

# بررسی تأثیر محیط رسوبی و فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازند سروک در چارچوب چینه‌نگاری سکانسی، میدان نفتی کوپال

زینب عالیشوندی<sup>۱</sup>، حسین رحیم‌پور بناب<sup>۲</sup>، علی کدخدایی<sup>۳</sup> و مهران آربین<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>۲</sup>استاد، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۳</sup>دانشیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

<sup>۴</sup>استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۲

## چکیده

سازند سروک، واحد کربناته ستبری است که در بخش شمال خاوری سکوی عربی در کرتاسه میانی تشکیل شده است و در حوضه زاگرس چین‌خورده گسترش زیادی دارد. پس از سازند آسماری دومین سنگ مخزن مهم میدان‌های نفتی مناطق جنوبی و جنوب باختر ایران به شمار می‌رود که بخش قابل توجهی از ذخایر هیدروکربنی را میزبانی می‌کند. سنگ‌نگاری مقاطع نازک میکروسکوپی این سازند در چاه‌های مورد مطالعه، به شناسایی ۸ ریزرخساره انجامید که در ۳ زیرمحیط تالاب محدود شده، تالاب- دریای باز و پشته زیرآبی، در بخش‌های داخلی یک سکوی کربناته روقاره‌ای نهشته شده‌اند. با توجه به موقعیت چاه‌های مورد مطالعه، در میدان نفتی کوپال، از خاور به باختر، حوضه ژرف تر شده است. همچنین بر پایه یافته‌های این مطالعه، فرایندهای دیاژنزی مهمی شامل میکربیتی شدن، انحلال، دولومیتی شدن، سیمانی شدن، استیلوبیتی شدن، نوشکلی و شکستگی، کربنات‌های این سازند را تحت تأثیر قرار داده‌اند. توالی دیاژنزی این سازند مربوط به دو بخش بالا و پایین مرز سنومانین- تورونین است. نفوذ آب‌های جوی در زیر مرز سنومانین- تورونین و تأثیر فرایند انحلال سبب گسترش تخلخل حفره‌ای و قالبی و در نتیجه موجب بالا رفتن پتانسیل مخزنی این بخش شده است. بررسی‌های چینه‌نگاری سکانسی به شناسایی ۳ سکانس رسوبی رده سوم انجامیده است.

**کلیدواژه‌ها:** سازند سروک، میدان نفتی کوپال، دیاژنزی، محیط رسوبی، چینه‌نگاری سکانسی.

\*نویسنده مسئول: حسین رحیم‌پور بناب

E-mail: rahimpour@ut.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

خاورمیانه میزبان سترگ‌ترین ذخایر نفت و گاز جهان است که بخش اصلی آنها در صفحه عربی جای گرفته است (Sharland et al., 2001). توالی رسوبی به سن کرتاسه، در سکوی عربی و حوضه زاگرس ذخایر اقتصادی هیدروکربنی سترگی را در خود جای داده است (Rahimpour- Bonab et al., 2012). پس از درک محیط رسوبی مخازن کربناته، مطالعه دیاژنزی (مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده تجمع هیدروکربن در بیشتر مخازن کربناته دنیا) کاملاً ضروری است. طی سنومانین- تورونین با افزایش نسبی سطح آب دریا و به زیر آب رفتن بخش قابل توجهی از قاره‌های آن زمان، سکوه‌های کربناته در عرض‌های جغرافیایی پایین در مقیاس گسترده‌ای شکل گرفتند. در این سکوها، رودیست‌ها به عنوان مهم‌ترین جانداران کربنات ساز مطرح بوده‌اند. حوضه رسوبی زاگرس در این زمان، روی حاشیه قاره‌ای غیرفعال و کم‌ژرفا در حاشیه جنوبی اقیانوس تتیس در عرض جغرافیایی صفر درجه بوده است و در بخش‌های وسیعی از آن، سکوه‌های کربناته‌ای شکل گرفته بودند که امروزه به عنوان گروه بنگستان شناخته می‌شوند. هدف اصلی این مطالعه بررسی نقش محیط رسوبی و ریزرخساره‌های مربوط در کنترل کیفیت مخزنی است. همچنین نظر به اهمیت فرایندهای دیاژنزی در کنترل کیفیت مخزنی سنگ‌های کربناته، این مسئله نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد و در پایان اثرات اینها در چارچوب چینه‌شناسی سکانسی بررسی می‌شود.

کرتاسه میانی، رسوبات سازند سروک در یک رمپ کربناته همشیب دارای ریف‌های کومه‌ای رودیستی نهشته شده‌اند (Taghavi et al., 2006; Hajikazemi et al., 2010). تحت تأثیر خشکی‌زایی ناحیه‌ای تورونین میانی، این رمپ کربناتی رخنمون تحت جوی یافته و در معرض انحلال و کارستی شدن شدید قرار گرفته است (James and Wynd, 1965; Setudehnia, 1978). مخزن بنگستان در میدان کوپال شامل سازند ایلام (حدود ۴۵ متر) و سازند سروک (حدود ۱۰۰۰ متر) و دارای سنگ‌آهک قهوه‌ای تا کرم است. در میدان کوپال سازند سروک به‌طور کامل حفاری نشده و با در نظر گرفتن اطلاعات حاصل از چاه‌های میادین مجاور همچون هفتکل \_ ۶۱، اهواز \_ ۶۷ و مارون \_ ۱۲۳ ستبرای این واحد را می‌توان در حدود ۱۰۰۰ متر برآورد کرد. ستبرای حفاری شده از سازند سروک در چاه‌های ۴، ۲۰ و ۴۸ در میدان کوپال به ترتیب ۴۷۰، ۴۰۵ و ۴۷۵ متر است. میدان نفتی کوپال یکی از میدان‌های نفتی جنوب باختری کشور است که در شمال خاوری استان خوزستان، در فاصله ۶۰ کیلومتری خاور شهرستان اهواز و در بخش مرکزی حوضه فروفاتده دزفول جای دارد و روندی شمال باختری- جنوب خاوری نشان می‌دهد (شکل ۱).

## ۳- روش مطالعه

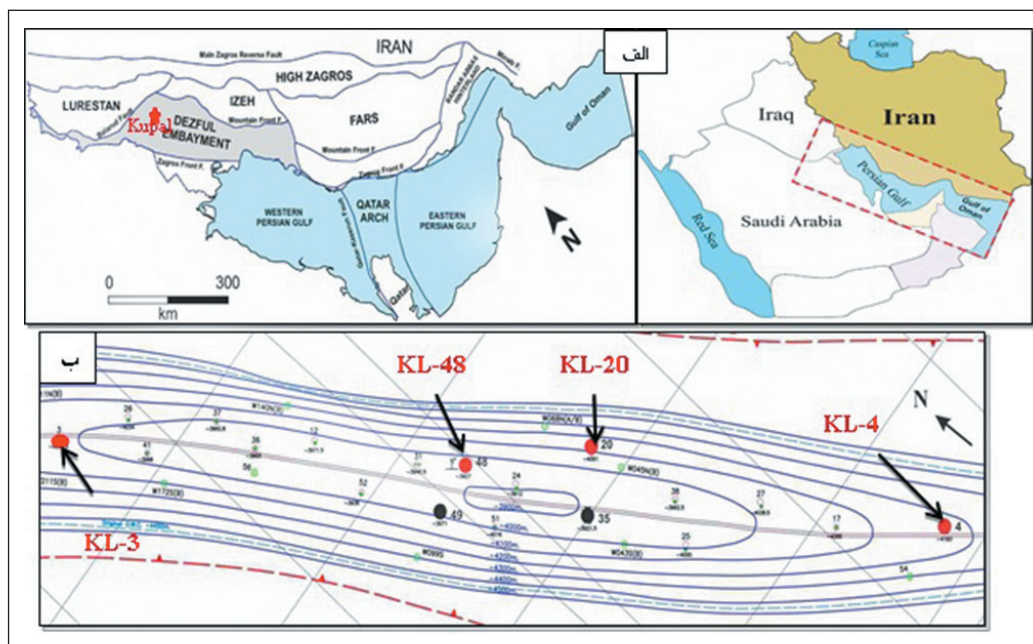
در این پژوهش سازند سروک در ۴ چاه بررسی و از توصیف مقاطع نازک میکروسکوپی برای تشخیص اجزای سازنده ریزرخساره‌ها و فرایندهای دیاژنزی استفاده شده است. برای نام‌گذاری آنها از روش Dunham (1962) و Embry and Klovan (1971) استفاده و با ریزرخساره‌های استاندارد (Flugel 2010) و ریزرخساره‌های معرفی شده در مطالعات پیشین تطبیق داده شده است. با مطالعه مغزه‌ها، تغییرات نگار پرتو گاما و نمودار D-INPEFA-SGR در نرم‌افزار سیکلولاگ، سکانس‌های رسوبی تعیین شده است. در این میدان زیست‌زون‌های سازند سروک

## ۲- چینه‌شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

سازند سروک تشکیل دهنده سنگ مخزن بسیاری از مخازن زاگرس و خلیج فارس و جزو گروه بنگستان است که در برش الگو (تنگ سروک) با ستبرای بیش از ۸۲۱ متر گسترش دارد (مطیعی، ۱۳۷۲). مرز پایینی آن با سازند کژدمی پیوسته و تدریجی و مرز بالایی آن با سازند ایلام ناپیوسته و همراه با یک نبود رسوبی مهم است. مطالعات در زاگرس مرکزی و خاوری نشان می‌دهد که با پیشروی نسبی سطح آب دریاها در

و تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر میزان تخلخل و تراوایی مورد بررسی و به تفسیر محیط رسوبی سازند سروک در چاه‌های مورد مطالعه پرداخته شده است.

در چاه شماره ۳ مطالعه و تعیین شده است که برای تطابق از داده‌های این چاه استفاده شد. با استفاده از تلفیق نتایج به دست آمده، رابطه میان ریزرخساره‌ها و کیفیت مخزنی



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

#### ۴- تحلیل رخصاره‌ای و محیط رسوبی

مطالعه ۴۰۰ مقطع نازک مربوط به سازند سروک در میدان مورد مطالعه سبب شناسایی ۸ ریزرخساره شده است که در ۳ زیر محیط تالاب محدود شده، تالاب- دریای باز و پشته زیر آبی کربناته نهشته شده‌اند. این ریزرخساره‌ها به شرح زیر هستند:

##### ۴-۱. مجموعه رخصاره‌های تالاب محدود شده

– **ریزرخساره ۱- و کستون پلوییدی نا مادستون:** دارای پلویید (۰/۱) میلیمتر و فراوانی ۲۰ درصد) در زمینه گلی است. در برخی مقاطع روزن‌بران کفزی (میلویید، نزازاتا و تکستولاریا) با فراوانی کمتر از ۸ درصد دیده شده‌اند (شکل ۲- الف). نوشکلی و انحلال از فرایندهای دیاژنزی است که دیده می‌شود. مشابه RMF16 (گل‌سنگ آهکی بدون موجودات) و (Flugel, 2010) RMF4؛ و کستون پلوییدی) است. مشابه آن توسط (Rahimpour-Bonab et al. (2012) (میدان آب تیمور) گزارش شده است.

– **ریزرخساره ۲- پکستون میلیویدی پلوییددار:** دارای روزن‌بران کفزی محیط تالاب (میلویید، نزازاتا، تکستولاریا)، با فراوانی ۳۰ درصد و صدف دو کفه ای خرد شده است که در زمینه گل تا دانه پشتهای جای دارند. میانگین اندازه دانه‌های اسکلتی ۰/۵ تا ۱ و دانه‌های غیر اسکلتی ۰/۱ تا ۰/۲ میلی‌متر است (شکل ۲- ب). سیمانی شدن و نوشکلی فرایندهای دیاژنزی هستند. معادل (Flugel, 2010) RMF 16؛ پکستون همراه با میلیوید) است. مشابه آن توسط (Ghabeishavi et al. (2010) (تاق‌دیس بنگستان) گزارش شده است.

– **ریزرخساره ۳- و کستون دارای روزن‌بران کفزی:** میلیوید اصلی‌ترین دانه تشکیل دهنده آن (اندازه ۰/۲ میلی‌متر) با فراوانی ۱۰ درصد است. دیگر دانه‌ها شامل روزن‌بران کفزی سالم (بورلیس، نزازاتا، کریزالینید) با فراوانی ۵ درصد و اندازه ۰/۴ میلی‌متر و جلبک سبز با فراوانی کمتر از ۲ درصد و اندازه ۰/۳ میلی‌متر است (شکل ۲- ج). معادل (Flugel (2010) RMF 16؛ (و کستون همراه با روزن‌بران کفزی) است. مشابه آن توسط و (Rahimpour-Bonab et al. (2012) در میدان نفتی آب تیمور گزارش شده است.

– **ریزرخساره ۴- پکستون جلبک‌دار دارای روزن‌بران کفزی:** از اجزای اصلی آن جلبک‌های سبز با فراوانی ۱۵ درصد و روزن‌بران کفزی (میلویید و سودولیتونلا و تکستولاریا) است. سوزن اسفنج و پلویید با فراوانی ۱۰ درصد سازندگان فرعی آن هستند که در بافت پکستونی گل‌پشتیبان قرار دارند. جورشدگی دانه‌ها ضعیف تا متوسط است (شکل ۲- د). سیمان‌های کلسیتی که حفرات حاصل از انحلال را پر می‌کنند و نوشکلی فرایندهای دیاژنزی هستند. معادل (Flugel (2010) RMF 20؛ پکستون بایوکلاستی با جلبک و روزن‌بران کفزی) است. مشابه آن توسط نوریان و همکاران (۱۳۹۳) در میدان منصوری گزارش شده است.

• **تفسیر:** از مشخصه‌های اصلی محیط تالاب بافت گل‌پشتیبان، فراوانی پلویید و اجزای اسکلتی (خرده‌های خارپوستان، شکم پایان و روزن‌بران کفزی بدون منفذ همچون میلیوید) است (Flugel, 2010). میلیوید به عنوان شاخص آب‌های آرام و کم‌ژرفا، نیمه‌شور تا فوق‌العاده شور تأیید کننده محیط کربناته تالاب است (Bachmann and Hirsch, 2006). فراوانی جلبک‌های سبز با روزن‌بران کفزی شاخص تالاب و جلبک‌های سبز به همراه میلیویدها در زمینه گلی نشان‌دهنده ویژگی این زیر محیط است (Ruberti et al., 2007). گوناگونی کم مجموعه فیسیلی و گسترش میکریتم نشان‌دهنده ارتباط کم محیط تالاب با دریای باز است که این عوامل به محیط تالاب نسبت داده می‌شود.

##### ۴-۲. کمربند رخصاره ای تالاب- دریای باز

– **ریزرخساره ۱- فلوتستون بایوکلاستی دارای خرده‌های فراوان رودیست:** بافت فلوتستونی آن از قطعات شکسته رودیست با فراوانی ۲۰ درصد در اندازه درشت‌تر از ۲ میلی‌متر تشکیل شده است. اجزای فرعی آن خرده‌های خارپوست با فراوانی ۱۵ درصد، روزن‌بران کفزی کوچک (۵ درصد) و پلوییدها (۵ درصد) هستند. اجزا در زمینه میکریتمی گل‌پشتیبان تا دانه پشتهای جای گرفته‌اند (شکل ۲- ز). نوشکلی و حفرات انحلالی دیگر پدیده دیاژنزی هستند که بر زمینه میکریتمی اثر گذاشته است.

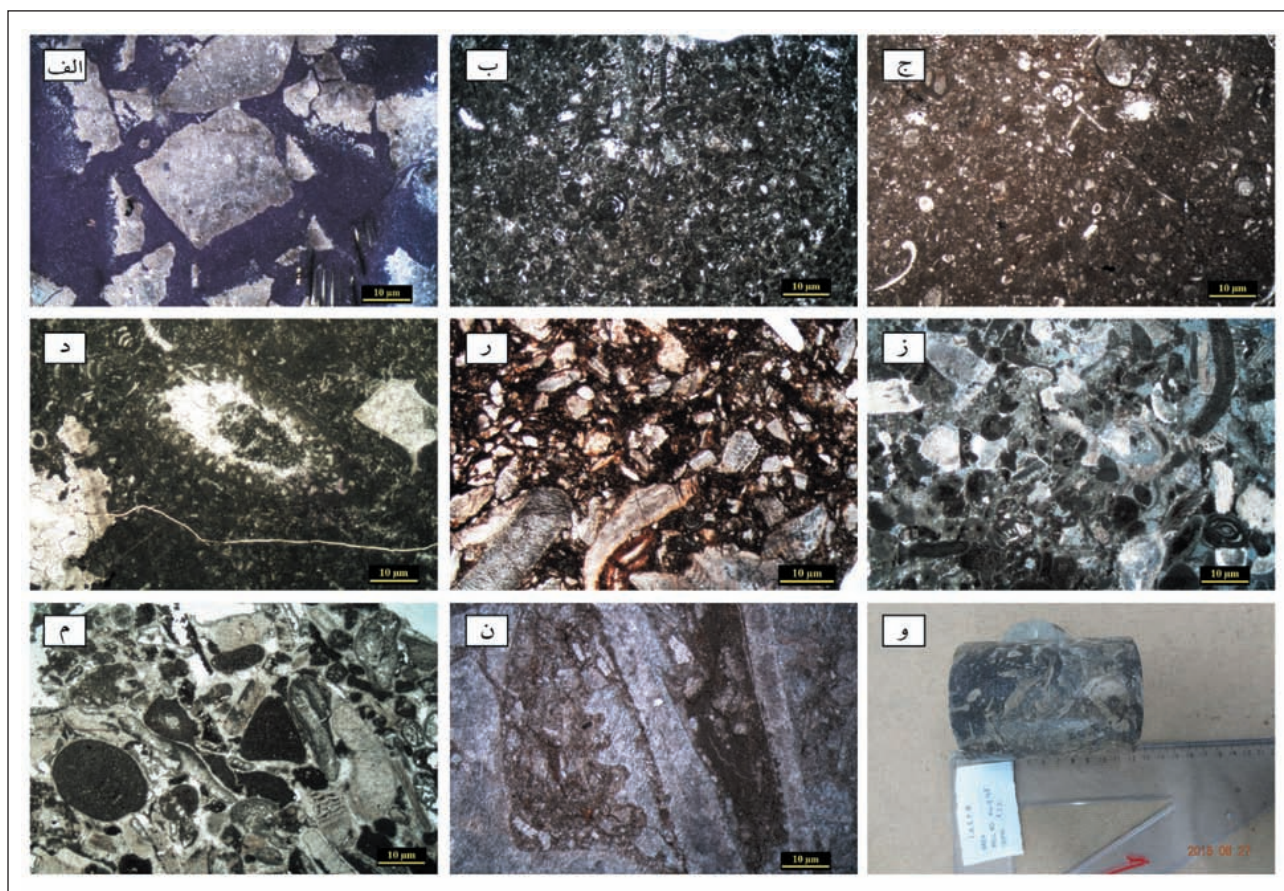


مواد مغذی است. با توجه به اینکه رودیست‌های این منطقه جورشدگی و گردشدگی ضعیف دارند؛ به نظر می‌رسد که چندان فرایند حمل را تحمل نکرده‌اند؛ در نتیجه در مجاورت مجموعه‌های رودیستی زنده، در بخش‌های ژرف‌تر سکوی داخلی قرار داشته و مهم‌ترین کارخانه کربنات‌سازی در زمان نهشته شدن این ریزرخساره بوده‌اند. در دیواره برخی از خرده‌های رودیستی در این ریزرخساره‌ها حفرات ناشی از حفاری موجودات دیده می‌شود که با میکرایت و پلوئید و گاه با روزن‌بران کفزی از جمله میلیولید پر شده‌اند. این امر نشان از کاهش ژرفا و نزدیکی این ریزرخساره به زیر محیط تالاب باز دارد (Flugel, 2010). با توجه به حضور سیمان در برخی از ریزرخساره‌های این محیط که سیمای گریستونی به رخساره داده است؛ محیط رسوب گذاری آن یک تالاب نیمه محدود به سوی دریای باز است (Raspini, 1998).

معادل RMF 15 (Flugel 2010)؛ (فلوتستون بایوکلستی) است. مشابه آن توسط (Ghabeishavi et al. 2010) در منطقه تاق‌دیس بنگستان گزارش شده است.

۲- **ریزرخساره ۲- پکستون- گریستون دارای روزن‌بران کفزی:** از اجزای اصلی آن روزن‌بران کفزی (میلیولید، تکستولاریا و آلونولینا) با فراوانی ۲۰ درصد و اندازه ۰/۱ میلی‌متر است. خرده‌های خارپوست و دوکفه‌ای با فراوانی ۱۰ درصد سازندگان فرعی هستند. مهم‌ترین خرده‌های غیراسکلتی، پلوئید (۱۵ درصد) است (شکل ۲-ر). میان دانه‌ها را بیشتر سیمان دریایی و در برخی جاها گل آهکی پر کرده است. سیمانی شدن و در برخی جاها میکریتی شدن از فرایندهای دیاژنزی هستند. معادل RMF26 (Flugel, 2010)؛ گریستون- پکستون بایوکلستی با دانه‌های اسکلتی گوناگون است. مشابه آن توسط (Rahimpour-Bonab et al. 2012) گزارش شده است.

• **تفسیر:** گوناگونی بالای محتوای فسیلی نشان از چرخش خوب آب و مساعد بودن



شکل ۲- الف) وکستون پلوئیدی تا مادستون؛ ب) پکستون میلیولیدی پلوئیددار؛ ج) وکستون دارای روزن‌بران کفزی؛ د) پکستون جلبک‌دار دارای روزن‌بران کفزی؛ ز) فلوتستون بایوکلستی دارای خرده‌های فراوان رودیست؛ ر) پکستون- گریستون دارای روزن‌بران کفزی؛ م) گریستون- پکستون رودیستی دارای بایوکلست؛ ن) رودستون رودیستی؛ و) نمونه مغزه رودیست رودستون.

است. مشابه آن توسط (Esrafil-Dizaji et al. 2015) از مجموعه رسوباتی با سن سازند سروک گزارش شده است.

۲- **ریزرخساره ۲- باندستون- رودستون رودیستی:** خرده‌ها و قطعات درشت رودیست (بیشتر از ۲ میلیمتر) با فراوانی بیشتر از ۷۰ درصد اصلی‌ترین دانه تشکیل‌دهنده آن است. رودیست‌ها از نوع رادیولیتید و کاپرینید هستند. از باندستون به رودستون تغییر پیدا می‌کند. ذرات در زمینه‌ای از کلسیت اسپاری جای گرفته‌اند و جورشدگی خوب و گردشدگی متوسط دارند (شکل‌های ۲-ن، و). معادل (Flugel 2010) RMF12؛ (باندستون) است. مشابه آن توسط (Rahimpour-Bonab et al. 2012) گزارش شده است.

### ۳-۴. کمربند رخساره‌های پشته زیر آبی

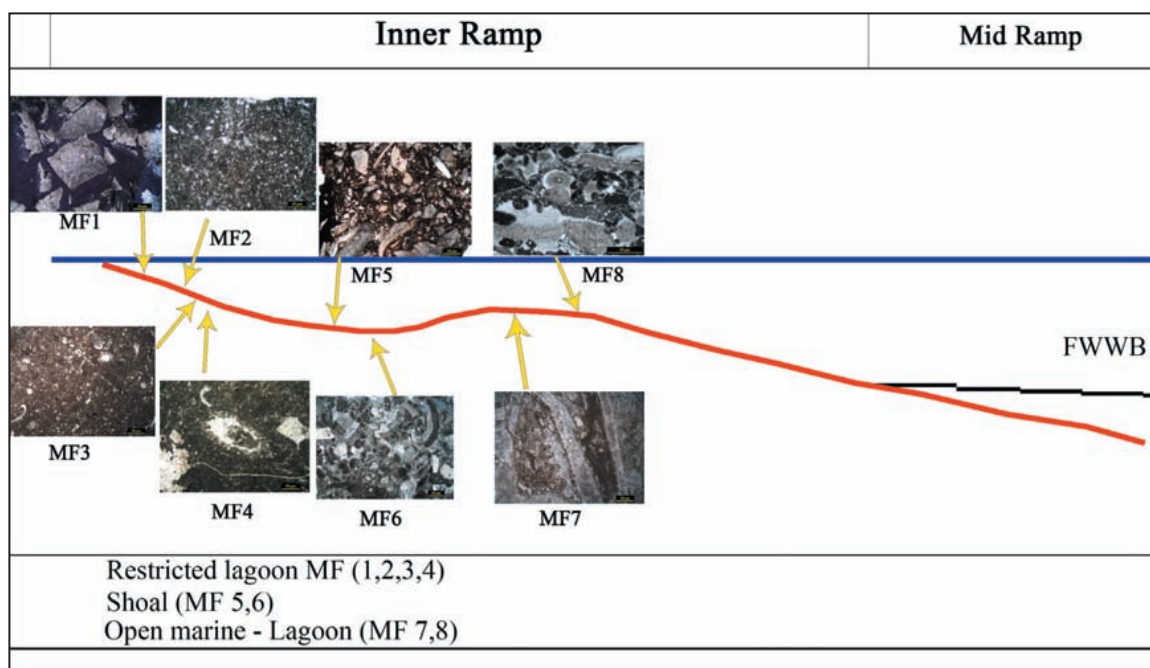
۱- **ریزرخساره ۱- گریستون- پکستون رودیستی دارای بایوکلست:** به صورت چیره از خرده‌های رودیستی جور شده و گرد شده با فراوانی ۳۰ درصد و اندازه ۰/۵ تا ۱/۵ میلی‌متر به همراه پلوئید تشکیل شده است. از دیگر تشکیل‌دهنده‌های آن اریبتولین‌های مخروطی با فراوانی ۱۰ درصد و اندازه ۰/۸ میلی‌متر، قطعات خارپوست با اندازه ۰/۸ میلی‌متر و ۱۰ درصد و سایر روزن‌بران کفزی با فراوانی کمتر از ۵ درصد و اندازه ۰/۳ میلی‌متر هستند. فضای میان دانه‌ها توسط سیمان اسپاریتی پر شده است (شکل ۲-م). سیمانی شدن از فرایندهای دیاژنزی است. معادل RMF 26 (Flugel 2010)؛ (گریستون- پکستون بایوکلستی با دانه‌های اسکلتی گوناگون)

شده است؛ که به ترتیب در زیرمحیط‌های تالاب محدود شده، تالاب- دریای باز و پشته زیرآبی (شول) رسوب‌گذاری کرده‌اند (شکل ۳). با توجه به گسترش فراوان‌تر ریزرخساره‌های تالاب، گسترش کمتر (نسبت به ریزرخساره‌های تالاب) ریزرخساره‌های نشان‌دهنده محیط‌های با انرژی بالا و نبود ریزرخساره‌های نشان‌دهنده محیط‌های ژرف، می‌توان نتیجه گرفت که به‌طور کلی، توالی‌های مطالعه شده در بخش‌های داخلی یک سکوی کریناته از نوع رمپ نهشته شده‌اند. با توجه به موقعیت چاه‌ها در میدان نفتی کوپال (چاه شماره ۴ در بخش خاوری و چاه شماره ۲۰ و ۴۸ در بخش میانی و باختری ساختار کوهانک باختری کوپال جای دارند) و نبود ریزرخساره‌های ژرف در چاه شماره ۴، می‌توان گفت از سوی خاور به باختر، حوضه ژرف‌تر شده است. داده‌های مطالعه حاضر، طیف گسترده همه زیرمحیط‌ها را نشان نمی‌دهد؛ بنابراین امکان ارائه مدل رسوبی سه‌بعدی وجود ندارد. نظر به اینکه، مطالعات و یافته‌های پژوهشی پیشین در مورد محیط رسوبی سازند سروک در نواحی فروافتادگی دزفول و خوزستان بیانگر یک مدل رسوبی رمپ کریناته است (Rahimpour-Bonab et al., 2012; Mehrabi and Rahimpour-Bonab, 2013; Esrafil-Dizaji et al., 2015)؛ بنابراین بر پایه شواهد ارائه شده و همخوانی بیشتر ریزرخساره‌های این پژوهش با مطالعات انجام شده گذشته، می‌توان نتیجه گرفت که توالی مورد مطالعه در یک رمپ کریناته همیشب نهشته شده است.

• **تفسیر:** مهم‌ترین ویژگی این کمربند رخساره‌ای خرده‌های فراوان رودیستی در اندازه‌های مختلف است. رودیست‌ها معمولاً ساختمان‌های زیستی گسترده‌ای ایجاد نمی‌کنند و به‌صورت توده‌هایی با برجستگی‌های کم دیده می‌شوند؛ ریزرخساره فلوستون بایوکلستی دارای خرده‌های فراوان رودیست به تدریج تبدیل به ریزرخساره گریستون-پکستون رودیستی دارای بایوکلست می‌شود که در محیط پر انرژی‌تر نهشته می‌شود و دارای جورشدگی و گردشدگی بالا و بدون زمینه گلی است. با توجه به نبود گل آهکی در زمینه بیشتر ریزرخساره‌های شناسایی شده و فراوانی دانه‌هایی مانند رودیست و دوکفه‌ای‌ها، این ریزرخساره‌ها در یک محیط پرانرژی (پشته زیرآبی) نهشته شده‌اند (Aqrabi et al., 2007; Ghabeishavi et al., 2010). همچنین حضور خرده‌های خارپوست در کنار رودیست می‌تواند بیانگر بخش جلویی پشته زیرآبی باشد. در ریزرخساره‌های این محیط، انحلال مهم‌ترین فرایند دیاژنزی است که سبب افزایش تخلخل می‌شود.

### ۵- بررسی چگونگی گسترش ریزرخساره‌های سازند سروک در میدان مورد مطالعه (محیط رسوب‌گذاری)

با مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی و تعیین ریزرخساره‌ها و ارتباط عمودی این ریزرخساره‌ها، مدل رسوب‌گذاری سازند سروک در میدان نفتی کوپال تعیین



شکل ۳- مدل رسوبی مفهومی سازند سروک در میدان نفتی کوپال همراه با جایگاه تقریبی هر یک از ریزرخساره‌ها.

### ۶- فرایندهای دیاژنزی

مخازن زیر ناپیوستگی‌ها ۲۰ تا ۳۰ درصد مخازن هیدروکربنی را تشکیل می‌دهند (Weidlich, 2010). این نوع مخازن حاصل رخنمون تحت جوی و دیاژنز جوی شدید هستند که مهم‌ترین فرایندها در گسترش یا تخریب تخلخل هستند. تأثیر فرایندهای جوی قابل ملاحظه بر کرینات‌های سازند سروک به اثبات رسیده و به ناپیوستگی تورونین میانی نسبت داده شده است (Rahimpour-Bonab et al., 2012; Taghavi et al., 2006). این ناپیوستگی منطقه‌ای 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 است

با (Ziegler, 2001; Sharland et al., 2001; Rahimpour-Bonab et al., 2012) توجه به شواهد موجود (از جمله استفاده از مرزهای سکانشی به عنوان خطوط زمانی) و مشاهده اثرات دیاژنزی متفاوت در بالا و پایین مرز سنومانین- تورونین از جمله انحلال، گسترش محدود و پراکنده افق‌های سیلیسی، برشی شدن و کارستی شدن، سازند سروک در این میدان به دو بخش بالای مرز سنومانین- تورونین و زیر این مرز قابل تفکیک است. تشخیص این مرز بر پایه مطالعه زیست‌زون‌ها در چاه شماره ۳ و بررسی نگار پرتو گاما در این چاه و تطابق آن با نگار پرتو گاما در چاه‌های دیگر و همچنین مشاهده عوارضی همچون کارستی شدن، برشی شدن و حفرات انحلالی در



منطقه مورد مطالعه عوارض رخنمون تحت الجوی از جمله کارست (شکل ۴-الف)، حفرات و برش‌های انحلالی (شکل‌های ۴-الف و ب) در ریزرخساره فلوستون بایوکلاستی دارای خرده‌های فراوان رودیست مربوط به زیر محیط تالاب- دریای باز دیده شده است.

مقاطع میکروسکوپی و نمونه‌های مغزه صورت گرفته است. در نتیجه این ناپیوستگی، بخشی از کرنات‌های سازند سروک که در زیر این مرز هستند؛ در واقع دوبار تحت تأثیر آب‌های جوی نفوذی قرار گرفته‌اند؛ که یک مرتبه آن مربوط به ناپیوستگی سنومانین- تورونین بوده و دومی در اثر بالآمدگی پس از دفن رخ داده است. در



شکل ۴-الف) کارستی شدن و برش‌های انحلالی، فلش‌ها زمینه اصلی سنگ که در اثر ریزش به قله‌هایی تبدیل شده است؛ ب) برشی شدن.

تخلخل و تراوایی در ریزرخساره‌های دانه پشیمان شده است (شکل ۵-ر). در منطقه مورد مطالعه این سیمان بیشتر در ریزرخساره‌های پشته زیر آبی و به مقدار کمتر در تالاب گسترش دارد. مشابه این نوع سیمان در سازند سروک را غلامی زاده و آدابی (۱۳۹۰) در نواحی تنگستان (در جنوب ایران) و Hajikazemi et al. (2010) در جنوب باختری ایران دیده و تشکیل آن را به محیط جوی نسبت داده‌اند.

– **سیمان کلسیتی بلوکی:** در ریزرخساره‌های پکستونی و گرینستونی به صورت بلورهای درشت با حاشیه‌های به نسبت مشخص، بیشتر فضاهای میان دانه‌ها را پر کرده‌اند (شکل ۵-ز). با توجه به این که رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها سیمان بلوکی را قطع نکرده‌اند؛ احتمالاً این نوع سیمان در محیط تدفینی تشکیل شده است (رحیم پور بناب، ۱۳۸۹). Hajikazemi et al. (2010) این سیمان را در سازند سروک در جنوب باختری ایران دیده و تشکیل آن را به محیط دفنی نسبت داده‌اند.

– **سیمان کلسیتی رورشدی هم‌محور:** نوع شفاف آن در محیط دیاژنز جوی و همراه با سیمان دروزی (Flügel, 2010) و نوع غبارآلود آن در محیط دریایی و همراه با سیمان شعاعی (Kauffman and Johnson, 1988) تشکیل می‌شود. در مقاطع مورد مطالعه این نوع سیمان به صورت رورشدی در پیرامون خرده‌های خارپوست جای گرفته است؛ با دانه‌های میزبان پیوستگی نوری دارد و بیشتر در ریزرخساره‌های پکستونی و گرینستونی دیده می‌شود (شکل ۵-د). این نوع سیمان با پر کردن فضاهای خالی سنگ موجب کاهش تخلخل مفید و تراوایی شده است.

#### ۶-۴. شکستگی

با مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی حاصل از مغزه‌های حفاری، دو نسل از شکستگی در سازند سروک، در میدان کوپال شناسایی شده است (شکل ۵-ش). شکستگی‌های نسل اول توسط سیمان کلسیت هم‌بعد پر شده؛ زمینه و خرده‌های اسکلتی را قطع و از میان آنها عبور کرده‌اند و مربوط به شرایط دفنی هستند (رحیم پور بناب، ۱۳۸۹). شکستگی نسل دوم نیز با برش و قطع کردن شکستگی‌های نسل اول مشخص می‌شود. این دو نسل از شکستگی‌ها بیشتر در ریزرخساره‌های پکستون و کستونی دیده شده‌اند. بیشتر این شکستگی‌ها نیمه‌باز یا کاملاً باز هستند و توسط هیچ نوع سیمانی پر نشده‌اند که گسترش آنها سبب افزایش تراوایی شده است. شکستگی‌ها در بیشتر موارد ارتباط خوبی با پهنه‌های هوازده و کارستی شده نشان می‌دهند و به همین دلیل می‌توان آنها را از نوع سیمان‌های کلسیتی هم‌زمان و پس از زمین‌ساخت به شمار آورد.

آگاهی از ترتیب زمان رخداد هر یک از این فرایندها در درک تغییرات کیفیت مخزنی و تحول آن در طول زمان بسیار سودمند است. مهمترین فرایندهای دیاژنزی بخش مخزنی سازند سروک در میدان مورد مطالعه به شرح زیر است:

#### ۶-۱. میکریتی شدن

بیشتر در محیط‌های آرام و محدود مانند تالاب و حاشیه پشته به سمت تالاب و بر سطح و در پیرامون دانه‌هایی مانند روزن بران کف‌زی، دوکفه‌ای و دیگر بیوکلاست‌ها ایجاد شده است. همچنین در مواردی به عنوان پوششی در پیرامون دانه‌ها و قطعات اسکلتی رفتار کرده و سبب حفظ شکل اولیه دانه‌ها و قالب آنها در برابر انحلال و در نتیجه حفظ تخلخل شده است (شکل ۵-الف).

#### ۶-۲. استیلولیتی شدن

بر خلاف تراکم مکانیکی که بلافاصله پس از رسوب‌گذاری رسوبات را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ تراکم شیمیایی نیازمند صدها متر تدفین است. استیلولیت‌ها و رگچه‌های انحلالی از فراوان‌ترین آثار فشردگی شیمیایی در این سازند هستند که در ریزرخساره‌های گل پشیمان (مادستون، و کستون) به مراتب بیشتر از ریزرخساره‌های دانه پشیمان تشکیل شده است. دولومیتی شدن در امتداد استیلولیت‌ها به فراوانی در این سازند دیده می‌شود (شکل ۵-ج) و استیلولیت‌ها مجراهایی برای عبور سیال‌های دولومیت‌ساز ایجاد کرده‌اند؛ همچنین در امتداد استیلولیت‌ها آثار هیدروکربن نیز دیده می‌شود.

#### ۶-۳. سیمانی شدن

زمانی رخ می‌دهد که مقدار زیادی سیال درون منفذی نسبت به فاز سیمان به حد فوق اشباع برسد. سیمانی شدن سبب کاهش تخلخل و تراوایی می‌شود. بر پایه بررسی‌های انجام شده، ۴ نوع سیمان در کرنات‌های سازند سروک شناسایی شده است:

– **سیمان کلسیتی هم‌بعد:** بیشتر به صورت حفره پرکن و بلورهای شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار با اندازه‌های یکسان دیده می‌شود. مرز میان بلورها نمی‌توان به خوبی دید (Flügel, 2010). بیشتر در ریزرخساره‌های دانه پشیمان دیده می‌شود و فضاهای خالی میان دانه‌ها را پر کرده است. برخی از شکستگی‌ها نیز توسط این سیمان پر شده‌اند (شکل ۵-س). 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 داده‌اند. – **سیمان کلسیتی دروزی:** با پر کردن فضای میان‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای موجب کاهش

**۵-۵. دولومیتی شدن**

تحت شرایط خاصی ممکن است موجب بهبود کیفیت مخزنی شود (Machel, 2005). تشکیل دولومیت به دو صورت رایج تر است: (۱) در اثر جانشینی  $CaCO_3$  با  $CaMg(CO_3)_2$  (۲) سیمان دولومیتی (ته نشینی) که از محلول های آب دار به صورت سیمان در فضاهای منفذی اولیه یا ثانویه جانشین می شود (Machel, 2005). دولومیت ها در سازند سروک در میدان کوپال به صورت دولومیتی شدن (جانشینی) تشکیل شده اند. دولومیتی شدن در ریزرخساره های سازند سروک از دید سنگ نگاری در دو گروه جای می گیرند:

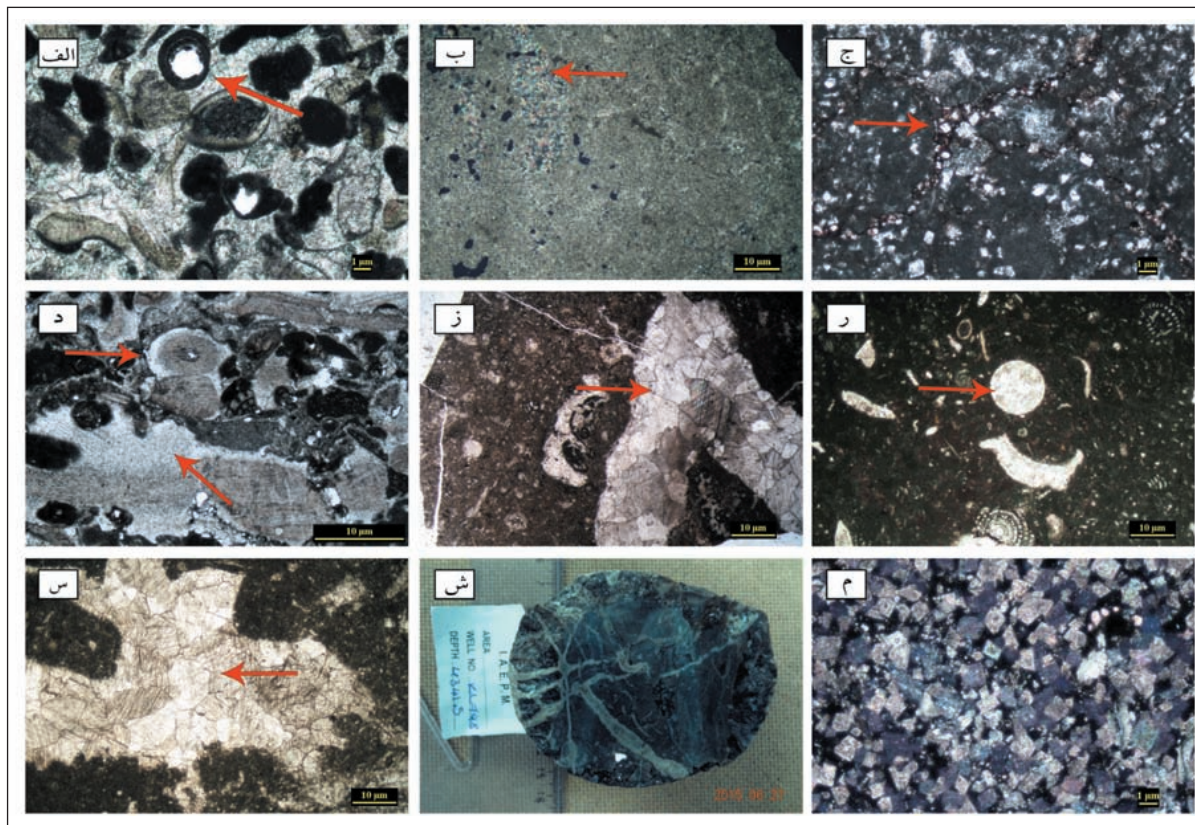
**– دولومیت های محیط دفنی ژرف (مرتبط با استیلولیت):** بیشتر دولومیت های تشکیل شده در سازند سروک با آثار و شواهد مربوط به فشردگی شیمیایی ارتباط دارند (شکل ۵-۵ ج). تمرکز بلورهای دولومیت در مجاری و حواشی استیلولیت ها نشان دهنده این است که آنها از سیال های ناشی از انحلال فشاری در آخرین مراحل دفن به وجود آمده اند (Hood et al., 2004).

**– دولومیت های محیط دفنی کم ژرفا:** در این حالت دولومیت های جانشینی بیشتر به صورت بلورهای لوزی پراکنده و منفرد و بافت پورفیروتوپیک دیده می شوند که عموماً جانشین زمینه گل آهکی شده اند؛ ولی این بلورها در سیمان کلسیتی و خرده های فسیلی جانشین نشده اند (شکل ۵-۵ م). در این باره باید گفت که در دسترس بودن مکان های هسته زایی فراوان در ذرات گل آهکی و همچنین سطح به نسبت پایین اشباع شدگی دولومیت و بالا بودن سطح واکنش، سبب دولومیتی شدن اجزای بلوری ریز، مانند گل آهکی و میکرواسپار شده باشد. منشأ منیزیم (Mg) برای تشکیل دولومیت های جانشینی افزون بر آب دریا می تواند انحلال کلسیت پرمینزیم (پوسته های فسیلی و گل آهکی) باشد (آقایی و همکاران، ۱۳۹۲). در این مطالعه این دولومیت ها فراوانی کمتری نسبت به گروه پیشین دارند.

**۶-۶. انحلال**

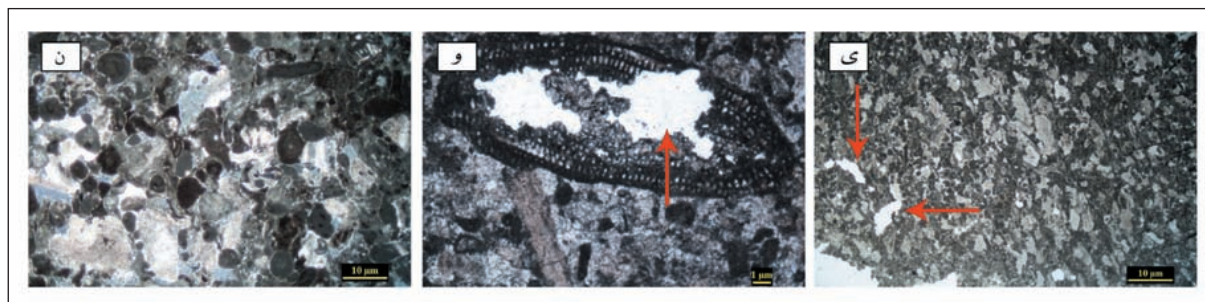
مهم ترین فرایند دیاژنزی است که با افزایش تخلخل و تراوایی، سبب افزایش کیفیت مخزنی می شود (Shakeri and Parham, 2014). انحلال بیشتر در ریزرخساره های دانه پستیان رخ داده است که دارای خرده های اسکلتی کربناته هستند. این ریزرخساره ها بیشتر در زیر محیط پشته زیر آبی گسترش دارند. انحلال سبب از بین رفتن بخش هایی از چارچوب و ساختمان اصلی این دانه ها و ایجاد فضاهای خالی میان آنها با از بین بردن سیمان های کلسیتی هم بعد میان دانه ای و بدین ترتیب افزایش تخلخل و تراوایی سازند سروک شده است. این تخلخل ها بیشتر به صورت تخلخل های ثانویه، قالبی، حفره ای و استیلولیتی دیده شده است. این انحلال به صورت مخرب فابریک رفتار کرده و اجزا و زمینه را حل کرده است. این حفرات انحلالی به صورت کامل و یا بخشی حفظ و گاه با سیمان های دفنی ژرف پر شده اند. مطالعات سنگ نگاری نشان می دهد که این فرآیند در برخی موارد در شرایط تدفینی ژرف نیز رخ داده است؛ زیرا گاه تخلخل حفره ای و قالبی همراه با تخلخل استیلولیتی دیده می شود. به طور کلی در این مطالعه دو فاز انحلال شناسایی شده است:

**– فاز اول) انحلال جوی تحت انتخاب فابریک:** در اولین مرحله توالی پاراژنزی کربنات های سروک ایجاد و سبب انحلال گسترده در رسوبات تحکیم نیافته شده است (شکل های ۵-۵ ن و و). این فاز گاه مربوط به پوسته ها و بیوکلاست های آراگونیتی و کلسیت پرمینزیم است. برخی از این حفرات به طور جزئی به وسیله سیمان های فریاتیک جوی یا دفنی پر شده اند و گاه سیمان به تنهایی تحت تأثیر این انحلال قرار گرفته است. این انحلال در کربنات های بالا و زیر مرز سنوماین- تورونین این مرز رخ داده است.



شکل ۵-۵ الف) حفظ شدن قالب دانه اسکلتی توسط فرایند میکرویتی شدن؛ ب) نوشکلی در زمینه ریز رخساره گل پستیان؛ ج) استیلولیت نامنظم همراه با دولومیت؛ د) سیمان رورشدی هم محور؛ ز) سیمان بلوکی هم بعد؛ ر) سیمان دروزی؛ س) سیمان هم بعد؛ ش) دو نسل از شکستگی که شکستگی های نسل اول به وسیله شکستگی نسل دوم قطع شده اند؛ م) دولومیت کم ژرفا؛





شکل ۵- ن) انحلال تحت انتخاب فابریک؛ و) انحلال تحت انتخاب فابریک؛ ی) انحلال غیر انتخاب فابریک.

### ۸- کیفیت مخزنی و نقش فرایندهای دیاژنزی در گسترش آنها

عوامل زیادی (رخساره‌های رسوبی، تاریخچه دیاژنزی، شیب زمین گرمایی و غیره) در تخلخل و تراوایی تأثیر دارند؛ این دو متغیر برای تعیین کیفیت مخزنی به کار می‌روند (Eherenberg, 2006؛ تلفیق). نتایج ارزیابی پتروفیزیکی و مطالعه مقاطع نازک نشان می‌دهد که بهترین پتانسیل مخزنی در ریزرخساره‌های گریستونی، فلوتستونی و رودستونی مربوط به زیرمحیط‌های تالاب باز و پشته زیرآبی است. این گروه از ریزرخساره‌ها تحت تأثیر انحلال و شکستگی، بالاترین مقادیر تخلخل را دارند که تحت تأثیر دیاژنزی جوی قرار گرفته‌اند. علت انحلال بیشتر در این گروه از ریزرخساره‌ها، وجود مواد بایو کلاستی آراگونیتی (خرده‌های رودیستی) فراوان است.

– فاز دوم) انحلال در محیط جوی تلوزنتیک: پس از تحکیم رسوبات ایجاد شده است. ویژگی اصلی این فاز غیرانتخابی بودن فابریک آن است که بر همه‌ی اجزا تأثیر گذاشته است (شکل ۵-ی). در بخش زیر مرز سنومانین- تورونین رخ داده است.

### ۷- توالی پاراژنزی

فرایندهای دیاژنزی شناخته شده در سنگ آهک‌های سازند سروک و بررسی زمان نسبی تشکیل آنها نشان از آن دارد که این فرایندها در محیط دیاژنزی دریایی، جوی و دفنی و طی سه مرحله انوژنز، مزوژنز و تلوزنز رخ داده‌اند. شکل ۶ توالی پاراژنزی سازند سروک در میدان مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

| عوارض دیاژنزی              | محیط‌های دیاژنزی     |                   |                    |                         |
|----------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|
|                            | دریایی<br>(انوژنتیک) | جوی<br>(انوژنتیک) | دفنی<br>(مزوژنتیک) | بالاآمدگی<br>(تلوزنتیک) |
| میکریتی شدن                | _____                |                   |                    |                         |
| نوشکلی                     |                      | _____             | _____              |                         |
| انحلال                     |                      | _____             | _____              | _____                   |
| سیمان بلوکی                |                      |                   | _____              |                         |
| سیمان دروزی                |                      | _____             | _____              |                         |
| سیمان رورشدی               | _____                | _____             | _____              |                         |
| سیمان هم‌بعد               |                      | _____             | _____              |                         |
| فشردگی مکانیکی             | _____                | _____             | _____              | _____                   |
| فشردگی شیمیایی (استیلولیت) |                      |                   | _____              |                         |
| دولومیتی شدن               |                      |                   | _____              |                         |
| شکستگی                     |                      |                   | _____              | _____                   |

شکل ۶- توالی پاراژنزی سازند سروک در میدان نفتی کوپال.

کلسیتی بلوکی پر و سبب کاهش کیفیت مخزنی شده‌اند. نتیجه پژوهش حاضر نشان می‌دهد که فرایندهای دیاژنزی در سازند مورد مطالعه، بر متغیرهای مؤثر در کیفیت مخزن از جمله تخلخل نقش بسیار زیادی داشته است؛ به گونه‌ای که فرایندهایی مانند انحلال، ایجاد تخلخل حفره‌ای (شکل‌های ۷-الف، ب و د) و شکستگی (شکل ۷-ج)، سبب افزایش میزان تخلخل و پتانسیل مخزنی شده است. همچنین دولومیتی شدن با ایجاد تخلخل میان‌بلوری، تخلخل را به میزان کم و به‌طور محلی افزایش داده است.

بالا بودن پتانسیل مخزنی در این بخش به دلیل گسترش ریزرخساره‌های رودیستی و به دنبال آن تأثیر فرایندهای دیاژنزی جوی در مرحله تلوزنز (بالاآمدگی) است (Harris et al., 1984). سیمان‌های دریایی از تخریب عوارض انحلالی که در ارتباط با مرز سنومانین- تورونین مانند کارست و حفرات انحلالی حالت حفظ شده دارند و با همدیگر مرتبط هستند؛ جلوگیری کرده و سبب افزایش کیفیت مخزنی شده است. عوارض انحلالی و تخلخلی که تحت تأثیر بالاآمدگی ایجاد شده‌اند؛ توسط سیمان‌های

شناسایی سطوح اصلی سکانسی ۳ سکانس رسوبی درجه سوم در چاه‌های ۳، ۴، ۲۰ و ۴۸ میدان کوپال شناسایی شده است (شکل ۸).

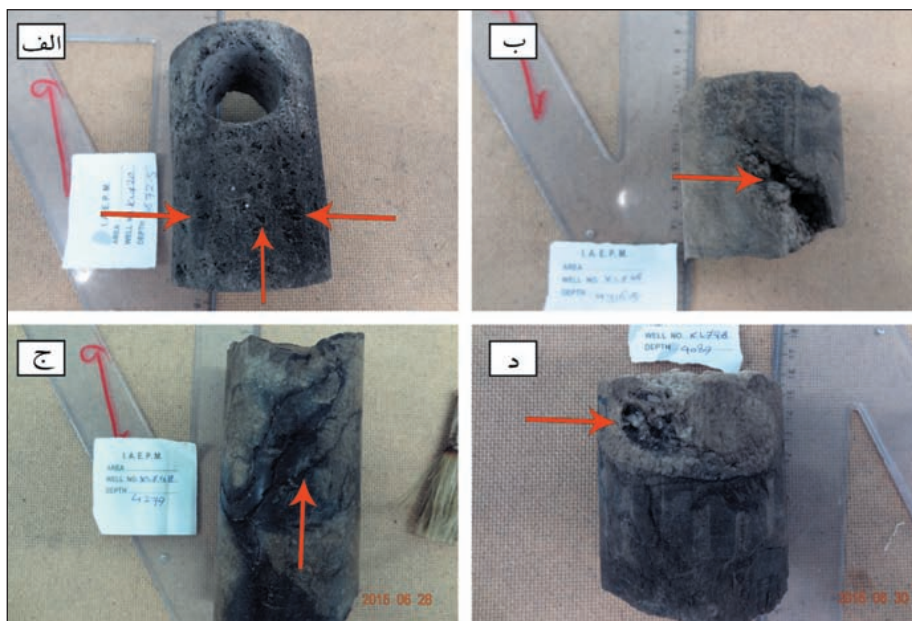
#### ۹-۱. سکانس ۱

در ابتدای فاصله ژرفی مطالعه شده از سازند سروک جای دارد. در یک چاه به صورت سکانس کامل و در ۳ چاه دیگر نیم سکانس است. مرز این سکانس (SB2) با سکانس بعدی با گسترش ریزرخساره‌های متعلق به زیرمحیط تالاب- دریای باز و کاهش مقادیر نگار پرتوگاما مشخص شده که نشان‌دهنده کم ژرفا شدن حوضه و منطبق با مرز سنومانین میانی است (شکل ۸).

برخی از فرایندها نیز سبب کاهش تخلخل و پتانسیل مخزنی شده‌اند که مهم‌ترین آنها فرایند سیمانی شدن و به مقدار کمتر تراکم فیزیکی- شیمیایی و نوشکلی است.

#### ۹-۲. چینه‌نگاری سکانسی

پراکنندگی جانبی رخساره‌های رسوبی مربوط به محیط رسوبی است؛ در حالی که برهم‌انبارش قائم رخساره‌ها توسط نوسان‌های سطح آب دریا تعیین می‌شود و بازتابی از چارچوب چینه‌نگاری سکانسی است (Roger, 2006). در این مطالعه به منظور دست‌یابی به یک چارچوب چینه‌نگاری سکانسی به عنوان مدل پایه مخزنی، برای



شکل ۷- الف) تخلخل حفره‌ای مجزا و مرتبط مربوط به بخش مخزنی سازند سروک؛ ب) شکستگی تبدیل به تخلخل کانالی شده است؛ ج- شکستگی‌های مورب باز و نیمه‌باز؛ د) تخلخل حفره‌ای مرتبط.

این شواهد این مرز سکانسی از نوع اول است که با گسترش ریزرخساره‌های متعلق به زیرمحیط تالاب مشخص می‌شود. در این مرحله (سنومانین- تورونین) مدت زمان بیرون ماندن از آب کمتر از مرز تورونین میانی است (۱ میلیون سال)؛ بنابراین تخلخل‌ها و حفرات ایجاد شده حفظ شده‌اند (توسط سیمان‌های فیبری و دریایی). این مرز ناپیوسته با مرزهای تعیین شده برای زون‌های زیستی در چاه‌های مورد مطالعه انطباق بالایی دارد. به طور کلی می‌توان گفت این سکانس از دیدگاه کیفیت مخزنی به سبب ۲ بار تأثیرپذیری از سیال‌های جوی، کیفیت مخزنی بالایی دارد. این سکانس دربرگیرنده‌ی زیست‌زون شماره ۲۵ (Wynd (1965) Nezzazata - Alveolinids) assemblage zone) به سن سنومانین است (شکل ۸).

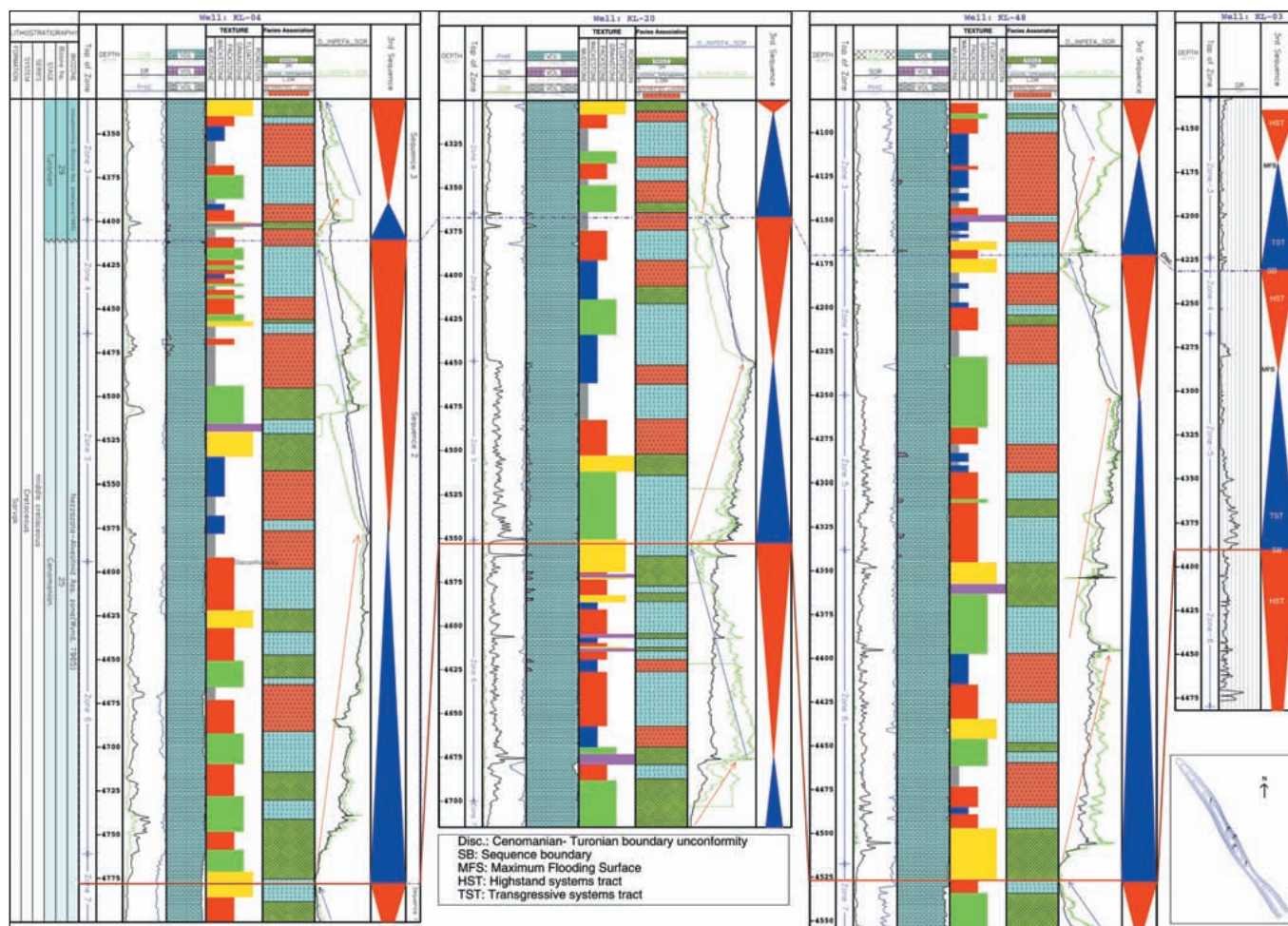
#### ۹-۳. سکانس ۳

مرز بالایی این سکانس از نوع اول است. در این مرز مقدار نگار پرتوگاما به API ۲ تا ۳ و مقدار نمودار D-INPEFA\_SGR به صفر رسیده است. مرز بالایی این سکانس با گسترش ریزرخساره‌های متعلق به زیرمحیط پشته زیر آبی و تالاب- دریای باز مشخص می‌شود. در این مرز منطبق با مرز تورونین میانی بوده؛ مدت زمان بیرون ماندن رسوبات از آب زیاد است (۴ تا ۶ میلیون سال) و عوارضی همچون برش‌های ریزشی- انحلالی دیده می‌شود؛ تخلخل‌های ایجاد شده توسط ریزش شبکه کارست از بین رفته‌اند و نیز سیمان کلسیت دروزی حفرات را پر کرده است؛ در نتیجه نقش مخرب در کیفیت مخزنی این بخش دارند. بیشترین سطح آب دریا (mfs) با افزایش مقادیر نگار پرتو گاما و ژرف شدن رخساره‌ها مشخص شده است.

#### ۹-۲. سکانس ۲

این سکانس از دو سکانس دیگر سبترتر است. علت این اختلاف سبتر، پایدارتر بودن حوضه در زمان نهشت سکانس دوم و همچنین مهیا بودن شرایط مساعد برای رسوب‌گذاری در بازه زمانی بیشتری برای نهشت رسوبات است. مرز پایینی این سکانس از نوع دوم بوده و با گسترش ریزرخساره‌های متعلق به زیر محیط تالاب- دریای باز مشخص شده است. بیشترین سطح آب دریا با افزایش مقادیر نگار پرتوگاما و ژرف شدن رخساره‌ها مشخص شده است. در این سکانس، دسته‌رخساره‌ای تراز بالا با توجه به تغییر رخساره‌ها، روند کم‌ژرفاشدگی توالی به سوی بالا و کاهش مقادیر نگار پرتو گاما را نشان می‌دهد و با گسترش ریزرخساره‌های متعلق به زیرمحیط تالاب- دریای باز و تالاب محدود شده مشخص می‌شود. دسته‌رخساره‌ای تراز پیشرونده به‌طور متناوب با گسترش ریزرخساره‌های متعلق به زیرمحیط‌های پشته، تالاب- دریای باز و تالاب محدود شده مشخص می‌شود. مرز این سکانس با سکانس بعدی معرف یک ناپیوستگی قابل ملاحظه است که بر پایه مطالعات رخساره‌ای، دیاژنری و نتایج مطالعات فسیل‌شناسی (زیست‌چینه‌نگاری) با مرز سنومانین- تورونین منطبق است. آثار و عوارض مربوط به این مرز سکانسی شامل کارستی شدن، برشی شدن، عوارض انحلالی (بیشتر عوارض انحلالی (حفرات انحلالی مجزا و به هم مرتبط) حالت حفظ شده دارند و بخشی از آنها توسط سیمان پر شده‌اند)، ایجاد تخلخل حفره‌ای (گسترش تخلخل‌های حفره‌ای مرتبط و مجزا سبب افزایش پتانسیل مخزنی شده است) و کاهش مقادیر نگار پرتو گاما در زیر مرز سکانسی است. با





شکل ۸- لاگ رسوبی ترکیبی و سکناس‌های دیده شده در سازند سروک چاه‌های مورد مطالعه.

مهم‌ترین فرایندهای دیاژنی در توالی مورد مطالعه میکربیتی شدن، فشردگی، سیمانی شدن، انحلال، دولومیتی شدن و شکستگی است. انحلال بر اثر فرایندهای جوی تحت تأثیر بالاآمدگی، مهم‌ترین فرایند در افزایش تخلخل، تراوایی و کیفیت مخزنی به ویژه در ریزرخساره‌های دانه‌پشتیان است. سیمان‌های دغنی مهم‌ترین عامل کاهش تخلخل و تراوایی در توالی مورد مطالعه هستند.

توالی پاراژنی سازند سروک در میدان مورد مطالعه برای زیر مرز سنومانین-تورونین شامل محیط‌های دیاژنی دریایی، جوی، دغنی کم‌ژرفا، تلوزنتیک و دغنی ژرف و برای کربنات‌های بالای این مرز شامل محیط‌های دیاژنز دریایی، جوی و دغنی است. توالی دیاژنی این سازند مربوط به دو بخش بالا و پایین مرز سنومانین-تورونین است. نفوذ آب‌های جوی در زیر مرز سنومانین-تورونین و تأثیر فرایند انحلال سبب گسترش تخلخل حفره‌ای و قالبی و در نتیجه بالا رفتن پتانسیل مخزنی این بخش شده است.

بررسی‌های چینه‌نگاری سکناسی به شناسایی ۳ سکناس رده سوم در بخش سنومانین میانی تا تورونین میانی در سازند سروک انجامید؛ که سکناس دوم با مرز سکناسی نوع اول و دو سکناس دیگر با مرز سکناسی نوع دوم پایان می‌یابند. با توجه به زیست‌زون‌های تعیین شده برای منطقه مورد مطالعه، سکناس دوم دربرگیرنده زیست‌زون شماره ۲۵ و ایند (Nezzazata - Alveolinids assemblage zone; Wynd, 1965) به سن سنومانین و سکناس سوم، دربرگیرنده زیست‌زون شماره ۲۹ و ایند (Valvulamina - Dicyclina assemblage zone; Wynd, 1965) به سن تورونین هستند.

این سکناس دربرگیرنده زیست‌زون شماره ۲۹ و ایند (Valvulamina - Dicyclina assemblage zone; Wynd, 1965) به سن تورونین است (شکل ۸).

در سکناس ۲ که با مرز سکناسی نوع اول پایان می‌یابد، نفوذ آب‌های جوی در زیر مرزهای سکناسی و تأثیر انحلال سبب گسترش تخلخل حفره‌ای و قالبی و در نتیجه بالا رفتن پتانسیل مخزنی این بخش شده است. به دلیل پایین افتادگی سطح نسبی آب دریا پس از سامانه تراکت تراز بالا و رخنمون مجموعه رسوبات، بیشتر رسوبات این سامانه تراکت دچار انحلال و کارستی شدن می‌شوند و استعداد مخزنی پیدا می‌کنند. هر چه پایین‌افتادگی سطح نسبی دریا بیشتر و شرایط آب‌وهوایی منطقه گرم و مرطوب‌تر باشد؛ شرایط مخزنی در سنگ‌های سامانه تراکت فراهم‌تر می‌شود. گسترش کیفیت مخزنی با رخنمون آنها در سطح و گسترش مرز سکناسی در رأس آنها ارتباط بسیار نزدیکی دارد. از این رو تشخیص سطوح ناپیوستگی در این توالی‌ها در ارزیابی کیفیت مخزنی آنها ارزش زیادی دارد.

### ۱-۰ نتیجه‌گیری

مطالعات انجام شده روی مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه شده از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری سازند سروک در میدان نفتی کوپال به شناسایی ۸ ریزرخساره انجامید که در ۳ زیرمحیط تالاب محدود شده، تالاب-دریای باز و پشته زیرآبی، در بخش‌های داخلی یک سکوی کربناته از نوع رمپ نهشته شده‌اند. با توجه به موقعیت چاه‌های مورد مطالعه حفاری شده در میدان نفتی کوپال و نبود ریزرخساره‌های ژرف در چاه شماره ۴، می‌توان گفت از خاور به باختر، حوضه ژرف‌تر شده است.

## کتابنگاری

- آفایی، ع.، محبوبی، ا.، موسوی حرمی، ر. و نجفی، م.، ۱۳۹۲- سازوکار تشکیل سیلیس و دولومیت در سنگ‌های کربناتی ژوراسیک فوقانی در غرب بجنورد و جاجرم. مجله بلور و کانی شناسی ایران، ۲۱ (۴)، صص. ۷۴۳ تا ۷۵۶.
- ذاکری، م.، ۱۳۹۳- تعیین گونه‌های سنگی مخزن بنگستان در میدان نفتی کوپال با استفاده از تکنیک آنالیز خوشه‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- رحیم پور بناب، ح.، ۱۳۸۹- سنگ‌شناسی کربناته با نگرشی بر کیفیت مخزنی، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، ۵۷۰ ص.
- غلامی زاده، پ. و آدابی، م. ح.، ۱۳۹۰- مطالعه فرایندهای دیاژنیتیکی و تغییرات ژئوشیمیایی عناصر فرعی سازند سروک در جنوب ایران، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۴۲، صص. ۵۳ تا ۷۲.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۲- زمین‌شناسی نفت زاگرس، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی، ۱۰۰۹ ص.
- نوریان، ی.، موسوی حرمی، ر.، محبوبی، ا.، کدخدایی، ع. و موسوی، ع.، ۱۳۹۳- تفکیک گروه‌های سنگی با استفاده از واحدهای جریان‌ی و روش خوشه بندی، مخزن بنگستان میدان منصوری، مجله علوم زمین، شماره ۹۵، صص. ۱۹۹ تا ۲۰۸.

## References

- Aqrawi, A. A. M., Thehni, G. A., Sherwani, G. H., and Kareem, B. M. A., 2007- Mid Cretaceous rudist – bearing carbonates of the Mishrifformation : An important reservoir sequences in the Mesopotamian basin, Iraq, Journal of petroleum Geology, 21, 57 – 82.
- Bachmann, M. and Hirsch, F., 2006- Lower Cretaceous carbonate platform of the eastern Levant (Galilee and Golan heights): stratigraphy and second-order sea-level change, Cretaceous Research, 27, 487 – 512.
- Dunham, R. J., 1962- Classification of carbonate rocks according to their depositional texture in w. E., Ham, ed., classification rocks –A symposium : AAPG. Bulletin, p.108-121.
- Ehrenberg, S. N., 2006- Porosity destruction in carbonate platforms, Journal of Petroleum Geology, 29,41-52.
- Embery, A. F. and Klován, E. J., 1971- A Late Devonian reef tract on Northern Banks Island, NWT: Canadian Petroleum Geology Bulletin, 19, pp. 370-781 (revision of dunham classification).
- Esrifili-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, 14, 1-25.
- Flügel, E., 2010- Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application: Springer-Verlag, Berlin, 984 p.
- Ghabeishavi, A., Vaziri-Moghaddam, H., Taheri, A. and Taati, F., 2010- Microfacies and depositional environment of the Cenomanian of the Bangestan anticline, SW Iran, Journal of Asian Earth Sciences V. 37, P. 275–285.
- Hajikazemi, E., Al-Aasm, I. S. and Coniglio, M., 2010- Subaerial exposure and meteoric diagenesis of the Cenomanian-Turonian Upper Sarvak Formation, southwestern Iran, In: Leturmy, P., Robin, C. (Ed.), Tectonics and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic-Cenozoic. Geological Society, London, Special Publication, 330, 253-272.
- Harris, P. M., Frost, S. H., Seiglie, G. A. and Schneidermann, N., 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, p. 67–80.
- Hood, S. D., Nelson, C. S. and Kamp, P. J. J., 2004- Burial dolomitization in a non tropical carbonate petroleum reservoir: the Oligocene Tikorangi, Taranaki Basin, New Zealand, Sedimentary Geology, 172, 117 – 138.
- James, G. A. and Wynd, J. G., 1965- Biostratigraphic nomenclature of Iranian Oil consortium agreement area: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 49 (12): p. 2182-224.
- Kauffman, E. G. and Johnson, C. C., 1988- The morphological evolution of middle and upper Cretaceous reef – building rudistid: Palaeo, 3, 194 – 216.
- Machel, H. G., 2005- Investigations of burial diagenesis in carbonate hydrocarbon reservoir rocks: Geosci. Can. 32: 103- 128.
- Mehrabi, H. and Rahimpour-Bonab, H., 2013- Paleoclimate and tectonic controls on the depositional and diagenetic history of the Cenomanian-early Turonian carbonate reservoirs, Dezful Embayment, SW Iran. Facies 60, 147–167.
- Rahimpour-Bonab, H. Mehrabi, H., Navidtaieb, A. and Izadi-MAzidi, E., 2012- Flow unit Distribution and Reservoir Modelling in Cretaceous carbonates of the Sarvak Formation, Abteymour Oil Field, Dezful Embayment, SW Iran. Journal of Petroleum Geology, V. 35(3), p.1 – 24.
- Raspini, A., 1998- Microfacies analysis of shallow water carbonates and evidence of hierarchically: Aptian of Monte Tobenna, southern Apennines, Italy. Cretaceous Research, v. 19, p. 197-223.
- Roger, M. S., 2006- Stratigraphic reservoir characterization for petroleum geologists, geophysicists and engineers, Elsevier, Amsterdam, 492 p.
- Ruberti, D., Carannante, G., Simone, L., Sirna, G. and Sirna, M., 2007- Sedimentary processes and biofacies of Late Cretaceous low-energy carbonate ramp systems (south Italy). In: Scott, R., (Eds) Cretaceous rudist and carbonate platform: environment feedback, SEPM, Spec. Publ., 87, 257p.
- Setudehnia, A., 1978. The Mesozoic sequence in south-west Iran and adjacent areas, Journal of Petroleum Geology, 1, 3–42.
- Shakeri, A. and Parham, S., 2014- Microfacies, Depositional Environment and Diagenetic Processes of the Maaddud 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. and Simmons, M. D., 2001- Arabian Plate Sequence Stratigraphy, GeoArabia Special Publication, 2, 371p.
- Taghavi, A. A., Mork, A. and Emad, M. A., 2006- Sequence stratigraphically controlled diagenesis governs reservoir quality in the carbonate Dehloran Field, southwest Iran, Geological Society, London, 12, 115-126.
- Weidlich, O., 2010- Meteoric diagenesis in carbonates below karst unconformities: heterogeneity and control factors. IN geological society, London, special publications, 329, 291-315.
- 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 Hydrocarbon Occurrences. GeoArabia, 6 (3), 445–504.



# Investigating the effects of sedimentary environment and diagenetic processes on the quality of Sarvak reservoir formation within a sequence stratigraphic framework, Kupal Oil Field

Z. Alishavandi<sup>1</sup>, H. Rahimpour-Bonab<sup>2\*</sup>, A. Kadkhodaei<sup>3</sup> and M. Arian<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Professor, School of Geology, College of Science, Tehran University, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Associate Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>4</sup>Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Received: 2016 November 02

Accepted: 2017 February 31

## Abstract

The Sarvak Formation deposited in the North to Northeastern margin of the Arabian Platform during the Mid-Cretaceous (Albian-Turonian), and is extensively encountered in the Folded Zagros of southwestern Iran. It is the most important reservoir unit after Asmari Formation in Iran. Petrography of microscopic thin sections in studied wells led to determination of nine microfacies that deposited in 3 sub-environments; restricted lagoon, lagoon-open marine and shoal in an interior part of carbonate ramp. Petrographic studies revealed that since deposition, the Sarvak Formation experienced several diagenetic realms including marine, meteoric, burial and telogenetic diagenetic environments. Location of the studied wells shows that the relative depth of the Sarvak Formation ramp decreases from the east to the west. Also, the results show that the Sarvak reservoir quality affected by various diagenetic processes such as micritization, dissolution, dolomitization, cementation, stilolitization and fracturing. These diagenetic successions are mainly restricted to the upper and lower parts of the Cenomanian-Turonian disconformity. Meteoric water infiltration below this disconform boundary and related karstification led to development of moldic and vuggy porosity a long with reservoir quality increase. Based on the sequence stratigraphic study, three third-order sequences were recognized in the middle Cenomanian to middle Turonian part of the formation. The results of this research show that the reservoir quality distribution in this unit is primarily controlled by depositional facies so that the rudist microfacies (grainstone, floatstones and rudstones) have the best primary reservoir qualities though, it has also been drastically improved by dissolution in paleoexposure surface.

**Key words:** Sarvak Formation, Kupal Oilfield, Diagenesis, Sedimentary environment, Sequence stratigraphy

For Persian Version see pages 277 to 286

\*Corresponding author: H. Rahimpour-Bonab; E-mail: rahimpor@ut.ac.ir