نقش فرآیندهای دیاژنزی مرتبط با ناپیوستگی در توسعه پارامترهای موثر بر کیفیت مخزنی سازند سروک(میدان نفتی کوپال)

زینب عالیشوندی

چکیده

سازند سروک، واحد کربناته ضخیمی است که در بخش شمال شرقی پلاتفرم عربی در کرتاسه میانی(آلبین- تورونین) تشکیل شده و در حوضه زاگرس چین خورده دارای گسترش زیادی می‌باشد. این سازند بعد از سازند آسماری(الیگومیوسن) دومین سنگ مخزن مهم میدان‌های نفتی مناطق جنوبی و جنوب غرب ایران به شمار می‌رود، که بخش قابل توجهی از ذخایر هیدروکربنی را میزبانی می‌کند. مطالعه پتروگرافی انجام شده بر روی مقاطع نازک تهیه شده از مغزه های حفاری سازند سروک در ۳ چاه حفاری شده میدان نفتی کوپال، حاکی از سرگذشت دیاژنزی متنوع و تاثیرگذار این سازند می باشد. فرایندهای دیاژنزی مرتبط با رخنمون تحت جوی(دیاژنز متئوریک) شامل انحلال‌های گسترده جوی(کارستی شدن)، سیمانی شدن و برشی شدن های ریزشی- انحلالی همراه با فرایندهای دیاژنزی دفنی شامل دولومیتی شدن های مرتبط با استیلولیت و سیمانی شدن دفنی به عنوان اصلی‌ترین فرایندهای دیاژنزی کنترل کننده کیفیت مخزنی سازند سروک در این میدان می باشند. نفوذ آب‌های جوی در زیر مرز سنومانین– تورونین و تاثیر فرآیند انحلال باعث گسترش تخلخل حفره‌ای و قالبی و در نتیجه موجب بالا رفتن پتانسیل مخزنی این بخش شده است. انحلال های گسترده جوی مرتبط با سطوح فرسایشی متعدد موجود در این سازند به همراه دولومیتی شدن های مرتبط با استیلولیت به عنوان اصلی ترین فرایندهای افزاینده کیفیت مخزنی معرفی گردیده اند و بخش‌های رودیستی نقش مهمی در افزایش تخلخل و همچنین تولید نفت داشته‌اند. برخلاف این، سیمانی شدن های گسترده جوی و دفنی به همراه برشی شدن های ریزشی-انحلالی(به ویژه در مرز تورونین میانی) به عنوان مهمترین عوامل دیاژنزی کاهنده کیفیت مخزنی معرفی شده اند. نتایج حاصل نشان می دهند فرایندهای دیاژنزی مرتبط با ناپیوستگی نقش بسیار مهمی در توزیع پارامترهای مخزنی سازند سروک در میدان نفتی کوپال داشته اند.

واژگان کلیدی: سازند سروک، میدان نفتی کوپال، دیاژنز جوی، ناپیوستگی، کیفیت مخزنی.

مقدمه

خاورمیانه میزبان عظیم‌ترین ذخایر نفت و گاز جهان است که بخش اصلی آن‌ها در صفحه عربی واقع شده است. اغلب این ذخایر هیدروکربنی، میدان های فوق عظیم را شامل می شوند و این مسئله، صفحه عربی را به یکی از اصلی ترین ایالات هیدروکربنی جهان مبدل ساخته است(Sharland et al. 2001). توالی رسوبی به سن کرتاسه، در پلاتفرم عربی و حوضه زاگرس ذخایر اقتصادی هیدروکربنی عظیمی را در خود جای داده است(Ghabeishavi et al, 2010). اصولاً در مخازن کربناته عوامل مختلفی در کنترل کیفیت مخزنی نقش دارند که شامل بافت رسوبی اولیه، دیاژنز و در بسیاری موارد شکستگی است(Moore 2001, Ahr 2008). پس از درک محیط رسوبی مخازن هیدروکربنی کربناته با استفاده از بررسی دقیق رخساره‌ها، مطالعه دیاژنز(به عنوان مهمترین عامل کنترل کننده تجمع هیدروکربن در اغلب مخازن کربناته دنیا) کاملاً ضروری است، زیرا فرآیندهای بعد از رسوبگذاری(دیاژنز) به شیوه‌های مختلفی کیفیت مخزنی مخازن کربناته را تحت تاثیر قرار داده و سبب بهبود یا کاهش آن می‌گردند. در همین رابطه، فرایندهای دیاژنزی مرتبط با ناپیوستگی می تواند نقش مهمی در کنترل کیفیت مخزنی داشته باشد. کارستی شدن، انحلال، سیمانی شدن، دولومیتی شدن فرایندهای دیاژنزی متداول زیر سطح ناپیوستگی هستند(Assadi et al, 2016). فرایندهای دیاژنزی وابسته به سطوح ناپیوستگی باعث

ناهمگنی خصوصیات مخزنی کربنات ها می شود(Grélaud et al. 2010). در پلاتفرم عربی و حوضه زاگرس، تاثیر مشترک افت سطح ائوستازی آب دریا و تکتونیک ناحیه ای و محلی باعث توسعه ناپیوستگی ناحیه ای و محلی(تورونین میانی و تورونین- سنومانین) در توالی رسوبی به سن سنومانین- تورونین شده است. ناپیوستگی تورونین میانی با افزایش نسبی سطح آب دریا و به زیر آب رفتن بخش قابل توجهی از قاره‌های آن زمان، پلاتفرم‌های کربناته در عرض‌های جغرافیایی پایین در مقیاس وسیعی شکل گرفتند. در این پلاتفرم‌های کربناته کم عمق و وسیع، رودیست‌ها به عنوان مهمترین جانداران کربنات ساز مطرح بوده‌اند. حوضه رسوبی زاگرس در این زمان، برروی حاشیه قاره‌ای غیرفعال و کم ژرفا در حاشیه جنوبی اقیانوس تتیس در عرض جغرافیایی صفر درجه بوده و در بخش‌های وسیعی از آن، پلاتفرم‌های‌کربناته‌ای شکل گرفته بودند که امروزه به عنوان گروه بنگستان شناخته می‌شوند. هر چند تاکنون مخازن گروه بنگستان در میادین نفتی جنوب‌غرب ایران موضوع مطالعات متعددی بوده‌اند اما بر روی میدان نفتی کوپال مطالعه منسجمی در این خصوص صورت نگرفته است. هدف اصلی این مطالعه بررسی نقش فرآیندهای دیاژنزی مرتبط با ناپیوستگی در توسعه پارامترهای موثر برکیفیت مخزنی سازند سروک در میدان کوپال می باشد

چینه شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

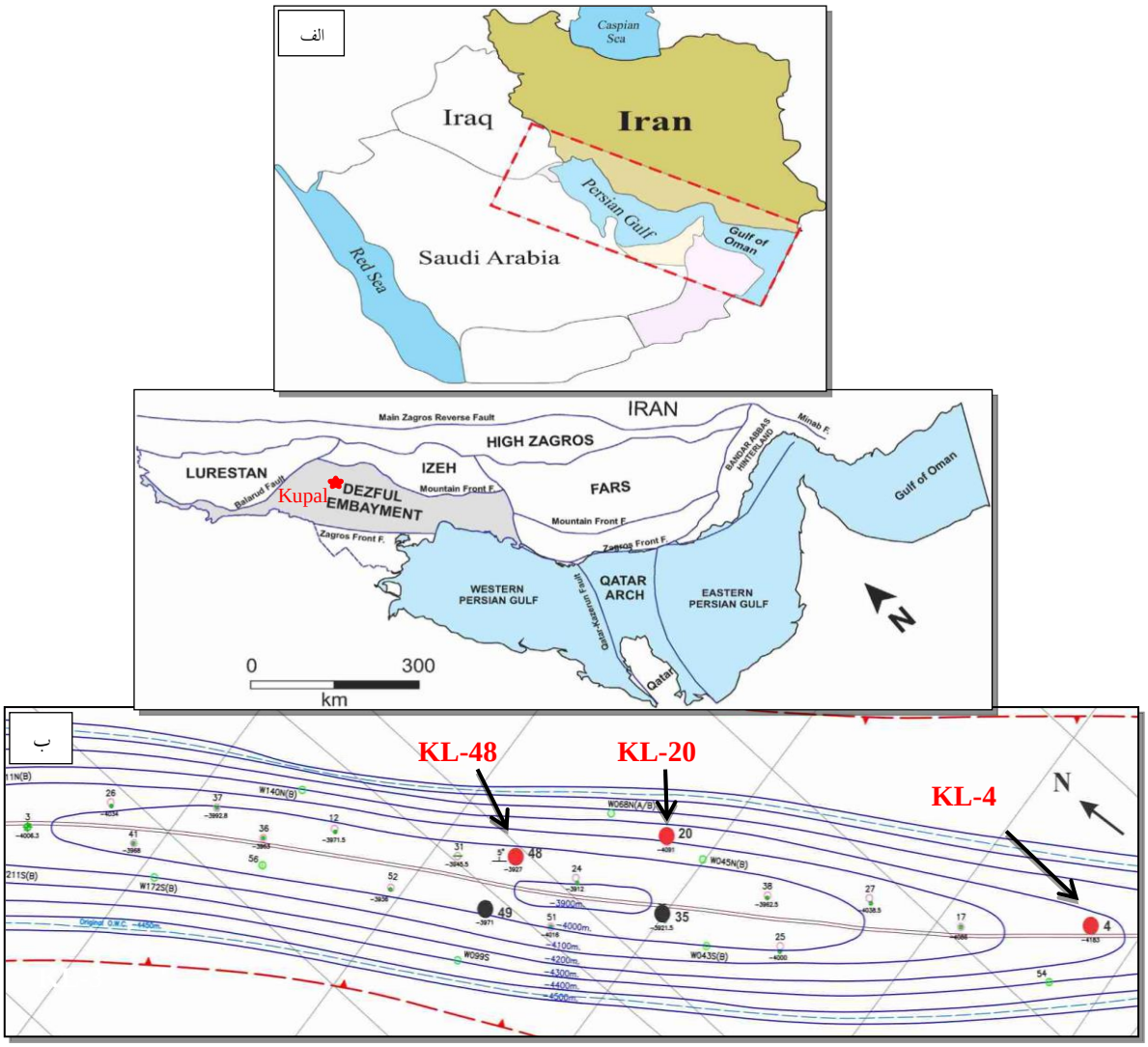
سازند سروک به سن کرتاسه میانی(آلبین- تورونین) تشکیل دهنده سنگ مخزن بسیاری از مخازن زاگرس و خلیج فارس است. این سازند جزء گروه بنگستان بوده و در برش الگو(تنگ سروک) با ضخامت بیش از ۸۲۱ متر گسترش دارد(مطیعی، ۱۳۷۲). مرز پایینی سازند سروک با سازند کژدمی پیوسته و تدریجی است؛ در حالی که مرز بالایی با سازند ایلام ناپیوسته و همراه با یک نبود رسوبی مهم است. این سازند در زاگرس مرکزی و شرقی شامل دو رخساره مهم کربناتی کم ژرفا(دارای رودیست) و ژرف(الیگوستژین دار) است(James & Wynd, 1965).

مطالعات در زاگرس مرکزی و شرقی نشان می دهد که با پیشروی نسبی سطح آب دریاها در کرتاسه میانی(آلبین- سنومانین)، رسوبات سازند سروک در یک رمپ کربناته هم شیب دارای ریف های کومه ای رودیستی نهشته شده اند. تحت تأثیرخشکی زایی ناحیه ای تورونین میانی، این رمپ کربناتی در معرض انحلال و کارستی شدن شدید قرار گرفته است(.Wynd, 1965).

این کارستی شدن در بخش بالایی سازند سروک موجب افزایش ویژگی های مخزنی و گسترش مخازن سروک شده است(Hajikazemi et al., 2010). مخزن بنگستان در میدان کوپال شامل سازند ایلام(حدود ٤٥ متر) و سازند سروک(حدود ۱۰۰۰ متر) و حاوی سنگ‌آهک قهوه‌ای تا کرم رنگ است.

در میدان کوپال سازند سروک به‌طور کامل حفاری نشده است و با در نظر گرفتن اطلاعات حاصل از چاه‌های میادین مجاور نظیر هفتکل-٦١، اهواز-٦٧، مارون- ۱۲۳، و آغاجاری-١٤١ ضخامت این واحد را می‌توان در حدود ۱۰۰۰ متر تخمین زد. مرز پایینی این سازند نامشخص است و مرز بالایی با سازند ایلام ناهمساز بوده که با توجه به محتوای فسیلی می‌توان به مرز فرسایشی میان آن‌ها اشاره نمود، به‌طوری‌که سازند سورگاه در این میدان رسوب‌گذاری نکرده است(قلاوند، ۱۳۸۱).

ضخامت حفاری شده از سازند سروک در چاه های ٤، ۲۰ و ٤٨ (چاه های مورد مطالعه) در میدان کوپال به ترتیب ٤٧٠، ٤٠٥ و٤٧٥ متر می باشد. مخازن سروک عمدتاً در زاگرس مرکزی(فروافتادگی دزفول) و همچنین در شرق خلیج فارس گسترش دارند. میدان نفتی کوپال یکی از میدان‌های نفتی جنوب غرب کشور است که در شمال شرق استان خوزستان، در فاصله ٦٠ کیلومتری شرق شهرستان اهواز و در بخش مرکزی حوضه فروافتاده دزفول قرار دارد و روندی شمال غربی- جنوب شرقی را نشان می‌دهد(شکل ۱).



شکل ۱- (الف) نقشه زمین‌شناسی، زیرتقسیمات ساختمانی جنوب غربی ایران و موقعیت جغرافیایی میدان کوپال. (ب) موقعیت چاه‌های مورد مطالعه بر روی نقشه UGC سازند سروک در میدان کوپال، اقتباس با تغییرات از ذاکری(۱۳۹۳)

روش تحقیق

در این پژوهش سازند سروک در۳ چاه حفاری شده در موقعیت های مختلف میدان(از یال شرقی به سمت مرکز و غرب ساختار کوهانک غربی)، از دیدگاه فرآیندهای دیاژنزی و نقش آن ها بر کیفیت مخزنی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. از مطالعه و توصیف مقاطع نازک میکروسکوپی حاصل از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری برای تشخیص فرایندهای دیاژنزی استفاده شده است.

فرآیندهای دیاژنزی

مخازن زیر ناپیوستگی‌ها ۲۰ تا ۳۰ درصد مخازن هیدروکربنی را تشکیل می دهند(Weidlich, 2010). این نوع مخازن حاصل از رخنمون تحت جوی و دیاژنز جوی شدید هستند که مهمترین فرآیندها درگسترش یا کاهش تخلخل هستند. تاثیر فرآیندهای جوی قابل ملاحظه برکربنات‌های سازند سروک به اثبات رسیده و به ناپیوستگی تورونین میانی نسبت داده شده است(Taghavi et al 2006,). این ناپیوستگی منطقه ای بوده و در سراسر خاورمیانه قابل شناسایی است(Sharland et al., 2001).

دیگر ناپیوستگی به ثبت رسیده در بخش بالایی سازند سروک و معادل‌های آن، ناپیوستگی سنومانین- تورونین می‌باشد(Ziegler 2001. Sharland et al., 2001.). رحیم پوربناب و همکاران(Rahimpour-Bonab et al, 2012) تاثیر این ناپیوستگی ها را بر دیاژنز و ویژگی‌های مخزنی سازند سروک بررسی کرده اند. ناپیوستگی سنومانین- تورونین یک ناپیوستگی محلی بوده که تنها در بالاآمدگیهای قدیمه‌ای که در کرتاسه میانی و پایینی در منطقه حضور داشته‌اند به ثبت رسیده است(Sharland et al, 2001. Ziegler, 2001). با توجه به شواهد موجود و مشاهده اثرات دیاژنزی متفاوت در بالا و پایین مرز سنومانین- تورونین از جمله انحلال، برشی شدن و کارستی شدن و گسترش محدود و پراکنده افق‌های سیلیسی، سازند سروک در این میدان به دو بخش بالای مرز سنومانین- تورونین و زیر این مرز قابل تفکیک می‌باشد. توالی پاراژنزی برای زیر مرز سنومانین- تورونین شامل محیط های دیاژنزی دریایی، متئوریک، دفنی کم عمق، تلوژنتیک و نهایتاً دفنی عمیق و برای کربنات های بالای این مرز شامل محیط های دیاژنز دریایی، متئوریک و دفنی است. تشخیص این مرز براساس مطالعه بایوزون ها در یکی از چاه ها(زیست‌زون شماره ۲۵ واینڈ Nezzazata–Alveolinids assemblage) ((zone(Wynd,1965 به سن سنومانین و زیست زون شماره ۲۹ واینڈ Valvulammina – Dicyclina) ((assemblage zone (Wynd,1965 به سن تورونین) و بررسی نگار پرتو گاما در این چاه و تطابق آن با نگار پرتو گاما در چاه های دیگر(عالیشوندی، ۱۳۹۵) و همچنین مشاهده عوارضی همچون کارستی شدن، برشی شدن(شکل۲ الف، ب) و حفرات انحلالی در مقاطع نازک میکروسکوپی و نمونه های مغزه صورت گرفته است. در نتیجه‌ی این ناپیوستگی، بخشی از کربنات‌های سازند سروک که در زیر این مرز واقع شده‌اند در واقع دوبار تحت تاثیر آب‌های جوی نفوذی قرار گرفته اند، که یک مرحله آن مربوط به ناپیوستگی سنومانین- تورونین بوده و دومی در اثر بالاآمدگی پس از دفن بوقوع پیوسته است. از مهمترین فرایندهای دیاژنزی موثر بر سازند سروک در منطقه مورد مطالعه می‌توان به انحلال، شکستگی، دولومیتی شدن، استیلولیتی شدن و سیمانی شدن اشاره کرد. آگاهی از ترتیب زمان وقوع هر یک از این فرآیندها در درک تغییرات کیفیت مخزنی در طول زمان بسیار سودمند می‌باشد. به طور کلی نفوذ آب های جوی، زیر مرز سنومانین – تورونین و انحلال های گسترده جوی، دولومیتی شدن(مرتبط با استیلولیت) و شکستگی سبب افزایش کیفیت مخزنی سازند سروک در میدان کوپال شده است. مهمترین فرآیندهای دیاژنزی بخش مخزنی سازند سروک در میدان مورد مطالعه به شرح زیر است:

استیلولیتی شدن: بر خلاف تراکم مکانیکی که بلافاصله بعد از رسوبگذاری رسوبات را تحت تاثیر قرار می‌دهد، تراکم شیمیایی اساساً نیازمند صدها متر تدفین می‌باشد. استیلولیت‌ها و رگچه‌های انحلالی از فراوانترین آثار فشردگی شیمیایی در این سازند هستند. دولومیتی شدن در امتداد استیلولیت ها به فراوانی در این سازند دیده می شود(شکل ۳- الف) و استیلولیت ها مجراهایی برای عبور سیال های دولومیت ساز ایجاد کرده اند، همچنین در امتداد استیلولیت ها آثار هیدروکربن نیز دیده می‌شود.

سیمانی شدن: یکی از مهمترین فرایندهای دیاژنزی است و زمانی اتفاق می افتد که مقدار زیادی از سیال درون منفذی نسبت به فاز سیمان به حد فوق اشباع برسد. سیمانی شدن سبب کاهش تخلخل و تراوایی می‌شود. بر پایه مطالعه انجام شده بر روی مقاطع نازک میکروسکوپی، ٤ نوع سیمان که کیفیت مخزنی سازند سروک را تحت تاثیر قرار داده است شناسایی شده که عبارتند از: سیمان کلسیتی هم‌بعد، سیمان رورشدی هم‌محور، سیمان دروزی و سیمان های دفنی نیمه‌ژرف تا ژرف(سیمان های بلوکی). سیمان کلسیتی هم بعد: بیشتر به صورت حفره پر کن و بلورهای اکثراً شکل‌دار و نیمه شکل‌دار با اندازه های یکسان مشاهده می‌شوند، و مرز بین بلورها به خوبی قابل رویت است(Flügle, 2010).

شکل ۲- الف-کارستی شدن و برش های انحلالی. فلش ها زمینه اصلی سنگ که در اثر ریزش به قلوه هایی تبدیل شده است. ب- برشی شدن.

این سیمان اکثراً فضاهای خالی بین دانه‌ها را پرکرده است و همچنین برخی از شکستگی‌ها توسط این سیمان پرشده‌اند(شکل ۳- ب) و موجب کاهش تخلخل و تراوایی شده است. حاجی کاظمی و همکاران(Hajikazemi et al. 2010)، همانند این سیمان را در سازند سروک در جنوب باختری ایران گزارش کرده و تشکیل آن را به محیط جوی نسبت داده اند. سیمان کلسیتی دروزی: با پرکردن فضای بین دانه‌ای و درون دانه ای موجب کاهش تخلخل و تراوایی شده است(شکل ۳- ج). مشابه این نوع سیمان در سازند سروک توسط غلامی زاده و آدابی(۱۳۹۰) در نواحی تنگستان(در جنوب ایران) و حاجی‌کاظمی و همکاران(Hajikazemi et al. 2010)، در جنوب باختری ایران مشاهده کرده و تشکیل آن را به محیط جوی نسبت داده اند. سیمان کلسیتی بلوکی: به صورت بلورهای درشت با حاشیه‌های نسبتاً مشخص عمدتاً فضاهای بین دانه‌ها را پرکرده‌اند(شکل ۳-د). با توجه به این که رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها سیمان بلوکی را قطع نکرده‌اند، احتمالاً این نوع سیمان در محیط تدفینی تشکیل شده است(رحیم‌پوربناب، ۱۳۸۹). حاجی-کاظمی و همکاران(Hajikazemi et al. 2010)، این سیمان را در سازند سروک در جنوب باختری ایران مشاهده کرده‌اند و تشکیل آن را به محیط دفنی نسبت داده‌اند. سیمان کلسیتی رو رشدی هم‌محور: نوع شفاف آن در محیط دیاژنز جوی و همراه با سیمان دروزی(Flugel, 2010) و نوع غبار آلود آن در محیط دریایی و همراه با سیمان شعاعی(Kaufman et al, 1988) تشکیل می‌شود. در مقاطع مورد مطالعه این نوع سیمان به صورت رورشدی در اطراف خرده‌های خارپوست قرارگرفته و با دانه‌های میزبان پیوستگی نوری دارند(شکل ۳- ی). این نوع سیمان با پر کردن فضاهای خالی سنگ موجب کاهش تخلخل مفید و تراوایی شده است.

شکستگی: مطالعه بر روی شکستگی‌های سازند سروک در میدان‌های هیدروکربنی جنوب و جنوب غرب ایران امری بسیار ضروری و اجتناب ناپذیر است، که فقدان آن سبب شده تا نقش شکستگی موجود در این سازند و همچنین مخزن بالایی آن(سازند ایلام) و ارتباط آن با مخازن بالاتر نظیر آسماری با ابهام مواجه باشد(مهرابی و همکاران، ۱۳۹۱). با مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی حاصل از مغزه‌های حفاری، دو نسل از شکستگی در سازند سروک، در میدان کوپال شناسایی‌شده است(شکل ۳- م)، شکستگی‌های نسل اول که توسط سیمان کلسیت هم بعد پرشده‌اند و زمینه و خرده‌های اسکلتی را قطع

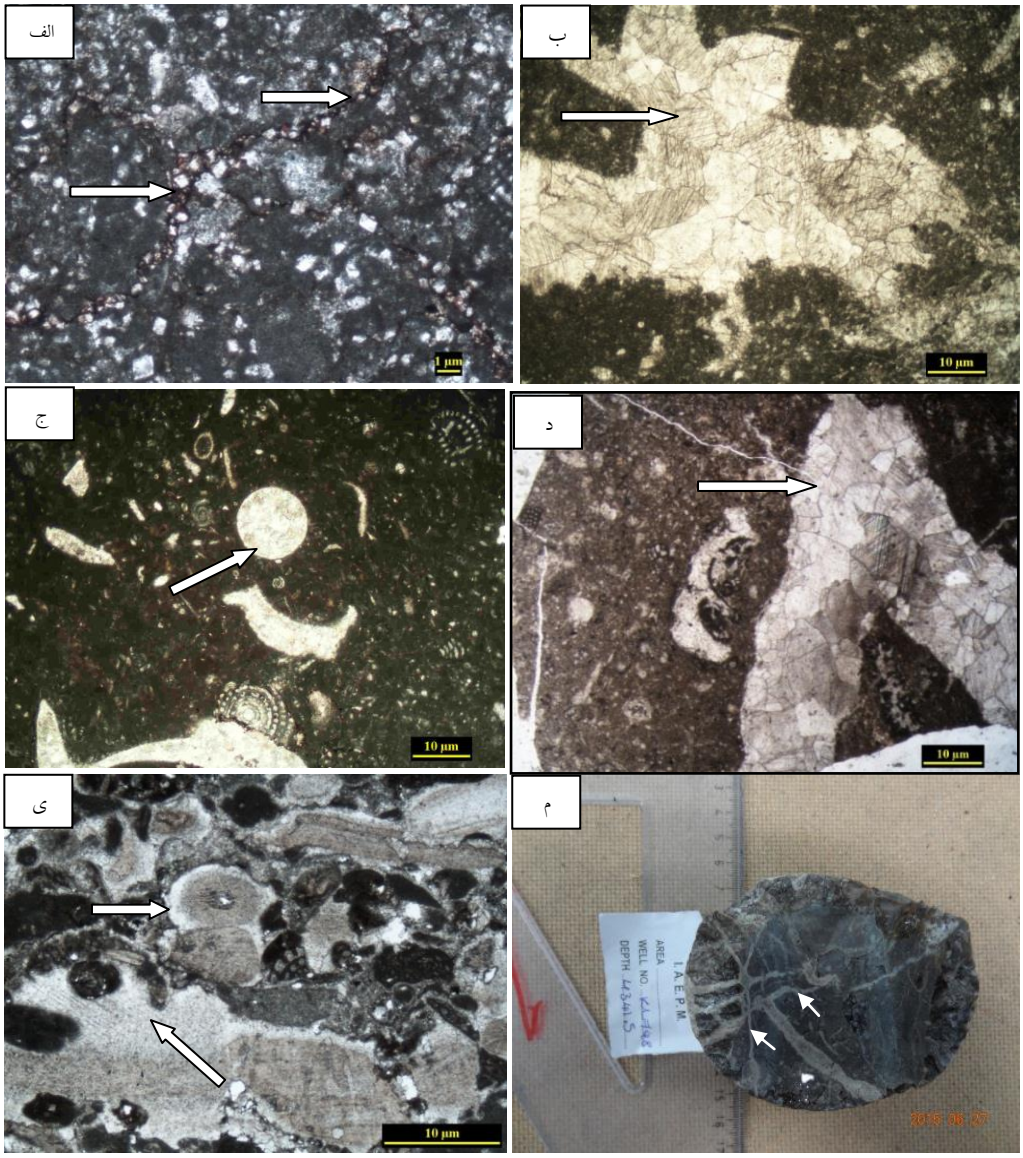
کرده و از میان آن‌ها عبور می‌کنند و مربوط به شرایط دفنی هستند(رحیم پور بناب، ۱۳۸۹) و شکستگی نسل دوم با برش و قطع کردن شکستگی‌های نسل اول مشخص می‌شوند. در مقاطع مورد مطالعه برخی از این شکستگی‌ها با سیمان کلسیتی پرشده‌اند. بیشتر این شکستگی‌ها نیمه‌باز یا کاملاً باز هستند(شکل٤- الف) و توسط هیچ نوع سیمانی پر نشده‌اند که گسترش این شکستگی‌ها باعث افزایش تراوایی شده است. این شکستگی‌ها در مراحل نهایی دیاژنز ایجاد شده‌اند و به همین دلیل فرصت پر شدن را نیافته‌اند. شکستگی‌ها در اغلب موارد ارتباط خوبی با زون‌های هوازده و کارستی شده نشان می‌دهند.

دولومیتی شدن: فرآیند دولومیتی شدن تحت شرایط خاصی ممکن است موجب بهبود کیفیت مخزنی شود(Machel, 2005). تشکیل دولومیت به دو صورت رایج‌تر است، ۱- دولومیتی شدن در اثر جانشینی $Caco_3$ با $CaMg(Co_3)^2$، ۲- سیمان دولومیتی(ته‌نشینی)، که از محلول‌های آبدار به صورت سیمان در فضاهای منفذی اولیه یا ثانویه جانشین می‌شود(Machel, 2005). مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی نشان می دهد دولومیت‌ها در سازند سروک در میدان کوپال به روش دولومیتی شدن(جانشینی) تشکیل‌شده‌اند. برخلاف کاربردهای رایج، از اصطلاح دولومیتی‌شدن نباید برای سیمان دولومیتی یا دولومیت‌های تبلور مجدد استفاده شود(Machel, 2005). دولومیت‌های جانشینی در محیط دیاژنزی جوی و محیط دیاژنزی دفنی تشکیل می‌شوند(Tucker, 2001). دولومیت های سازند سروک از نظر پتروگرافی در دو گروه قرار می‌گیرند:

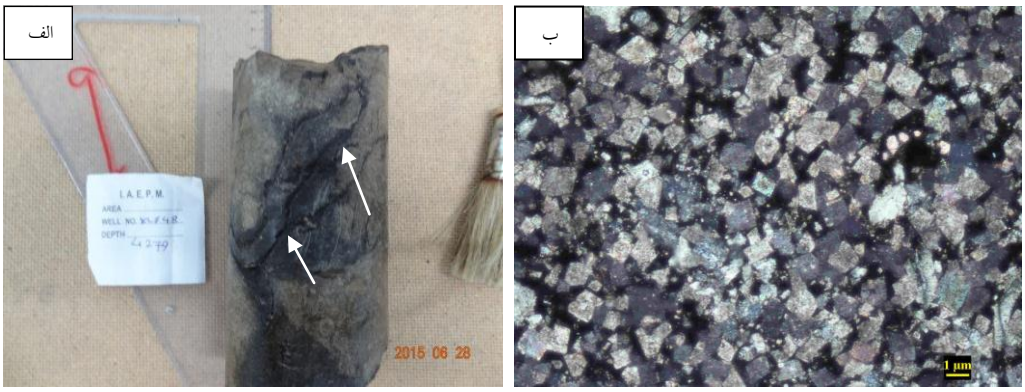
الف) دولومیت‌های محیط دفنی عمیق(مرتبط با استیلولیت): بخش عمده‌ای از دولومیت‌های تشکیل‌شده در سازند سروک دارای ارتباط مشخصی با آثار و شواهد مربوط به فشردگی شیمیایی(استیلولیت) هستند(شکل ۳- الف). تمرکز بلورهای دولومیت در مجاری و حواشی استیلولیت‌ها نشان دهنده این است که آن ها از سیالات ناشی از انحلال فشاری در آخرین مراحل دفن بوجود آمده‌اند(Hood et al., 2004)، در واقع انحلال فشاری ممکن است منجر به افزایش تمرکز یون منیزیم(Mg) و تحرک این سیالات در این نقاط شده باشد(سپیانی و همکاران، ۱۳۸۹).

ب) دولومیت‌های محیط دفنی‌کم‌عمق: در این حالت دولومیت های جانشینی بیشتر به صورت بلورهای لوزی پراکنده و منفرد و به صورت بافت پورفیروتوپیک دیده می شوند، که عموماً جانشین زمینه گل آهکی شده اند، ولی این بلورها در سیمان کلسیتی و خرده‌های فسیلی جانشین نشده‌اند(شکل ٤- ب). در این باره باید گفت در دسترس بودن مکان های هسته زایی فراوان در ذرات گل آهکی و همچنین سطح نسبتاً پایین اشباع شدگی دولومیت و بالا بودن سطح واکنش، منجر به دولومیتی شدن اجزای بلوری‌ریز، مثل گل آهکی و میکرواسپار شده باشد. همچنین ممکن است ماتریکس آهکی اولیه آراگونیتی و فسیل‌ها کلسیتی بوده‌اند و دولومیت به طور انتخابی بر روی ماتریکس آراگونیتی هسته‌سازی کرده باشد، زیرا آراگونیت نسبت به کلسیت آسان تر دولومیتی می‌شود. دولومیتی نشدن خرده‌های فسیلی نیز می تواند به علت ساختار بلوری پیچیده و مکان های هسته زایی محدود در آن ها باشد(Hood et al., 2004). منشاء منیزیم(Mg) برای تشکیل دولومیت‌های جانشینی علاوه بر آب دریا می‌تواند از انحلال کلسیت پرمنیزیم(پوسته‌های فسیلی و گل‌آهکی) حاصل شده باشد(آقایی و همکاران، ۱۳۹۲). در این مطالعه این دولومیت‌ها فراوانی کمتری نسبت به گروه قبلی دارند.

انحلال: مهم‌ترین فرآیند دیاژنزی است که با افزایش تخلخل و تراوایی، و در نتیجه افزایش کیفیت مخزنی می‌شود(Shakeri and Parham, 2014). مطالعه حاضر نشان می دهد که این فرایند در سازند سروک نیز مهمترین فرایند دیاژنزی تاثیرگذار محسوب می‌شود. انحلال باعث از بین رفتن بخش‌هایی از چارچوب و ساختمان اصلی دانه‌ها و ایجاد فضاهای خالی بین دانه‌ها با از بین بردن سیمان‌های کلسیتی هم بعد بین‌دانه‌ای و بدین ترتیب باعث افزایش تخلخل و تراوایی سازند سروک شده است.



شکل ۳- الف- استیلولیت و دولومیت های مرتبط با استیلولیت. ب- سیمان کلسیتی هم بعد. ج- سیمان دروزی. د- سیمان بلوکی هم بعد. ی- سیمان رو رشدی هم‌محور. م- - دو نسل از شکستگی که شکستگی نسل اول بوسیله شکستگی نسل دوم قطع شده است



شکل ٤- الف- شکستگی های مورب باز و نیمه باز. ب- دولومیت های کم عمق

این تخلخل ها بیشتر به صورت تخلخل های ثانویه، قالبی، حفره ای و استیلولیتی در این سازند مشاهده شده است. اساساً فرآیند انحلال بطورگسترده در محیط دیاژنزی جوی و به مقدار کمتر در محیط دیاژنزی تدفینی صورت می گیرد(Tucker, 2001). این انحلال به صورت مخرب فابریک عمل نموده و اجزاء و زمینه را حل کرده است. این حفرات انحلالی به صورت کامل و یا بخشی حفظ و گاهی با سیمان‌های دفنی عمیق پر شده اند. مطالعات پتروگرافی نشان می دهد که این فرآیند در بعضی موارد در شرایط تدفینی عمیق نیز رخ داده است.

زیرا بعضاً تخلخل حفره‌ای و قالبی همراه با تخلخل استیلولیتی دیده می شوند. به طور کلی در این مطالعه دو فاز انحلال شناسایی شده است:

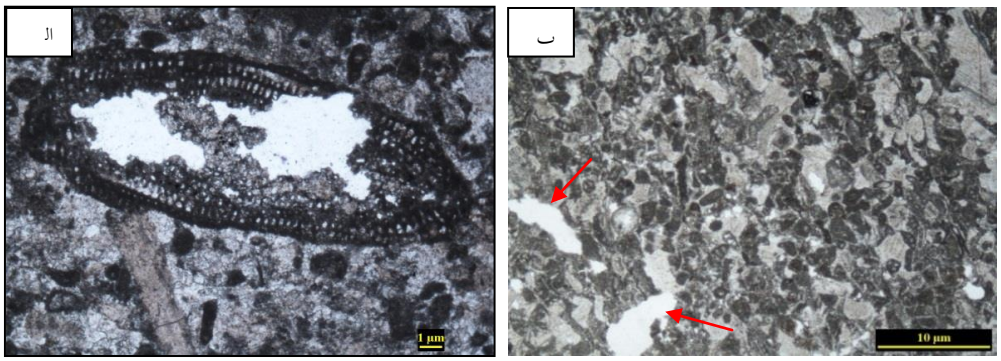
الف) انحلال متئوریک تحت انتخاب فابریک، که در اولین مرحله توالی پاراژنزی کربنات‌های سازند سروک ایجاد و باعث انحلال گسترده در رسوبات تحکیم نیافته(ائوژنیک) شده است(شکل ۵- الف). این فاز انحلال گاهی مربوط به پوسته‌ها و بیوکلاست‌های آراگونیتی و کلسیت پرمنیزیم(مثل خرده‌های دوکفه‌ای و رودیست) است، که در این مرحله ابتدا واکنش اجزای ناپایدار با آب‌های متئوریک منجر به انحلال آن‌ها و ایجاد تخلخل قالبی همراه با حفرات جداگانه شده است.

در مراحل بعد، بعضی از این حفرات به طور جزئی بوسیله سیمان‌های فریاتیک متئوریک یا دفنی پرشده اند و گاهی سیمان به تنهایی تحت تاثیر این انحلال قرار گرفته است. این انحلال هم در کربنات‌های بالای مرز سنومانین- تورونین و هم در کربنات‌های زیر این مرز به وقوع پوسته است.

ب) فاز دوم انحلال(در محیط متئوریک تلوژنتیک) بعد از تحکیم رسوبات ایجاد شده است. بنابراین ویژگی اصلی این فاز(انحلال تلوژنتیک) غیرانتخابی بودن فابریک آن است که بر همه‌ی اجزاء شامل بیوکلاست، دانه‌های غیر اسکلتی و سیمان تاثیر گذاشته است(شکل ۵- ب). این انحلال در بخش زیر مرز سنومانین- تورونین به وقوع پیوسته است. برای اعمال فرآیندهای دیاژنز تلوژنتیک لزوماً نیازی نیست که سنگ ها رخنمون تحت جوی یابند، بلکه بالا آمدن تا عمق حضور آب های جوی موجب شده است تا تحت تاثیر این آب ها دچار دیاژنز تلوژنتیک شوند.

نقش فرآیندهای دیاژنزی در توسعه کیفیت مخزنی:

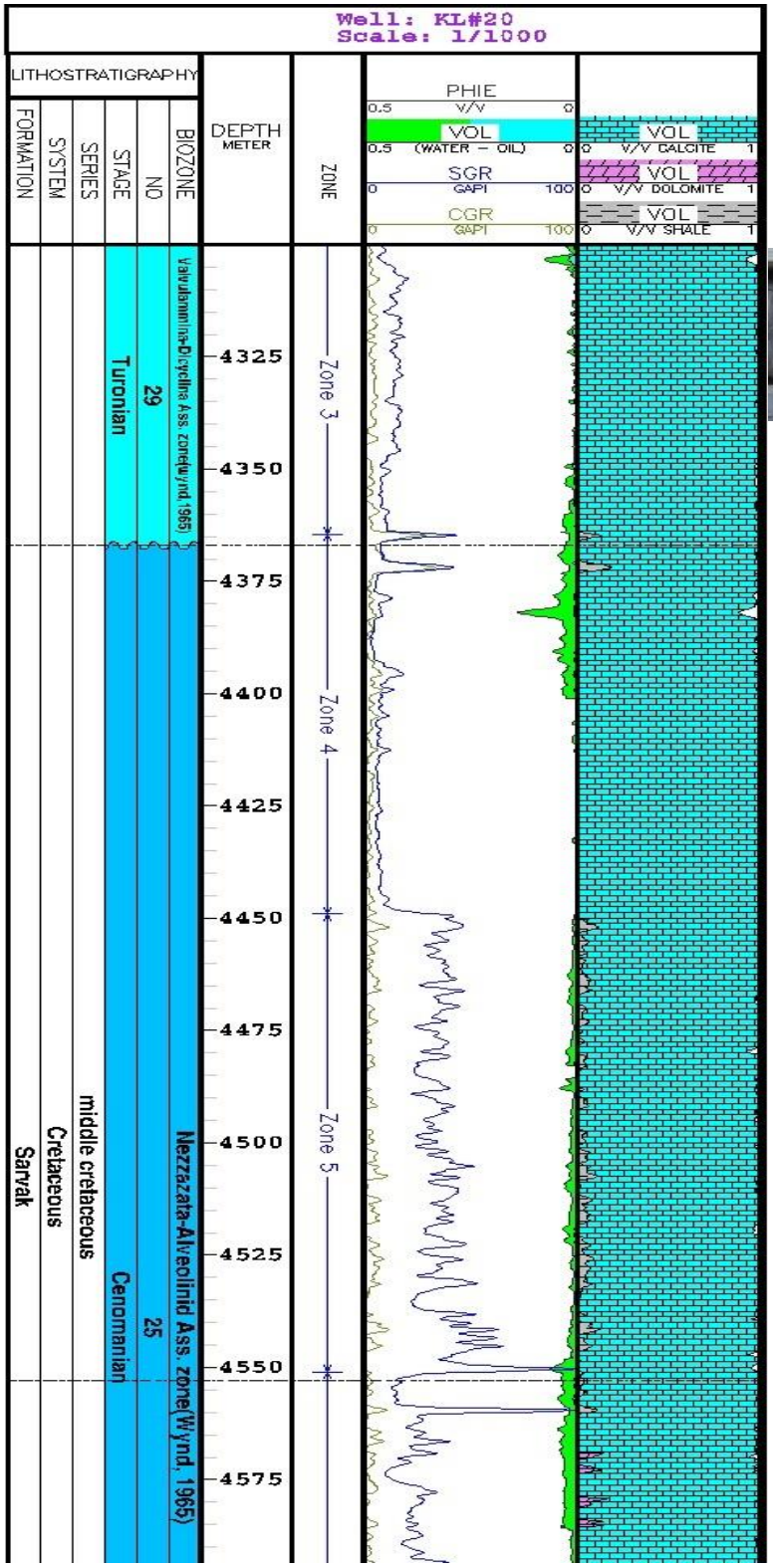
عوامل مختلفی مانند رخساره‌های رسوبی، تاریخچه دیاژنزی، شیب زمین گرمایی و غیره در مقدار تخلخل و تراوایی تاثیر دارند، این دو پارامتر برای تعیین کیفیت مخزنی به کار می روند(Eherenberg, 2006).به طورکلی در این مطالعه، فرآیندهای دیاژنزی مرتبط با ناپیوستگی به همراه ویژگی‌های بافتی و رخساره‌ای بر کیفیت مخزنی تاثیرگذار بوده‌اند. تلفیق نتایج ارزیابی پتروفیزیکی با نتایج مطالعه مقاطع نازک نشان می‌دهد که، بهترین پتانسیل مخزنی در ریزرخساره‌هایی است که تحت تاثیر دیاژنز متئوریک قرار گرفته‌اند و شواهد مربوط به انحلال، دولومیتی شدن و شکستگی را دارند. علت انحلال بیشتر در این گروه از ریزرخساره‌ها، وجود مواد بایوکلاستی آراگونیتی(خرده‌های رودیستی) فراوان است. بالا بودن پتانسیل مخزنی در این بخش به دلیل گسترش ریزرخساره‌های رودیستی تأثیر فرایندهای دیاژنزی جوی(به ویژه روی ریزرخساره‌های رودیستی) در مرحله تلوژنز(بالاآمدگی) است(Harris et al., 1984). در سازند سروک میدان کوپال وجود بخش های رودیستی در توالی‌های کربناته چاه های مورد مطالعه به خوبی قابل مشاهده می باشد؛ که نقش



شکل ۵- الف- انحلال تحت انتخاب فابریک. ب- انحلال غیر انتخاب فابریک

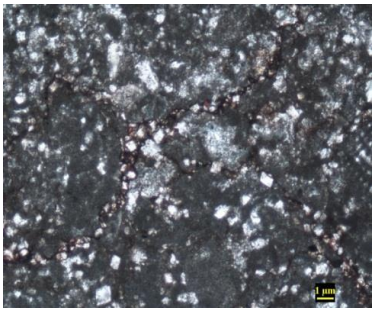
مهمی در افزایش تخلخل و همچنین تولید نفت داشته‌اند و به همین دلیل تطابق مناسبی بین افزایش میزان تخلخل و ریزرخساره های رودیست‌دار در سازند مورد مطالعه مشاهده می شود. عوارض انحلالی در ارتباط با مرز سنومانین- تورونین مثل کارست و حفرات انحلالی حالت حفظ شده دارند(مدت زمان بیرون ماندن از آب کمتر از مرز تورونین میانی است) و با همدیگر مرتبط هستند، سیمان های فیبری و دریایی از تخریب آن‌ها جلوگیری کرده است و باعث افزایش کیفیت مخزنی شده‌اند. عوارض انحلالی و تخلخلی که تحت تاثیر بالاآمدگی ایجاد شده است توسط سیمان های کلسیتی بلوکی پر شده اند و کاهش کیفیت مخزنی را سبب شده است. بنابراین فرآیندهای دیاژنزی در سازند سروک میدان مورد مطالعه، به ویژه فرآیندهای دیاژنزی وابسته به ناپیوستگی سنومانین – تورونین و تورونین میانی بر پارامترهای موثر در کیفیت مخزن از جمله تخلخل نقش بسیار زیادی داشته است، به نحوی که فرآیندهایی مانند انحلال(ایجاد حفرات انحلالی مجزا و به هم مرتبط) و ایجاد تخلخل حفره‌ای و کانالی(شکل ٦ الف، ب، ج) و شکستگی(شکل ٤ ب)، باعث افزایش میزان تخلخل و پتانسیل مخزنی شده است(شکل ٧). همچنین دولومیتی شدن با ایجاد تخلخل بین بلوری، تخلخل را به میزان کم و به طور محلی افزایش داده است. بعضی از فرآیندها نیز باعث کاهش تخلخل و پتانسیل مخزنی شده‌اند که مهم‌ترین آن ها فرآیند سیمانی شدن و به مقدار کمتر تراکم فیزیکی- شیمیایی و نئومورفیسم می‌باشند. در زمان تورونین میانی رخنمون های تحت الجوی طولانی مدت (زمان بیرون ماندن رسوبات از آب زیاد بوده است،٤ تا ٦ میلیون سال) و شرایط اقلیمی گرم و مرطوب حاکم بر منطقه خاورمیانه در کرتاسه میانی و بالایی سبب ریزش شبکه های کارستی و پر شدن حفرات انحلالی در مقیاس میکروسکوپی و ماکروسکوپی شده است و عوارضی همچون برش های ریزشی- انحلالی(شکل ٧) و پرشدگی حفرات توسط سیمان کلسیت دروزی در مغزه های حفاری و مقاطع نازک تهیه شده از سازند سروک به ویژه بخش های زیرین مرز تورونین میانی به خوبی قابل مشاهده است.

شکل٦ – الف- تخلخل حفره ای مجزا و مرتبط مربوط به بخش مخزنی سازند سروک. ب- تخلخل حفره ای مرتبط. ج- شکستگی تبدیل به تخلخل کانالی شده است .



ریزش شبکه های کارست

دولومیت های مرتبط با استیلولیت



شکل ۷- نمودار ترکیبی از وضعیت ستون سنگ شناسی(ستون اول از راست) و تغییرات نگار پرتو گاما، وضعیت تخلخل و ستون هیدروکربن(ستون دوم از راست)، چاه شماره ۲۰ میدان نفتی کوپال. تاثیر فرایندهای دیاژنزی وابسته به ناپیوستگی تورونین میانی و سنومانین- تورونین(تصاویر مغزه و مقاطع نازک) بر تخلخل و ستون هیدروکربن مشخص است.

نتیجه گیری

- توالی پاراژنزی مرتبط با ناپیوستگی سنومانین- تورونین سازند سروک در میدان نفتی کوپال، به دو بخش قابل تفکیک می باشد. توالی پاراژنزی زیر مرز سنومانین– تورونین شامل محیط های دیاژنزی دریایی، متئوریک، دفنی کم عمق، تلوژنتیک و نهایتاً دفنی عمیق و برای کربنات‌های بالای این مرز شامل محیط های دیاژنز دریایی، متئوریک و دفنی است.

- مهمترین فرآیندهای دیاژنزی مرتبط با ناپیوستگی در توالی مورد مطالعه انحلال، دولومیتی شدن، شکستگی برش های ریزشی- انحلالی و سیمانی شدن می باشد.

- نفوذ آب‌های جوی و انحلال های گسترده جوی و گسترش تخلخل حفره‌ای و قالبی در زیر مرز سنومانین– تورونین به همراه دولومیتی شدن های مرتبط با استیلولیت مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی تاثیرگذار در افزایش میزان تخلخل و تراوایی بوده است و باعث افزایش کیفیت مخزنی به ویژه در رخساره های رودیست شده است.

- سیمانی شدن های گسترده جوی و دفنی به همراه برشی شدن های ریزشی–انحلالی به عنوان مهمترین عوامل دیاژنزی در کاهش تخلخل و تراوایی و کاهش کیفیت مخزنی به ویژه زیر مرز ناپیوستگی تورونین میانی معرفی شده اند. در زمان تورونین میانی رخنمون های تحت الجوی طولانی و شرایط اقلیمی گرم و مرطوب حاکم بر منطقه خاورمیانه در کرتاسه میانی و بالایی سبب ریزش شبکه های کارستی و پر شدن حفرات انحلالی توسط سیمان کلسیت دروزی در مقیاس میکروسکوپی و ماکروسکوپی شده است.

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب(اداره پژوهش و توسعه در تصویب طرح و اداره زمین شناسی به جهت همکاری در ارائه داده های فنی مورد نیاز) صمیمانه سپاسگزاری می شود.

منابع:

- **آقایی، ع.، محبوبی، ا.، موسوی حرمی، ر.، نجفی، م.،(۱۳۹۲).** "سازوکار تشکیل سیلیس و دولومیت در سنگ‌های کربناتی ژوراسیک فوقانی در غرب بجنورد و جاجرم". مجله بلور و کانی‌شناسی ایران، ۲۱ (٤)،ص ۷٤۳-۷٥٦ .

- **ذاکری، مجتبی، (۱۳۹۳)،"** تعیین گونه‌های سنگی مخزن بنگستان میدان نفتی کوپال با استفاده از تکنیک آنالیز خوشه ای"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد،۳۰ص.

- **رحیم‌پور بناب، ح.، (۱۳۸۹)**، سنگ شناسی کربناته با نگرشی بر کیفیت مخزنی، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ۵۷۰ ص.

- **سپیانی. ح.، محبوبی، ا.، موسوی حرمی، ر.، محمودی قرایی، م.ح.، غفرانی، ا.،(۱۳۸۹).**" فرایندهای دیاژنز و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی سازند ایلام، میدان نفتی ماله کوه، شمال باختری اندیمشک". مجله پژوهش نفت، ۲۰،ص ٦٥-۸۳.

- **عالیشوندی، ز، (۱۳۹٥)**، "مطالعه و تطابق رخساره ها، سکانس ها و واحدهای جریانی مخزن بنگستان میدان نفتی کوپال"، پایان نامه دکتری تخصصی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، ۱۸۰ ص.

- **غلامی زاده، پ.، آدابی، م، ح.، (۱۳۹۰)**، "مطالعه فرایندها-ی دیاژنیتیکی و تغییرات ژئوشیمیایی عناصر فرعی سازند سروک در جنوب ایران"، پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی، شماره ٤۲، ص ۷۲-٥۳.

- **قلاوند، ه، (۱۳۸۱)**، "مطالعه تکمیلی زمین شناسی مخزن بنگستان میدان کوپال". گزارش شماره ٥۲٥٤، شرکت مناطق نفت خیز جنوب.۲۱۳ص.

- **مطیعی، ه.،(۱۳۷۲)**. "زمین‌شناسی نفت زاگرس"، طرح تدوین‌کتاب زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی، ۱۰۰۹ ص.

- **مهرابی،ح.، رحیم‌پور بناب، ح.، امیدوار، م.، حاجی-مشهدی، ح.،(۱۳۹۱)**."مطالعه محیط رسوبی، دیاژنز و چینه-نگاری سکانسی سازند سروک در میدان نفتی آب تیمور". پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۲۸ (۲)، ص۲٥-٥۰.

- **Ahr, Wayne M., (2008)**." Geology of carbonate reservoirs the identification", description, and characterization of hydrocarbon reservoirs in carbonate rocks: John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 277

- **Assadi, A., Honarmand, J., Moallemi, S.A.,Abdollahie-Fard, I., (2016).** "Depositional environments and sequence stratigraphy of the Sarvak Formation in an oil-field on the Abadan Plain", SW Iran, Fcaies, v. 62. p. 1-22.

- Ehrenberg, S.N., 2006, "orosity destruction in carbonate platforms, Journal of Petroleum Geology", 29,41-52- **Flugel, E., (2010)**. Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application: Springer-Verlag, Berlin, 984 p.

- **Ghabeishavi, A., Vaziri-Moghaddam, H., Taheri,A., Taati,F., (2010)**. "Microfacies and depositional environment of the Cenomanian of theBangestan anticline", SW Iran, Journal of Asian Earth Sciences V. 37, pp 275–285.

- **Grélaud C, Razin P, Homewood P (2010).** "Channelized systems in an inner carbonate platform setting: differentiation between incisions and tidal channels (Natih Formation", Late Cretaceous, Oman). In: van Buchem FSP, Gerdes KD, Esteban M (eds) Mesozoic and Cenozoic carbonate systems of the Mediterranean and the Middle East: stratigraphic and diagenetic reference models. Geological Society, London, Special Publications 329:pp163–186

- Hajikazemi, E., Al-Aasm, I.S., Coniglio, M., (2010). "Subaerialexpsoure and meteoric diagenesis of the Cenomanian-Turonian Upper Sarvak Formation", southwestern Iran, In: Leturmy, P., Robin, C. (Ed.), Tectonics and Stratgraphic Evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic-Cenozoic. Geological Society, London, Special Publication, 330,pp 253-272.

- Harris, P.M., S.H. Frost, G.A. Seiglie, and N. Schneidermann (1984). "Regional unconformities and depositional cycles", Cretaceous of the Arabian Peninsula. In, J.S. Schlee (Ed.), Interregional unconformities and hydrocarbon accumulation. American Association of Petroleum Geologists Memoir, v. 36, pp 67–80.

- Hood, S.D., Nelson, C.S., Kamp, P.J.J., (2004), "Burial dolomitization in a non tropical carbonate petroleum reservoir: the Oligocene Tikorangi", Taranaki Basin, New Zealand, Sedimentary Geology, 172,pp 117 – 138.

- **Hollis C (2011)**." Diagenetic controls on reservoir properties of carbonate successions within the Albian-Turonian of the Arabian Plate". Pet Geosci 17:pp223–241.

- **James, G.A. and Wynd,J.G., (1965)**. "Biostratigraphic nomenclature of Iranian Oil consortium agreement area: American Association of Petroleum Geologists Bulletin",49 (12):pp121-132.

Kauffman, E. G., Johnson, C.C., (1988), "The morphological evolution of middle and upper Cretaceous reef – building rudistid": Palaois, 3, 194P.

- Machel, H.G., (2005), "Investigations of burialdiagenesis in carbonat hydrocarbon reservoir rocks": Geosci. Can. 32: 103-

- Mehrabi H, Rahimpour-Bonab H, Enayati-Bidgoli A, Esrafili-Dizaji B (2015)." Impact of contrasting paleoclimate on carbonate reservoir architecture: cases from arid Permo-Triassic and humid Cretaceous platforms in the south and southwestern Iran". J Pet Sci Eng 126:262–283

- Moore, C.H., (2001), "Carbonate Reservoirs Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework": Amsterdam, Elsevier, Developments in Sedimentology, v. 55, 444p.

-Rahimpour–Bonab, H. Mehrabi, H.,Navidtaleb, A., &Izadi-MAzidi,E., (2012). "Flow unit Distribution and Reservoir Modelling in Cretaceouse carbonates of the Sarvak Formation, Abteymour Oil Field", DezfulEmbayment, SW Iran. Journal of Petroleum Geology, V. 35(3), 1 p.

- **Razin P, Taati F, Van Buchem F (2010)**." Sequence stratigraphy of Cenomanian–Turonian carbonate platform margins (Sarvak Formation) in the High Zagros", SW Iran: an outcrop reference model for the Arabian Plate. In: van Buchem FSP, Gerdes KD, Esteban M (eds) Mesozoic and Cenozoic carbonate systems of the Mediterranean and the Middle East—stratigraphic and diagenetic reference models. Geological Society, London, Special Publications 329:pp187–218.

- Setudehnia, A., (1978). "The Mesozoic sequence in south-west Iran and adjacent areas", Journal of Petroleum Geology, 1,pp 3–42.

- Shakeri, A., Parham, S., (2014)." Microfacies, Depositional Environment and Diagenetic Processes of the Mauddud Member, in the Persian Gulf", Journal of Petroleum Science and Technology, 4(2), 67-87.

- Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M., Davies, R.B., Hall, S.H., Heward, A.P., Horbury, A.D., Simmons, M.D., (2001), "Arabian Plate Sequence Stratigraphy, GeoArabia Special Publication", 2, 371p.

Razin P, Taati F, Van Buchem F (2010)." Sequence stratigraphy of Cenomanian–Turonian carbonate platform margins (Sarvak Formation) in the High Zagros", SW Iran: an outcrop reference model for the Arabian Plate. In: van Buchem FSP, Gerdes KD, Esteban M (eds) Mesozoic and Cenozoic carbonate systems of the Mediterranean and the Middle East—stratigraphic and diagenetic\reference models. Geological Society, London, Special Publications 329:pp187–218.

- Taghavi, A. A, Mork, A., Emad, M. A., (2006), Sequence stratigraphically controlled diagenesis governs reservoir quality in the carbonate Dehluran Field, southwest Iran, Geological Society, London, 12,115-126.

- van Buchem F, Simmons M, Droste H, Davies R (2011) Late Aptian to Turonian stratigraphy of

the eastern Arabian Plate–depositional sequences and lithostratigraphic nomenclature. Pet Geosci 17:211–222

- **Vincent B, van Buchem F, Bulot L, Jalali M, Swennen R, Hosseini A, Baghbani D (2015)** Depositional sequences, diagenesis and structural control of the Albian to Turonian carbonate platform systems in coastal Fars (SW Iran). Mar Pet Geol 63:46–67 Wilson J (1975) Carbonate facies in geological history. Springer, New York, p 471

- **Weidlich O., (2010)**. Meteoric diagenesis in carbonates below karst unconformities: heterogeneity and control factors. IN geological society, London, special publications, 329, 291-315.
http://sp.lyellcollection.org/content/329/1/291.short

- **Wynd, j, g, (1965)**, Biofacies of the Iranian consortium- agreement area, Report, 1082, Tehran, Iranian Offshore Oil Company.

- **Ziegler, M., (2001)**. Late Permian to Holocene Paleofacies Evolution of the Arabian Plate and its HydrocarbonOccurrences. GeoArabia, 6 (3), 445–504.http://www.searchanddiscovery.com/documents/ziegler/

The role of diagenetic processes associated with discontinuity in the development on Sarvak formation reservoir quality (Kupal oilfield)

Abstract
The Sarvak Formation deposited in the North to Northeastern margin of the Arabian Platform during the Mid-Cretaceous (Albian-Turonain), and is extensively encountered in the Folded Zagros of southwestern Iran. It is the most important reservoir unit after Asmari Formation in Iran. Diagenesis studies using petrographic analysis on thin sections from three development wells indicate an intricate diagenetic history for Sarvak reservoir in Kupal oil field. Meteoric diagenetic processes (including extensive dissolution or karstification, meteoric cementation and dissolution-collapse brecciation) along with burial diagenetic features (including stylolite-related dolomites and burial cements) are introduced as the main diagenetic overprints that controlled the reservoir quality of Sarvak Formation. These are resulted in recognition of a major role for diagenetic overprints on shaping the final reservoir quality of Sarvak Formation. Extensive meteoric dissolutions below the disconformities together with stylolite-related dolomitized bodies provided the best reservoir horizons. Aversely, meteoric and burial cementations together with collapsed breccias are introduced as the main factors defeating reservoir quality

Key word: *Sarvak Formation, Kupal oilfield, meteoric diagenesis, reservoir quality, disconformity.*