشد. رخساره پشته سدی به علت داشتن تخلخل‌های حفره‌ای، بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای و بین‌بلوری سبب افزایش تخلخل و تراوایی می‌شود، در نتیجه این رخساره اساساً دارای پتانسیل مخزنی بالایی است. علاوه بر این در زون ۳ لایه نازکی از رمپ خارجی دیده می‌شود. شکستگی، دولومیتی‌شدن و تراکم دیگر فرآیندهای دیاژنزی این زون محسوب می‌شوند، همچنین فرآیندهای کاهنده کیفیت مخزنی مانند سیمانی‌شدن در این زون کمتر مشاهده شده است. در این زون به دلیل حضور

رخساره‌های دانه پش‌تیبان به‌ویژه رودیست‌ها و گریستون‌ها که تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنزی به‌ویژه انحلال و شکستگی قرار گرفته‌اند، دارای بالاترین کیفیت مخزنی در بین زون‌ها است. میانگین تخلخل در این زون ۱۴/۵۶ درصد و تراوایی ۳۲/۲۵ میلی داری است. این زون به عنوان زون سرعت یا گذرگاه (تراوا) معرفی شده است.

زون ۴: این زون با ضخامت ۶۰ متر، دارای ترکیب سنگ‌شناسی آهک تا آهک دولومیتی و بافت رسوبی پکستون، گریستون و اندکی وکستون است که کمربندهای رخساره‌ای لاگون و پشته سدی در آن گسترش دارند، همچنین در این زون تا حدودی رمپ میانی و رمپ خارجی نیز مشاهده شده است. فرآیندهای دیاژنزی شاخص این زون شامل انحلال، شکستگی، سیمانی‌شدن و تراکم شیمیایی بوده و سیستم منافذ آن حفره‌ای، درون‌دانه‌ای و بین‌دانه‌ای است. در این زون انحلال و شکستگی به عنوان فرآیندهای دیاژنزی افزایش دهنده کیفیت مخزنی عمل کرده‌اند. در عین حال در بخش پایینی این زون فرآیندهای سیمانی‌شدن، تراکم و دولومیتی‌شدن سبب کاهش کیفیت مخزنی رخساره‌های پراثری شده‌اند. زون ۴ از رخساره الکتریکی EF 3 در بخش بالایی و رخساره الکتریکی EF 5 در قسمت پایینی تشکیل شده است. میانگین تخلخل و تراوایی در این زون به ترتیب ۱۳/۸۷ درصد و ۱۳/۰۱ میلی داری است. این زون به عنوان یک زون مخزنی/بافل با کیفیت مخزنی متوسط تا خوب مطرح شده است.

زون ۵: این زون به ضخامت ۲۷ متر از رخساره الکتریکی EF 4 تشکیل شده و بافت سنگ‌شناسی آن آهک دولومیتی و میان لایه‌های نازک دولومیت آهکی است. رخساره‌های گل پش‌تیبان رمپ میانی (به سمت دریای باز) غالب تشکیل‌دهنده این زون می‌باشد. در انتهای این زون توالی‌های نازکی از رخساره‌های رمپ خارجی و پشته سدی با فراوانی کم حضور دارند. عدم وقوع گسترده انحلال و غلبه فرآیندهای کاهش‌دهنده کیفیت مخزنی مانند تراکم شیمیایی و سیمانی‌شدن همراه با بافت گل پش‌تیبان سبب کاهش کیفیت مخزنی این زون شده است. حضور تخلخل‌های حفره‌ای مجزا، توانایی افزایش کیفیت مخزنی در این زون را نداشته است. کیفیت مخزنی در این زون تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنزی کاهش یافته است. تخلخل مغزه به‌طور متوسط ۱۵/۴۹ درصد و تراوایی ۴/۶۶ میلی داری می‌باشد. ظرفیت ذخیره نسبتاً بالا و تراوایی پایین نمایشی از بافلی بودن این زون است.

زون ۶: این زون با ضخامت ۱۹ متر از سنگ‌آهک تشکیل شده است. عمدتاً با کمربندهای رخساره‌ای مربوط به پشته سدی منطبق است. در این زون، توالی‌های نازکی از رخساره‌های لاگون، رمپ میانی و رمپ خارجی با فراوانی کمتر حضور دارند. تأثیر ناهمگن فرآیندهای دیاژنری در این زون به‌خوبی قابل مشاهده است به‌نحوی که سبب آشفته‌گی نسبی در خصوصیات مخزنی شده است. وقوع فرآیندهای دیاژنری افزایش یافته کیفیت مخزنی مانند انحلال سبب تشکیل تخلخل‌های حفره‌ای، بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای شده است. درعین حال وقوع سیمانی‌شدن باعث شده است که در بخش‌هایی از رخساره‌های دانه پشتیبان این زون، کیفیت مخزنی کاهش یابد. در زون ۶ رخساره‌های الکتریکی EF 4 و EF 5 با کیفیت متوسط تا خوب تمرکز دارند. میانگین تخلخل و تراوایی مغزه به ترتیب ۱۸/۸۷ درصد و ۲۱/۰۸ میلی داریسی است. در مجموع کیفیت مخزنی این زون متوسط تا خوب بوده و نشان‌دهنده زون مخزنی/بافل است.

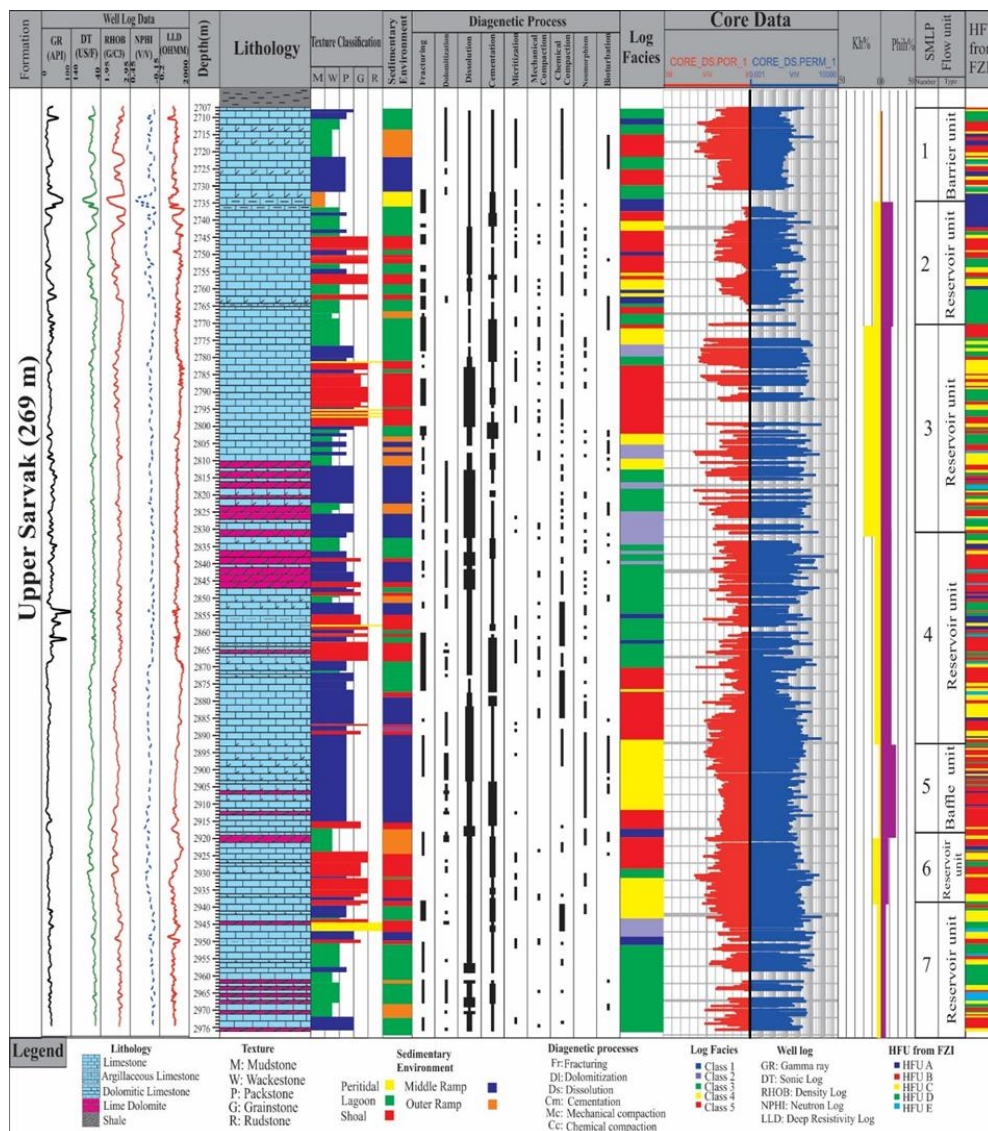
زون ۷: این زون با ضخامت ۳۹ متر در فواصل مربوط به قسمت انتهایی بخش بالایی سازند سروک در چاه مورد مطالعه شناسایی شده است. ترکیب سنگ‌شناسی غالب آهک و میان لایه‌های آهک دولومیتی و دولومیت آهکی است. با توجه به مقاطع نازک میکروسکوپی این زون از رخساره‌های لاگون، لایه‌های نازک پشته سدی و رمپ خارجی تشکیل شده است. سیستم منافذ این زون شامل تخلخل‌های بین‌بلوری، حفره‌ای و بین‌دانه‌ای است. مقدار زیاد انحلال و شکستگی در مقابل مقدار کم سیمانی‌شدن و دولومیتی‌شدن سبب افزایش کیفیت مخزنی رخساره‌های گل پشتیبان در این زون شده است. غالب این زون از رخساره الکتریکی EF 3 با کیفیت مخزنی متوسط و میانگین تخلخل مغزه در این زون ۱۱/۴۶ درصد و تراوایی ۱۴/۶۷ میلی داریسی است. در نتیجه با ظرفیت ذخیره نسبتاً بالا و تراوایی پایین، این زون به عنوان یک زون بافل معرفی شده است.

جدول ۴- توزیع ویژگی‌های پتروگرافی و پتروفیزیکی در زون‌های شناسایی‌شده به روش لورنز در بخش بالایی سازند سروک

زون	ضخامت (متر)	سنگ‌شناسی	بافت	رخساره رسوبی	فرآیندهای دیاژنری	سیستم منافذ	رخساره الکتریکی (غالب)	واحد جریان هیدرولیکی (غالب)
۱	۲۵	آهک دولومیتی، آهک رسی، آهک	گل پشتیبان	رمپ میانی، رمپ خارجی، لاگون و پهنه جزر و مدی	سیمانی شدن، انحلال، دولومیتی شدن و تراکم شیمیایی	بین‌بلوری و حفره‌های مرتبط	EF 3, 5, 1	پراکنده
۲	۳۸	آهک	دانه پشتیبان و مقداری گل پشتیبان	پشته سدی، لاگون و مقداری رمپ خارجی	شکستگی، انحلال، میکرایتی شدن و نوشکلی	بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، قالبی و حفره‌های مرتبط و غیر مرتبط	EF 5 and 4	پراکنده
۳	۶۱	آهک (بخش بالایی)، دولومیت آهکی (بخش پایینی)	دانه پشتیبان و مقداری گل پشتیبان	پشته سدی، رمپ میانی، لاگون و مقداری رمپ خارجی	انحلال، دولومیتی شدن، شکستگی، تراکم	بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، قالبی و حفره‌های مرتبط	EF 5	پراکنده
۴	۶۰	آهک دولومیتی	دانه پشتیبان و مقداری گل پشتیبان	پشته سدی و لاگون و میان لایه‌های رمپ میانی و خارجی	انحلال، شکستگی، دولومیتی شدن، سیمانی شدن و تراکم شیمیایی	بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای و حفره‌های مرتبط و غیر مرتبط	EF 3 and 5	HFU B and HFU C
۵	۲۷	آهک دولومیتی و میان لایه‌های نازک دولومیت آهکی	گل پشتیبان و مقداری دانه پشتیبان	رمپ میانی، رمپ خارجی و پشته سدی	سیمانی شدن، انحلال، دولومیتی شدن، شکستگی، تراکم شیمیایی و آشفته‌گی زیستی	بین‌بلوری و حفره‌های مرتبط	EF 4	HFU B

ادامه جدول ۴- توزیع ویژگی‌های پتروگرافی و پتروفیزیکی در زون‌های شناسایی شده به روش لورنز در بخش بالایی سازند سروک

زون	ضخامت (متر)	سنگ‌شناسی	بافت	رخساره رسوبی	فرآیندهای دیاژنزی	سیستم منافذ	رخساره الکتریکی (غالب)	واحد جریانی هیدرولیکی (غالب)
۶	۱۹	آهک	دانه‌پشتیبان و مقداری گل پشتیبان	پشته سدی و مقداری رمپ میانی، رمپ خارجی و لاگون	انحلال، سیمانی شدن و دولومیتی شدن	حفره‌ای، بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای	EFs 4 and 5	پراکنده
۷	۳۹	دولومیت آهکی، آهک و آهک دولومیتی	پراکنده	لاگون، پشته سدی، رمپ خارجی و میانی	انحلال، شکستگی، سیمانی شدن و دولومیتی شدن	بین‌بلوری، حفره‌های مرتبط و غیر مرتبط و بین‌دانه‌ای	EF 3	پراکنده



شکل ۸- ستون یکپارچه چینه‌شناسی بخش بالایی سازند سروک در چاه مورد مطالعه. در این ستون ویژگی‌های پتروفیزیکی شامل واحدهای جریانی و رخساره‌های الکتریکی با ویژگی‌های زمین‌شناسی مخزن شامل رخساره‌های رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی انطباق داده شده است.

۵- نتیجه‌گیری

مطالعات ویژگی‌های پتروگرافی شامل رخساره‌های رسوبی، فرآیندهای دیاژنزی و سیستم منافذ با ویژگی‌های پتروفیزیکی شامل رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریانی برای بخش بالایی سازند سروک در یکی از چاه‌های واقع در یکی از میدان‌های نفتی ناحیه دشت آبادان صورت گرفت. مطالعات رخساره‌ای منجر به شناسایی ۱۳ ریزرخساره رسوبی در چارچوب ۵ کمربند رخساره‌ای پهنه جزر و مدی، لاگون، پشته سدی، رمپ میانی و رمپ خارجی شده است که در قالب یک رمپ کربناته هم‌شیب نهشته شده‌اند. با توجه به فرآیندهای دیاژنزی انحلال و شکستگی سبب افزایش کیفیت مخزنی شده و در طرف مقابل فرآیندهای سیمانی‌شدن، تراکم و دولومیتی‌شدن کیفیت مخزنی را کاهش داده‌اند. بر مبنای نمودارهای چاه‌پیمایی گاما، نوترون، صوتی، چگالی و مقاومت و با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی تعداد ۵ رخساره الکتریکی تعیین و تفسیر شد. بر اساس داده‌های تخلخل-تراوایی حاصل از مغزه، با استفاده از دو روش پتروفیزیکی شاخص زون جریانی (FZI) و لورنز اصلاح‌شده بر مبنای چینه‌شناسی (SMLP) به ترتیب ۵ و ۷ واحد جریانی برای بخش بالایی سازند سروک تعیین گردید و واحدهای مخزنی از غیر مخزنی تفکیک شدند. درنهایت، کمربندهای رخساره‌ای، فرآیندهای دیاژنزی، سیستم منافذ و رخساره‌های الکتریکی در چارچوب زون‌بندی مخزنی به روش لورنز اصلاح‌شده بر مبنای چینه‌شناسی (SMLP) مورد مقایسه و تفسیر قرار گرفت. نتایج نشان داد، رخساره‌های پراثرزی (دانه‌پشتیبان) کمربندهای رخساره‌ای پشته سدی، رمپ میانی (به سمت خشکی)، فرآیندهای انحلال و شکستگی گسترده و سیمانی‌شدن و تراکم محدود با زون‌های دارای کیفیت مخزنی قابل انطباق هستند (مانند زون ۳). رخساره‌های کم اثرزی (گل پشتیبان) مربوط به کمربندهای رخساره‌ای پهنه جزر و مدی، رمپ میانی (به سمت دریای باز)، رمپ خارجی و لاگون همراه با فرآیندهای سیمانی‌شدن، تراکم و دولومیتی‌شدن عموماً در زون‌های دارای کیفیت مخزنی پایین گسترش دارند (مانند زون‌های ۱ و ۵). همچنین مواردی وجود داشت که فرآیندهای دیاژنزی به‌ویژه انحلال و شکستگی با تأثیرگذاری مثبت سبب افزایش نسبی کیفیت مخزنی رخساره‌های گل پشتیبان شده‌اند (مانند زون‌های ۲ و ۷) و در طرف دیگر فرآیندهای سیمانی‌شدن،

تراکم و دولومیتی‌شدن با تأثیر منفی باعث کاهش جزئی کیفیت مخزنی رخساره‌های دانه‌پشتیبان شده است (مانند زون‌های ۴ و ۶). با توجه به زون‌بندی بر اساس روش لورنز، زون ۳ بهترین واحد مخزنی را تشکیل داده است. همچنین زون‌های ۲، ۴ و ۶ دارای کیفیت مخزنی مطلوبی هستند. این واحدهای مخزنی منطبق با رخساره‌های دانه پشتیبان و بخش‌های منطبق با فرآیندهای افزایش کیفیت مخزنی (انحلال بالا) هستند. در این زون‌ها انواع تخلخل‌های متئوریک دیده می‌شود. مقایسه مطالعات واحدهای جریانی و پتروگرافی نشان از همخوانی قابل قبول نتایج با یکدیگر است. این پژوهش نشان داد گسترش فرآیندهای دیاژنزی و سیستم منافذ توسط رخساره‌های رسوبی کنترل می‌شود و رابطه تنگاتنگی بین واحدهای مخزنی و غیر مخزنی، رخساره‌های رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی وجود دارد. علاوه بر این زون‌های تفکیک‌شده از روش لورنز اصلاح‌شده بر مبنای چینه‌شناسی (SMLP) به علت توانایی نمایش ناهمگنی‌های مخزن سروک در ابعاد بزرگ، می‌تواند در مقیاس کل میدان استفاده شود.

سپاسگزاری

در اینجا لازم است از شرکت مهندسی و توسعه نفت (متن) جهت در اختیار قرار دادن اطلاعات میدان نفتی مورد مطالعه جهت نوشتن مقاله تشکر و قدردانی گردد.

مراجع

- [1] Lucia, F. J. (2007) Carbonate Reservoir Characterization An Integrated Approach., Second Edition. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 55(6): 336.
- [2] Shiri, Y., Moradzadeh, A., Ghavami-Riabi, R., and Chehrizi, A. (2012). "Integration of 2D seismic and well log data for petrophysical modeling and gas reserve estimation in appraisal state of petroleum exploration." Journal of Seismic Exploration 21(3): 231-246.
- [3] Rahimpour-Bonab, H. (2007). "A procedure for appraisal of a hydrocarbon reservoir continuity and quantification of its heterogeneity." J. Pet. Sci. Eng., 58(1-2): 1-12.
- [4] Moore, C. H. (2013). "Carbonate Reservoirs: Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework." Elsevier, Amsterdam: 370.
- [5] Sfidari, E., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Rahimpour-Bonab, H., and Soltani, B. (2014). "A hybrid approach for litho-facies characterization in the framework of sequence stratigraphy: A case study from the South Pars gas field, the Persian Gulf basin." Journal of Petroleum Science and Engineering, 121: 87-102.

- [18] Esrafil-Dizaji, B., Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H. Afshin, S., Kiani Harchegani, F., and Shahverdi, N. (2015). "Characterization of rudist-dominated units as potential reservoirs in the middle Cretaceous Sarvak Formation, SW Iran." *Facies*, 61(3): 1-25.
- [19] Hollis C., and Sharp, I. (2011). "Albian-Cenomanian-Turonian carbonate-siliciclastic systems of the Arabian Plate: advances in diagenesis, structure and reservoir modelling: introduction." *Petroleum Geoscience*, 17: 207-209.
- [20] Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Enayati-Bidgoli, A. H., and Omidvar, M. (2012). "Coupled imprints of tropical climate and recurring emergence on reservoir evolution of a mid Cretaceous carbonate ramp, Zagros Basin, southwest Iran." *Cretaceous Research*, 37: 15-34.
- [21] Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Navidtalab A. H., Izadi-Mazidi, E. (2012). "Flow Unit Distribution and Reservoir Modelling in Cretaceous Carbonates of the Sarvak Formation, Abteymour Oilfield." *Journal of Petroleum Geology*, 35: 213-236.
- [22] Taghavi, A. A., Mork, A., and Emadi, M. A. (2006). "Sequence stratigraphically controlled diagenesis governs reservoir quality in the carbonate Dehloran Field, southwest Iran." *Petroleum Geoscience*, 12(2): 115-126.
- [23] Hajikazemi, E., Al-Aasm, I. S., and Coniglio, M. (2010). "Subaerial exposure and meteoric diagenesis of the Cenomanian-Turonian Upper Sarvak Formation, southwestern Iran." *Geological Society, London, Special Publications*, 330(1): 253-272.
- [24] Hajikazemi, E., Al-Aasm, I. S., and Coniglio, M. (2012). "Chemostratigraphy of cenomanian-turonian carbonates of the sarvak formation, Southern Iran." *Journal of Petroleum Geology*, 35(2): 187-205.
- [25] Hajikazemi, E., Al-Aasm, I. S., and Coniglio, M. (2017). "Diagenetic history and reservoir properties of the Cenomanian-Turonian carbonates in southwestern Iran and the Persian Gulf." *Marine and Petroleum Geology*, 88: 845-857.
- [26] Malekzadeh, H., Daraei, M., and Bayet-Goll, A. (2020). "Field-scale reservoir zonation of the Albian-Turonian Sarvak Formation within the regional-scale geologic framework: A case from the Dezful Embayment, SW Iran." *Marine and Petroleum Geology*, 121: 1-20.
- [27] Soleimani Asl. S., and Aleali, M. (2016). "Microfacies Patterns and Depositional Environments of the Sarvak Formation in the Abadan Plain, Southwest of Zagros, Iran." *Open Journal of Geology*, 6(3): 201-209.
- [28] Faramarzi, S., Rahimpour-Bonab, H., and Ranjbaran, M., (2018). "Flow units characterization of the sarvak Formation in a sequence stratigraphic framework: a case study from an oil-field in the Abadan Plain, SW Iran." *Applied Sedimentology*, 6(12), 25-39 (In persian).
- [29] Assadi, A., Honarmand, J., Rahmani, A., and Raisi, A. R. (2016). "Recognition and interpretation of depositional and diagenetic facies from log facies concept a case study from the Sarvak reservoir in a giant oil
- [6] Mehrabi, H., Ranjbar-Karami, R., and Roshani-Nejad, M. (2019). "Reservoir rock typing and zonation in sequence stratigraphic framework of the Cretaceous Dariyan Formation, Persian Gulf." *Carbonates and Evaporites*, 34(4): 1833-1853.
- [7] Kadkhodaie-Ilkhchi, R., Rezaee, R., Moussavi-Harami, R., and Kadkhodaie -Ilkhchi, A. (2013). "Analysis of the reservoir electrofacies in the framework of hydraulic flow units in the Whicher Range Field, Perth Basin, Western Australia." *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 111: 106-120.
- [8] Abbaszadeh, M. Fujii, H., and Fujimoto, F. (1996). "Permeability prediction by hydraulic flow units - Theory and applications." *SPE Formation Evaluation*, 11(4): 263-271.
- [9] Amaefule, J. O., Altunbay, M., Tiab, D., Kersey, D. G., and Keelan, D. K. (1993). "Enhanced Reservoir Description. Using Core and Log Data to Identify Hydraulic (Flow) Units and Predict Permeability in Uncored Intervals/Wells." *Society of Petroleum Engineers Annual Conference*, 205-220.
- [10] Gunter, G. W., Finneran, J. M., Hartmann, D. J., and Miller, J. D. (1997). "Early determination of reservoir flow units using an integrated petrophysical method." *Proceedings - SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 373-380.
- [11] Perez H. H., Datta-Gupta, A., and Mishra, S. (2003). "The Role of Electrofacies, Lithofacies, and Hydraulic Flow Units in Permeability Predictions from Well Logs: A Comparative Analysis Using Classification Trees." *Proc. - SPE Annu. Tech. Conf. Exhib.*, 2191-2201.
- [12] Serra, H. T., and Abbott, O. T. (1982). "The contribution of logging data to sedimentology and stratigraphy." *Soc. Pet. Eng. J.*, 22: 117-131.
- [13] Kadkhodaie Ilkhchi, A., Rezaee, M., and Moallemi, S. A. (2006). "A fuzzy logic approach for estimation of permeability and rock type from conventional well log data." *Journal of Geophysics and Engineering*, 3(4): 356.
- [14] Tavakoli V., and Amini, A. (2006). "Application of Multivariate Cluster Analysis in Logfacies Determination and Reservoir Zonation, Case Study of Marun Field, South of Iran." *Journal of Science (University of Tehran)*, 32(21): 69-75.
- [15] Moradi, M., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Khanehbad, M., and Ghabeishavi, A. (2017). "Rock typing using geological and petrophysical data in the Asmari reservoir, Aghajari Oilfield, SW Iran." *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 152: 523-537.
- [16] Enayati-Bidgoli, A. H., Rahimpour-Bonab, H., and Mehrabi, H. (2014). "Flow unit characterisation in the permian-triassic carbonate reservoir succession at South Pars Gasfield, Offshore Iran." *Journal of Petroleum Geology*, 37(3): 205-230.
- [17] Beiranvand, B. (2007). "Mapping and Classifying Flow Units in the Upper Part of the Mid-Cretaceous Sarvak Formation (Western Dezful Embayment, Sw Iran." *Journal of Petroleum*, 30: 357-373.

depositional sequences and lithostratigraphic nomenclature.” *Pet. Geosci.*, 17(3): 211–222.

[43] Bordenave M. L., and Hegre, J. A. (2005). “The influence of tectonics on the entrapment of oil in the Dezful Embayment, Zagros Foldbelt, Iran.” *Journal of Petroleum Geology*, 28(4): 339–368.

[44] Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., Hajikazemi, E., and Jamalian, A. (2015). “Controls on depositional facies in Upper Cretaceous carbonate reservoirs in the Zagros area and the Persian Gulf, Iran.” *Facies*, 61(4): 147–167.

[45] Motiei, H. (1993) “Stratigraphy of Zagros. Geological Survey of Iran.” 572 (In Persian)

[46] Christian, L. (1997). “Cretaceous subsurface geology of the Middle East region.” *GeoArabia*, 2(3): 239–256.

[47] Dickson, J. (1966). “Carbonate Identification and Genesis as Reveled by Staining.” *Journal of Sedimentary Petrology*, 36(2): 491–505.

[48] Dunham, R. J. (1962). “Classification of carbonate rocks according to depositional texture, in W. E. Ham, ed., *Classification of carbonate rocks.*” American Association of Petroleum Geologists Memoir 1: 108–121.

[49] Embry A. F., and Klovan, J. E. (1971). “A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwest Territories, Canada.” *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 19: 730–781.

[50] Flugel, E. (2010). “Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application (2th edition).” Springer, Berlin Heidelberg, New York: 984.

[51] Ahr W. M. (2008). “Geology of Carbonate reservoirs.” John Wiley and sons, Chichester: 296.

[52] Mahdi T. A., and Aqrawi, A. A. M. (2014). “Sequence stratigraphic analysis of the mid-cretaceous mishrif formation, southern Mesopotamian Basin, Iraq.” *Journal of Petroleum Geology*, 37(3): 287–312.

[53] Mehrabi H., and Rahimpour-Bonab, H. (2014). “Paleoclimate and tectonic controls on the depositional and diagenetic history of the Cenomanian-early Turonian carbonate reservoirs, Dezful Embayment, SW Iran.” *Facies*, 60(1): 147–167.

[54] Kiani, A., Saberi, M. H., Zarenezhad, B., Asadi Mehmandosti, E. and Rahmani, N. (2019), “Interpretation of sedimentary environment and factors affecting reservoir quality in upper Sarvak Formation in one the oil fields of Abadan plain.” *Iranian Journal of Petroleum Geology*, 16, 78-103 (In persian).

[55] Adabi, M. H. (2009). “Multistage dolomitization of upper jurassic mozduran formation, kopet-dagh basin, N.E. Iran.” *Carbonates and Evaporites*, 24(1): 16–32.

[56] Kadkhodaie A., and Kadkhodaie, R. (2018). “A Review of Reservoir Rock Typing Methods in Carbonate Reservoirs: Relation between Geological, Seismic, and Reservoir Rock Types.” *Petroleum Engineering Iranian Journal of Oil & Gas Science and Technology*, 7(4): 13–35.

fields, SW Iran.” *Applied Sedimentology*, 3(6), 103-119 (In persian).

[30] Aleali, S. M. (2017). “Facies analysis and depositional sequences of the middle Cretaceous Sarvak Formation in the northwest of Behbahan, Zagros basin, Iran.” *Episodes*, 40(4): 279–293.

[31] Asadi Mehmandosti, E., Adabi, M. H., and A. D. Woods, (2013). “Microfacies and geochemistry of the Middle Cretaceous Sarvak Formation in Zagros Basin, Izeh Zone, SW Iran.” *Sedimentary Geology*, 293: 9–20.

[32] Assadi, A., Honarmand, J., Moallemi, S. A., and Abdollahie-Fard, I. (2016). “Depositional environments and sequence stratigraphy of the Sarvak Formation in an oil field in the Abadan Plain, SW Iran.” *Facies*, 62(4): 1-22.

[33] Assadi, A., Honarmand, J., Moallemi, S. A., and Abdollahie-Fard, I. (2018). “An integrated approach for identification and characterization of palaeo-exposure surfaces in the upper Sarvak Formation of Abadan Plain, SW Iran.” *Journal of African Earth Sciences*, 145: 32–48.

[34] Assadi, A., Honarmand, J., Moallemi, S. A. and Abdollahie Fard, I. (2016). “Flow Units Identification of the sarvak Carbonate Reservoir, a case study from an oil Field, SW Iran. ” *Petroleum Research*, 91, 66-82 (In persian).

[35] Ghabeishavi, A., Vaziri-Moghaddam, H., and Taheri, A. (2009). “Facies distribution and sequence stratigraphy of the Coniacian - Santonian succession of the Bangestan Palaeo-high in the Bangestan Anticline, SW Iran.” *Facies*, 55(2): 243–257.

[36] Lapponi, F., Casini, G., Sharp, I., Blendinger, W., Fernandez, N., Romaine, I., and Hunt, D. (2011). “From outcrop to 3D modelling: A case study of a dolomitized carbonate reservoir, Zagros Mountains, Iran.” *Pet. Geosci.*, 17(3): 283–307.

[37] Abdollahie Fard, I. A., Braathen, A., Mokhtari, M., and Alavi, S. A. (2006). “Interaction of the Zagros Fold-Thrust Belt and the Arabian-type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran.” *Petroleum Geoscience*, 12(4): 347–362.

[38] Alavi, M. (2007). “Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran.” *American Journal of Science*, 307(9): 1064–1095.

[39] Du, Y., Chen, J., Cui, Y., Xin, J., Wang, J., Li, Y. Z., & Fu, X., (2006). “Genetic mechanism and development of the unsteady Sarvak play of the Azadegan oil field, southwest of Iran.” *Petroleum Science*, 13(1), 34–51.

[40] Sharland, P. R., Archer, R., Casey, D. M., Davies, R. B., Hall, S. H., Heward, A. P., Simmons, M. D., (2001). “Arabian Plate Sequence Stratigraphy.” *GeoArabia*, Special Publication 2: 371.

[41] James G. A., and Wynd, J. G. (1965). “Stratigraphic Nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area.” *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 49: 2182–2245.

[42] Van Buchem, F. S. P., Simmons, M. D., Droste, H. J., and Davies, R. B. (2011). “Late Aptian to Turonian stratigraphy of the eastern Arabian Plate -

[60] Gomes, J. S., Ribeiro, M. T., Strohmenger, C. J., Negahban, S., and Kalam, M. Z. (2008). "Carbonate reservoir rock typing - The link between geology and SCAL." Soc. Pet. Eng. - 13th Abu Dhabi Int. Pet. Exhib. Conf. ADIPEC 2008, 3: 1643-1656.

[61] Rahimpour-Bonab, H., Enayati-Bidgoli, A. H., Navidtalab, A., and Mehrabi, H. (2014). "Appraisal of intra reservoir barriers in the Permo-Triassic successions of the central Persian gulf, offshore Iran." *Geologica Acta*, 12(1): 87-107.

[57] Castillo, S., Gutierrez, E., and J. M., Hadi, A, (1997). "Sensitivity Analysis in Discrete Bayesian Networks." *Man Cybern.*, 26: 412-423.

[58] Loo, A. H. B., Tan, H. T. W., Kumar, P. P., and Saw, L. G. (2001). "Intraspecific variation in *Licuala glabra* Griff. (Palmae) in Peninsular Malaysia - A morphometric analysis." *Biol. J. Linn. Soc.*, 72(1): 115-128.

[59] Tiab D., and Donaldson, E. C. (2015). "Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties: Fourth Edition." Gulf Publishing company houston, Texas: 950.

¹ Cumulative flow capacity

² Cumulative storage capacity

³ Normal Flow unit

⁴ Barrier unit

⁵ Super Permeable unit

⁶ Baffle units