

# تعیین رخساره‌های دیاژنزی براساس نگارهای پتروفیزیکی در مخزن ناهمگن سروک در یکی از میادین نفتی ایران

ولی مهدی پور<sup>۱</sup>، احمد رضا ربانی<sup>۱،۲\*</sup>، علی کدخدائی<sup>۲</sup>، هومن کرکوتی<sup>۳</sup> و محسن شوراب<sup>۴</sup>

۱- دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

۲- دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران

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

۴- شرکت مهندسی و توسعه سروک آذر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲

## چکیده

در این مطالعه فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر کیفیت مخزن سروک در یکی از میادین فروربار دزفول از دیدگاه پتروگرافی و پتروفیزیکی مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی مقاطع نازک تهیه شده از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری و استخراج نگارهای مربوط به پدیده‌های دیاژنزی، مشخص گردید، فرایندهای دیاژنزی اصلی مؤثر بر مخزن سروک مشتمل بر سیمانی‌شدن، انحلال، دولومیتی‌شدن و تراکم می‌باشد. علاوه بر این، نگارهای پتروفیزیکی مورد مطالعه قرار گرفت و با ساخت نگار تخلخل ثانویه و نگار انحراف سرعت (VDL) تلاش گردید بخش‌های حاوی تخلخل‌های حفره‌ای از بخش‌های دیگر تشخیص داده شوند. پس از آماده‌سازی نگارهای مربوطه، جهت تعیین رخساره‌های الکتریکی دیاژنزی از نگارهای تخلخل مفید، تخلخل ثانویه، حجم کانی دولومیت و نگار انحراف سرعت استفاده گردید. بر این اساس، تعداد هشت رخساره دیاژنزی با استفاده از روش خوشه‌بندی تفکیکی گرافیکی (MRGC) تشخیص داده شد. این مطالعه نشان داد، دولومیتی‌شدن در برخی ناحیه‌ها و رخساره‌ها اثر سازنده (مثل رخساره ۱) و در برخی دیگر اثر مخرب (مثل رخساره ۲) بر روی کیفیت مخزنی داشته است. همچنین تخلخل ثانویه باعث گسترش رخساره‌های با کیفیت مخزنی بهتر شده است (مثل رخساره ۶). عدم گسترش انحلال و دولومیتی‌شدن منجر به کاهش کیفیت مخزنی در برخی رخساره‌ها شده است (مثل رخساره‌های ۳، ۴ و ۵). بخش‌های با تخلخل کم، حاوی آثار تراکم (استیلولیت‌ها و رگه‌های انحلالی) بیشتری می‌باشد. براساس این مطالعه می‌توان با ساخت رخساره الکتریکی دیاژنزی فرایندهای مختلف دیاژنزی را طبقه‌بندی و گروه‌های سنگی با تاثیر مشابه دیاژنزی را از هم تفکیک نمود.

کلمات کلیدی: سازند سروک، دولومیت، انحلال، رخساره الکتریکی، دیاژنزی.

\*مسئول مکاتبات

آدرس الکترونیکی rabbani@aut.ac.ir

شناسه دیجیتال: (DOI:10.22078/pr.2023.5018.3236)

مقدمه

سیال و تخمین مقدار ذخیره هیدروکربور مخزن و یا در تهیه نقشه‌های ساختمانی و هم ضخامت مورد استفاده قرار گیرند [۴]. این اطلاعات در نبود مغزه نقش مؤثری در مدیریت، تولید، توسعه و تخمین مخازن دارند [۵]. نتایج حاصل از ارزیابی پتروفیزیکی نظیر حجم شیل و رس، میزان تخلخل کل و مؤثر، حجم کانی‌های تشکیل دهنده سنگ و اشباع آب می‌تواند اطلاعات مفیدی را در رابطه خصوصیات مخزنی سازند ارائه داده و در مدل‌سازی استاتیک و دینامیک مورد استفاده قرار گیرند.

کیفیت مخزنی یک سازند علاوه بر شرایط اولیه رسوب‌گذاری به فرایندهای دیاژنزی هم بستگی دارد. در واقع دیاژنز یک عامل کنترل‌کننده مهم در بسیاری از مخازن هیدروکربنی به ویژه در خاورمیانه است. عملکرد فرایندهای دیاژنزی مختلف بر روی انواع رخساره‌های رسوبی در طی دیاژنز موجب ایجاد ناهمگنی مخزنی در مخازن کربناته می‌شوند [۶]. با این حال، اگر دیاژنز چندان قابل ملاحظه نباشد، ناهمگنی مخزنی تحت کنترل تغییرات بافتی و رخساره‌ای می‌باشد. بنابراین، از آنجا که در بسیاری از مخازن کربناته، به دلیل تاثیر فرایندهای دیاژنزی مختلف بر روی کیفیت مخزنی، ارتباط مشخص و قابل پیش‌بینی بین مدل رخساره‌ای و مدل توزیع تخلخل و تراوایی در مخزن وجود ندارد، نیاز هست فرایندهای دیاژنزی مطالعه شود. به‌طور کلی، فرایندهای دیاژنزی در یک رخساره رسوبی، منجر به ایجاد محصولات نهایی با سرنوشت متفاوت می‌شوند [۵]. دیاژنز شامل فرایندهایی چون میکرایتی‌شدن، انحلال، سیمانی‌شدن، نوشکلی، تراکم (فشرده‌گی مکانیکی و شیمیایی)، دولومیتی‌شدن و تغییرات ایزوتوپی می‌باشد که بر روی رسوبات از آغاز رسوب‌گذاری تا مرحله شروع دگرگونی اثر می‌گذارد. فرایندهای دیاژنزی نظیر سیمانی‌شدن و فشرده‌گی در سنگ‌های کربناته باعث کاهش تخلخل و فرایندهایی نظیر انحلال و ایجاد درز و شکستگی‌ها و گاهی دولومیتی‌شدن باعث افزایش آن می‌گردد.

در این مطالعه، فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر مخزن سروک در یکی از میادین فروبار دزفول از دیدگاه پتروگرافی و پتروفیزیکی مورد مطالعه قرار گرفت. شناخت رخساره‌های رسوبی سازند مورد مطالعه جهت بررسی فرایندهای دیاژنزی ضروری می‌باشد. به‌طور کلی، رخساره رسوبی به مجموعه رسوبات و یا سنگ‌های رسوبی با خصوصیات سنگ‌شناسی، شکل هندسی، ضمام فسیلی، ساخت‌های رسوبی و طرح جریان‌های دیرینه مربوط به خود اطلاق می‌گردد که با تکیه بر همین خصوصیات از مجموعه‌های رسوبی دیگر قابل تمایز باشد [۱]. ویژگی‌های مورد استفاده در تمایز رخساره‌ها مربوط به خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی سنگ‌ها در زمان ته‌نشست رسوب و یا فرایندهای دیاژنزی بعدی هستند. مطالعات میکروفاسیس در سیستم‌های کربناته مشتمل بر مطالعات سنگ‌شناسی و فسیل‌شناسی می‌باشد که معمولاً از طریق مطالعات میکروسکوپی مغزه‌ها یا خرده‌های حفاری و صرفاً در سنگ‌های کربناته تعریف می‌گردد. میکروفاسیس به مفهوم امروزی توسط ویلسون معرفی گردید [۲] و سپس توسط فلوجل برای پلاتفرم‌های کربناته ادامه یافت [۳]. در واقع، میکروفاسیس به تمام اطلاعات دیرینه‌شناسی و رسوب‌شناسی که می‌توان با مطالعه مقاطع نازک، پیل‌ها، صفحات صیقلی شده یا نمونه‌های سنگی توصیف و تقسیم‌بندی کرد، اطلاق می‌گردد.

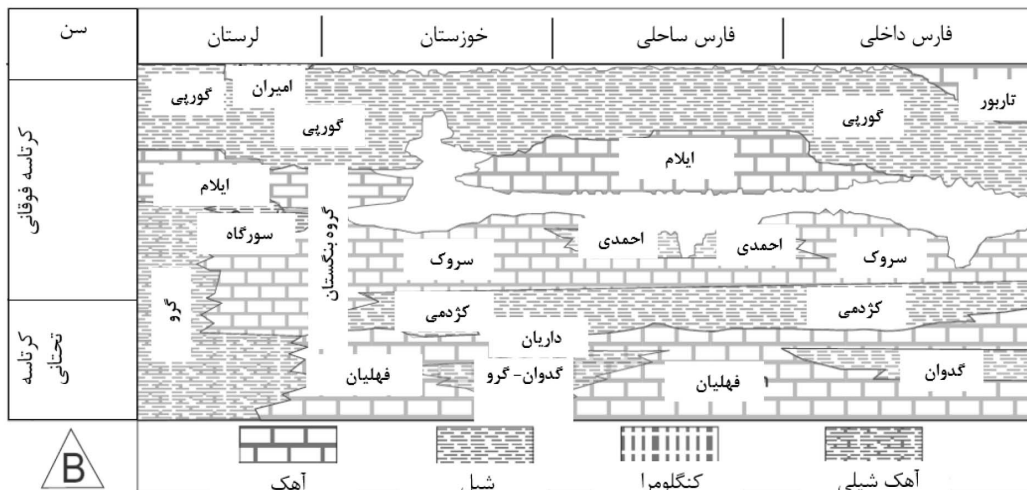
در این مطالعه، علاوه بر مطالعات پتروگرافی از نگارهای پتروفیزیکی جهت مطالعات دیاژنزی استفاده گردید. پتروفیزیک علم مطالعه خصوصیات فیزیکی سنگ‌ها و اثر متقابل سنگ‌ها با سیالات است. مطالعات پتروفیزیکی با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی انجام می‌شود. اطلاعات حاصل از ارزیابی نگارهای پتروفیزیکی می‌تواند برای شناخت ناحیه‌های بهره‌ده، ضخامت و عمق این ناحیه‌ها، تشخیص نوع

فروبار دزفول بخشی از یک پیش‌گودال در قسمت جنوب غربی تراست زاگرس است که به وسیله گسل بالارود در ناحیه شمال-شمال غرب و جبهه کوهستان در شمال شرق-شرق و گسل اصلی کازرون در شرق-جنوب شرق محدود گشته است. در این میدان، سازند سروک مخزن اصلی محسوب می‌شود. سازند سروک، یکی از واحدهای سنگ چینه‌ای کربناتی ضخیم از گروه بنگستان با سن آلبین-تورونین در حوضه زاگرس است [۱۰] که در جنوب غربی ایران بیشترین گسترش دارد و به‌طور عمده از کربنات و مقدار کمتری شیل و مارن تشکیل شده است (شکل ۱). مخزن سروک یکی از بهترین سازندهای مخزنی در میادین مربوط به خلیج فارس و زاگرس می‌باشد [۱۱]. برش الگوی سازند سروک در یال جنوبی کوه بنگستان، در شمال غربی شهرستان بهبهان و شمال شرقی میادین نفتی پارسی و کرنج معرفی شده است [۱۲]. سازند سروک شامل دو رخساره نریتیک در فارس و خوزستان و رخساره پلاژیک در لرستان است که این دو رخساره با هم ارتباط بین‌انگشتی دارند [۱۰] رسوبات سازند سروک بر روی یک پلاتفرم کربناته از نوع شلف در حاشیه غیرفعال صفحه عربی نهشته شده است [۱۳] که با پیشروی نسبی سطح آب دریاها در زمان کرتاسه نهشته شده است [۱۴].

به‌طور کلی، دولومیتی‌شدن معمولاً موجب گسترش تخلخل ثانویه بین بلورین می‌شود [۶]. بلورهای دولومیت در همه رخساره‌های آهکی تعیین شده توسط دانه‌ها می‌تواند تشکیل شود [۷] و معمولاً باعث گسترش تخلخل بین بلورین می‌شود. فرایند دیاژنزی انحلال به‌واسطه ایجاد خلل و فرج قالبی، حفره‌ای و بازشدگی شکستگی‌ها باعث افزایش تخلخل می‌شود. اگرچه مطالعات رخساره‌ای و دیاژنزی با استفاده از مقاطع نازک میکروسکوپی انجام می‌گیرد، با این حال، با استفاده از نگاره‌های پتروفیزیکی می‌توان به‌صورت غیرمستقیم اطلاعات ارزشمندی در زمینه خصوصیات سنگ و سیال و برخی فرایندهای مؤثر دیاژنزی به‌دست آورد. از آنجا که داده‌های مغزه برای تمام چاه‌ها در دسترس نیست اما اکثر چاه‌ها حاوی نگاره‌های پتروفیزیکی می‌باشند، مرتبط کردن فرایندهای دیاژنزی به این نگارها بسیار سودمند می‌باشد [۸]. کیفیت مخازن کربناته نظیر سازند سروک توسط رخساره‌های رسوبی، فرایندهای دیاژنزی و شکستگی‌ها کنترل می‌شود [۹]. در مطالعه حاضر فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر مخزن سروک از دیدگاه پتروگرافی و پتروفیزیکی مورد بررسی قرار گرفت.

#### زمین‌شناسی و چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه

میدان مورد مطالعه در فروبار دزفول قرار دارد.



شکل ۱ چینه‌شناسی توالی کرتاسه در ناحیه زاگرس و مناطق مجاور [۱۹].

دولومیت رنگ‌آمیزی شدند. برای طبقه‌بندی بافت دولومیت دیاژنزی از طبقه‌بندی گِرد و سیلی [۲۱] استفاده شده‌است. پس از تشخیص فرایندهای دیاژنزی از روی مقاطع نازک، نگارهای پتروفیزیکی این چاه مورد بررسی قرار گرفتند. پس از ساخت نگارهای دیاژنزی نظیر حجم دولومیت، درصد سیمانی‌شدن و میزان گسترش انحلال، رخساره الکتریکی دیاژنزی تهیه گردید. در این مطالعه برای ساخت نگارهای پتروفیزیکی و رخساره‌های دیاژنزی از نرم‌افزار ژئولاگ<sup>۲</sup> استفاده گردید. همچنین، جهت تعیین انواع رخساره‌های الکتریکی از ماژول فسیمیج<sup>۳</sup> همین نرم‌افزار استفاده گردید.

**جدول ۱** ناحیه‌بندی زمین‌شناسی مخزن سروک در میدان مورد مطالعه.

ناحیه‌بندی	زیرناحیه‌بندی
سروک بالایی (US)	USA1
	USA2
	NNS
	USB1
	USB2
	USC2a
	USC2b
	USC1a
	USC1b
	احمدی
LSA2	
LSB1	
LSB2	
LSC_D	
LSE1	
LSE2	
LSF	
LSG	
سروک پایینی (LS)	

تفسیر نگارهای پتروفیزیکی

در این مطالعه، جهت تفسیر و ارزیابی پتروفیزیکی از نگارهای مرسوم پتروفیزیکی نظیر نگار قطرسنجی چاه، نگار پرتو گاما، نگار نوترون، نگار چگالی،

با این حال، محیط رسوبی سازند سروک در بخش‌های دیگری از زاگرس براساس مطالعات صورت گرفته توسط برخی پژوهش‌گران دیگر از نوع رمپ کربناته در نظر گرفته شده‌است [۱۵، ۱۶، ۱۷]. سازند سروک در قاعده، شامل آهک‌های خاکستری تیره با لایه‌بندی ریزدانه رسی و حاوی آمونیت فراوان و همراه با لایه‌های نازک از مارن‌های خاکستری تیره به صورت بین‌لایه‌ای است. بخش میانی آن شامل آهک‌های توده‌ای خشن به رنگ قهوه‌ای روشن همراه با قطعاتی از رودیست می‌باشد. بخش بالایی از آهک‌های خیلی ضخیم تا ضخیم لایه با هوازگی نامنظم آغشته به اکسیدهای آهن و برشی شده تشکیل شده‌است [۱۰]. در میدان مورد مطالعه سازند سروک عمدتاً آهکی می‌باشد. با این حال، در برخی بازه‌های عمقی حاوی میان لایه‌های شیلی و آهک آرژیلی بوده و در برخی دیگر آثار دولومیتی شدن مشهود می‌باشد. مرز پایینی سروک با شیل‌های کژدمی به صورت تدریجی و مرز بالایی آن با سازند ایلام ناپیوسته و فرسایشی و آغشته به ترکیبات آهن است [۱۸]. در میدان مورد مطالعه، مخزن سروک با ضخامت حدود ۶۰۰ m به سه بخش سروک بالایی (با ضخامت حدود ۳۰۶ m)، بخش شیل احمدی (با ضخامت حدود ۳۳ m)، و بخش سروک پایینی (با ضخامت حدود ۲۶۵ m) تقسیم شده‌است. هر کدام از بخش‌های سروک بالایی و پایینی به ۹ ناحیه تقسیم شده‌است (جدول ۱).

روش و مراحل تحقیق

در این مطالعه ۱۳۵۰ مقاطع نازک تهیه شده از مغزه چاه‌های ۵، ۶ و ۸ سازند سروک در میدان مورد مطالعه بررسی گردید. علاوه بر این نگارهای پتروفیزیکی ۱۹ چاه حفاری شده در این میدان برای ساخت رخساره الکتریکی دیاژنزی مورد استفاده قرار گرفت. مقاطع حاصل از مغزه توسط آلیزارین قرمز به روش دیکسون<sup>۱</sup> [۲۰] جهت تشخیص کلسیت از

1. Dickson

2. Geolog

3. Facimage

نگار صوتی و تخلخل محاسبه شده براساس نگارهای نوترون یا چگالی حاصل می‌شود. این نگار قابل استفاده جهت تشخیص گسترش فرایندهای دیاژنزی و روند تراوایی می‌باشد. براساس مطالعات صورت گرفته توسط محققان مختلف، نگار انحراف سرعت، اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر مخزن، انواع تخلخل غالب و روند تراوایی در یک چاه ارائه می‌دهد [۲۵ و ۲۶]. همچنین به دلیل ارتباط این نگار با رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی، برخی از پژوهش‌گران از این نگار جهت ناحیه‌بندی مخزنی استفاده کرده‌اند [۲۷]. برای ساخت نگار انحراف سرعت صوت، نخست با استفاده از رابطه وایلی، نگار تخلخل به نگار سرعت مصنوعی تبدیل می‌شود [۲۸]. اختلاف سرعت واقعی به دست آمده از نگار صوتی و سرعت مصنوعی به دست آمده از نگار تخلخل، به‌عنوان نگار انحراف سرعت بیان می‌شود [۲۹]. براساس نگار انحراف سرعت سه ناحیه قابل تشخیص خواهد بود:

بازه‌های عمقی با مقادیر VDL صفر: بخش‌های با انحراف‌های کوچک ( $\pm 500$  m/s یا کمتر) در اثر تخلخل‌های بین دانه‌ای، بین بلورین و ریز تخلخل‌ها ایجاد می‌شوند. این تخلخل‌ها معمولاً ارتباط خوبی باهم دارند و در صورت ریز نبودن آنها، باعث ایجاد تراوایی بالا می‌شوند.

بازه‌های عمقی با مقادیر VDL منفی: بخش‌های با مقادیر منفی معمولاً در اثر ریختگی دیواره چاه، وجود شکستگی و یا آثار گاز ایجاد می‌شود. این ناحیه‌ها معمولاً تراوایی بالاتری از ناحیه‌های دیگر نشان می‌دهند.

بازه‌های عمقی با مقادیر VDL مثبت: بخش‌های با مقادیر مثبت مؤید تخلخل‌های قالبی و درون فسیلی با تراوایی کم می‌باشند.

نگار صوتی، نگار فاکتور فوتوالکتریک و نگار مقاومت<sup>۱</sup> استفاده گردید. ارزیابی پتروفیزیکی معمولاً به دو روش قطعی و احتمالی انجام می‌گیرد [۲۲]. در روش قطعی تفسیر به صورت مرحله به مرحله انجام می‌گیرد، ولی در روش احتمالی تفسیر با استفاده از ماژول مالتی مین<sup>۲</sup> نرم افزار ژئولاگ انجام می‌شود که بر پایه آمار و احتمال است. در مدل احتمالی با توجه به سیالات، ماتریکس و نگارهای موجود و نیز استفاده از فرمول‌های مختلف، خصوصیات مجهول مخزن تعیین می‌شود. از آنجا که این روش با استفاده همزمان از نگارهای مرسوم پتروفیزیکی انجام می‌گیرد، خطاهای تصادفی آن کمتر است. روش مالتی مین مشتمل بر بارگذاری داده‌ها، کنترل کیفیت و ویرایش داده‌ها، محاسبه پارامترهای مورد نیاز قبل از محاسبه اصلی<sup>۳</sup>، انجام تصحیحات محیطی<sup>۴</sup> و نهایتاً ساخت مدل پتروفیزیکی جهت تفسیر نگارها با توجه به شرایط چاه می‌باشد. در نهایت پارامترهای پتروفیزیکی ارزیابی شده نظیر تخلخل کل و مؤثر، اشباع‌شدگی کل و مؤثر، میزان سیالات، حجم شیل و حجم کانی‌های تشکیل دهنده برای هر چاه محاسبه می‌شود. نتایج تفسیر نگارهای پتروفیزیکی در مطالعات مخزنی خصوصاً ساخت مدل‌های استاتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۳]. در این مطالعه نتایج تفسیر پتروفیزیکی جهت استفاده در ارزیابی فرایندهای دیاژنزی مورد استفاده قرار گرفت. به منظور ساخت نگارهای پتروفیزیکی دیاژنزی نخست، تخلخل ثانویه ناشی از انحلال محاسبه گردید. محاسبه تخلخل ثانویه<sup>۵</sup> (SPI) ناشی از انحلال با استفاده از تفاضل تخلخل محاسبه شده براساس روش وایلی و با استفاده از نگار صوت و تخلخل محاسبه شده براساس نگارهای نوترون و چگالی انجام گرفت. اختلاف تخلخل محاسبه شده از این روش‌ها نشان دهنده تخلخل ثانویه حاصل از دیاژنزی می‌باشد [۲۴]. همچنین نگار انحراف سرعت صوت<sup>۶</sup> (VDL) ساخته شد. نگار مصنوعی انحراف سرعت از ترکیب

1. Resistivity Logs
2. Multimin
3. Precalc
4. Environmental Corrections
5. Secondary Porosity Index
6. Velocity Deviation Log

تعیین رخساره‌های الکتریکی دیاژنزی

تعیین رخساره الکتریکی یا رخساره نگار می‌تواند روشی برای تعیین رخساره‌های دیاژنزی با استفاده از نگاره‌های پتروفیزیکی باشد. هر رخساره الکتریکی از نظر تغییرات نگاره‌های مورد استفاده همگن و نسبت به سایر رخساره‌ها متفاوت می‌باشد. از رخساره‌های حاصل می‌توان در مدل‌سازی رخساره‌ای (به عنوان بخشی از مدل‌سازی استاتیک) استفاده کرد. رخساره‌های دیاژنزی در توصیف و ارزیابی توالی‌های کربنانه و ماسه سنگی جهت تفکیک واحدهای با خصوصیات دیاژنزی مشخص مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳۰]. این خصوصیات می‌تواند سازنده (مثل انحلال)، مخرب (مثل سیمانی شدن) و یا ناچیز (مثل میکریتی شدن) باشد. روش‌ها و الگوریتم‌های متعددی نظیر 'MRG'، AHC<sup>۲</sup> و SOM<sup>۳</sup> برای خوشه‌بندی وجود دارد. هر کدام از الگوریتم‌ها با استفاده از روش‌های محاسباتی مختص به خود تعداد خوشه‌ها را با استفاده از داده‌های پتروفیزیکی تعیین و تفکیک می‌کنند [۳۱]. در این مطالعه، خوشه‌سازی و تعیین رخساره‌های الکتریکی با استفاده از روش خوشه‌سازی MRGC انجام گرفت. خوشه‌سازی براساس MRGC یک روش آماری غیرپارامتریک بوده و مشکل وابستگی به بعد را از بین می‌برد [۳۲]. به‌طور کلی در خوشه‌بندی سعی می‌گردد داده‌ها به خوشه‌های مختلف تقسیم شوند به‌طوری که شباهت مابین داده‌های درون هر خوشه حداکثر و شباهت مابین خوشه‌های مختلف حداقل شود [۳۳]. در روش مورد استفاده در این مطالعه (MRGC)، داده‌های ورودی اعم از چندین نگار پتروفیزیکی پس از کنترل کیفی جهت خوشه‌بندی استفاده گردید. این روش برای آنالیز ساختارهای پیچیده و دسته‌بندی طبیعی گروه‌های داده‌ها در شکل‌ها، اندازه‌ها و چگالی‌های متفاوت بسیار مناسب می‌باشد.

بحث

مطالعه فرایندهای دیاژنزی

دیاژنزی یک عامل کنترل کننده مهم در بسیاری

از مخازن هیدروکربنی به ویژه در خاورمیانه است [۳۴]. تغییرات زیاد در نحوه توزیع رخساره‌ها در طی دیاژنزی موجب ایجاد ناهمگنی در مخازن کربناته می‌شوند و در حالی که دیاژنزی چندان قابل ملاحظه نباشد، ناهمگنی مخزنی تحت کنترل تغییرات بافتی و رخساره‌ای می‌باشد [۳۵]. عملکرد فرایندهای دیاژنزی در سازند سروک سبب بروز ناهمگنی مخزنی در جهات افقی و قائم (در مقیاس‌های مختلف) در این سازند شده‌است [۳۶]. در این مطالعه، فرایندهای دیاژنزی نظیر سیمانی شدن، انحلال، دولومیتی شدن، میکریتی شدن، شکستگی، تراکم فیزیکی و شیمیایی، زیست آشفستگی و غیره مشاهده گردید. از بین این فرایندها، چهار فرایند انحلال، سیمانی شدن، دولومیتی شدن و تراکم بیشترین تاثیر را بر روی کیفیت مخزنی داشتند. از این رو، این فرایندها بر روی مقاطع نازک میکروسکوپی و سپس بر روی نگاره‌های پتروفیزیکی مورد بررسی قرار گرفت و ضریب همبستگی آنها با تخلخل مفید مطالعه گردید. در شکل ۲ آثار این فرایندها در مطالعات مقاطع نازک به عنوان پدیده‌های مهم دیاژنزی مشاهده شده در مخزن سروک میدان مورد مطالعه، نمایش داده شده‌است.

دولومیتی شدن

بلورهای دولومیت به صورت درشت بلور، شکل دار و نیمه شکل دار قابل مشاهده هستند. در برخی موارد، بلورهای دولومیت در ارتباط با استیلولیت‌ها هستند که از خصوصیات فرایندهای دیاژنزی تدفینی می‌باشند [۳۷]. در مرحله تدفین، وقوع فرایند دولومیتی شدن در ارتباط مستقیم با محلول‌های منیزیم دار منشاء گرفته از نهشته‌های آرژیلی می‌باشد [۳۸]. براساس مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی و با استفاده از رنگ آمیزی آلیزارین قرمز اس، وجود دولومیت‌ها تشخیص داده شد و به‌صورت درصدی استخراج گردید.

1. Multi Resolution Graph Based Clustering  
2. Ascendant Hierarchical Clustering  
3. Self Organizing Map

تخلخل شده‌اند. اگرچه سیمان‌شدگی در مقادیر کم با حفظ فضاهای خالی می‌تواند به حفظ کیفیت مخزنی کمک کند [۴۰]. درصد تقریبی سیمان‌های مشاهده‌ای در مقاطع نازک میکروسکوپی مورد مطالعه به صورت نگار استخراج نمایش داده‌شد. در شکل ۲-ب سیمان کلسیتی قابل مشاهده می‌باشد.

#### انحلال

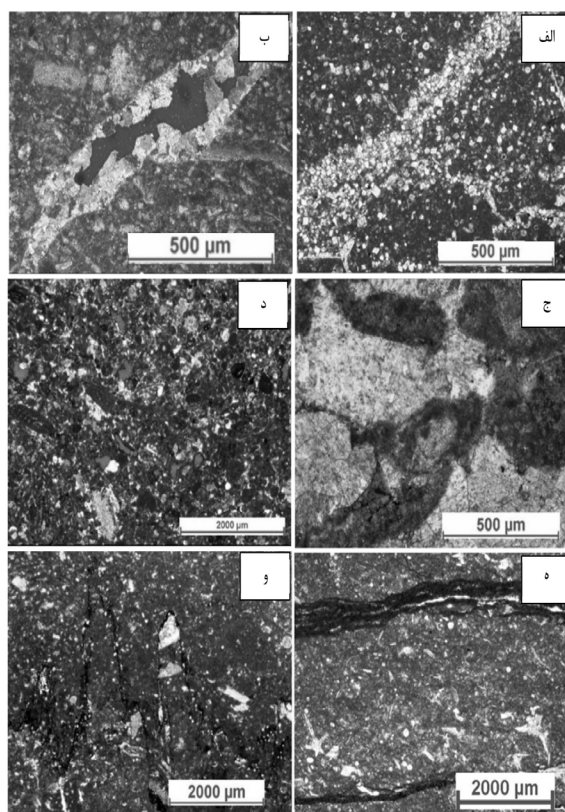
اگرچه انحلال و سیمان‌شدگی تاثیر متضاد بر روی کیفیت مخزنی دارند، با این حال به دلیل تغییرات رخساره‌ای و وجود ناهمگنی زمین‌شناسی تاثیر غیریکنواخت دارند. در برخی موارد حفرات انحلالی توسط سیمان‌های کلسیتی پر شده‌اند. انحلال در ناحیه‌های مخزنی سازند سروک در میدان مورد مطالعه گسترش خوبی یافته است و ارتباط بالایی مابین تخلخل مفید و تخلخل ثانویه در ناحیه‌های مخزنی وجود دارد (شکل ۲-د). برخی محققان گسترش انحلال در این سازند را متأثر از تاثیر دیاژنز جوی در زمان وقوع ناپیوستگی تورونین میانی دانسته‌اند [۳۹]. براساس مشاهدات چشمی، میزان تخلخل ثانویه در مقاطع نازک میکروسکوپی مورد مطالعه تخمین زده شد و نتیجه حاصل به صورت نگار نمایش داده شد.

#### تراکم

بازه‌های عمقی که در مقاطع نازک میکروسکوپی حاوی آثار ایجاد استیولیت و رگه‌های انحلالی بودند، پس از استخراج به صورت نگار گسسته تهیه و نمایش داده شد تا میزان ارتباط آن با بخش‌های سیمانی شده کم تخلخل یا بخش‌های با تخلخل بالا مورد بررسی قرار گیرد. در شکل ۲-ج نمونه‌ای از شواهد تراکم فیزیکی، در شکل ۲-ه رگه‌های انحلالی مرتبط با ترکم و در شکل ۲-و تراکم شیمیایی (استیولیت) در چاه ۸ میدان مورد مطالعه (سازند سروک) نمایش داده شده است.

#### تهیه نگارهای دیاژنزی براساس مطالعات پتروفیزیکی

به منظور محاسبه میزان تخلخل مفید و حجم کانی‌های تشکیل دهنده از جمله حجم دولومیت



شکل ۲ پدیده‌های مهم دیاژنزی مشاهده شده در مخزن سروک میدان مورد مطالعه: (الف) دولومیتی‌شدن در عمق ۴۰۸۸/۹۵ م چاه ۵، (ب) سیمان کلسیتی در چاه ۵ عمق ۴۱۱۲/۰۵، (ج) تراکم فیزیکی در چاه ۸ عمق ۴۵۰۵/۸۶، (د) تخلخل حفره‌ای و قالبی در چاه ۸ عمق ۴۱۲۰/۸۳، (ه) رگه‌های انحلالی در چاه ۸ عمق ۴۱۰۸/۳۵ و (و) تراکم شیمیایی (استیولیت) در چاه ۸ عمق ۴۴۳۲/۳۳ م.

در شکل ۲-الف آثار دولومیت به صورت بلورهای روشن لوزوی قابل مشاهده می‌باشد. نتایج حاصل به صورت نگار ترسیم گردید. همچنین میزان حجم دولومیت حاصل از تفسیر پتروفیزیکی در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

#### سیمانی‌شدن

براساس این مطالعه، سیمان‌های موجود در نمونه‌های مورد مطالعه عمدتاً کلسیتی می‌باشد. این سیمان‌ها در حالت‌های دروزی، سین تکسیال، حاشیه‌ای در بخش‌های مختلف توالی قابل مشاهده می‌باشند. در برخی رخساره‌ها سیمان‌های کلسیتی با پر کردن رگه‌ها و شکستگی‌ها باعث کاهش

در این مخزن، محاسبه مالتی مین انجام گرفت. براساس تفسیر پتروفیزیکی انجام گرفته، درصد تخلخل مفید و میزان حجم دولومیت در کنار نگارهای دیگر مورد بررسی قرار گرفتند. محاسبه تخلخل ثانویه با استفاده از تفاضل تخلخل صوتی با تخلخل محاسبه شده براساس نگارهای نوترون و چگالی محاسبه گردید و ارتباط آن با پارامترهای دیگر مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، نگار انحراف سرعت جهت به منظور تشخیص بخش‌های متأثر از شکستگی و تخلخل حفره‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

ساخت رخساره الکتریکی دیاژنزی

در این مطالعه، با استفاده از مفهوم رخساره دیاژنزی، آنالیز رخساره الکتریکی دیاژنزی انجام گرفت. به‌طور کلی، رخساره‌های دیاژنزی جهت ارزیابی و توصیف توالی‌های کربناته یا آواری با مشخصات دیاژنزی مشخص، تعیین و مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴۱]. رخساره‌های دیاژنزی از نظر میزان تاثیر آنها بر روی کیفیت مخزنی می‌توانند در سه گروه رخساره‌های با تاثیر سازنده از نظر کیفیت مخزنی (افزایش کیفیت مخزنی)، رخساره‌های با تاثیر مخرب (کاهش کیفیت مخزنی) و رخساره‌های با تاثیر ناچیز طبقه‌بندی شوند. در مطالعه حاضر، جهت تعیین رخساره‌های الکتریکی دیاژنزی ابتدا داده‌های ورودی و مبنا انتخاب گردید. این داده‌ها شامل نگارهای تخلخل مفید، تخلخل ثانویه، حجم کانی دولومیت و نگار انحراف سرعت می‌باشند. در شکل ۳ هیستوگرام‌های نرمال مربوط به نگارهای مورد استفاده در خوشه‌سازی دیاژنزی نشان داده شده‌است. در مرحله بعد، داده‌های ورودی پس از بررسی و مشاهده نمودارهای متقاطع مربوطه آموزش داده شدند (شکل ۴). پس از آموزش داده‌ها با استفاده از روش خوشه‌بندی MRGC تعداد خوشه‌های بهینه مشخص گردید. پس از تلفیق خوشه‌های مشابه تعداد هشت رخساره دیاژنزی تعیین گردید. این رخساره‌ها طوری ساخته شده‌اند که هرکدام دارای

خصوصیات دیاژنزی مشابه می‌باشند. مشخصات رخساره‌های الکتریکی دیاژنزی حاصل از روش MRGC به شرح زیر می‌باشد (شکل ۵):  
 رخساره ۱: این رخساره دارای حدود ۵۰٪ دولومیت می‌باشد (رخساره با حداکثر مقدار دولومیت).  
 رخساره مذکور دارای مقدار تخلخل ثانویه بالا (به‌طور میانگین ۰.۴٪) می‌باشد. میانگین تخلخل مفید این رخساره در حدود ۰.۷٪ می‌باشد که متأثر از تخلخل بین بلورین مربوط به دولومیتی شدن و تخلخل ناشی از انحلال می‌باشد. این رخساره دارای مقدار VDL (به‌طور متوسط ۴۹۴) بالا می‌باشد.

رخساره ۲: میزان تخلخل مفید این رخساره ناچیز و در حدود ۰.۲٪ می‌باشد. این رخساره دارای حدود ۳۵٪ دولومیت و به‌طور متوسط دارای ۰.۱٪ تخلخل ثانویه می‌باشد. مقدار VDL این رخساره ۱۱۷ می‌باشد. تخلخل پایین این رخساره نشان‌دهنده عدم تاثیر محرز فرایند دولومیتی شدن در افزایش کیفیت مخزنی می‌باشد.

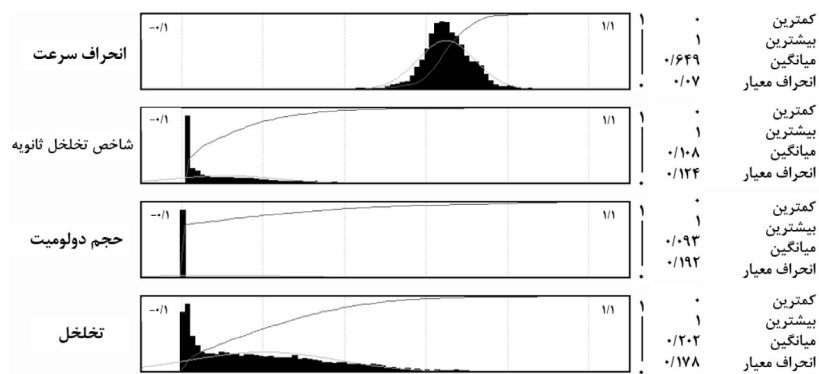
رخساره ۳: این رخساره فاقد تخلخل مفید (نزدیک به صفر) می‌باشد و به‌عنوان رخساره غیرمخزنی محسوب می‌شود. همچنین آثار تخلخل ثانویه چندانی در این رخساره مشاهده نمی‌شود. مقدار VDL این رخساره حدود ۱۲۴ می‌باشد.

رخساره ۴: این رخساره فاقد تخلخل مفید (نزدیک به ۰٪) یا تخلخل ثانویه می‌باشد و به‌عنوان رخساره غیرمخزنی محسوب می‌شود. این رخساره حداقل مقدار VDL را داراست. وجود مقادیر منفی نشان‌دهنده گسترش احتمالی شبکه شکاف در این رخساره می‌باشد.

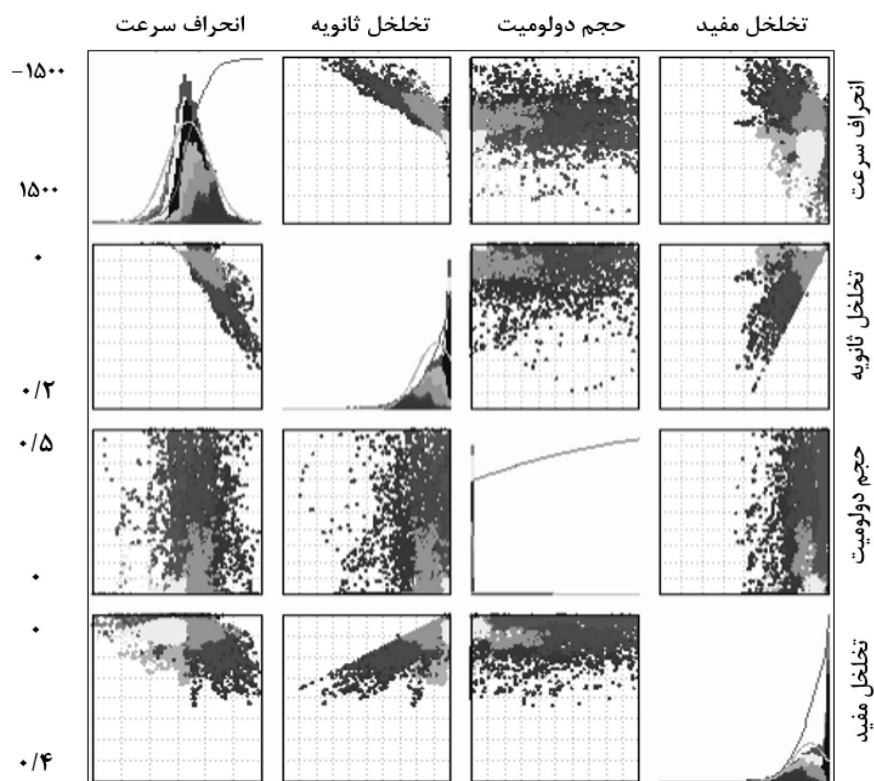
رخساره ۵: میزان تخلخل مفید این ناحیه در حدود ۰.۴٪ می‌باشد. این رخساره فاقد آثار تخلخل ثانویه می‌باشد. مقدار VDL این رخساره ۹۶- می‌باشد.

رخساره ۶: این رخساره با میانگین تخلخل در حدود ۰.۹٪، دارای بیشترین مقدار تخلخل مفید می‌باشد، در حالی که میزان تخلخل ثانویه آن در حدود ۰.۱٪ می‌باشد. مقدار VDL این رخساره ۱۳۰ می‌باشد.

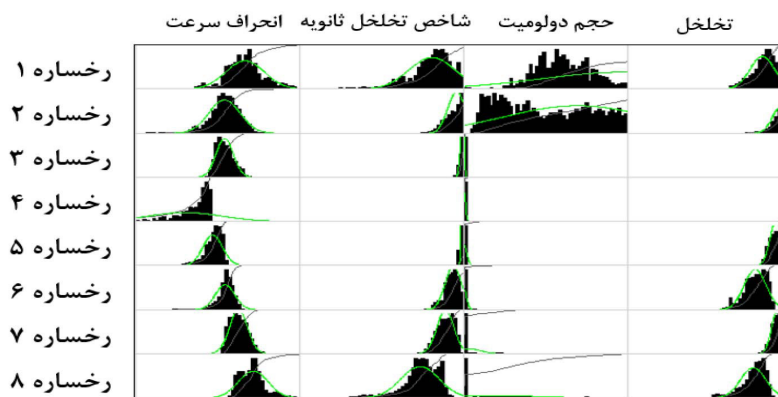




شکل ۳ هیستوگرام داده‌های ورودی نرمال شده برای آنالیز رخساره‌های الکتریکی در سازند سروک میدان مورد مطالعه.



شکل ۴ نمودار مقاطع داده‌های ورودی با تفکیک خوشه‌بندی در ساخت رخساره‌های الکتریکی سازند سروک.



مقدار تخلخل ثانویه حاصل از انحلال با استفاده از مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی و ارزیابی نگارهای پتروفیزیکی محاسبه گردید. مقادیر تخلخل ثانویه محاسبه شده با استفاده از روش‌های پتروگرافی و پتروفیزیکی با همدیگر به دلیل اختلاف وضوح و دقت آنها با همدیگر متفاوت بوده اما روند یکسانی را نشان می‌دهند. بنابراین نتایج حاصل به صورت کیفی قابل تطابق می‌باشند که نشان‌دهنده تاثیر انحلال در گسترش تخلخل ثانویه و سهم عمده آن در تخلخل مفید مخزنی می‌باشد. همچنین، بخش‌های با تخلخل ناچیز منطبق با بازه‌های عمقی گسترش استیلولیت می‌باشند. (شکل ۶).

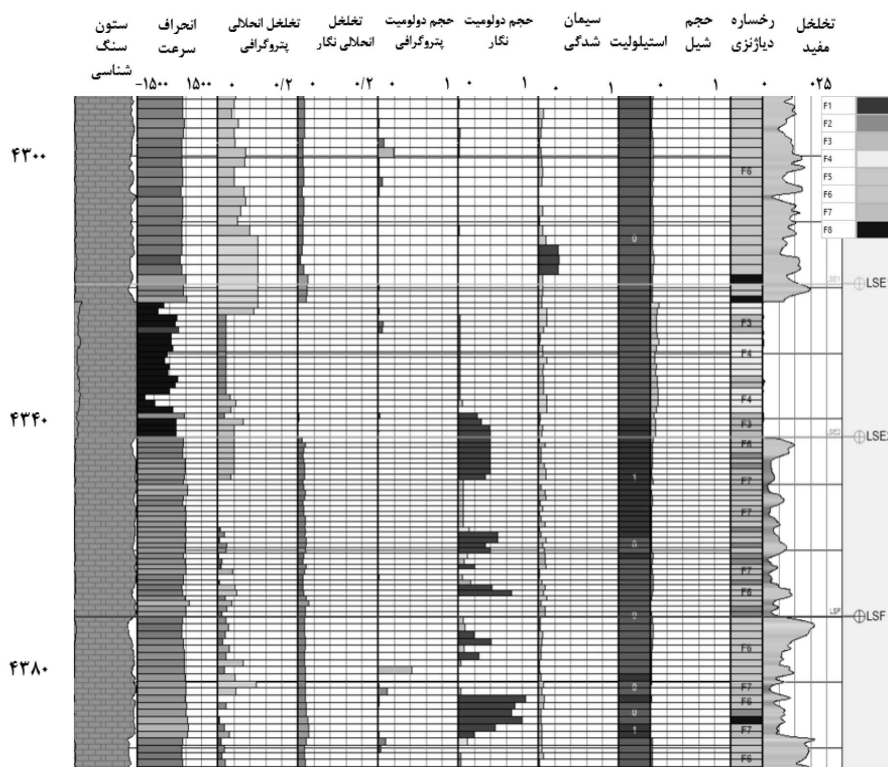
براساس این مطالعه، بخش‌های دولومیتی شده در مطالعات پتروگرافی و پتروفیزیکی هم قابل تطبیق با همدیگر هستند، هرچند مقادیر آنها متفاوت می‌باشند.

رخساره ۷: میزان تخلخل مفید این ناحیه در حدود ۳٪ می‌باشد. این رخساره به‌طور متوسط دارای ۲٪ تخلخل ثانویه و مقدار VDL برابر ۳۷۶ می‌باشد.

رخساره ۸: این رخساره با میانگین تخلخل حدود ۹٪ دارای بیشترین مقدار تخلخل مفید بوده و دارای حدود ۱۰٪ دولومیت می‌باشد. همچنین مقدار تخلخل ثانویه آن نسبت به سایر رخساره‌ها حداکثر مقدار به‌طور میانگین ۵٪ را داراست. مقدار VDL این رخساره برابر ۶۴۶ (حداکثر مقدار) می‌باشد.

#### تحلیل نتایج

براساس این مطالعه، فرایندهای دولومیتی شدن، انحلال، تراکم و سیمانی شدن بیشترین کنترل را بر روی کیفیت مخزنی دارند. در بازه‌های عمقی سیمانی شده تخلخل مؤثر کاهش یافته است، در حالی که در بخش‌هایی که انحلال در آنها گسترش پیدا کرده است، میزان تخلخل مفید افزایش یافته است.



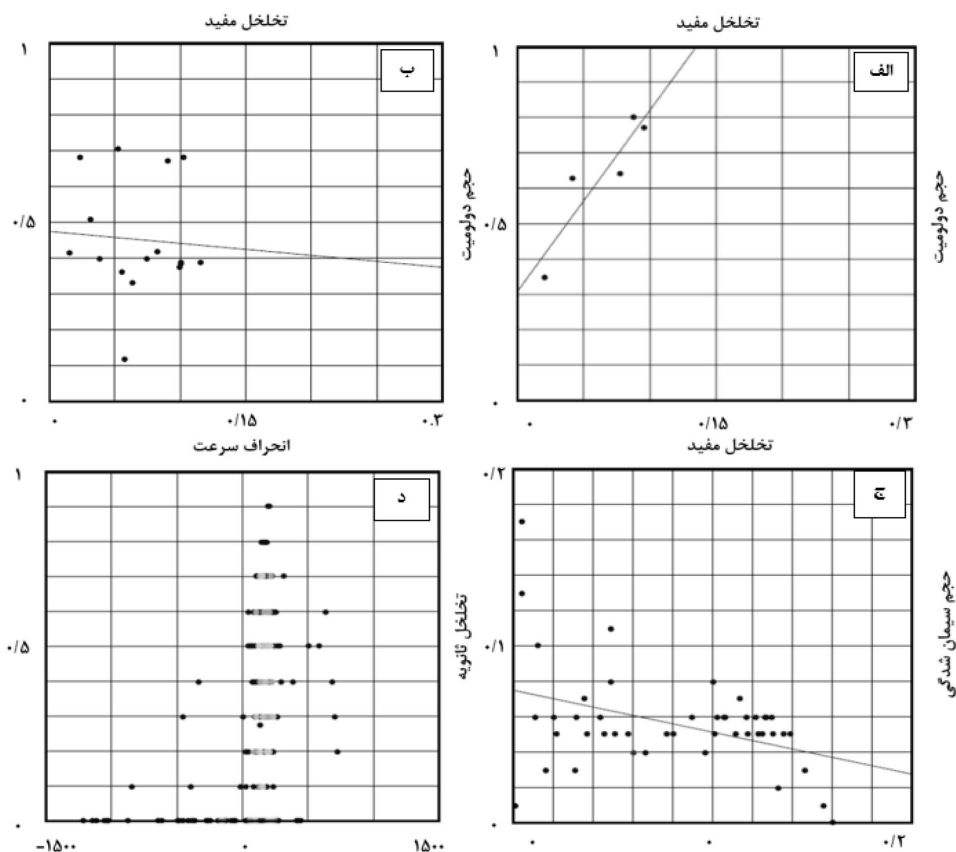
شکل ۶ نمایش نگارهای مورد مطالعه از چپ به راست مشتمل بر ستون سنگ‌شناسی، نگار VDL، نگار تخلخل ثانویه (حاصل مطالعه پتروگرافی)، نگار تخلخل انحلالی (حاصل تفسیر پتروفیزیکی)، نگار حجم دولومیت (حاصل مطالعه پتروگرافی)، نگار حجم دولومیت (حاصل تفسیر پتروفیزیکی)، نگار سیمان‌شدگی (حاصل مطالعه پتروگرافی)، نگار گسسته استیلولیتی شدن، نگار حجم شیل، نگار رخساره دیانزی و نگار تخلخل مفید (حاصل تفسیر پتروفیزیکی).

۶ تخلخل ثانویه و دولومیتی شدن توسعه نیافته است. افزایش تخلخل بدون تاثیر دولومیتی شدن و انحلال می‌تواند موید تاثیر رخساره‌های رسوبی نظیر رودیستی شدن در افزایش کیفیت مخزنی می‌باشد. رخساره ۸ با داشتن تخلخل مفید بالا حاوی حدود ۱۰٪ دولومیت می‌باشد. همچنین مقدار تخلخل ثانویه آن نسبت به سایر رخساره‌ها حداکثر مقدار (به‌طور میانگین ۵٪) را داراست. از این‌رو مقدار VDL این رخساره (حداکثر مقدار معادل ۶۴۶) حداکثر مقدار می‌باشد. سیمانی شدن باعث کاهش تخلخل مفید در برخی ناحیه‌ها شده است. در شکل ۶ رخساره‌های الکتریکی دیاژنزی به همراه ستون سنگ‌شناسی، نگار VDL، نگار تخلخل انحلالی (حاصل مطالعه پتروگرافی و تفسیر پتروفیزیکی)، نگار حجم دولومیت (حاصل مطالعه پتروگرافی و تفسیر پتروفیزیکی)، نگار سیمان‌شدگی و استیلولیتی شدن (حاصل مطالعه پتروگرافی)، نگار حجم شیل و نگار تخلخل مفید (حاصل تفسیر پتروفیزیکی) نمایش داده شده است. همان‌طوری که در این شکل و شکل ۷، ملاحظه می‌شود گسترش استیلولیت‌ها و رگه‌های انحلالی با بخش‌های کم تخلخل تطابق بالایی دارد. براساس جدول ۲، نقش شیل در کیفیت مخزنی عمدتاً مخرب بوده و در اغلب ناحیه‌ها همبستگی معکوسی مابین مقدار حجم شیل و تخلخل مفید وجود دارد. بیشترین نقش مخرب شیل در کاهش تخلخل در ناحیه LSE1 مشاهده می‌شود (۰/۲۹). انحلال بیشترین نقش را در افزایش کیفیت مخزنی در میان ناحیه‌های بهره‌ده مخزن سروک در میدان مورد مطالعه دارد. در همه ناحیه‌های مورد مطالعه، همبستگی مثبت مابین تخلخل ثانویه ناشی از انحلال با تخلخل مفید مشاهده می‌شود. ناحیه‌های که دارای تخلخل مفید زیادتری می‌باشند، مقادیر VDL بیشتر مثبت بوده و ارتباط بالایی ما بین آنها وجود دارد که نشان‌دهنده نقش گسترش تخلخل‌های حفره‌ای (انحلال) در افزایش کیفیت مخزنی می‌باشد.

دولومیت‌ها دو نقش متفاوت در کیفیت مخزنی سازند سروک ایفا کردند. در برخی ناحیه‌ها دولومیت‌ها با گسترش تخلخل بین بلورین باعث بهبود تخلخل مفید و در برخی دیگر باعث کاهش آن شده‌اند. همچنین در برخی ناحیه‌ها و در چاه‌های مختلف فرایند دولومیتی شدن رفتار متفاوتی داشته است (به‌طور مثال ناحیه B1 سروک بالایی (USB1) در چاه ۸ و ۵). رخساره‌های دیاژنزی ۱ و ۲ حاوی مقادیر قابل توجهی دولومیت می‌باشند. همان‌طوری که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، از میان ناحیه‌های مطالعه شده ناحیه USB1 دارای بیشترین مقدار حجم دولومیت می‌باشد. نقش دولومیت در این ناحیه سازنده بوده و میزان همبستگی دولومیت با تخلخل مفید مثبت و قابل ملاحظه (۰/۳۳) می‌باشد. ناحیه LSE1 دارای حدود ۸٪ دولومیت می‌باشد، اما بیشترین ارتباط سازنده با تخلخل مفید را داراست (۰/۴۸). در ناحیه‌های USC2b، LSC-D و LSF نقش دولومیت مخرب بوده و باعث کاهش میزان تخلخل مفید شده است. با این حال، به دلیل حجم کم میزان دولومیتی شدن نقش آنها در تغییر کیفیت مخزنی کمتر بوده است. در ناحیه LSF مقدار دولومیت ۱۲٪ بوده و بیشترین نقش مخرب را داشته است (۰/۴۶). رخساره ۲ علی‌رغم دارا بودن به‌طور میانگین ۳۵٪ دولومیت، دارای تخلخل ناچیز می‌باشد که مؤید نقش منفی دولومیتی شدن در کیفیت مخزنی می‌باشد (نقش مخرب دولومیتی شدن در برخی ناحیه‌ها). با این حال، این فرایند در رخساره ۱ نقش سازنده دارد، به‌طوری که، میانگین تخلخل مفید رخساره یک در حدود ۷٪ می‌باشد که متأثر از تخلخل بین بلورین مربوط به دولومیتی شدن و تخلخل ناشی از انحلال می‌باشد. بنابراین، دولومیتی شدن همیشه تاثیر مثبت بر افزایش کیفیت مخزنی ندارد. رخساره‌های ۳، ۴ و ۵ به دلیل عدم گسترش انحلال و فرایند دولومیتی شدن فاقد تخلخل مفید قابل توجه هستند. رخساره‌های ۶ و ۸ دارای حداکثر مقدار تخلخل مفید (میانگین تخلخل مفید معادل ۹٪) هستند اگرچه در رخساره

جدول ۲ میزان تخلخل مفید، شیل، دولومیت و سیمان‌شدگی و همبستگی تخلخل مفید با پارامترهای مذکور.

ناحیه	تخلخل مفید (%)	حجم (%)				همبستگی تخلخل با پارامترهای زیر			VDL
		شیل	دولومیت	سیمان‌شدگی	شیل	دولومیت	تخلخل ثانویه		
Upper Sarvak	۳/۷	۳/۳	۸/۵	۶/۴	۰/۱۴	۰/۱	۰/۳۵	۰/۵۶	
USB1	۴/۵	۴/۴	۴۱/۹	۱۰	-۰/۰۵	۰/۳۳	۰/۱۹	۰/۲۹	
USC2b	۶/۵	۲/۲	۳/۷	۶/۳	-۰/۰۹	-۰/۲۸	۰/۶۸	۰/۶	
USC1a	۴	۱/۷	۳/۷	۳	-۰/۱	۰/۰۱	۰/۳۵	۰/۴۴۵	
LSA1	۸	۲/۸	۲/۳	۴/۵	-۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۶۹	۰/۶۱	
LSC-D	۹	۲/۷	۴/۴	۸/۷	-۰/۱۴	-۰/۱۲	۰/۵۸	۰/۵۵	
LSE1	۳/۵	۲/۸	۸/۴	۵/۶	-۰/۲۹	۰/۴۸	۰/۶۲	۰/۵۴	
LSE2	۴/۳	۲/۲	۱۲/۷	۵/۴	-۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۷۵	۰/۴۲	
LSF	۷	۱/۷	۱۲	۵/۸	-۰/۰۶	-۰/۴۶	۰/۱۴	-۰/۱۲	
LSG	۲/۵	۲/۴	۱۰/۳	۳/۸	-۰/۳	۰/۱	۰/۴۲	۰/۰۷	



شکل ۷ (الف) و (ب): به ترتیب اثر سازنده (چاه ۸) و مخرب (چاه ۵) دولومیتی شدن بر میزان تخلخل، (ج) ارتباط سیمانی شدن با تخلخل مفید در چاه ۸ و (د) ارتباط VDL با تخلخل ثانویه در چاه.

## نتیجه گیری

پایین رخساره ۲ نشان‌دهنده تاثیر مخرب فرایند دولومیتی‌شدن در کیفیت مخزنی می‌باشد. بنابراین، دولومیت‌ها دو نقش متفاوت سازنده و مخرب در کیفیت مخزنی ایفا کردند. در بازه‌های عمقی سیمانی شده، تخلخل مؤثر کاهش یافته است در حالی که در بخش‌هایی که انحلال گسترش پیدا کرده است، میزان تخلخل مفید افزایش یافته است. همچنین گسترش استیلولیت‌ها و رگه‌های انحلالی با بخش‌های کم تخلخل تطابق بالایی دارد.

## تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از شرکت مهندسی و توسعه سروک آذر به دلیل در اختیار قرار دادن داده و همکاری در تهیه این مقاله تقدیر و قدردانی می‌شود.

براساس این مطالعه، فرایندهای دولومیتی‌شدن، انحلال، تراکم و سیمانی‌شدن بیشترین کنترل را بر روی کیفیت مخزنی داشتند. براساس رخساره‌های الکتریکی دیاژنزی ساخته شده، تعداد هشت رخساره دیاژنزی با استفاده از روش MRGC تشخیص داده شدند. رخساره‌های ۳، ۴ و ۵ دارای تخلخل مفید ناچیز هستند و عملاً غیرمخزنی می‌باشند. رخساره‌های ۶ و ۸ دارای حداکثر مقدار تخلخل می‌باشند که ناشی از گسترش تخلخل ثانویه در رخساره ۸ و بهبود رخساره‌های رسوبی در رخساره ۶ می‌باشد. در رخساره ۱ اثر مثبت توام فرایندهای دولومیتی‌شدن و انحلال (تخلخل ثانویه) منجر به افزایش تخلخل شده‌است. مقدار تخلخل

## مراجع

- [1]. Calvert, S. E. (1976). The mineralogy and geochemistry of near-shore sediments, *Chemical Oceanography*, 6, 187-280.
- [2]. Brown, J. S. (1943). Suggested use of the word microfacies, *Economic Geology*, 38(4), 325.
- [3]. Wilson, J. L. (2012). Carbonate facies in geologic history, Springer Science & Business Media.
- [۴] رضایی، م. ر.، (۱۳۸۱) زمین‌شناسی نفت، انتشارات علوی.
- [5]. Lucia, J. (2007) Carbonate Reservoir Characterization, Springer, Berlin, 332.
- [6]. Flügel, E. (2012). Microfacies analysis of limestones, Springer Science & Business Media.
- [7]. Enayati-Bidgoli, A., & Saemi, E. (2019). Effects of late diagenesis on primary reservoir quality of a quartz arenite unit: a case study from the lower Cretaceous successions of SW Iran, *Petroleum Science*, 16(2), 267-284, doi.org/10.1007/s12182-019-0306-x.
- [8]. Murray, R. C. (1960). Origin of porosity in carbonate rocks, *Journal of Sedimentary Research*, 30(1), 59-84, doi.org/10.1306/74D709CA-2B21-11D7-8648000102C1865D.
- [9]. Durocher, S., & Al-Aasm, I. S. (1997). Dolomitization and neomorphism of Mississippian (Visean) upper Debolt Formation, Blueberry Field, northeastern British Columbia: geologic, petrologic, and chemical evidence, *AAPG bulletin*, 81(6), 954-977, doi.org/10.1306/522B49AB-1727-11D7-8645000102C1865D.
- [10]. Li, Y., and Anderson-Sprecher, R, 2006, Facies identification from well logs: A comparison of discriminant analysis and naïve Bayes classifier. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 53, no. 3, p. 149- 157, doi.org/10.1016/j.petrol.2006.06.001.
- [11]. Moore, C. H., & Wade, W. J. (2013). Carbonate reservoirs: porosity, evolution & diagenesis in a sequence stratigraphic framework, *Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework*, Second edition, Elsevier, 369.
- [۱۲] مطیعی، ه. (۱۳۷۲). زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس، سازمان زمین‌شناسی کشور، طرح تدوین کتاب، تهران، ۴۹۹-۵۳۶.
- [۱۳] امیدوار، م.، مهرابی، ح. و سجادی، ف. (۱۳۹۳). مطالعه محیط رسوب‌گذاری و زیست چینه‌نگاری بخش بالایی سازند سروک در میدان نفتی اهواز (چاه شماره ۶۳). رخساره‌های رسوبی، ۷(۲)، ۱۵۸-۱۷۷، doi: 10.22067/sed.facies.v7i2.23441
- [14]. Aghanabati, A. (2004). Geology of Iran, Ministry of Industry and Mines, Geological Survey of Iran, 582.

- [15] Martin, A. Z. (2001). Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences, *GeoArabia*, 6(3), 445-504, doi.org/10.2113/geoarabia0603445.
- [16] Malekzadeh, H., Daraei, M., & 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, 104586, doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104586.
- [۱۷]. شاهوردی، ن. رحیم‌پور بناب، ح. کمالی، م. ر. (۱۳۹۴). محیط رسوبی، دیاژنز و کیفیت مخزنی سازند سروک (بخش بالایی) در میدان نفتی سیری اسفند، پژوهش نفت، ۲۵(۸۴)، ۹۹-۱۱۴، doi.org/10.22071/gsj.2016.41161.
- [۱۸] محمودی رنایی، ا. و طاهری، ع. (۱۳۹۰). ریزرخساره‌ها و چین‌نگاری سکانسی سازند سروک در شمال شرق گچساران (تنگ گرگدار). رخساره‌های رسوبی، ۴(۲)، ۱۸۸-۱۹۸، doi: 10.22067/SED.FACIES.V4I2.9536.
- [19] Khatir, R., Jahani, D., Aleali, M., Kohansal-Ghadimvand, N., 2021. Facies, sedimentary environment, diagenesis, and reservoir quality of the Sarvak Formation in the Darquain oil field, southwest of Iran, *Applied Sedimentology*, 9(17), 22833.1259.
- [۲۰]. آقائاتی، ع. (۱۳۸۳)، زمین‌شناسی ایران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶.
- [21] Sharland, P. R., Archer, R., Casey, D. M., Davies, R. B., Hall, S. H., Heward, A. P., & Simmons, M. D. (2001). Sequence stratigraphy of the Arabian Plate, *GeoArabia*, 2(37), 1.
- [22] Dickson, J. A. D. (1966). Carbonate identification and genesis as revealed by staining, *Journal of Sedimentary Research*, 36(2), 491-505, doi.org/10.1306/74D714F6-2B21-11D7-8648000102C1865D.
- [23] Gregg, J. M., & Sibley, D. F. (1984). Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture, *Journal of Sedimentary Research*, 54(3), 908-931, doi.org/10.1306/212F8535-2B24-11D7-8648000102C1865D.
- [24] Chabock, R., Riahi, M. A., & Memariani, M. (2017). Determination of the Petrophysical parameters using geostatistical method in one of the hydrocarbon reservoirs in South West of Iran, *Journal Science Enggnirig Research*, 4(12), 44-55.
- [25] Kumar, M., Dasgupta, R., Singha, D. K., & Singh, N. P. (2018). Petrophysical evaluation of well log data and rock physics modeling for characterization of Eocene reservoir in Chandmari oil field of Assam-Arakan basin, India, *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 8, 323-340, doi.org/10.1007/s13202-017-0373-8.
- [26] Kazatchenko, E., Markov, M., & Mousatov, A. (2003, October). Determination of primary and secondary porosity in carbonate formations using acoustic data, In *SPE Annual Technical Conference and Exhibition?*, SPE-84209, doi.org/10.2118/84209-MS.
- [27] Shirmohamadi, M., Kadkhodaie, A., Rahimpour-Bonab, H., & Faraji, M. A. (2017). Seismic velocity deviation log: An effective method for evaluating spatial distribution of reservoir pore types, *Journal of Applied Geophysics*, 139, 223-238, doi.org/10.1016/j.jappgeo.2017.03.001.
- [28] Eberli, G. P., Baechle, G. T., Anselmetti, F. S., & Incze, M. L. (2003). Factors controlling elastic properties in carbonate sediments and rocks, *The Leading Edge*, 22(7), 654-660, doi.org/10.1190/1.1599691.
- [29] Jodeiri, A. R. (2018). Reservoir zonation of the Cenomanian-early Turonian Mishrif Formation using velocity deviation log in Sirri Esfand oilfield of the Persian Gulf.
- [30] Anselmetti, F. S., & Eberli, G. P. (1999). The velocity-deviation log: a tool to predict pore type and permeability trends in carbonate drill holes from sonic and porosity or density logs, *AAPG Bulletin*, 83(3), 450-466, doi.org/10.1306/00AA9BCE-1730-11D7-8645000102C1865D.
- [31] Wyllie, M. R. J., Gregory, A. R., & Gardner, L. W. (1956). Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media, *Geophysics*, 21(1), 41-70, doi.org/10.1190/1.1438217.
- [32] Fu, G. M., Qin, X. L., Qing, M., Zhang, T. J., & Yang, J. P. (2009). Division of diagenesis reservoir facies and its control—case study of Chang-3 reservoir in Yangchang formation of Fuxian exploration area in northern Shaanxi, *Mining Science and Technology (China)*, 19(4), 537-543, doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60101-0.
- [۳۳] مهدی‌پور، و. رنایی، ا. ر. و کدخدایی، ع. (۱۴۰۱). مدل‌سازی تخلخل با استفاده هم‌زمان نشان‌گرهای لרزه‌ای و رخساره‌های الکتریکی در مخزن سروک در یکی از میادین نفتی ایران، پژوهش نفت ۳۲(۱۴۰۱)، doi:10.22078/PR.2022.4652.3089.
- [34] Serra, O. T., & Abbott, H. T. (1982). The contribution of logging data to sedimentology and stratigraphy. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 22(01), 117-131, doi.org/10.2118/9270-PA.
- [35] Jafarzadeh, N., Kadkhodaie, A., Ahmad, B. J., Kadkhodaie, R., & Karimi, M. (2019). Identification of electrical and petrophysical rock types based on core and well logs: Utilizing the results to delineate prolific zones in deep water sandy packages from the Shah Deniz gas field in the south Caspian Sea basin, *Journal of*

Natural Gas Science and Engineering, 69, 102923, doi.org/10.1016/j.jngse.2019.102923.

[36] Shanor, G. G., Samimi, B., Bagherpour, H., Karakas, M., Buck, S., Carnegie, A., & Našta, V. (1993). An integrated reservoir characterization study of a giant middle east oil field: part 1—geological modelling, In SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, SPE-25657, doi.org/10.2118/25657-MS.

[37] Saller, A. H., & Henderson, N. (1998). Distribution of porosity and permeability in platform dolomites: Insight from the Permian of west Texas, AAPG bulletin, 82(8), 1528-1550, doi.org/10.1306/1D9BCB01-172D-11D7-8645000102C1865D.

[38] Hajikazemi, E., Al-Aasm, I. S., & 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, doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.06.035.

[39] Morrow, D. W. (1982). Diagenesis 2. Dolomite-part 2 dolomitization models and Ancient dolostones, Geoscience Canada, 9(2), 95-107.

[40] Shahverdi, N., Rahimpour-Bonab, H., Kamali, M., 2015. Sedimentary Environment, Diagenesis, and Reservoir Quality of Sarvak Formation (Upper Part) in Siri (E) Oilfields. Journal of Petroleum Research 25(84), 99-114.

[41] Hajikazemi, E., Al-Aasm, I. S., & 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, doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.06.035.

[42] Cui, Y., Jones, S. J., Saville, C., Stricker, S., Wang, G., Tang, L., & Chen, J. (2017). The role played by carbonate cementation in controlling reservoir quality of the Triassic Skagerrak Formation, Norway, Marine and Petroleum Geology, 85, 316-331, doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.05.020 .

[43] Zou, C. N., Tao, S. Z., Hui, Z., Zhang, X. X., He, D. B., Zhou, C. M., & Hua, Y. (2008). Genesis, classification, and evaluation method of diagenetic facies, Petroleum Exploration and Development, 35(5), 526-540, doi.org/10.1016/S1876-3804(09)60086-0.



# Determination of Diagenetic Facies based on Petrophysical Logs in Heterogeneous Sarvak Reservoir in an Iranian Oil Field

Vali Mehdipour<sup>1</sup>, Ahmadreza Rabbani<sup>1,2</sup>, Ali Kadkhodae<sup>3</sup>, Human karkooti<sup>4</sup>, Mohsen Shourab<sup>4</sup>

1. Faculty of Petroleum Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

2. Mazandaran University of Science and Technology (Behshahr), Iran

3. Earth Science Department, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Iran

4. Sarvak Azar Engineering and Development Company (SAED),

rabbani@aut.ac.ir

DOI:10.22078/pr.2023.5018.3236

Received: May/02/2023

Accepted: May/23/2023

## Introduction

Reservoir quality in carbonate reservoirs is influenced by erosional environment as well as diagenetic processes, so that petrophysical properties of carbonate reservoirs, are determined by diagenetic processes. It can cause the reservoir heterogeneity too [1]. Diagenetic processes such as cementation and compaction rocks reduce porosity in carbonate rocks while, some other diagenetic processes such as dissolution, fracturing and dolomitization increase it. In this study, after studying the thin-sections provided from cores and cutting and preparing related diagenetic logs, it was determined that the main diagenetic processes affecting the reservoir quality include cementation, dissolution, dolomitization and compaction. In addition, diagenetic logs were studied and then porous zones were distinguished from fractured parts using VDL logs.

The studied field is located in northern part of Dezful Embayment. Sarvak Formation is the main reservoir of this field which is considered a member of Bangeestan group with Albian to cenomanian age [2]. In this field, this formation is composed of carbonate rocks.

## Materials and Methods

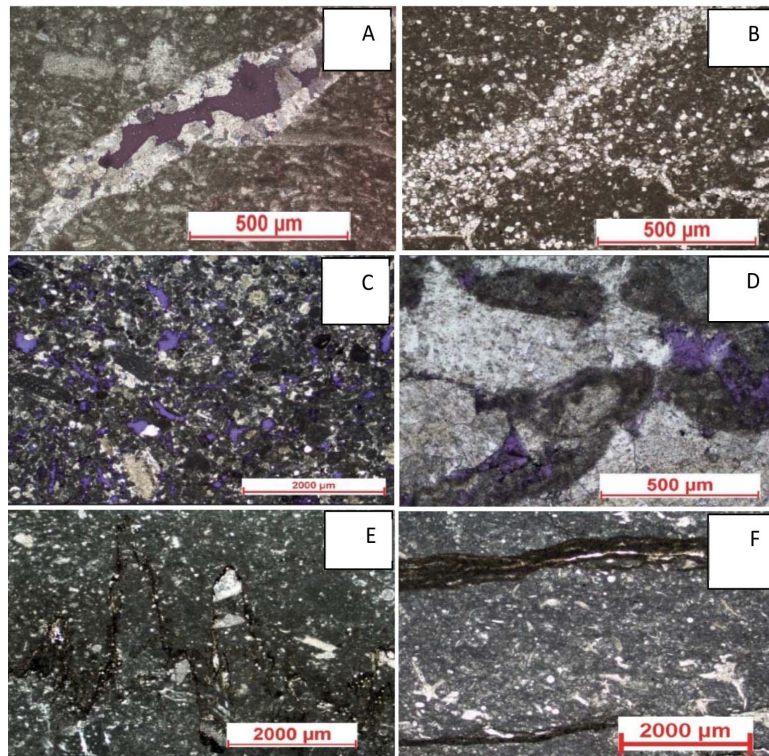
In this study, more than 1000 thin-sections provided from core and cutting were studied. In addition, petrophysical logs have been studied for evaluation

of diagenetic processes. Geolog software (Facimage module) has been used for diagenetic electrofacies analysis.

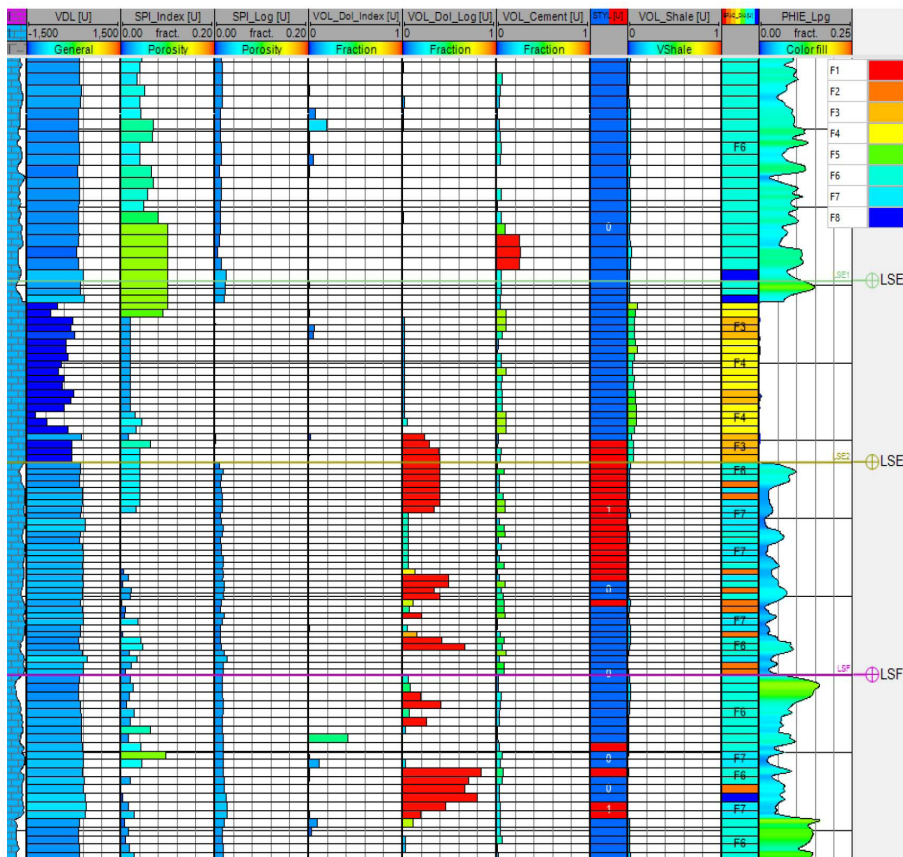
## Results and Discussion

The dolomitization process is one of the most important diagenetic process affecting the Sarvak Formation in the studied area having both destructive and constructive effect on reservoir quality in different zones. Dissolution is the most important constructive diagenetic processes which increases the porosity via developing the vuggy and moldic pores. Compaction as destructive diagenetic processes causes reducing the porosity via chemical and physical compaction. Cementation is destructive diagenetic processes dropping the porosity. Calcite is the most common cement in this reservoir (Fig. 1). Dolomite mineral volume and effective porosity have been calculated via Multimin approaches in Geolog software. In addition, secondary porosity log was also provided using difference between sonic porosity and NPHI-RHOB derived porosity [3]. VDL log was generated using the sonic log [4,5]. It shows existence of the fracture and diagenetic pores. Diagenetic electrofacies analysis has been done using some logs including the PHIE, SPI, VDL, dolomite volume. Applying the MRGC method, eight facies have been detected. Fig. 2 shows a layout indicating the logs of main diagenetic processes in the studied reservoir.





**Fig. 1** Main diagenetic processes: A: Calcite cements, B: Dolomite minerals, C: Vuggy pores, D: compaction, E: Stylolite, F: Solution seams.



**Fig. 2** Layout indicating the diagenetic electrofacies along with the lithology, effective porosity, SPI, dol-Vol, Shale, stylolite, cement and VDL logs.

### Conclusion

This study indicated that, dolomitization, secondary porosity, compaction and cementation processes had significant effect on reservoir quality. According to diagenetic electrofacies analysis, eight diagenetic facies were identified using MRGC method. Dolomitization has both destructive and constructive effect on reservoir quality while the dissolution has the constructive effect via developing the vuggy and moldic pores.

### Acknowledgment

We are thankful to SAED company and Dr. Zahra Sadeghtabaghi for cooperation in this study.

### References

1. Flügel, E. (2012). *Microfacies analysis of limestones*. Springer Science & Business Media.
2. Li, Y., & Anderson-Sprecher, R. (2006). Facies identification from well logs: A comparison of discriminant analysis and naïve Bayes classifier, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 53(3-4), 149-157, doi.org/10.1016/j.petrol.2006.06.001.
3. Chabock, R., Riahi, M. A., & Memariani, M. (2017). Determination of the Petrophysical parameters using geostatistical method in one of the hydrocarbon reservoirs in South West of Iran, *The Journal of Scientific and Engineering Research*, 4(12), 44-55.
4. Kumar, M., Dasgupta, R., Singha, D. K., & Singh, N. P. (2018). Petrophysical evaluation of well log data and rock physics modeling for characterization of Eocene reservoir in Chandmari oil field of Assam-Arakan basin, India. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 8, 323-340.
5. Kazatchenko, E., Markov, M., & Mousatov, A. (2003, October). Determination of primary and secondary porosity in carbonate formations using acoustic data, In *SPE Annual Technical Conference and Exhibition?*, SPE-84209), doi.org/10.2118/84209-MS.



# Determination of Diagenetic Facies based on Petrophysical Logs in Heterogeneous Sarvak Reservoir in an Iranian Oil Field

Vali Mehdipour<sup>1</sup>, Ahmadreza Rabbani<sup>1,2</sup>, Ali Kadkhodae<sup>3</sup>, Human karkooti<sup>4</sup>, Mohsen Shourab<sup>4</sup>

1. Faculty of Petroleum Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

2. Mazandaran University of Science and Technology (Behshahr), Iran

3. Earth Science Department, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Iran

4. Sarvak Azar Engineering and Development Company (SAED),

rabbani@aut.ac.ir

DOI:10.22078/pr.2023.5018.3236

Received: May/02/2023

Accepted: May/23/2023

## Introduction

Reservoir quality in carbonate reservoirs is influenced by erosional environment as well as diagenetic processes, so that petrophysical properties of carbonate reservoirs, are determined by diagenetic processes. It can cause the reservoir heterogeneity too [1]. Diagenetic processes such as cementation and compaction rocks reduce porosity in carbonate rocks while, some other diagenetic processes such as dissolution, fracturing and dolomitization increase it. In this study, after studying the thin-sections provided from cores and cutting and preparing related diagenetic logs, it was determined that the main diagenetic processes affecting the reservoir quality include cementation, dissolution, dolomitization and compaction. In addition, diagenetic logs were studied and then porous zones were distinguished from fractured parts using VDL logs.

The studied field is located in northern part of Dezful Embayment. Sarvak Formation is the main reservoir of this field which is considered a member of Bangeestan group with Albian to cenomanian age [2]. In this field, this formation is composed of carbonate rocks.

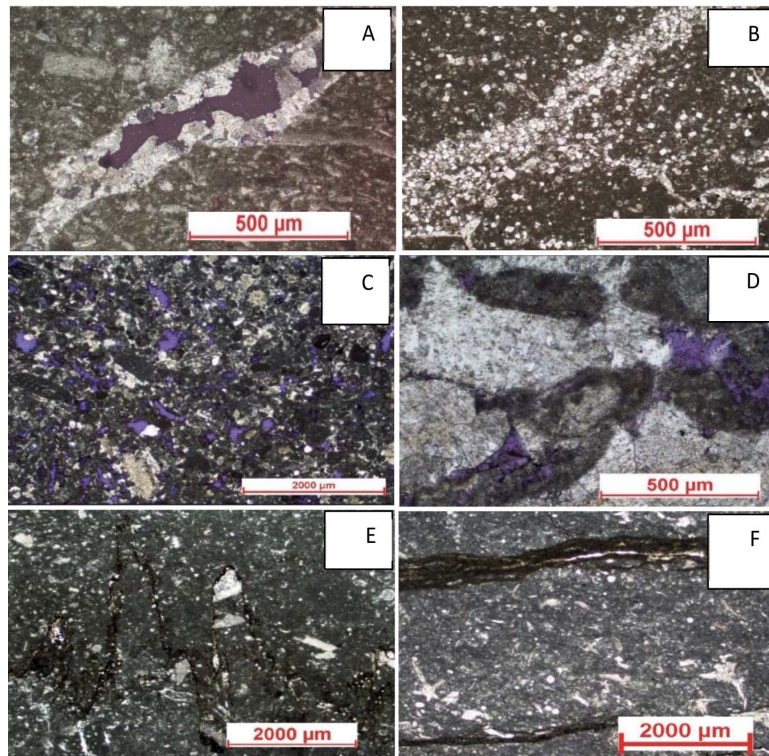
## Materials and Methods

In this study, more than 1000 thin-sections provided from core and cutting were studied. In addition, petrophysical logs have been studied for evaluation

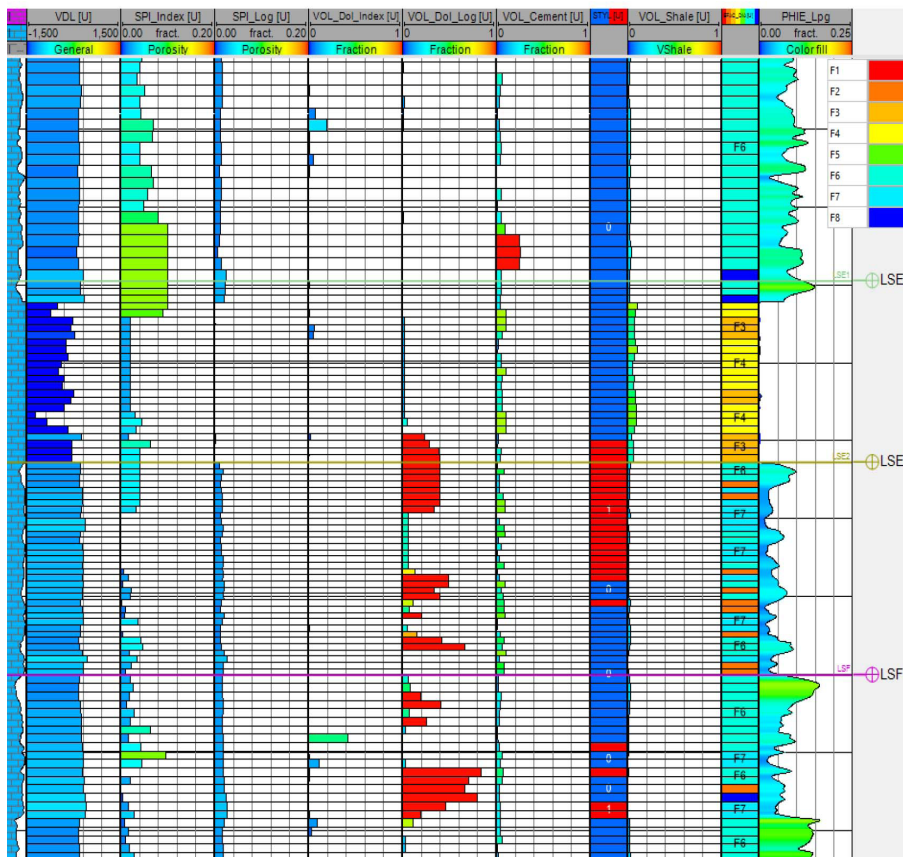
of diagenetic processes. Geolog software (Facimage module) has been used for diagenetic electrofacies analysis.

## Results and Discussion

The dolomitization process is one of the most important diagenetic process affecting the Sarvak Formation in the studied area having both destructive and constructive effect on reservoir quality in different zones. Dissolution is the most important constructive diagenetic processes which increases the porosity via developing the vuggy and moldic pores. Compaction as destructive diagenetic processes causes reducing the porosity via chemical and physical compaction. Cementation is destructive diagenetic processes dropping the porosity. Calcite is the most common cement in this reservoir (Fig. 1). Dolomite mineral volume and effective porosity have been calculated via Multimin approaches in Geolog software. In addition, secondary porosity log was also provided using difference between sonic porosity and NPHI-RHOB derived porosity [3]. VDL log was generated using the sonic log [4,5]. It shows existence of the fracture and diagenetic pores. Diagenetic electrofacies analysis has been done using some logs including the PHIE, SPI, VDL, dolomite volume. Applying the MRGC method, eight facies have been detected. Fig. 2 shows a layout indicating the logs of main diagenetic processes in the studied reservoir.



**Fig. 1** Main diagenetic processes: A: Calcite cements, B: Dolomite minerals, C: Vuggy pores, D: compaction, E: Stylolite, F: Solution seams.



**Fig. 2** Layout indicating the diagenetic electrofacies along with the lithology, effective porosity, SPI, dol-Vol, Shale, stylolite, cement and VDL logs.

### Conclusion

This study indicated that, dolomitization, secondary porosity, compaction and cementation processes had significant effect on reservoir quality. According to diagenetic electrofacies analysis, eight diagenetic facies were identified using MRGC method. Dolomitization has both destructive and constructive effect on reservoir quality while the dissolution has the constructive effect via developing the vuggy and moldic pores.

### Acknowledgment

We are thankful to SAED company and Dr. Zahra Sadeghtabaghi for cooperation in this study.

### References

1. Flügel, E. (2012). *Microfacies analysis of limestones*. Springer Science & Business Media.
2. Li, Y., & Anderson-Sprecher, R. (2006). Facies identification from well logs: A comparison of discriminant analysis and naïve Bayes classifier, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 53(3-4), 149-157, doi.org/10.1016/j.petrol.2006.06.001.
3. Chabock, R., Riahi, M. A., & Memariani, M. (2017). Determination of the Petrophysical parameters using geostatistical method in one of the hydrocarbon reservoirs in South West of Iran, *The Journal of Scientific and Engineering Research*, 4(12), 44-55.
4. Kumar, M., Dasgupta, R., Singha, D. K., & Singh, N. P. (2018). Petrophysical evaluation of well log data and rock physics modeling for characterization of Eocene reservoir in Chandmari oil field of Assam-Arakan basin, India. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 8, 323-340.
5. Kazatchenko, E., Markov, M., & Mousatov, A. (2003, October). Determination of primary and secondary porosity in carbonate formations using acoustic data, In *SPE Annual Technical Conference and Exhibition?*, SPE-84209), doi.org/10.2118/84209-MS.